







BIBLIOTECA DE «LA ILUSTRACIÓN IBÉRICA»

---

RAMÓN MOLINAS + EDITOR

---

# LA HISTORIA DE LOS CIELOS

TRATADO POPULAR DE ASTRONOMÍA

POR

ROBERTO STAWELL BALL

DE LA SOCIEDAD REAL DE LONDRES,  
DE LA SOCIEDAD REAL ASTRONÓMICA, INDIVIDUO HONORARIO DE LA SOCIEDAD  
FILOSÓFICA DE CAMBRIDGE,  
VICEPRESIDENTE DE LA REAL ACADEMIA ISLANDESA, CATEDRÁTICO DE ASTRONOMÍA  
DE LA UNIVERSIDAD DE DUBLIN, ASTRÓNOMO REAL DE IRLANDA

---

TRADUCIDO DIRECTAMENTE DEL INGLÉS

POR

ENRIQUE LEOPOLDO DE VERNEUIL

---

Ilustrado con numerosísimos y preciosos grabados y cromolitografías



BARCELONA

---

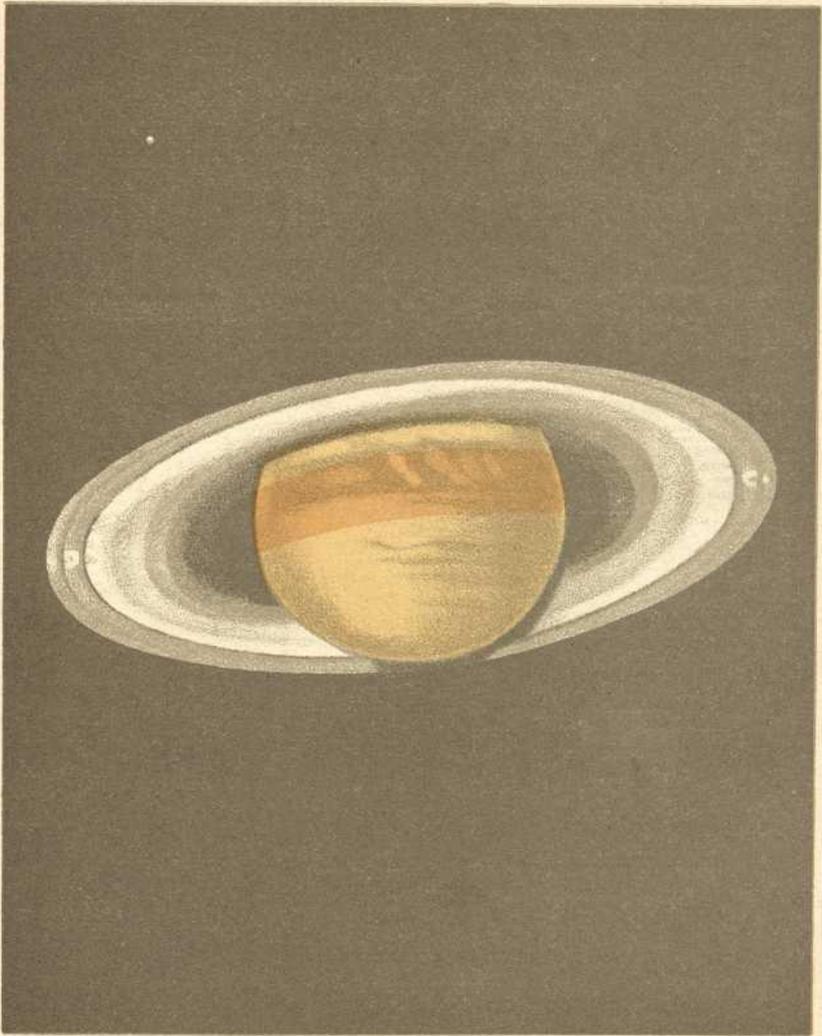
ESTABLECIMIENTO TIPOLITOGRAFICO EDITORIAL DE RAMÓN MOLINAS

PLAZA DE TETUÁN, NÚM. 50

---

ES PROPIEDAD DEL EDITOR

---



EL PLANETA SATURNO EN 1872



---

# HISTORIA DE LOS CIELOS

**T**AL es el título de nuestro libro. Trátase, á decir verdad, de una historia maravillosa; y si pudiéramos narrarla convenientemente, se reconocerían desde luego su incomparable interés y su belleza exquisita, que conducen á la contemplación de los más poderosos esfuerzos de la naturaleza y de los más admirables coronamientos del genio humano..

Enumeremos ante todo algunas de las preguntas que lógicamente nos dirigirán cuantos deseen saber algo acerca de los gloriosos cuerpos que adornan el firmamento. ¿Qué es el Sol, qué calor tiene, qué volumen, y á qué distancia se halla de la Tierra? ¿De dónde proviene su calor? ¿Qué es la Luna? ¿Qué paisajes nos presenta? ¿Cómo se mueve y qué relaciones guarda con nuestro globo? ¿Son los planetas globos como la Tierra? ¿Cuál es su magnitud y cuánto distan de nosotros? ¿Qué se sabe de los satélites de Júpiter y de los anillos de Saturno? ¿Qué fué el memorable descubrimiento de Urano y el supremo triunfo intelectual que sacó á luz al planeta Neptuno? En cuanto á los demás cuerpos de nuestro sistema, ¿qué diremos de esos misteriosos objetos á que llamamos cometas? ¿Podemos observar orden alguno en sus movimientos aparentemente caprichosos? ¿Qué se sabe sobre su naturaleza y las maravillas que de ellos se cuentan? ¿Qué podemos decir acerca de las conocidas estrellas fugaces que tan á menudo se precipitan en nuestra atmósfera para extinguirse después de repente? ¿Qué de las constelaciones que existen desde la más remota antigüedad, y de las miríadas de estrellitas que nuestros telescopios descubren? ¿Podremos considerar realmente á esos innumerables orbés como otros tantos soles majestuosos sumidos á espantosas profundidades en los abismos del insondable espacio? ¿Qué diremos de todas las variedades de estrellas, de las estrellas de color, de las estrellas dobles, de las estrellas



múltiples, de las estrellas movibles, de las estrellas aparentemente fijas? ¿Qué son los admirables grupos formados por esas constelaciones que maravillan al observador? ¿Qué es la Vía Láctea? Y, por último, ¿qué se sabe de esas maravillosas nebulosas que nuestros telescopios nos permiten ver como flotando á incommensurable distancia en los mismos confines del universo? Tales son algunas de las preguntas que se ocurren cuando tratamos de penetrar en los misterios de los cielos.

La historia de la Astronomía es por algún concepto la misma que otras muchas historias. Su primera parte es completamente desconocida. Habían sido estudiadas ya las estrellas y se habían hecho grandes descubrimientos astronómicos en edades muy anteriores á las épocas á que alcanzan nuestros primeros recuerdos históricos. Así, por ejemplo, la percepción de los movimientos aparentes del Sol y de la Luna, y el conocimiento de los planetas por sus respectivas posiciones, datan ya de los tiempos prehistóricos. Y no se crea que tales estudios fueron todos de carácter elemental: á los hombres de nuestro siglo, familiarizados con las verdades que aquéllos encierran, podrán parecerles ahora simples y rudimentarios; pero, en la infancia de la ciencia, el primero que se presentó para demostrar alguna de esas grandes doctrinas, fué, sin duda, un muy sagaz filósofo.

De todos los fenómenos astronómicos, el primero y el más obvio es el de la salida y la puesta del Sol. Podemos conjeturar muy bien que en la aurora del desarrollo de la inteligencia humana ese fué probablemente uno de los primeros problemas que llamaron la atención de aquéllos cuyos pensamientos se sobreponían á las inquietudes y necesidades diarias para conservar la existencia. Un Sol se pone y desaparece en el oeste: este Sol es un cuerpo muy brillante, y la más simple reflexión indica que debe tener considerable importancia; á la mañana siguiente aparece un Sol por la parte de levante, avanza por el cielo y desvanécese en el oeste; reproduciéndose el mismo hecho todos los días. Para nosotros es obvio que el Sol que aparece cada día es el mismo; pero esto no sería una verdad evidente para aquel que creyese que la Tierra era una planicie de indefinida extensión y que alrededor de las regiones habitadas se extendían por todas partes, á distancias inmensas, vastos desiertos ó inaccesibles mares. ¿Cómo sería posible que el Sol, habiéndose sumergido en el océano á fabulosa distancia en el oeste, reapareciera á la mañana siguiente en un paraje igualmente lejano por el este? En los antiguos relatos mitológicos decíase que después de haberse sumergido el Sol en el Océano occidental, cuando se ponía (los iberos y otras naciones primitivas imaginábanse oír el fragor de las aguas cuando el brillante globo se hundía en ellas), Vulcano le recogía al punto, colocábale en una urna de oro y hacíale navegar dando la vuelta por el norte de modo que llegase al Este otra vez á tiempo para salir á la mañana siguiente. Hasta los más graves físicos de la antigüedad, según nos dice Aristóteles, creían que el Sol viajaba de una manera ú otra alrededor de la superficie de nuestro planeta por el Norte, y que la oscuridad

de la noche era debida á la elevación de las tierras que interceptaban la luz del Sol durante sus viajes nocturnos.

Hasta en los más primitivos tiempos pareció más racional suponer que el Sol proseguía su curso por debajo de la tierra sólida durante la oscuridad de la noche. Ya los primeros astrónomos, sin embargo, aprendieron á reconocer las estrellas fijas. Se vió que, de igual manera que el Sol, muchas de ellas salían y se ocultaban en su curso diurno, mientras que la Luna obedecía evidentemente á la misma ley; y así llegó á ser evidente que los diversos cuerpos celestes tenían la facultad de pasar por debajo de la tierra sólida. Una vez reconocido que todos los contenidos de los cielos ejecutaban estos movimientos, fué posible adelantar un gran paso en el estudio de la constitución del universo. Era claro que la Tierra no podía ser una planicie que se extendiese á una distancia indefinidamente grande, y también se evidenció que debía tener una profundidad determinada bajo nuestros pies. Además de esto, no quedó ya la menor duda de que, cualquiera que fuese la forma de nuestro globo, este último sería alguna cosa separada de todos los demás cuerpos y suspendida en el espacio sin apoyo visible. Cuando el hombre observó esto por primera vez, el hecho debió parecerle asombroso; y, en efecto, era difícil comprender que la tierra sólida en que nos hallamos no reposase en nada. ¿Qué la impediría caer? ¿Cómo podría sostenerse, á semejanza del sepulcro legendario de Mahoma, sin apoyo tangible? Sin embargo, por difícil que pareciera admitir el hecho, era la verdad y debía acatarse, con lo cual se dió el primer gran paso en la Astronomía.

Los cambios de las estaciones y el retorno de la época de las sementeras y de la recolección desde las más primitivas edades, se asociaron con otros cambios en la posición del Sol. A mediodía, durante el verano, el astro se eleva á gran altura en el cielo, mientras que en invierno está siempre bajo; y esto indicaba que tenía un movimiento anual de ascenso y descenso combinado con el movimiento diurno del orto y del ocaso. Pero, además de esos movimientos, efectuábase otro no menos importante, aunque no tan evidente, si bien se hacía reconocer por las más sencillas observaciones combinadas con el hábito filosófico de la reflexión. Los primeros observadores que se dedicaron á estudiar las estrellas no podrían menos de notar que las constelaciones visibles de noche variaban con la estación del año. Así, por ejemplo, la constelación de Orión, que se ve tan bien durante las noches de invierno, es invisible en verano, y en el lugar que ocupaba divisáanse otras estrellas muy distintas; sucediendo lo propio con otros cuerpos celestes. Añadiremos que en los antiguos días se guiaban algunas veces por la posición de las constelaciones durante la noche cuando era llegado el tiempo en que debía comenzar el ciclo de los trabajos agrícolas.

La reflexión sobre este punto debe haber demostrado muy pronto el movimiento annuo aparente del Sol. Se vió que la posición relativa de las

estrellas entre sí no se alteraba de una manera apreciable, y no se halló explicación respecto á los cambios de las constelaciones con las estaciones sino suponiendo que el lugar del Sol cambiaba de modo que pudiera recorrer todo el circuito del cielo en el trascurso de un año; deducción que se confirmaría fácilmente si se mirase de vez en cuando hacia el oeste después de la puesta del Sol, observando después las estrellas. A medida que la estación avanza se notará que todas las noches bajan más las constelaciones occidentales en dirección al Sol, hasta que al fin se acercan tanto á él que se ponen al mismo tiempo. Esto se explica sencillamente si se supone que el Sol se eleva poco á poco, pero de continuo, desde el oeste para encontrar las estrellas; movimiento que, por supuesto, no se ha de confundir con el movimiento diurno ordinario de que participan todos los cuerpos celestes, tanto más en cuanto que, además de este movimiento, el Sol tiene otro muy lento en dirección opuesta; de modo que si el Sol y una estrella se ocultan hoy al mismo tiempo, el Sol habrá avanzado mañana un poco hacia el este relativamente á la estrella, resultando de aquí que esta última se pondrá algunos minutos antes que el Sol (1).

Las pacienzudas observaciones de los primeros astrónomos permitieron reconocer el curso del Sol por el cielo, y vióse que en su circuito annuo seguía invariablemente el mismo camino, atravesando iguales constelaciones. La faja de éstas, especialmente distinguida así, se conoce con el nombre de *zodiaco*, mientras que el círculo por donde cruza el Sol se llama la *eclíptica*. El *zodiaco* se dividió en doce partes iguales ó *signos*, y así quedaron convenientemente indicadas las etapas de la gran jornada del Sol.

Parece que en las primitivas edades se conoció también con exactitud la duración del año ó el período requerido por el astro para recorrer su curso alrededor del cielo; y la habilidad de los antiguos geómetras se demostró igualmente por las exactas mediciones que tomaron para determinar la posición de la eclíptica respecto al ecuador, y el ángulo que hay entre estos dos importantes círculos celestes.

También se comprendieron, en una antigüedad á que no alcanzan los recuerdos históricos, los principales fenómenos que presentaba el movimiento de la Luna. La más ligera observación nos revela la importante verdad de que ese astro no ocupa una posición fija en la bóveda celeste; y, á decir verdad, su movimiento entre las estrellas es un fenómeno mucho más fácil de reconocer que el del Sol entre las mismas, pues durante el curso de una sola noche basta una mediana atención para observar el movimiento de la Luna de oeste á este á través del cielo. Es muy probable que este movimiento de la Luna entre las estrellas se descubriera antes que el movimiento annuo del Sol, puesto que bastaba para ello la simple observación, sin ejercitar mucho cualquiera facultad intelectual.

---

(1) Debe advertirse que nunca se ve la puesta de una estrella, pues á causa de nuestra atmósfera deja de ser visible antes de llegar al horizonte.

También se descubrió el tiempo de revolución de la Luna, y se atribuyeron correctamente sus fases al diverso aspecto que presenta la porción iluminada del astro cuando está vuelta hacia la Tierra.

No se crea que se reducen á éstos los grandes descubrimientos que han llegado hasta nosotros desde los tiempos prehistóricos: el admirable fenómeno del eclipse lunar, durante el cual la brillante superficie de la reina de la noche queda sumida algún tiempo en la oscuridad, y el espectáculo más imponente aún que nos ofrece el eclipse de Sol, en el que el mismo astro rey queda oscurecido en parte ó del todo, fueron explicados correctamente desde remotísimas épocas; y, por otra parte, la sagacidad de los primitivos astrónomos descubrió las cinco estrellas errantes ó planetas, trazando los movimientos de Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Habíanse reconocido tímidamente las diversas configuraciones de esos planetas, y, así como el Sol, y en menor grado la Luna, se asociaban íntimamente con los asuntos de la vida diaria; por manera que en la imaginación de aquellos primeros investigadores los movimientos de los planetas produjeron profunda impresión, porque se creyeron amenazadores y presagio de alguna calamidad. Sin embargo, observóse, al fin, que en los caprichosos movimientos de los planetas reinaba cierto orden, y se reconoció que obedecían á ciertas leyes. El estudio de la geometría progresaba dándose la mano con el de la Astronomía; y, al salir de las oscuras edades prehistóricas para pasar al período histórico, encontramos ya una teoría bastante coherente para explicar los fenómenos celestes.

Aunque la doctrina de Ptolomeo está basada, como todos saben, en una apreciación extravagante respecto al verdadero lugar de la Tierra en el sistema celeste, los movimientos aparentes de los cuerpos se explican mediante aquel sistema con la mayor exactitud. La citada teoría está desarrollada en la grande obra de Ptolomeo titulada *El Almagesto*, escrita en el segundo siglo de nuestra era y que durante los catorce siguientes se consideró como autoridad decisiva en todas las cuestiones astronómicas.

Ptolomeo vió que la figura de la Tierra era globular y demostrólo con los argumentos de que nos servimos hoy día; también observó cómo el inmenso globo se mantenía en equilibrio en lo que él consideraba como centro del universo; y admitió que el movimiento diurno en todo el sistema se podría explicar por la revolución de la Tierra sobre su eje, pero expuso razones para rechazar esta opinión. Según él, la Tierra era un cuerpo fijo: no tenía movimiento de rotación ni de traslación, sino que permanecía constantemente en reposo en el centro del universo; y, en cuanto al Sol y la Luna, supuso se movían en órbitas circulares alrededor de la Tierra en el centro. Los movimientos de los planetas eran más complicados, porque se debían tener en cuenta los que son retrógados algunas veces, así como los directos. La antigua geometría rehusaba admitir que ningún movimiento, excepto el circular, pudiese ser perfecto, y en su consecuencia convínose en suponer que cada planeta verificaba su revolución en un

círculo, mientras que el centro de éste describía otro alrededor de la Tierra. Debe admitirse que semejante teoría, aunque tan diferente de la que ahora admitimos como verdadera, explicaba bastante bien los movimientos de los planetas.

Tal era el sistema astronómico que prevaleció durante la edad media y que al fin fué desechado cuando apareció la grande obra á que Copérnico había consagrado su vida. El descubrimiento del verdadero sistema del universo fué casi simultáneo con el del Nuevo Mundo por Colón. Los primeros principios establecidos por el ilustre astrónomo dejaron sentado que el movimiento diurno del cielo se debía en realidad á la rotación de la Tierra sobre su eje. Copérnico demostró la diferencia entre los movimientos verdaderos y los aparentes, probando que la salida y la puesta del Sol y de las estrellas se podía explicar tan bien suponiéndose que la Tierra giraba, como admitiendo con Ptolomeo que estaba fija; suposición que en concepto del célebre astrónomo era una teoría absurda. El segundo punto importante, cuya demostración estaba reservada á Copérnico para su mayor gloria, consistió en determinar la verdadera posición de nuestro planeta en la fábrica del universo. Transfirió el centro, alrededor del cual giran todos los cuerpos celestes, desde la Tierra al Sol; y sentó la verdad, algo humillante, de que el globo que habitamos no es, después de todo, sino una parte del sistema planetario que efectúa su revolución alrededor del Sol siguiendo una línea entre los pasos de Venus y de Marte.

Tales fueron, bosquejados brevemente, los grandes principios que destruyeron de la astronomía los graves errores sobre la importancia de la Tierra. El descubrimiento de Copérnico fué seguido muy pronto de la invención del telescopio, ese admirable instrumento por el cual se creó la ciencia astronómica y del que nos ocuparemos, como asunto de grande importancia, en el primer capítulo de nuestro libro.



---

## CAPITULO I

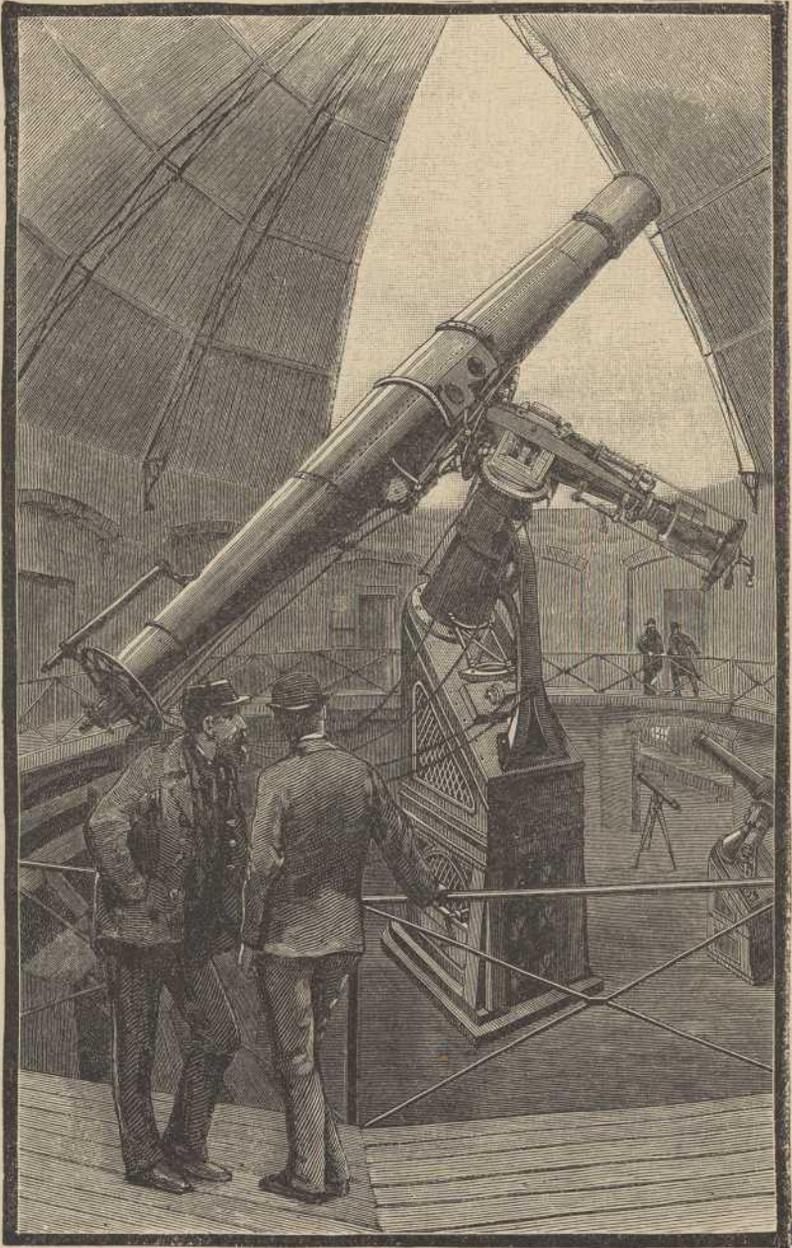
### EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO

Primeras observaciones astronómicas.—El observatorio de Tycho Brahe.—La pupila del ojo.—Visión de los objetos lejanos.—El telescopio.—Ventajas del telescopio grande.—El ecuatorial.—El observatorio.—Potencia de un telescopio.—Telescopios reflectores.—El gran reflector de lord Rosse en Parsonstown.—Cómo se usa el telescopio de gran potencia.—Instrumentos de precisión.—El círculo meridiano.—Las líneas de araña.—Delicadeza en el manejo del telescopio.—Precauciones que deben ser necesarias para tomar las observaciones.—El instrumento ideal y el instrumento práctico.—Eliminación de los errores.—Los gemelos de teatro como instrumento astronómico.—La Osa mayor.—Recuento de las estrellas de la constelación.—Cómo se puede llegar á ser observador.

TAN poco conocidos son los primeros vestigios de los observatorios astronómicos como los más remotos descubrimientos de la Astronomía misma. Es probable que la primera aplicación de instrumentos á las observaciones de los cuerpos celestes consistiera en la extremadamente sencilla operación de medir la longitud de la sombra proyectada por el Sol á ciertas horas. Las variaciones de longitud de un día á otro, y su máxima y mínima periódicas, suministrarían datos de mucho valor en las primeras tentativas que se hicieron para estudiar los movimientos del Sol; pero, ya en épocas muy lejanas de los otros, se usaban aparatos astronómicos de mucha complicación, que revelaban conocimientos no poco extensos en la ciencia.

El primer grande adelanto en este sentido se debió al célebre Tycho Brahe, nacido en 1546, tres años después de la muerte de Copérnico. Parece que aquel sabio fijó por primera vez su atención en la astronomía á consecuencia del eclipse solar ocurrido el 21 de agosto de 1560. El fenómeno produjo honda impresión en su espíritu por el hecho de haberse anunciado de antemano, y desde entonces resolvió consagrar su vida al estudio de una ciencia que revelaba tan maravillosa previsión.

En 1576 el rey de Dinamarca estableció á Tycho Brahe en la isla de Huen, donde puso á su disposición el magnífico observatorio de Uraniberg. Aquí fué donde Tycho observó asiduamente la posición de los cuerpos



EL GRAN TELESCOPIO DE VIENA

celestes durante unos veinte años, acumulando observaciones que, en manos de Kepler, debían conducir á éste á descubrir los movimientos planetarios. Comparados con nuestros modernos aparatos astronómicos, los de Tycho Brahe eran muy primitivos y groseros. En su tiempo no se había inventado el telescopio aún, y sólo era posible determinar la posición de los cuerpos celestes de una manera comparativamente vaga; pero la habilidad y paciencia de Tycho compensaron en alto grado la imperfección de sus instrumentos, y, por lo tanto, podemos decir que con él comenzó la época de las observaciones astronómicas seguras.

La aplicación del telescopio por Galileo comunicó maravilloso impulso al estudio de los cuerpos celestes. Ese hombre extraordinario se destaca como una de las figuras más notables en la historia de la Astronomía, no sólo por su relación con su supremo descubrimiento, sino por sus triunfos en las partes más abstractas de la Astronomía. Galileo fué quien primero echó con toda solidez los cimientos de la dinámica, que tiene en la Astronomía su más espléndida ilustración; y él fué quien desarrolló más y mantuvo la gran doctrina de Copérnico, lo cual le atrajo las iras de la Inquisición.

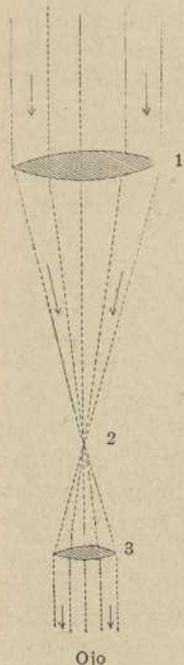
La estructura del ojo mismo, y más particularmente la exquisita adaptación de la pupila, nos ofrecen un ejemplo del principio del telescopio. Para ver un objeto es necesario que la luz que de él se proyecte se introduzca en el ojo, y la puerta que tiene para entrar es la pupila. Durante el día, cuando hay mucha claridad, el iris disminuye gradualmente el tamaño de la pupila, y, como entonces esta última se contrae, no puede entrar tanta luz. De noche, por el contrario, la pupila se dilata, dejando penetrar más luz según se va ensanchando, hasta que por fin adquiere sus mayores dimensiones; y así se gradúa la admisión de la luz de la manera más perfecta.

Las estrellas nos envían sus débiles rayos de luz, y estos rayos forman una imagen en la retina; pero aun en la pupila más abierta puede suceder que la imagen no tenga todavía suficiente brillo para excitar la sensación de la visión, y aquí el telescopio viene en nuestro auxilio, pues recoge todos los rayos en uno solo, que puede penetrar en la pupila. Así tenemos la imagen en la retina con un brillo más intenso, es decir: iluminada con casi tanta luz como la que se obtendría á través de una pupila cuyas dimensiones igualaran á las del objetivo del telescopio.

En nuestros observatorios astronómicos se encuentran dos clases de telescopios enteramente distintas. Las más familiares formas son las conocidas con el nombre de *refractores*, en los cuales se efectúa por refracción la operación de condensar los rayos de luz; pero se puede conseguir el mismo objeto de una manera muy diferente, utilizando las leyes de la reflexión, y, en su consecuencia, muchos telescopios, incluso los instrumentos más colosales construídos hasta aquí, se conocen con el nombre de *reflectores*. En la fig. 2 se representa la forma del refractor. Los rayos que par-

ten de la estrella caen sobre el objetivo que se halla en la extremidad del telescopio, y, después de pasar á través de él, se refractan en un rayo convergente, de manera que todos se intersectan en el foco. Divergiendo desde aquí, encuentran el ocular, que los reduce otra vez al paralelismo; y el gran rayo refractado formado en el objetivo concéntrase así en uno pequeño, que puede penetrar en la pupila. La naturaleza compuesta de la luz

Rayos de luz de la  
estrella



Ojo  
1. Objetivo.—2. Foco.  
3. Ocular

FIG. 2. — PRINCIPIO DEL  
TELESCOPIO REFRACTOR

exige una más compleja forma de objetivo que la simple lente representada aquí. En los telescopios modernos se hace uso del objetivo llamado *acromático* que consiste en una lente de *flint-glass* y otra de *crown-glass* combinadas entre sí.

Bien se puede comprender que cuanto mayor sea el objetivo, mayor será la cantidad de luz recogida y más potencia tendrá el telescopio para revelar con su ayuda los más lejanos y diminutos objetos. Hé aquí por qué, al esforzarse para aumentar la potencia de los telescopios, cada generación de astrónomos ha procurado obtener objetivos mayores que los usados por sus predecesores en la carrera.

En las figuras que se acompañan representáanse observatorios astronómicos construídos para colocar un telescopio de moderadas dimensiones. La que lleva el n.º 3 es la reproducción, por el grabado, de la rotonda erigida en el observatorio de Dunsink para el telescopio ecuatorial, cuyo objetivo fué presentado al Colegio de la Trinidad, de Dublin, por el difunto sir Ja-Louth. La parte principal del edificio es una pared circular sobre la cual descansa un techo hemisférico en el que hay una ventanilla que se puede abrir para colocar el telescopio en dirección al cielo. Toda la techumbre es giratoria, de modo que la ventanilla quede en el sitio que más convenga para examinar uno ú otro punto del cielo. El segundo grabado (fig. 4.) es la exhibición de un corte del techo para que se vea el mecanismo mediante el cual el ayudante hace girar el techo lo mismo que el telescopio. El ojo del observador está aplicado al ocular en el acto de dar la vuelta á un manubrio que puede mover el telescopio lentamente á fin de dirigirla al punto deseado. Un telescopio montado de la manera indicada aquí, se llama un *ecuatorial*, y la conveniencia de esta forma consiste en la facilidad con que se puede mover el instrumento para seguir con la vista á cualquier cuerpo celeste en sus jornadas alrededor del cielo. Los movimientos necesarios están arreglados por un aparato de relojería; por manera que, una vez correctamente enfilado el instrumento y dado cuerda al aparato citado, la estrella permanece en el campo visual del observador, á pesar del aparente

movimiento diurno. Las dos lentes que constituyen el objetivo miden 12 pulgadas de diámetro (0' 250 m.) y de su buena construcción depende principalmente el mejor resultado en las funciones del telescopio. El ocular se compone meramente de una ó dos pequeñas lentes. Pueden emplearse va-

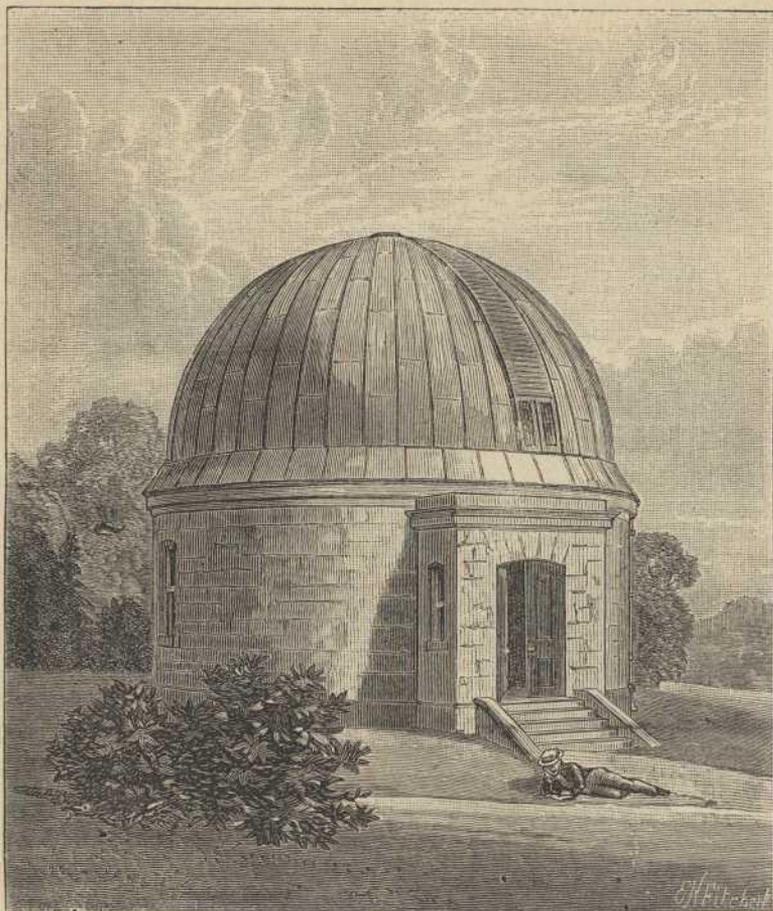


FIG. 3. — ROTONDA DEL TELESCOPIO ECUATORIAL SOUTH EN EL OBSERVATORIO DE DUNSINK, COLEGIO DE DUBLIN

riós oculares, según el aumento que se desea obtener. Hay que observar, sin embargo, que, para muchos fines de la Astronomía, no es de desear una potencia de amplificación elevadísima. El objetivo sólo puede recoger cierta cantidad de luz; y si la fuerza del aumento es demasiado considerable, aquélla se dispersará en una extensa superficie, no siendo entonces el resultado satisfactorio.

La potencia de un telescopio refringente, si podemos llamarlo así, se mide por el diámetro de su objetivo. Entre varias naciones civilizadas se ha observado hasta aquí cierta rivalidad sobre la posesión del mejor telescopio refringente, y entre los más grandes de este tipo que hasta ahora se han conocido figura el que construyó hace poco Mr. Howard Gruble, de Dublin para el magnífico observatorio de Viena. Las dimensiones de

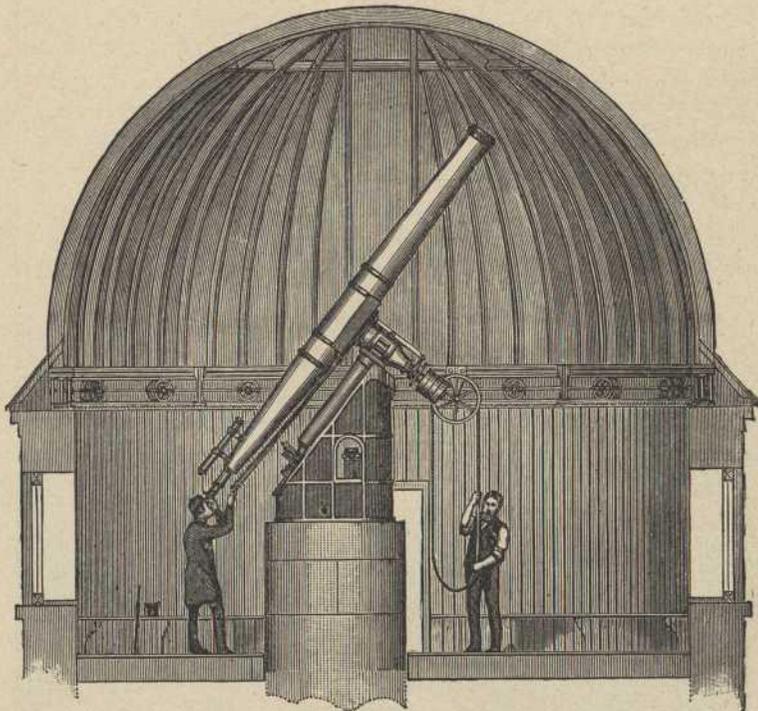


FIG. 4. —SECCIÓN DE LA ROTONDA DEL OBSERVATORIO DE DUNSINK

este colosal instrumento (fig. 1) se podrán apreciar por el hecho de que el objetivo mide 2 pies y 3 pulgadas de diámetro (unos 70 centímetros). Muchos ingeniosos mecanismos obvian los inconvenientes que puede ofrecer el uso de un instrumento de semejantes proporciones; pero aquí sólo diremos algo sobre el método seguido para que los círculos graduados fijos en el telescopio se pongan fácilmente á la vista del observador. Estos círculos se hallan situados en partes del instrumento muy lejanas del ocular junto al cual se halla el observador; pero se pueden divisar muy pronto con el auxilio de pequeños tubos telescópicos auxiliares( véanse en la figura junto al ocular), que por medio de reflectores convenientes conducen los rayos de luz desde los círculos iluminados al ojo del observador. El movi-

miento de relojería de este enorme instrumento es también digno de notarse, pues se mueve por la electricidad, de modo que el poderoso tubo sigue á la estrella con una precisión casi matemática.

Se han construido numerosos telescopios refringentes de admirable perfección, aumentándose gradualmente sus dimensiones; y no hace mucho se ha visto uno, verdaderamente gigantesco, cuyo objetivo no mide menos de 30 pulgadas (75 centímetros) de diámetro. Este aparato fué construido por los Sres. Alvan Clarck, de Cambridgeport, Boston, Mass, para los astrónomos de Rusia.

Podría preguntarse si es posible construir telescopios refringentes mayores aún. La dificultad consiste, sobre todo, en el material de los objetivos, pues los fabricantes de cristal tropiezan con muchos obstáculos en sus tentativas para construir grandes discos de cristal óptico bastante puro y uniforme para convenir á los telescopios. Las dificultades aumentan cuando son mayores las dimensiones del instrumento, y esto es lo que impide por ahora la construcción de telescopios refringentes tan grandes como en algunas partes se desearían.

Sin embargo, se puede construir un telescopio en que no se tropiece con semejante dificultad. La forma más sencilla de reflector es la representada en la fig. 5, que dará idea del instrumento de Herschel. Los rayos de la estrella caen en un espejo esmeradamente pulimentado y de forma idónea, de modo que después de la reflexión se reúnen en un foco y, divergiendo desde aquí, van á caer sobre el ocular del cual emergen reducidos al paralelismo y propios para ser recibidos por el órgano de la visión. Este es el principio esencial en cuya virtud, aunque con una reflexión adicional, se construyó el más poderoso telescopio conocido hasta aquí. Este célebre instrumento se fabricó hace cuarenta años por el difunto conde de Rosse en Parsonstown, y ningún otro ha podido rivalizar con él por sus gigantescas dimensiones. El reflector es un grueso disco metálico compuesto de una aleación de dos partes de cobre por una de estaño, lo cual constituye un metal duro y quebradizo, impropio para las operaciones mecánicas, pero susceptible de un brillante pulimento y de tomar y retener

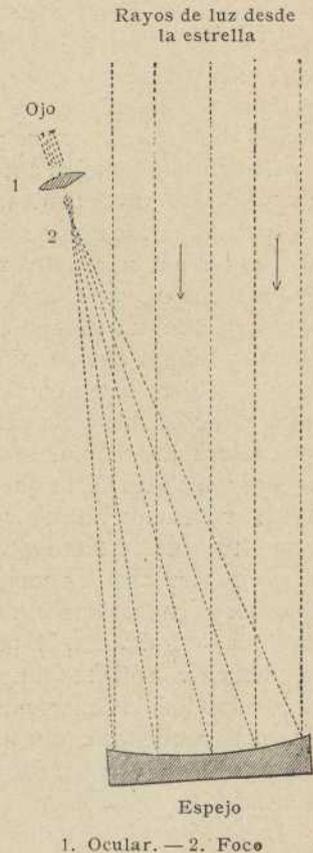


FIG. 5.—PRINCIPIO DEL TELESCOPIO REFLECTOR DE HERSCHEL

una figura exacta. El gran reflector, de 6 pies de diámetro (180 centímetros), reposa en la extremidad de un tubo de 60 pies de longitud (18 metros), montado entre dos murallas almenadas de mampostería, según se representa en la fig. 6. Este instrumento no se puede dirigir hacia cualquiera parte del cielo como los ecuatoriales de que antes se habló: el reflector no tiene más movimiento que de arriba abajo á lo largo del meridiano, y otro lateral más ligero hacia el este ó el oeste. Ya se comprenderá, sin embargo, que, si bien el telescopio no se puede enfocar en cualquier momento á una estrella dada, todas las que sean visibles en la latitud de Parsonstown se podrán observar si se miran á su debido tiempo.

Cuando el objeto es acercar al meridiano, sea un planeta ó un cometa, una estrella ó una nebulosa, se levanta el telescopio á conveniente altura, lo cual se verifica por medio de una cadena que va desde la boca del instrumento á una polea situada en la extremidad norte de las paredes y que permite elevar el aparato ó bajarle. Un ingenioso sistema de contrapesos facilita un movimiento igual. El observador se sitúa después en la elevada galería que da acceso al ocular, y cuando llega el momento oportuno el objeto entra en el campo de la visión. Un inmenso mecanismo de relojería, colocado en la extremidad superior del tubo, comunica movimiento al colosal telescopio, de modo que el observador puede seguir con la vista el cuerpo celeste hasta que ha tomado sus medidas ó concluido su dibujo.

Así vemos que, á pesar de las estupendas dimensiones de este telescopio (el tubo es bastante grande para que un hombre alto pueda pasar por él sin encorvarse), es comparativamente fácil observar con él; pero no ha de creerse que un aparato tan colosal pueda convenir á todos los propósitos de la Astronomía. El poderoso reflector es principalmente útil cuando se quieren ver objetos muy diminutivos ó poco marcados; pero, tratándose de tomar medidas exactas de los que no tengan tal condición, los telescopios más pequeños convendrán mucho mejor. Entre otros grandes reflectores podemos citar el construído por Mr. Common, de Ealing, de 3 pies (90 centímetros) de abertura y muy perfecto como instrumento óptico.

Las verdades fundamentales de los movimientos de los cuerpos celestes se han averiguado con auxilio de instrumentos de moderada potencia telescópica, comparativamente, dispuestos sobre todo para facilitar las mediciones exactas en cuanto á la posición. En los primeros períodos de la historia de la Astronomía, sin embargo, se practicaron importantes observaciones para reconocer una posición dada sin auxilio del telescopio, y haciendo sólo uso de ciertos artificios que indicaban la dirección del objeto.

En nuestros modernos observatorios, las más importantes mediciones son las que se obtienen con el más exacto de todos los instrumentos de precisión, cual es el círculo meridiano. No nos parece oportuno hacer aquí una minuciosa descripción del aparato, ni aun de ninguna de sus múltiples formas; pero también es imposible, al escribir la historia de los cielos, no referirse alguna vez á ese instrumento fundamental, y por lo tanto reseña-

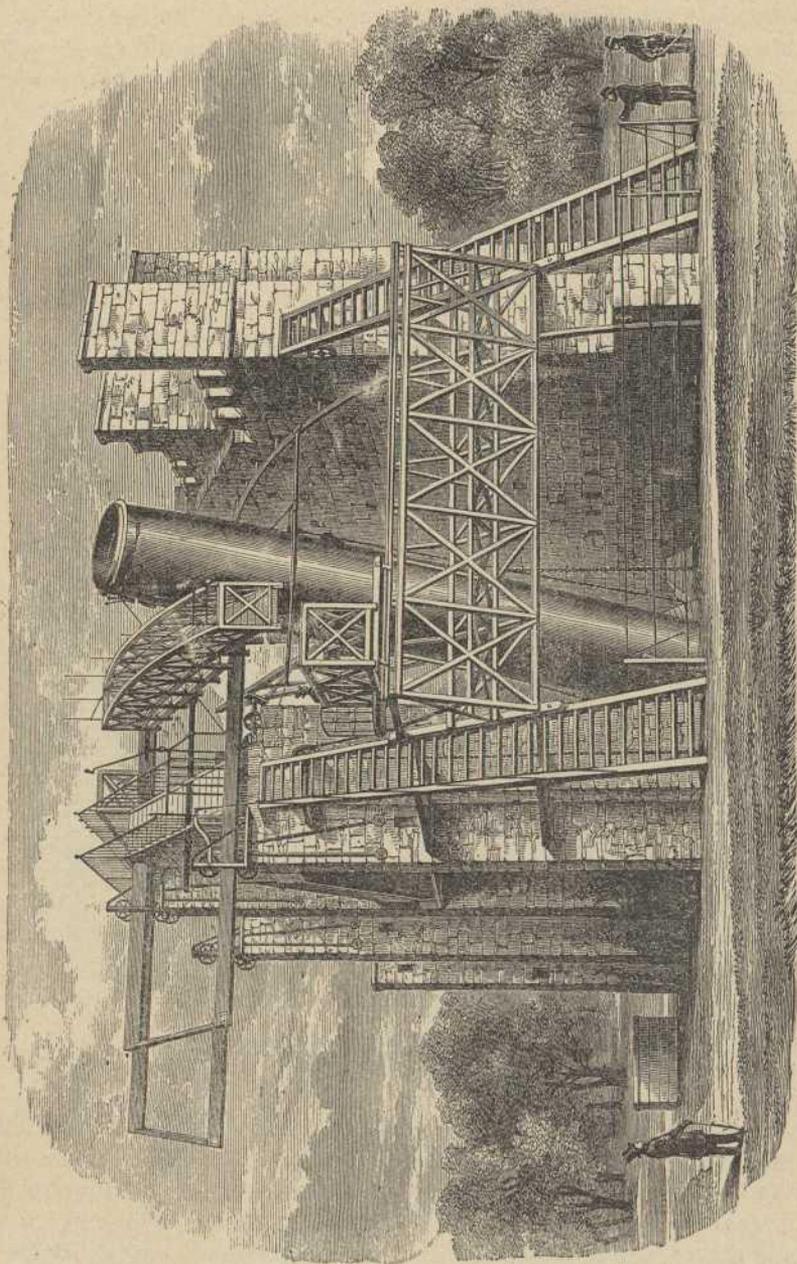


FIG. 6.—EL TELESCOPIO DE LORD ROSSE

remos brevemente una de sus formas más sencillas, eligiendo para ello el gran telescopio del Observatorio de París, representado en la fig. 7.

El telescopio está fijo en su centro sobre un eje en ángulo recto con su longitud, y dispuesto de tal modo que sus movimientos se limitan completa-

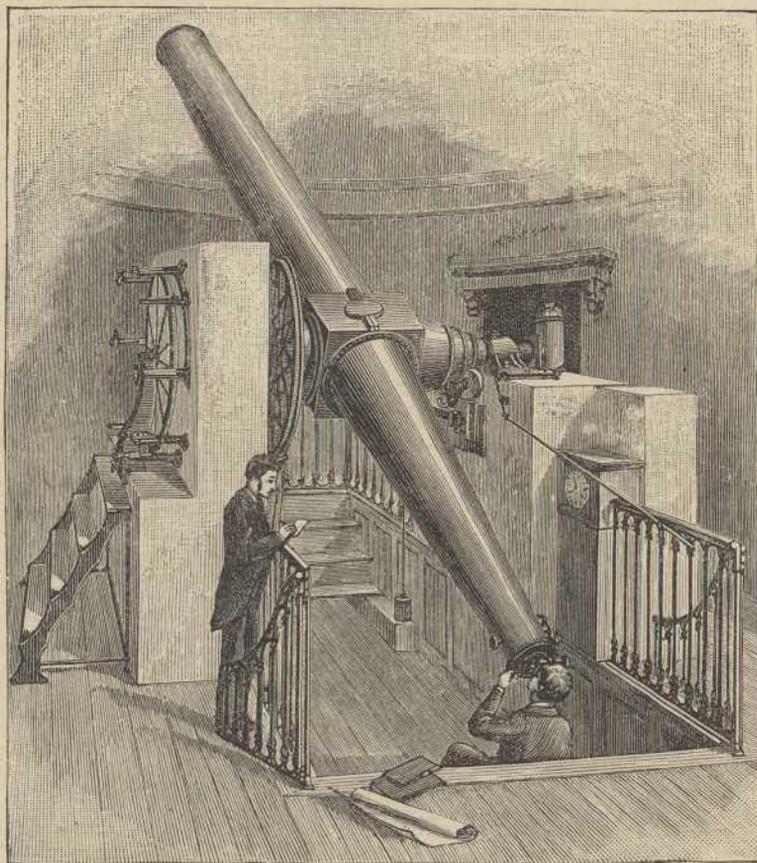


FIG. 7. — CÍRCULO MERIDIANO

mente al plano del meridiano. Dentro del ocular del telescopio hay trazadas unas líneas verticales sumamente finas. El observador vigila el momento en que la luna, estrella ó planeta, ó lo que fuere, entra en el campo de la visión, y anota el segundo, ó fracción de segundo, sirviéndose del reloj, cuando el objeto pasa sobre cada una de dichas líneas. El círculo fijo en el telescopio está dividido en grados y subdivisiones de grado, y, moviéndose con el telescopio, indica la elevación á que éste se halla enfocado.

Para leer con toda exactitud en el círculo se usan microscopios, repre-

sentados en nuestra figura, adaptándose cada uno de ellos á una abertura de la pared que sostiene uno de los espigones. En el lado opuesto hay una lámpara cuya luz atraviesa el espigón perforado é ilumina después las líneas en el foco.

Estas líneas, que el observador ve trazadas sobre el campo de la visión del aparato, exigen dos palabras de explicación. Para el objeto se requiere una línea muy fina y duradera, elástica y de muy poco ó ningún peso; condiciones que no puede llenar ningún alambre metálico, pero que se hallan reunidas de una manera admirable en los magníficos hilos tejidos por la araña, los cuales se tienden hábilmente á través del campo de la visión del telescopio, asegurándolos en su debido lugar. Con instrumentos preparados así es fácil comprender la precisión de las modernas observaciones. El aparato se enfoca hacia una estrella, y su imagen es un diminuto punto de luz. Cuando se hace coincidir este punto con la intersección de dos hilos de araña centrales, el telescopio está convenientemente enfocado.

En nuestros grandes observatorios hay magníficos instrumentos de esta especie, destinados tan sólo á tomar las medidas en que se basan principalmente las verdades astronómicas. Esos instrumentos se construyen con la más refinada habilidad, pero es de ver cómo el más concienzudo astrónomo desconfía por todos estilos de la perfección de un aparato. El gran tubo puede ser de una estructura tan rígida como la que producen los mejores ingenieros mecánicos; las divisiones del círculo se habrán ejecutado tal vez por un consumado grabador; mas, á pesar de esto, el astrónomo celoso no confiará en la precisión mecánica. El círculo meridiano, que una persona no iniciada considerará tal vez como un trabajo maravilloso de ilimitada exactitud, no tendrá quizás las necesarias condiciones para el astrónomo que debe servirse del aparato. Nadie puede apreciar tan bien como él la destreza del artífice constructor y los ingeniosos mecanismos que contribuyen á la perfección del instrumento; pero, sin desconocer las ventajas de éste, el astrónomo tiene siempre en la mente otro instrumento ideal de absoluta perfección, á la cual no alcanza el círculo meridiano. Comparado este último con el aparato ideal, resulta no ser más que un cúmulo de imperfecciones. El tubo ideal es del todo rígido: el tubo actual es flexible; todas las divisiones ideales del círculo son perfectamente uniformes, mientras que los del instrumento actual carecen de esta condición; el instrumento ideal es un encajamiento geométrico de círculos perfectos, de líneas rectas y ángulos perfectamente rectos: el instrumento actual sólo puede dar círculos aproximados, líneas rectas aproximadas y ángulos rectos aproximados. Los hilos de araña son tal vez la mejor parte de la obra, porque nos dan mecánicamente la mayor aproximación á la línea recta perfecta; pero ofrecen el inconveniente de no permitirnos su colocación con la necesaria uniformidad, al paso que nuestros esfuerzos para tender dos de esos hilos á través del campo de la visión en ángulos rectos no bastan para producir con exactitud uno de noventa grados. Por otra parte, no todas las dificultades encontra-

das en el meridiano se deben al instrumento. El observador puede carecer de la suficiente habilidad, y á menudo tropieza con varios contratiempos que no está en su mano prevenir. Notorias son las molestias que la atmósfera le ocasiona, y su instrumento le demuestra no pocas veces que no puede confiar ni en la misma tierra sólida. El círculo meridiano le hace ver que los terremotos, que en ciertas ocasiones nos infunden tanto pavor, no son otra cosa sino ejemplos más marcados de los continuos y universales movimientos de la tierra que todas las noches alteran la delicadeza del instrumento.

Cuando se ha reconocido la existencia de estos errores se habrá dado el primer gran paso. Mediante una alianza entre el astrónomo y el matemático es posible medir las diferencias é irregularidades que separan el círculo meridiano ideal del que el hombre construye; y, una vez hecho esto, será dado apreciar el efecto que todas las irregularidades pueden producir en las observaciones, depurando estas últimas de los grandes errores que tal vez contengan. De este modo es posible obtener observaciones, no matemáticamente exactas, pero sí muy aproximadas á las que practicaría un consumado astrónomo sirviéndose de un instrumento ideal de geométrica exactitud colocado en un suelo del todo rígido y con el cual se viese el cielo sin la interposición de la atmósfera.

No es necesario usar tan grandes instrumentos como los que hemos descrito para obtener alguna idea del auxilio que el telescopio nos presta mostrándonos las celestes glorias. El instrumento más conveniente para comenzar los estudios astronómicos está á nuestro alcance: es el catalejo ordinario que usan los capitanes de los buques; y si no se tiene esto, los gemelos de teatro servirán también. No tienen ni con mucho la potencia del telescopio, pero en cambio ofrecen otra ventaja, y es que con ellos se puede examinar una extensa región del cielo de una vez, mientras que con el telescopio sólo es dado observar una pequeña parte.

Supongamos que el observador se sirve de unos gemelos y quiere comenzar sin más auxilio sus estudios astronómicos. Lo primero que debe hacer es adquirir alguna noción acerca del célebre grupo de siete estrellas que adjunto se representa (fig. 8), grupo que los astrónomos consideran como una parte de la constelación llamada la Osa Mayor (vulgo *las Siete Cabrillas* y parcialmente *el Carro*).

Hay muchos detalles interesantes en ese grupo, y el principiante debe aprender lo más pronto posible á identificar las siete notables estrellas, dos de las cuales,  $\alpha$  y  $\beta$ , llamadas *los Perros*, son de particular importancia en la Astronomía, porque nos permiten hallar la más notable estrella del cielo, conocida con el nombre de *Polar*. En otro capítulo volveremos á tratar de las diversas constelaciones, pues nuestro único objeto ahora, al citar la Osa Mayor, es dar una idea sobre la inmensa riqueza de estrellas. Todo estudiante de Astronomía debe observar por lo pronto esta constelación, porque le hará comprender lo que se puede conse-

guir con el telescopio, revelándole la sublimidad de la celeste bóveda.

Fijémonos en esa región de la Osa Mayor limitada por las cuatro estrellas  $\alpha \beta \gamma \delta$  (*el Carro*), que forma una especie de rectángulo, cuyos ángulos constituyen aquéllas, y en la primera noche serena tratemos de contar cuántas son visibles dentro de dicho rectángulo.

En rigor no son estrellas brillantes, pero cuéntanse dos ó tres que lo son lo bastante para verlas sin dificultad. Si es una noche tranquila y sin luna, tal vez se distingan diez ó doce, ó acaso más, según el alcance de la vista; pero cuando se dirijan los gemelos á la misma región, se observará un conjunto tan interesante como asombroso: en vez de unas cuantas es-

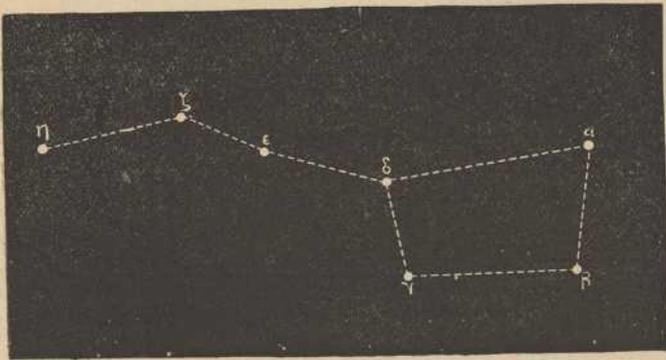


FIG. 8.—LA OSA MAYOR

La estrella más brillante es  $\zeta$ , apareciendo doble vista al telescopio.  $\alpha$  y  $\beta$  son *los Perros*.

trellas, que antes se distinguían con dificultad, divísanse un centenar sin el menor esfuerzo. Con los gemelos se verán diez veces más estrellas que sin auxilio del instrumento.

Con un telescopio se reconocen centenares de estrellas en la misma región, demasiado diminutas para distinguirlas con los gemelos; y cuanto de mayor potencia sea el aparato, más crecido será el número de las que se vean; de modo que si el instrumento fuese colosal se observaría muy bien que la región está sembrada de miles de estrellas.

Hemos citado la Osa Mayor porque es la constelación más generalmente conocida, mas no porque sea excepcional en cuanto á la riqueza de estrellas, pues en cualquier otra parte del cielo se demostraría del mismo modo la gran verdad de que las que distinguimos á la simple vista no constituyen sino una fracción sumamente pequeña del inmenso número de las que hay en el cielo. Ningún hombre acometería la empresa de contarlas; pero sí se han hecho varios cálculos, y nuestros telescopios demostrarían probablemente que hay al menos 50.000,000 de estrellas; de modo

que habría una estrella para cada hombre, mujer y niño en el más extenso país, y aun quedarían muchas para distribuirlas en otra parte.

Todo aquel que quiera estudiar el cielo y tenga á su disposición un buen telescopio *refringente*, con un objetivo de 3 pulgadas (75 milímetros) de diámetro, podrá entregarse á una ocupación muy recreativa en las noches apacibles. También debe proveerse de un atlas de las estrellas, del *Almanaque náutico*, y de la obra de Webb titulada *Cuerpos celestes para los telescopios comunes*; con lo cual tendrá un material astronómico bastante completo para que la ocupación le ofrezca el mayor interés.



---

## CAPITULO II

### EL SOL

Vastísimo volumen del Sol, más caliente que el platino en fusión.—¿Es el Sol el manantial de calor para la Tierra?—El Sol se halla á 92.700,000 millas de distancia.—Cómo se comprueba la magnitud de esta distancia.—Días y noches luminosos y cuerpos no luminosos.—Contraste entre el Sol y las estrellas.—El Sol es una estrella.—Las manchas solares.—Cambios en la forma de las manchas.—Estas son depresiones de la superficie.—Rotación del Sol sobre su eje.—Volumen y peso del Sol.—¿Es el Sol un cuerpo sólido?—Vista de una mancha solar típica.—Periodicidad de las manchas solares.—Relación que tienen entre sí.—Magnetismo terrestre.—Las fáculas.—Aspecto granuloso del Sol.—Las prominencias que le rodean.—Eclipse total de Sol.—Volumen y movimiento de las prominencias.—La corona que rodea el Sol.—Calor del Sol.

**A**L entrar en el examen de los orbes que nos rodean, comenzaremos naturalmente por el Sol, que por su esplendorosa brillantez tiene la preeminencia sobre los demás cuerpos celestes. Las proporciones de este astro están en relación con su importancia.

Los astrónomos pueden ahora medir el Sol, y han reconocido dimensiones tan enormes que causan verdadero asombro. El diámetro de ese astro, ó la longitud del eje que pasa á través del centro de un lado á otro, es de 865,000 millas; pero esta cifra del volumen del vasto globo no puede dar una clara idea de su grandor. Si se estableciese una línea férrea alrededor del Sol y saliéramos en un tren *express* que franqueara 60 millas por hora, deberíamos viajar día y noche durante cinco años para recorrer su circuito.

Si comparamos el Sol con la Tierra, aun resultará más estupenda su masa. Suponiendo que su globo se dividiera en un millón de partes, cada una de éstas excedería marcadamente por su volumen al que tiene la Tierra; y si el Sol se colocase en el platillo de una colosal balanza, poniendo en el otro 300,000 cuerpos tan pesados como la Tierra, aun se inclinaría el fiel hacia el Sol. La fig. 9. representa un círculo blanco grande y otro muy diminuto, y por ellos puede apreciarse el volumen comparativo de

nuestro planeta y el del astro solar: el círculo pequeño es la Tierra y el grande es el Sol.

La temperatura de este último tiene una intensidad que excede por mucho á la mayor que se puede producir artificialmente. En nuestros laboratorios se hace pasar una corriente galvánica á través de un alambre de platino: éste se calienta primero hasta el calor rojo y después hasta el calor blanco, adquiriendo una deslumbradora brillantez; hasta que al fin se funde y se rompe. Apenas se obtendría en los mejores altos hornos una

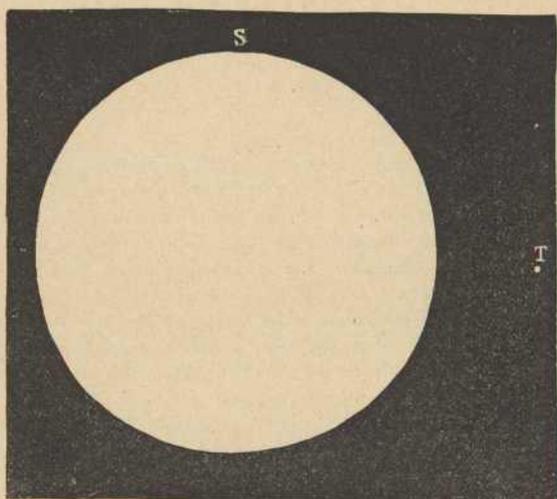


FIG. 9.—VOLUMEN COMPARATIVO DE LA TIERRA Y EL SOL  
S, el Sol. T, la Tierra.

temperatura superior á la del alambre de platino en fusión; pero aun así es más elevada la temperatura del Sol.

Sin embargo, debe admitirse que hay una aparente discrepancia entre el hecho de esta elevada temperatura solar y otro hecho físico muy conocido.—Si el Sol fuese caliente,—se ha dicho,—cuanto más nos acercásemos á él más calor tendríamos. Pero no sucede así: en la cima de una alta montaña estamos más próximos al Sol, y, á pesar de esto, todo el mundo sabe que allí se siente mucho más frío que en el valle que está en la falda. Si la montaña tuviese la elevación del Mont-Blanc, nos hallaríamos 2 ó 3 millas más cerca del Sol; y, sin embargo, allí se encuentra las nieves eternas en vez de más calor.—Un simple ejemplo nos dará la explicación. Si se penetra en un invernadero en un día de Sol, se verá que la temperatura es mucho más alta que fuera. El cristal permite á los rayos solares la entrada, pero no los deja salir con tanta facilidad, y por lo tanto la temperatura sube. En este punto podemos comparar nuestra Tierra con el invernadero, sólo que

en vez de estar rodeados de cristales nos circuye una enorme capa de atmósfera. Cuando estamos en la superficie de la Tierra es como si nos hallásemos en el invernadero, y nos beneficiamos de la interposición de la atmósfera; pero si se comienza á trepar por montañas muy altas, atravesamos gradualmente las capas de aquélla, y entonces se experimenta frío. Si la Tierra estuviese despojada de su capa de aire, en todo nuestro planeta reinarían los hielos eternos, así como en las cimas de las montañas.

La distancia del Sol á la Tierra es de unos 92.700,000 millas; pero esta cifra no da una idea muy exacta de su verdadera magnitud. A decir verdad, ese número es muy considerable. Trátase de contar: se necesitarían para esto tres días y tres noches, procediendo con la mayor rapidez posible, para completar un millón; y este trabajo debería repetirse cerca de noventa y tres veces antes de que hubiésemos contado todas las millas que median entre la Tierra y el Sol.

Todas las noches serenas vemos miles de estrellas esparcidas en el cielo, brillantes unas, pálidas otras, y agrupadas varias en formas notables. Al decir esto se nos podría preguntar si esos cuerpos brillan por su propia luz, como el Sol, ó si la reciben de éste. Fácil es contestar: las más de las estrellas brillan por su propia luz y su nombre es apropiado. Pero ahora se dirá: si el Sol y la infinidad de estrellas propiamente dichas son cuerpos luminosos de por sí, ¿qué diferencia hay entre el uno y las otras? Á decir verdad, no es comparable el esplendor del astro del día con la débil luz de las estrellas; pero esta diferencia no indica necesariamente que el Sol tenga un brillo intrínseco superior al de aquéllas. Lo cierto es que estamos situados comparativamente cerca del Sol para utilizarnos de su calor y de su luz; mientras que de las estrellas, aun de las más próximas, nos separa un inmenso abismo. Si el Sol se alejara poco á poco de la Tierra, su luz disminuiría; de modo que cuando hubiese penetrado en las profundidades del espacio, á una distancia comparable con la que nos separa de las estrellas, su brillantez se habría desvanecido; el astro dejaría de ser el majestuoso orbe tan familiar para nosotros; ya no sería manantial de calor, ni tampoco faro luminoso para disipar la oscuridad de la noche; su importancia no sería ya más que la de una estrella, y no tan brillante como muchas de las que vemos diariamente.

Esto nos conduce á deducir que las infinitas estrellas de nuestro cielo tienen una inmensa importancia; que cada una es de por sí un Sol poderoso que rivaliza, y en muchos casos aventaja, al esplendor del astro del día; y así formamos una elevada idea de las vastas dimensiones del espacio y del esplendor de las miríadas de globos que le ocupan.

El cuadro tiene otro aspecto cuya observación es útil. Podríamos recordar que nuestro Sol es una estrella, y de ningún modo muy importante. Si el Sol y la Tierra, y todo cuanto contienen, se desvaneciese, el resultado en el universo apenas sería otro sino que una diminuta estrella habría dejado de brillar; de modo que, considerado el Sol desde este punto de vista,

ocuparía un lugar insignificante en la poderosa fábrica del universo. Pero no hemos de mirarle como una estrella, pues su proximidad le da una importancia de incalculable trascendencia, muy superior á la de los demás cuerpos celestes. Nos retirábamos de él para obtener su verdadera perspectiva en el universo: acerquémonos ahora para fijar en él toda la atención que merec-

Á la simple vista diríase que el Sol es un círculo plano; pero exami-

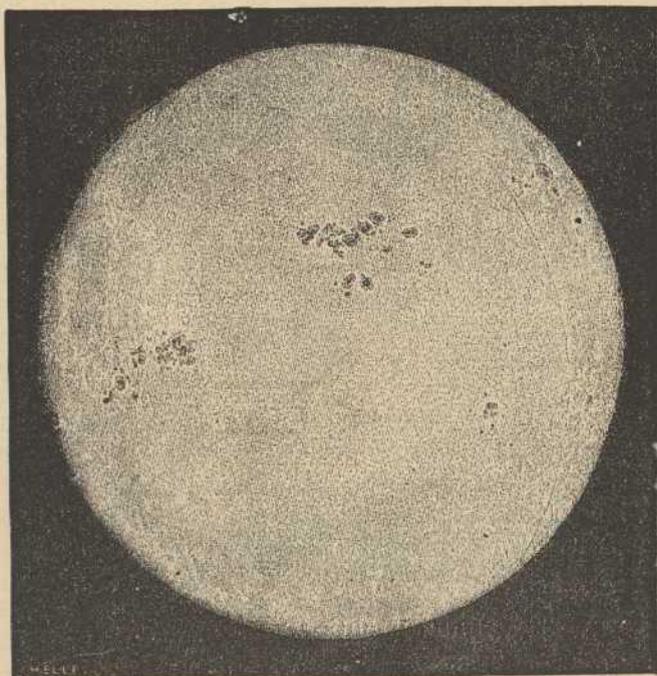
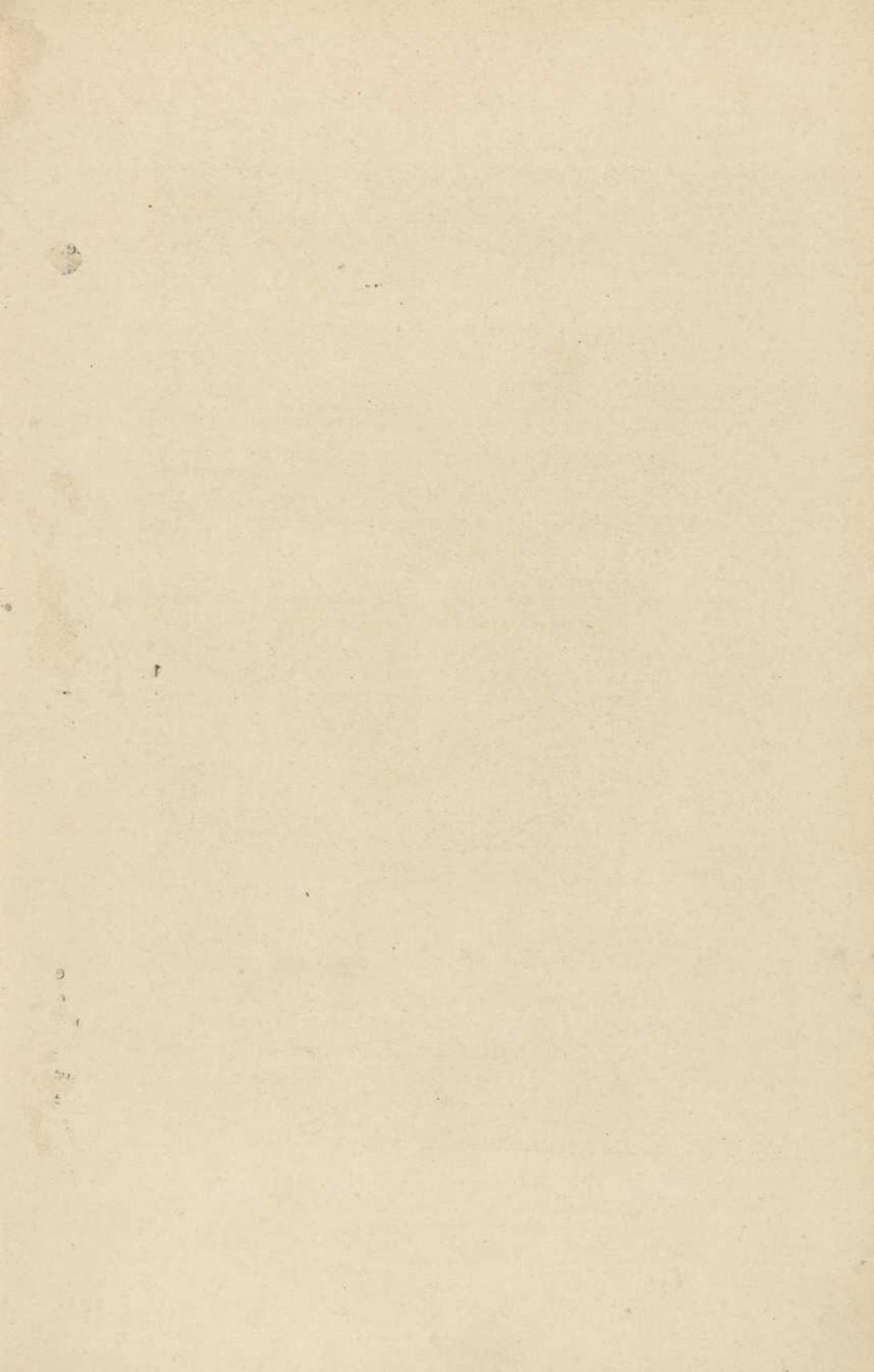


FIG. 10.—EL SOL

Fotografía del 22 de setiembre de 1870

nado con el telescopio, sirviéndose por supuesto de un lente de cristal de color ú otra cosa análoga para preservar el ojo, se observará que dicho astro no es una superficie plana, sino un globo deslumbrador del cual vemos un hemisferio. La primera pregunta que debemos contestar se refiere á la constitución de ese globo, diciendo por lo pronto si la materia brillante que le forma es una masa sólida, líquida ó gaseosa. Á primera vista se creería que el astro debe ser seguramente sólido: todos hemos visto el hierro calentado al blanco; y, naturalmente, podría pensarse que el Sol era una gigantesca bola de sustancia sólida en tal estado, ó alguna cosa análoga. Pero este modo de ver no sería exacto, y por esto demostraremos ante todo que el Sol no es un cuerpo sólido, por lo menos en cuanto se le ve.





MANCHA SOLAR TÍPICA

(SEGÚN LANGLEY)

Examínese el Sol en conjunto con un telescopio de moderadas dimensiones, y se le verá tal como se representa en la fig. 10 (1), observándose su contorno circular y su brillante superficie, en la cual se distinguirán además acá y acullá unas manchas oscuras, á las cuales se ha dado dicho nombre de *manchas* y que varían mucho en cuanto al tamaño.

Á veces, sin embargo, diríase que no hay ninguna en el Sol. En los primeros tiempos del telescopio, los descubridores de estas manchas fue-



FIG. 11.—MANCHA SOLAR ORDINARIA



FIG. 12.—ASPECTOS SUCESIVOS DE UNA MANCHA SOLAR

ron objeto de burlas. Se les dijo que el Sol era demasiado perfecto para tener manchas, y que era absurdo suponer que “el ojo del universo pudiera estar atacado de oftalmía.”

El carácter general de una mancha solar, según se ve con un telescopio de mediano tamaño, es el que se representa en la fig. 11, en la que la parte céntrica muy oscura contrasta con los bordes claros. Se han expuesto varias teorías en cuanto á la naturaleza de estas curiosas manchas; y lo primero que se supuso fué que eran objetos situados entre la Tierra y el Sol, los cuales se proyectaban en el segundo como sobre una especie de fondo. Fácilmente se puede prooar que no es así, examinando la misma mancha por espacio de algunos días. Aparece primero como la señalada con la letra *A* en la fig. 12, que representa una pequeña porción del Sol y otra de su borde, según se ve con un buen telescopio. *A* es una mancha del tipo ordinario, y su parte central parece negra por el contraste con la brillantez del fondo.

Alrededor del centro negro tenemos una región sombreada de un tinte más claro; y si observamos cuidadosamente la mancha, se verá que parece estar muy lejos del borde del Sol. Repítase la observación al día siguiente y se reconocerá que la mancha no ocupa ya la misma posición, hallándose más cerca del dicho borde, en el punto *B*. Y si se vuelve á observar al tercer día, se notará que la mancha alcanza la posición *C*, aproximándose más aún al borde del Sol.

También se descubrirá que el aspecto de la mancha ha sufrido un cambio. La porción sombreada de un lado ha disminuído hasta el punto de no

(1) Este dibujo es copia de una bellísima fotografía del Sol, sacada por Mr. Rutherford de Nueva York.

verse ya, y es porque la mancha se aproxima gradualmente al borde del Sol, hasta que por fin ya no se distingue sino en raras ocasiones, aunque no se representa así en el grabado.

Por esta observación se ha venido en conocimiento de que la mancha no puede ser un cuerpo flotante más arriba de la superficie del Sol, pues entonces el intervalo entre la primera y el segundo se reconocería cuando aquélla hubiese alcanzado el borde. Sin embargo, aunque debemos admitir que las manchas están realmente en la superficie del Sol, no convenimos con los antiguos filósofos en lo que decían de que aquéllas eran imperfecciones que no podía tener el ojo del cielo. Lejos de ser tales, su presencia ha sido muy útil en los días de actividad científica, porque nos enseñan mucho de las glorias del Sol, que de otro modo tal vez serían ignoradas aún.

Si un artista observase los cambios en el aspecto de la mancha á medida que se acerca al borde del Sol, podría creer que las aparentes alteraciones de su forma eran sólo efecto de una visión defectuosa, y deduciría que la mancha era realmente una cavidad en la superficie del Sol. Si las partes interiores del astro fueran mucho más oscuras que el exterior, y si las manchas fuesen realmente aberturas cóncavas á través de las porciones exteriores del Sol, se podrían explicar muy pronto algunos de los cambios en el aspecto de las manchas. Cuando la región está vuelta directamente hacia el observador, éste ve el fondo de la concavidad que deja en descubierto el oscuro interior del Sol. La vista de esta mancha está representada por *A*. Á medida que la mancha se aproxima más al limbo del astro, uno de los lados de la concavidad se reduce mucho, y el aspecto de la mancha está representado en *B*, observándose aquí que el borde sombrío de la mancha, en el lado izquierdo, es más estrecho que en el otro. Por último, cuando la mancha está sumamente cerca del limbo, un lado de la concavidad quedaría del todo oculto á la vista, y apenas se percibiría el oscuro interior, mientras que el lado opuesto de aquélla está distorsionado en una indebida prominencia. Sin embargo, no se puede considerar como cosa probada que las manchas solares sean en realidad depresiones de la superficie, y muchos astrónomos opinan de diferente modo en este punto.

En nuestro grabado (fig. 13), que se ejecutó hace más de doscientos cincuenta años, represéntase muy bien el progreso de las manchas sobre la superficie del Sol. El 2 de marzo de 1627, el hábil astrónomo Scheiner observó una mancha en la posición marcada con el número 2, precisamente en el borde del Sol; y al día siguiente pudo reconocer que había cambiado de sitio, tomando la posición 3. Scheiner, á quien el tiempo favoreció mucho, siguió el curso de la mancha durante once días. En el último debió interrumpir sus observaciones, pero señaló un blanco en su dibujo, marcando el sitio que á su modo de ver habría ocupado la mancha; y al día siguiente continuó su estudio. El 13 el cielo estuvo también nublado; pero el 14 nuestro astrónomo vió por última vez la mancha cuando se apro-

ximaba al borde del Sol y antes de su desaparición. En el mismo mes dióse el caso de que otra conspicua mancha fuera visible en el astro, y el celoso Scheiner señaló su lugar también. Hubo también interrupciones, debidas á los nublados, los días 11 y 13. En ambos casos la mancha viajó en la misma dirección, cruzando la faz del Sol en un período de doce ó trece días, poco más ó menos.

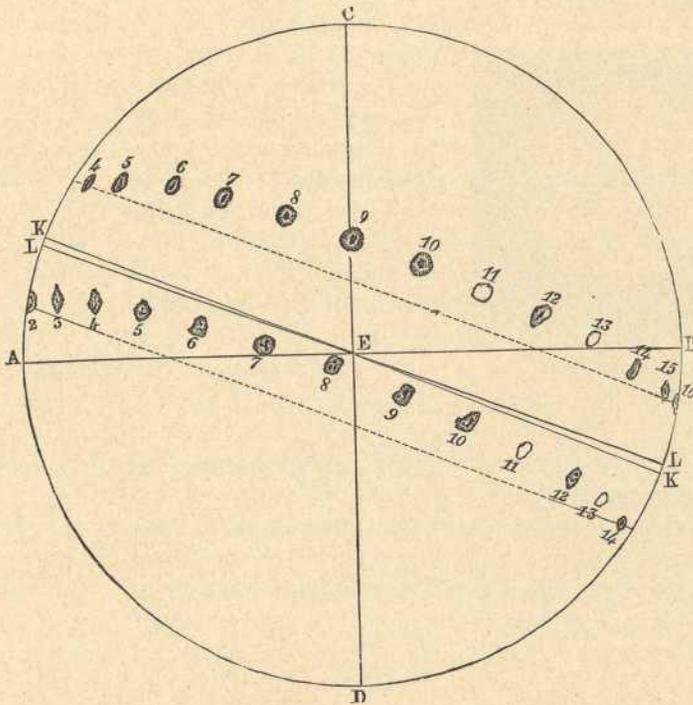


FIG. 13.—OBSERVACIONES DE SCHEINER SOBRE LAS MANCHAS SOLARES

Se ha observado invariablemente que estos objetos se mueven á través del astro luminoso en el mismo sentido, notándose también que cuando las manchas desaparecen en el borde de aquél, manteniéndose invisibles por espacio de doce ó trece días, reaparecen después á menudo en el lado opuesto. En su consecuencia es obvio que las manchas deben moverse alrededor del reverso del Sol en el mismo tiempo, poco más ó menos, que emplean para cruzar su anverso. Ulteriores investigaciones sobre este asunto han permitido medir los movimientos de las manchas con exactitud, y se ha demostrado que cada una de ellas efectúa una revolución completa alrededor del Sol en unos veinticinco días y cinco horas.

Tan notable carácter de los movimientos de las manchas requiere una explicación satisfactoria. ¿Cómo puede ser que todas, grandes y peque-

ñas, regulares ó irregulares, efectúen su revolución casi en el mismo tiempo? La solución del problema, muy sencilla, nos conduce desde luego á un descubrimiento muy importante.

Ya sabemos que el Sol es un globo, de la propia manera que lo es nuestra Tierra, y no ignoramos que esta última efectúa una rotación diaria sobre su eje; pero es natural preguntar si no sería posible que el astro lo verificase también. Si el Sol girase lentamente en un periodo de 25 días y 5 horas, poco más ó menos, el hemisferio que mira á la Tierra quedaría completamente vuelto del otro lado en 15 días, y así podríamos darnos cuenta desde luego del movimiento aparente de las manchas. Esta explicación es tan sencilla y satisfactoria, y se confirma por tantas otras razones, que toda duda se desvanece; y aquí tenemos, como primer fruto del estudio de las manchas, el muy interesante y notable descubrimiento de la rotación del Sol sobre su eje. Sin embargo, se ha demostrado que el tiempo de rotación de la mancha solar varía ligeramente con la posición de ésta: las observaciones hechas en el Ecuador dan para el periodo de rotación  $25 \frac{1}{3}$  días; mientras que, juzgando de las manchas á los  $30^\circ$  de latitud, dicho periodo de rotación dura para el Sol un día más, de lo cual se sigue que no podemos determinarlo con la misma exactitud que el de la Tierra. Sólo nos es dado decir que está en algún punto entre los dos extremos de 25 y  $26 \frac{1}{2}$  días.

No se ha de imaginar, sin embargo, que los únicos cambios en las manchas sean las variaciones de perspectiva resultantes de la rotación del Sol. De este movimiento participan igualmente todas ellas, pero hay otros cambios que se verifican de continuo en cada mancha. Algunas pueden durar varios días, semanas ó meses, pero no en sentido permanente; y después de una existencia más ó menos prolongada, las que hay á un lado del Sol desaparecerán, mientras que con igual frecuencia se dejarán ver otras nuevas en sendos lugares. La deducción que en vista de estos hechos podemos hacer no admite réplica: nos dice que la superficie visible del astro luminoso no es una masa sólida ni tampoco líquida, y que el Sol, por lo menos lo que de él vemos, se compone de materia en estado gaseoso ó vaporoso.

Las manchas solares parecen circunscritas á ciertas limitadas regiones de la superficie. Casi siempre se hallan en dos zonas, á cada lado del ecuador y entre  $10^\circ$  y  $30^\circ$  de latitud. Escasean comparativamente en el ecuador E E' (fig. 14), y hay muy pocas más allá de los  $35^\circ$  de latitud; mientras que, según la autoridad del profesor Young, sabemos que sólo se recuerda el caso de una mancha vista más allá de los  $45^\circ$  del ecuador solar y que fué observada en 1846 por el doctor Peters en Nápoles. La duración de una mancha solar por término medio es de unos dos ó tres meses: sólo se sabe de una que fué visible por espacio de ocho meses, en 1840 y 1841; pero hay, en cambio, algunas que solamente existen un día ó dos, ó pocas horas.

Debe observarse que las manchas solares suelen aparecer en grupos, y que con mucha frecuencia una grande va seguida de varias pequeñas más ó menos imperfectas. A menudo sucede que una de las grandes se divide en dos ó tres de menores dimensiones, y á veces se ha visto cómo estas últimas seguían distinta dirección, con una velocidad que en algunos casos no era inferior á mil millas por-hora. En raras ocasiones se ha observado un fenómeno del carácter más sorprendente, relacionado con las manchas solares; y es la aparición repentina de placas

de intensa brillantez, visibles algunos minutos, y que viajan con una velocidad de 100 millas por segundo. Uno de estos acontecimientos fué célebre por el extraordinario carácter del fenómeno, así como por la afortunada circunstancia de que su autenticidad se pudo confirmar por el testimonio independiente de dos hábiles observadores. En la tarde del 1.º de setiembre de 1859, dos bien conocidos observadores del Sol, Mr. Carrington y Mr. Hodgson, se hallaban ocupados en sus tareas: el primero en estudiar las posiciones, la configuración y el tamaño de las manchas por medio de una imagen solar sobre una pantalla, y el segundo, muchas millas más allá, en bosquejar algunos detalles de la estructura de la mancha solar. Ambos vieron simultáneamente dos objetos luminosos, semejantes por su forma á dos lunas, de unas 8,000 millas de longitud por 2,000 de anchura, y separados por la distancia de unas 12,000 millas. Dejáronse ver de pronto cerca del borde de una gran mancha solar, con una brillantez al menos cinco ó seis veces mayor que la de las partes inmediatas del Sol, y se encaminaron hacia el este en líneas paralelas disminuyendo de tamaño y debilitándose, hasta que á los cinco minutos desaparecieron, después de recorrer unas 36,000 millas.

Debemos hacer mención también de un hecho muy extraordinario que indica una íntima conexión entre el fenómeno de las manchas solares y el puramente terrestre del magnetismo. Se ha observado que cuando el número de esas manchas alcanza su máximo prodúcese simultáneamente una inusitada perturbación de la aguja magnética. Ya se sabe que la aguja se relaciona con los fenómenos de la aurora boreal, tanto más en cuanto que ésta parece ir acompañada invariablemente de una considerable perturbación magnética; y también se ha demostrado que existe un paralelismo casi perfecto entre la intensidad de los fenómenos aurorales y la abundancia de las manchas del Sol.

Además de estas coincidencias se han conocido casos especiales en que una perturbación peculiar del Sol se asoció con notables fenómenos magnéticos ó aurorales. El hecho observado por Mr. Carrington y Mr. Hodgson

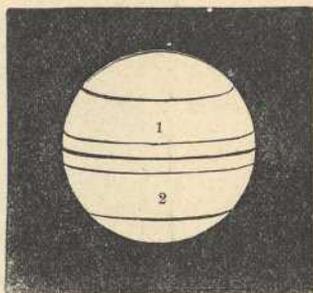


FIG. 14.—1, 2: ZONAS DE LA SUPERFICIE DEL SOL EN QUE APARECEN LAS MANCHAS

en 1859, citado antes, fué seguido inmediatamente por una tempestad magnética de inusitada intensidad, así como también por espléndidas auroras, no sólo en Europa y América, sino también en el hemisferio austral. El profesor Young cita un ejemplo interesante de análoga naturaleza. Hallándose ocupado en sus observaciones en Sherman el 1.º de agosto de 1872, notó una violenta perturbación en la superficie del Sol, y aquel mismo día le dijo el fotógrafo de la expedición (que, ocupado también en sus observa-

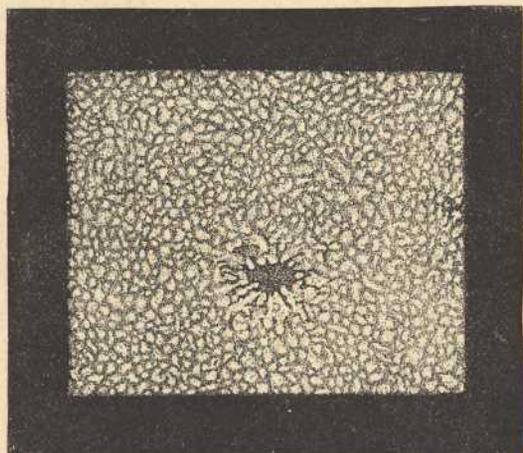


FIG. 15.—TEXTURA DEL SOL Y UNA MANCHA PEQUEÑA

ciones magnéticas, ignoraba lo que había visto el profesor) que le había sido forzoso suspender sus observaciones magnéticas á causa de las violentas fluctuaciones de la aguja. Después se supo que aquel mismo día estalló en Inglaterra una tempestad magnética.

Estas observaciones demuestran que hay *alguna* conexión entre los fenómenos solares y el magnetismo terrestre; pero ignórase en qué naturaleza sea, y ofrece un problema de mayor interés para los futuros trabajos de los astrónomos y físicos.

Otra misteriosa ley gobierna las manchas solares: su número fluctúa de un año á otro, mas parece que las épocas en que alcanzan su máximo se suceden con cierta regularidad. Las observaciones practicadas durante cerca de tres siglos demuestran que las manchas llegan á su máximo cada once años por término medio. El curso de uno de estos ciclos viene á ser como sigue: por espacio de dos ó tres años las manchas son más grandes y numerosas que de costumbre; después comienzan á disminuir, y al cabo de cinco ó seis pasan del máximo al minimum; luego aumentan otra vez, y en el mismo período de tiempo llegan de nuevo á su mayor número. La causa de esta periodicidad es una cuestión del más profundo

interés; mas por ahora no podemos resolverla, debiendo admitirse también que la verdadera naturaleza de las manchas solares es aún dudosa. Ninguna de las teorías propuestas explica de una manera satisfactoria *todos* los fenómenos que presentan cuando se ven con el telescopio y el espectroscopio, ni menos su peculiar distribución sobre el Sol y su maravillosa periodicidad.

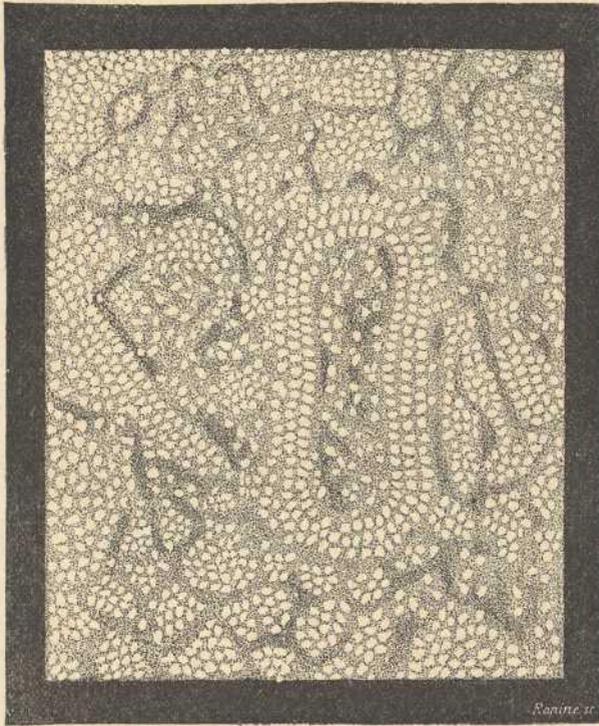


FIG. 16.—DIBUJO DE UNA NOTABLE DISPOSICIÓN DE LOS GRÁNULOS SOLARES, SEGÚN EL DOCTOR HUGGINS

Cuando la atmósfera permite observar bien, vemos que la superficie del Sol está moteada, digámoslo así, por notable manera, según se representa en nuestro grabado (fig. 15), en el cual se advertirá que la mancha central no es más que un ensanchamiento de uno de los diminutos poros marcados en la superficie. En un perfecto dibujo debido al avezado pincel del doctor Huggins (fig. 16) representase muy bien el aspecto granuloso que el Sol presenta á menudo. Esta curiosa disposición fué reconocida por otros muchos observadores, y se han sacado fotografías en que esos maravillosos gránulos parecen dispuestos con admirable regularidad.

Diríase que la superficie luminosa del Sol se componía de nubes de intensa brillantez, suspendidas en una atmósfera más oscura. Varios observadores creyeron que esos cuerpos flotantes son á veces de un tamaño y forma particulares característicos, asemejándose á "hojas de sauce" ó "granos de arroz." En la fig. 17 se ve la curiosa textura en forma de hoja de sauce que rodea una mancha solar. Rara vez deja esta última de producir el efecto de una perturbación violenta, como lo demuestra muy

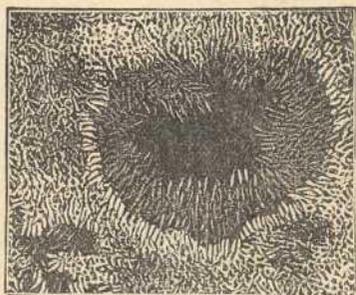


FIG. 17.—TEXTURA EN "HOJA DE SAUCE"  
DE LA SUPERFICIE SOLAR

bien el fino dibujo del profesor Langley (lámina II), en el cual representa una mancha observada del 23 al 24 de diciembre de 1873.

Cerca del borde del Sol, como se representa en la lámina III, se verán algunas de estas brillantes estrias ó placas llamadas *fáculas* (antorchuelas). Á menudo tienen enormes dimensiones y cubren áreas mucho más grandes que ninguno de nuestros continentes.

El margen del Sol está franjeado de objetos que ofrecen mucho interés, pero tan débiles que no se pueden ver en pleno resplandor del Sol, siendo invisibles

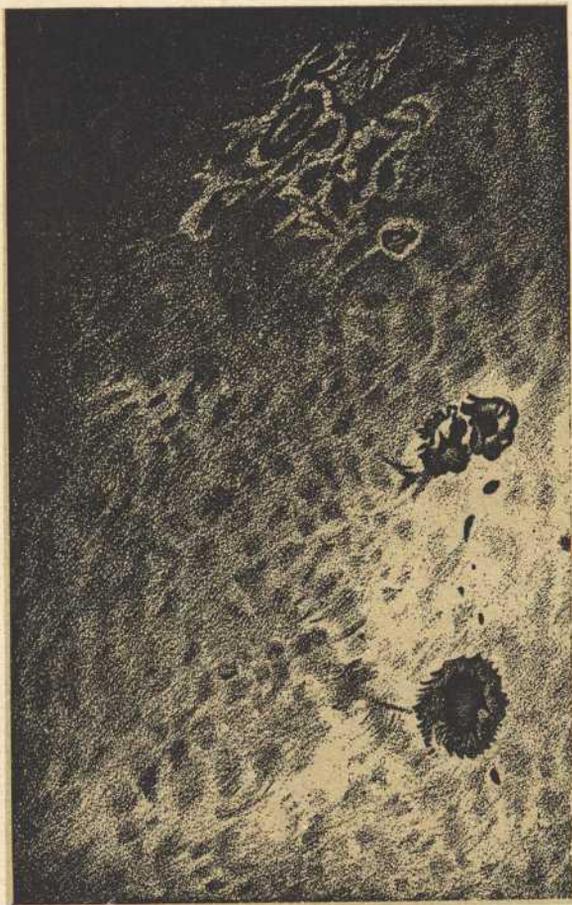
por la misma causa que lo son las estrellas á la luz del día. Vemos estas últimas de noche cuando el astro luminoso ha desaparecido, y del mismo modo distinguimos los citados cuerpos alrededor del Sol cuando la parte central brillante está oscurecida por un eclipse total, hecho raro, como todos saben.

Para que ocurra un eclipse de Sol, la Luna debe interponerse entre la Tierra y el astro rey. Ya hablaremos de esto en otro lugar, y por ahora nos limitaremos á decir que por el movimiento de la Luna podría suceder que ésta ocultara completamente el Sol, produciendo durante algunos minutos lo que llamamos el eclipse total; minutos preciosos para el astrónomo, porque reina la oscuridad sobre la Tierra, y en esas tinieblas se pueden ver cosas tan raras como magníficas.

La fig. 18 representa la vista de un eclipse total, como algunos de esos notables objetos llamados prominencias (*a, b, c, d, e*) y que se proyectan de la superficie del Sol. Rodéanle en otros tiempos de igual modo que en los eclipses, pero su luz es tan débil que la del astro luminoso les hace invisibles. Con la oscuridad que rodea el Sol durante un eclipse total, los fenómenos aparecen en toda su brillantez.

Se ha demostrado que esos curiosos objetos son realmente, como su aspecto lo indica, poderosas masas de gas deslumbrador; y se ha descubierto un ingenioso mecanismo por el cual es posible observar las prominencias sin el concurso de un eclipse. Nos anticiparíamos á tratar de lo que

LÁM. III



MANCHAS Y FÁCULAS DEL SOL

(DE UNA FOTOGRAFÍA DE MR. WARREN DE LA RUE, 20 SEPT. 1861)





debe ser asunto de otro capítulo si hiciésemos aquí una descripción detallada del aparato, y, por lo tanto, baste saber que el principio de método empleado depende del carácter peculiar de la luz de las prominencias que el espectroscopio nos permite aislar del deslumbramiento producido por los rayos solares ordinarios. Los astrónomos tienen ahora la gran ventaja de poder examinar las prominencias durante algunas horas en vez de limitarse á los pocos minutos del eclipse. Las prominencias parecen ser tan sólo porciones protuberantes de una capa de gas incandescente rojo que rodea el Sol. Ya hemos dicho que este gas se compone de hidrógeno, y probablemente de otras sustancias.

Majestuosas son, en verdad, las proporciones de algunas de esas poderosas llamas que brotan de la superficie del Sol y que ondean como nuestras llamas de la Tierra, presentando gigantescas dimensiones. Los dibujos de una misma prominencia nos revelan á menudo grandes cambios en pocas horas, cambios cuya magnitud sería por lo menos de algunos miles de leguas, debiendo notarse que la velocidad con que tales masas se mueven no baja á menudo de 1,000 millas por segundo. Sin embargo, más violentas son las convulsiones solares que algunos observadores han tenido la suerte de contemplar cuando desde la superficie del Sol, semejante á un inmenso horno, se proyectan enormes masas incandescentes. Todas las indicaciones nos presentan la superficie del Sol como centro de las más espantosas tempestades, en las que los vientos dispersan los incandescentes vapores con irresistible furia.

La notable facultad que el espectroscopio pone á nuestra disposición, permitiéndonos observar las prominencias sin un eclipse total, se ha utilizado en grande escala para sacar dibujos de aquéllas. La lám. 4. representa una magnífica vista de algunas tal como las observó Trouvelot con el gran telescopio de Cambridge (Estados Unidos). En los dibujos se reconoce el color rojo de esos objetos semejantes á llamas, descritos con poco acierto como prominencias, y en ellos se nota su maravillosa variedad de aspectos. De sus dimensiones se podrá formar juicio por la escala que acompaña la lámina: la prominencia más grande mide 80,000 millas de altura; pero muchos observadores citan algunas de mucha mayor elevación. Los rápidos cambios que presentan se indican bien en los dos bosquejos que hay á la izquierda de la línea inferior y que fueron dibujados en abril de 1872 tomándolos de una misma prominencia con un intervalo de veinte minutos.

La poderosa llama es tan colosal que su longitud equivale á diez veces el diámetro de la Tierra, y, sin embargo, en aquel breve período cambia com-

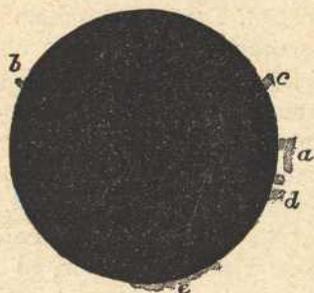


FIG. 18.—PROMINENCIAS  
MANIFESTADAS EN UN ECLIPSE TOTAL

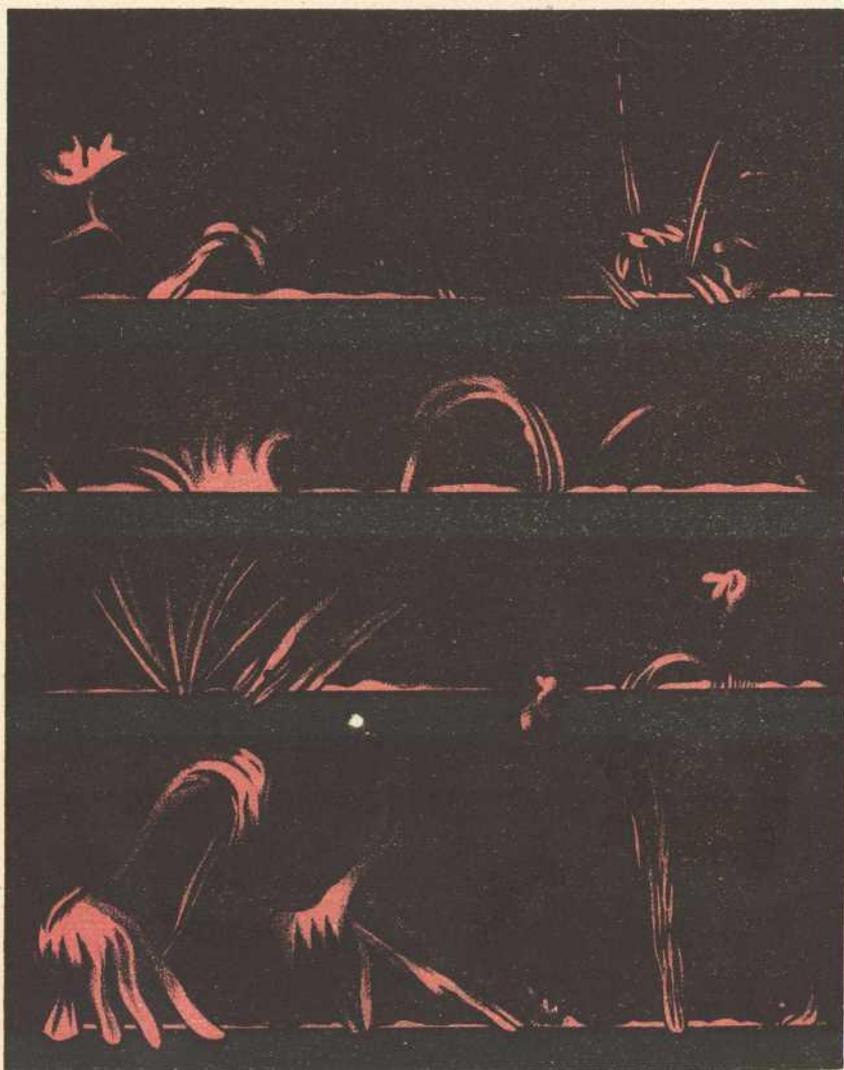
pletamente de aspecto. Su parte superior se ha desvanecido, y ya no se ve más que la porción representada por el dibujo entre las dos figuras de la línea que hay más arriba. En los dibujos se notan igualmente algunas protuberancias en forma de espigas, que se han visto varias veces en diferentes partes del Sol. Generalmente alcanzan alturas que no exceden de 20,000 millas; pero algunas se extienden á enormes distancias. Podemos hacer mención de un objeto de esa especie, del cual hizo una minuciosa descripción el profesor Young. En 7 de octubre de 1880 observóse una protuberancia, á eso de las diez y media de la mañana, en el limbo sudeste del Sol. Tenía entonces un aspecto inusitado, midiendo unas 40,000 millas de altura. Por lo pronto no llamó la atención particularmente, pero á la media hora observóse una trasformación maravillosa. Durante aquel breve intervalo la prominencia adquirió mucha brillantez, duplicándose su longitud. Por espacio de una hora la llama fué en aumento, y al fin alcanzó la estupenda altura de 350,000 millas, es decir, una distancia mayor que un tercio del diámetro del Sol. En este caso el fenómeno parecía haberse desarrollado en toda su fuerza. La llama se dividió en filamentos, y á las doce y media, es decir, en el intervalo de dos horas nada más, desde el momento en que se vió por primera vez, la gigantesca prominencia había desaparecido por completo.

Los hechos que acabamos de exponer nos indican la violencia de esas furiosas tempestades que perturban algunas veces la superficie del Sol. No cabe duda que esa vasta prominencia era excepcional por su magnitud y por los inmensos cambios de que fué precursora; pero, de todos modos, se puede tomar como base para calcular el máximo de aquéllos en la superficie del Sol. Su velocidad debió ser de 200,000 millas por hora: la poderosa llama surgió del astro luminoso con una velocidad que sería 100 veces más considerable que la de la bala de la mejor carabina.

El fenómeno más admirable del eclipse total de Sol es indudablemente la corona ó aureola de luz que entonces se ve alrededor del astro. En tal ocasión, cuando el cielo está claro, la Luna se oscurece hasta el punto de tomar un color semejante al de la tinta; apareciendo, no como una planicie, sino como la gigantesca bola negra que en realidad es. "Detrás de ella, —dice el profesor Young,— surgen por todas partes radiantes filamentos, rayos y flecos de argentada luz, los cuales alcanzan á una distancia á veces de varios grados desde la superficie del Sol, formando un halo irregularmente estrellado con el negro globo de la Luna en su centro aparente. La porción más inmediata al Sol tiene un brillo deslumbrador, pero aun le aventaja el de las prominencias, que por su fulgor no parecen sino carbunclos. Esta corona interior tiene generalmente una graciosa elevación uniforme que figura un anillo, separado por un contorno bastante marcado de la corona exterior, la cual se extiende á una distancia mucho más considerable y presenta una forma mucho más irregular. Generalmente hay varias *grietas* ó aberturas semejantes á estrechos rayos oscuros, que se extienden



Lám. IV



*Escala de millas inglesas*

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100,000

## PROMINENCIAS SOLARES

DIBUJADAS POR TROUVELOT EN EL COLEGIO HARVART, CAMBRIDGE,  
(ESTADOS UNIDOS), EN 1872

desde el mismo borde del Sol y se parecen á las sombras de las nubes que irradian del grande astro antes de una tempestad de truenos. La corona, en su conjunto, suele ser menos extensa y brillante en los polos solares, y hay una marcada tendencia á la acumulaci3n m1s arriba de las latitudes medias 3 zona de las manchas; de modo que la corona presenta una dispo-

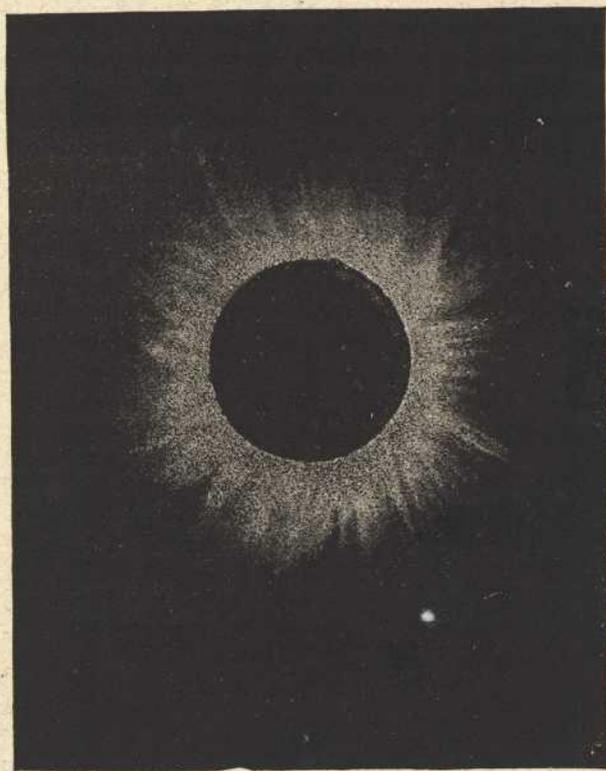


FIG. 19.—VISTA DE LA CORONA EN UN ECLIPSE TOTAL

sici3n como para tomar la forma de una estrella cuadril1tera 3 de cuatro radios, aunque en cada caso individual esta forma suele modificarse mucho por fl1mulas anormales en un punto 3 otro.<sup>4</sup> La fig. 19 dar1 una idea de la corona durante un eclipse total.

Tambi3n reproducimos en la lám. V el dibujo ejecutado por el profesor W. Harkness, que representa la corona seg1n resulta ser por la comparaci3n de un considerable n1mero de fotograf1as tomadas en diferentes puntos de los Estados Unidos durante el eclipse total del 29 de julio de 1878.

En cuanto 1 la precisa naturaleza de ese maravilloso ap3ndice, debemos esperar que se nos ilustre m1s sobre este punto. Tal vez, cuando

comprendamos las flámulas de la aurora boreal y las colas de los cometas, habremos averiguado alguna cosa sobre esas sustancias que constituyen la corona solar.

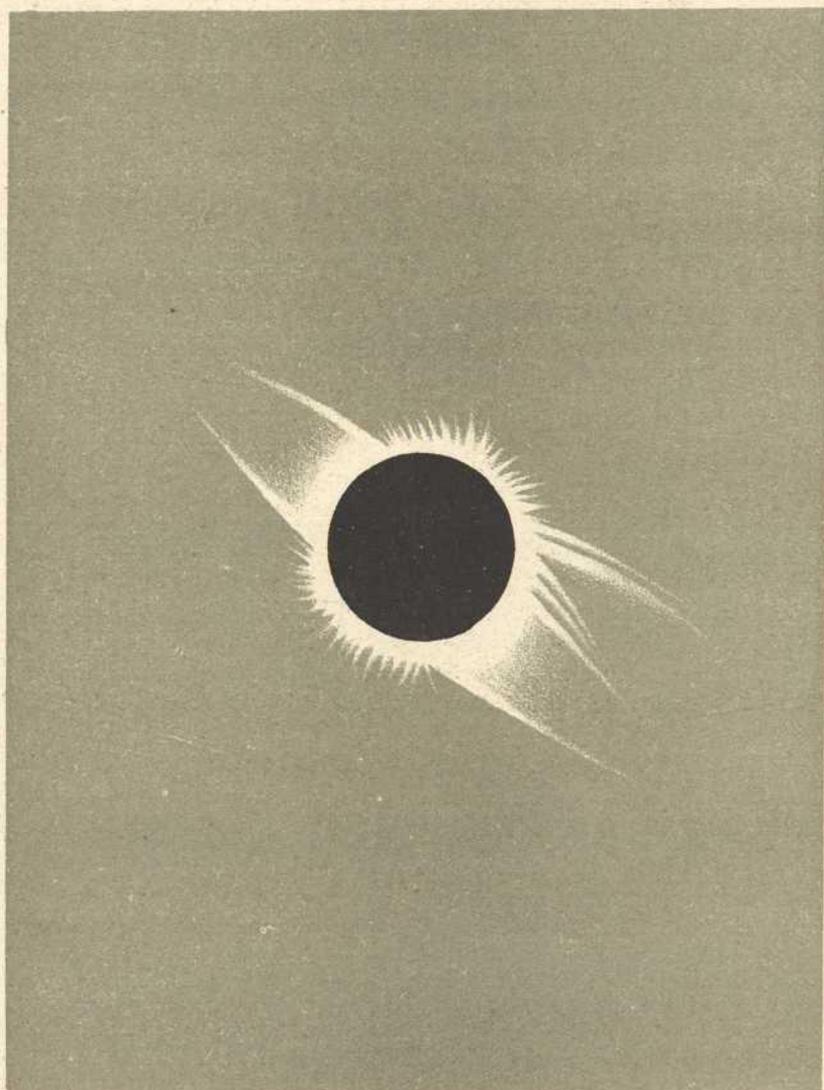
Un notable apéndice del Sol, que se extiende á una distancia mucho más considerable que la de la corona, produce el fenómeno de la luz zodiacal. Á veces se ve un brillo perlado que se esparce sobre una parte del cielo en la inmediación del punto donde el Sol ha desaparecido después de su puesta. El mismo espectáculo se puede observar antes de su salida, y diríase que la misma materia que produce la luz zodiacal, sea cual fuere, tiene una forma de lente, con el Sol en el centro. Su naturaleza ofrece todavía muchas dudas.

El Sol derrama en todas direcciones, con la más pródiga liberalidad, sus torrentes de luz y de calor, y la mayor parte de una y otro parece perderse inútilmente en las profundidades del espacio. Nuestra Tierra intercepta sólo una mera fracción, menor que la 2,000.000,000.<sup>a</sup> parte del todo; los otros planetas, y también la Luna, reciben asimismo una porción insignificante; pero ¿qué porción podrían utilizar de ese poderoso foco? Tan difícil es que la gota de agua que la golondrina recoge al vuelo en un río agote el caudal de éste, como que los planetas agoten todo el calor emanado del Sol. Si la irradiación solar se interceptase, todo cuanto vive en la Tierra dejaría de existir; una atmósfera inmóvil se extendería sobre un océano, que, si no helado, sólo se perturbaría por las ondulaciones de las mareas; y el silencio de muerte en toda la superficie de la Tierra sólo se interrumpiría de vez en cuando por el fragor de algún volcán.

Debemos dejar para otro capítulo la importante cuestión sobre el origen del calor solar, terminando el presente por una breve reseña de los beneficios que nos proporciona la benigna influencia del astro: sus rayos comunican la mágica fuerza que permite al trigo crecer y madurarse; el calor del Sol es el que eleva aguas del océano en forma de vapor, enviándolas después en forma de lluvia para refrescar la Tierra y llenar los ríos que conducen nuestros barcos á los mares; el calor del Sol, caldeando los grandes continentes, da lugar á las brisas y á los vientos que impelen nuestros buques á través del Océano; cuando en las noches de invierno nos sentamos alrededor del fuego, complaciéndonos en su agradable calor, en rigor disfrutamos de los rayos del Sol que brillaron sobre la Tierra hace innumerables siglos, porque el calórico del astro en aquellas remotas épocas desarrolló la poderosa vegetación de la época carbonífera, y bajo la forma de carbón ese calor ha estado inerte millones de años, hasta que nosotros le pusimos de nuevo en actividad; la fuerza del Sol, almacenada como carbón, es la que hace funcionar nuestras máquinas de vapor y la que nos proporciona el gas que ilumina nuestras ciudades.

La facultad de vivir y movernos, la abundancia que nos rodea, las bellezas que adornan la naturaleza entera, todo, en fin, se debe á un astro entre los que pueblan el espacio, y este astro es el Sol.

LAM. V



ECLIPSE TOTAL DE SOL, 29 JULIO 1878

LA CORONA SEGÚN FOTOGRAFÍAS



---

## CAPITULO III

### LA LUNA

La Luna y las mareas.—Utilidad de la Luna en la navegación.—Los cambios de la Luna.—La Luna y los poetas.—¿De dónde proviene la luz de la Luna?—Dimensiones de la Tierra y de la Luna.—Peso de la Luna.—Cambios en la dimensión aparente.—Variaciones en su distancia.—Influencia de la Tierra sobre la Luna.—El paso de la Luna.—Explicación de las fases lunares.—Eclipses lunares.—Cómo se producen los eclipses de Sol.—Visibilidad de la Luna en un eclipse total.—Cómo se predicen los eclipses.—Utilidad de la Luna para encontrar la longitud.—La Luna no se relaciona con el tiempo.—Topografía de la Luna.—Dibujo de Triesnecker.—Volcanes de la Luna.—Cráter lunar normal.—Las sombras de las montañas lunares.—El micrómetro.—Alturas lunares.—Antigua actividad de la Luna.—Opinión de Nasmyth sobre la formación de los cráteres.—La gravitación en la Luna.—Diversas dimensiones de los cráteres lunares.—Otros caracteres de la Luna.—¿Existe la vida en ese astro?—Carencia de agua y de aire.—Explicación sobre el aspecto rugoso de la Luna.—Posibilidad de la vida en lejanos cuerpos del espacio.

**S**i la Luna dejara de existir de improviso, al punto tendríamos noticia del hecho por el trastorno producido en todos los puertos de mar, pues las mareas cesarían casi, los buques no podrían salir, ni tampoco entrar los que se hallasen fuera, y en el comercio marítimo del mundo reinaría una espantosa confusión.

La Luna es la que principalmente ocasiona el flujo y reflujo del mar, y esta es la más importante obra del astro. Las flotas de barcas pescadoras que recorren nuestras costas calculan sus movimientos diarios por la marea, y deben por mucho á la Luna su facilidad para entrar y salir del puerto; mientras que los marinos más prácticos nos aseguran que las mareas son de la mayor utilidad para la navegación. En otro capítulo veremos cómo se producen, y también daremos á conocer la maravillosa parte que parecen haber tenido en la pasada historia de nuestro globo.

¿Quién no habrá observado con admiración las magníficas series de cambios por que la Luna pasa todos los meses? Primero la vemos en un gracioso creciente de luz pálida en la parte occidental del cielo después de ponerse el Sol; una noche y otra se aleja más y más hacia el E., hasta llegar á su lleno, y elévase poco más ó menos á la misma hora en que el

Sol se pone. Desde el tiempo del plenilunio, el disco de luz comienza á disminuir hasta llegar al último cuarto, y entonces se ve la Luna alta por la mañana. Con el transcurso de los días fórmasé otra vez el creciente, que disminuye poco á poco á medida que la Luna se acerca más al Sol; por último se pierde en la esplendorosa luz del astro luminoso, vuelve á salir como Luna nueva, y pasa por el mismo ciclo de cambios.

La brillantez de la Luna es debida tan sólo á la luz del Sol, que hiere la sustancia oscura ó no luminosa de la Luna. Del torrente inmenso de luz que el Sol derrama con tanta prodigalidad en el espacio, el cuerpo oscuro del astro de la noche intercepta una pequeñísima parte, y de ella refléjase una fracción mínima para iluminar la Tierra. La Luna da tanta luz y parece tan brillante, que á menudo es difícil recordar de noche que ese astro no tiene más luz sino la que recibe del Sol; y, sin embargo, la superficie de la Luna en su lleno no es tal vez más brillante que las calles de una gran ciudad en un buen día de sol.

Una sencilla observación bastará para demostrar que la Luna no tiene más luz que la del astro luminoso: míresela una mañana á la luz del día y compáresela con las nubes; la brillantez de éstas y la de la Luna son directamente comparables, y así se ve claramente que el Sol que ilumina las nubes ha iluminado también la Luna. Se ha tratado de medir el brillo relativo de ésta y del Sol, y calcúlase que si 600,000 lunas derramaran á la vez su luz, su brillo colectivo equivaldría al del Sol.

El magnífico creciente de la Luna ha servido de tema á muchos poetas; y si nos aventurásemos á hacer una ligera crítica, diríamos que no parece sino que algunos de aquéllos han olvidado que la Luna no se ve cada noche. Si se quiere hacer de esta última alguna descripción poética, seguro es que se asociará con la del astro en alguna de sus fases visibles.

Entre los innumerables cuerpos celestes, el Sol, los planetas y las estrellas, la Luna tiene un título especial para llamar nuestra atención, por ser nuestra más próxima vecina. Puede suceder que cualquier cometa se acerque alguna vez á nosotros más que la Luna; pero, excepto este caso, los demás cuerpos celestes se hallan todos á centenares, ó miles, y hasta millones de veces más lejos que la Luna.

Este astro es realmente entre los otros cuerpos, uno de los más pequeños que son visibles para nosotros. Cada una de las mil y mil estrellas que se distinguen á la simple vista es enormemente mayor que la Luna: su brillantez y aparente tamaño resultan del hecho de hallarse ese astro solamente á 240,000 millas de nosotros, distancia infinitamente pequeña si se compara con las de las estrellas y de otros grandes cuerpos celestes.

La fig. 20 representa las dimensiones relativas de la Tierra y de la Luna: el globo pequeño es la Luna y el grande nuestro planeta. Si medimos los actuales diámetros de ambos se verá que el de la Tierra es de 7,918 millas, y el de la Luna de 2,160; de modo que el primero equivale casi á cuatro veces el segundo.

Si se dividiese la Tierra en cincuenta pedazos de igual tamaño, uno de ellos, modelado en forma de globo, tendría el volumen de la Luna. La extensión superficial del astro viene á ser igual á una décima tercera parte de la superficie de la Tierra. El hemisferio de la Luna vuelto hacia nosotros presenta en cualquier momento una área equivalente, poco más ó menos, á una vigésimaséptima parte de la de la Tierra, ó, calculando por aproximación, es como una mitad el área de Europa. Los materiales de nuestro

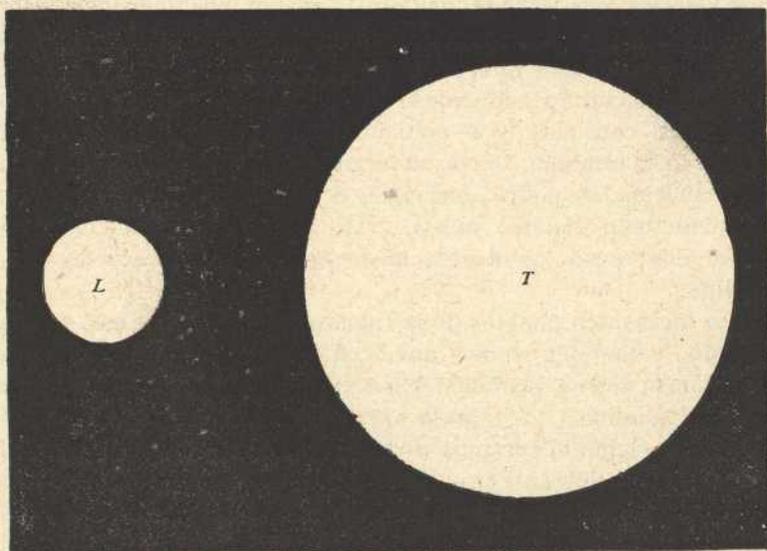


FIG. 20.—GRANDOR COMPARATIVO ENTRE LA TIERRA Y LA LUNA  
*T*, la Tierra. *L*, la Luna.

planeta, sin embargo, son mucho más pesados que los contenidos en la Luna: se necesitarían más de ochenta globos del peso de la Luna para que el peso total equivaliese al de la Tierra.

Entre los incesantes cambios que ese astro nos presenta, obsérvase un hecho descollante, y es que, bien sea la Luna nueva ó se halle en su lleno, bien esté en su primer cuarto ó en su cuarto postrero, bien esté alta ó baja en el horizonte ó en el proceso de quedar eclipsada por el Sol ó de quedar éste eclipsado por la Luna, su aparente volumen es casi constante. Podemos expresar numéricamente la cuestión: un globo de un pie de diámetro, colocado á la distancia de 110 pies del observador, sería suficiente en circunstancias ordinarias para ocultar el disco de la Luna; pero algunas veces el globo se debería poner sólo á 101, ó bien en ciertos casos sería preciso situarle á 119 para ocultar el astro con exactitud. Raro es que se llegue aproximadamente á ninguno de estos límites, pues la distancia á que se ha

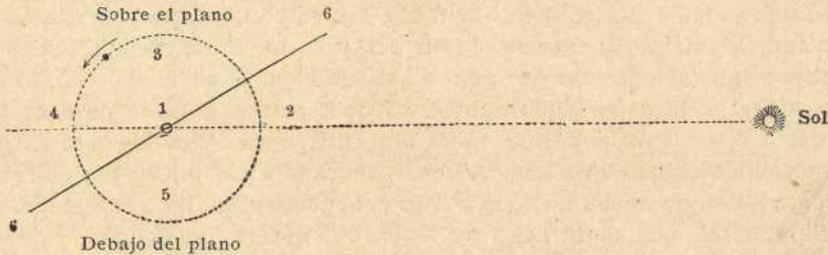
de situar el globo para cubrir con exactitud la Luna no suele pasar de 105 pies y no llega á 115. Estas oscilaciones en el aparente volumen de la Luna se contienen dentro de tan estrechos límites que á primera vista pueden pasar inadvertidas. Se observará fácilmente que el aparente volumen de la Luna debe relacionarse con su verdadera distancia de la Tierra. Supongamos, sólo para hacer una comparación, que la Luna retrocediese en el espacio: su tamaño parecería disminuir, y, mucho antes de haber llegado á la distancia á que se halla aun el más próximo de todos los demás cuerpos celestes, quedaría reducido á la mayor insignificancia. Por otra parte, si la Luna se acercara más á la Tierra, su aparente volumen aumentaría poco á poco, hasta que, próxima ya á nuestro planeta, parecería un grandioso continente extendiéndose sobre el cielo. Vemos que su aparente tamaño es casi constante, y de aquí inferimos que la verdadera distancia de la Luna lo es también, siendo su término medio el de 240,000 millas. En raras circunstancias podrá acercarse á una distancia de poco más de 220,000; y también alejarse, aunque rara vez, á una distancia de 260,000, ó poco menos; pero las fluctuaciones ordinarias no exceden de unas 13,000 millas.

Por los incesantes cambios de la Luna observamos que está en continuo movimiento, y también vemos que, cualquiera que éste sea, el astro y nuestro planeta deben mantenerse siempre separados casi por la misma distancia. Si añadimos que el paso seguido por la Luna alrededor del cielo se halla en un plano, deberemos deducir forzosamente que aquélla ha de efectuar su revolución casi circularmente alrededor de la Tierra en el centro. Podemos demostrar, en realidad, que la distancia constante de los dos cuerpos implica como condición necesaria la revolución de la Luna alrededor de nuestro planeta. La atracción entre la Luna y la Tierra tiende á poner ambos cuerpos en contacto, y sólo se evita semejante catástrofe permanentemente por la revolución de la Luna alrededor de la Tierra. La atracción entre esta última y el astro existe aún, mas su efecto no se manifiesta para acercar la Luna á nuestro planeta. Esa atracción se ejerce poderosamente para mantener el astro en su paso circular: si cesase, la Luna se alejaría en línea recta, retrocediendo para no volver nunca.

La revolución de la Luna alrededor de la Tierra se demuestra fácilmente por la observación de las estrellas. La salida y la puesta del astro se debe, por de contado, á la rotación de nuestro planeta, siendo este aparente movimiento diurno de la Luna común al Sol y á las estrellas; pero se observará que la Luna cambia continuamente de lugar entre aquellos cuerpos celestes, y hasta en el trascurso de una sola noche un cuidadoso observador podría reconocer sin necesidad del telescopio el movimiento de la Luna, que completa su revolución en 27 $\frac{1}{3}$  días.

En la fig. 21 se representan las posiciones relativas de la Tierra, del Sol y de la Luna; pero debe notarse que la distancia del primero es realmente mucho más considerable de lo que se puede figurar en el grabado.

La mitad de la Luna que está vuelta hacia el Sol está brillantemente iluminada, y, según se ve mayor ó menor porción de esa mitad, decimos que el astro se halla más ó menos en su lleno, siendo visibles todas las *fases* en sucesión, como se demuestra por los números en la fig. 22. A un principiante le parecerá difícil comprender cómo la Luna llena puede estar de



1. La Tierra.—2. Luna nueva.—3. Cuarto creciente.—4. Luna llena.—5. Cuarto menguante  
—6. Intersección de los pasos de la Tierra y la Luna

FIG. 21.—PASO DE LA LUNA ALREDEDOR DE LA TIERRA

noche iluminada por el Sol, y tal vez preguntará si no se halla la Tierra en su camino y si no debe interceptar la luz febea para todos los objetos que estén en el otro lado de la Tierra al Sol. El examen de la fig. 21 explicará la dificultad. El plano en que la Luna verifica su revolución no coincide con aquel en que la Tierra gira alrededor del Sol. La línea en que el plano del movimiento de la Tierra forma intersección con el de la Luna, divide el paso de ésta en dos semicírculos, y debemos imaginar que el paso del astro está situado de modo que el semicírculo superior se halla algo más arriba del

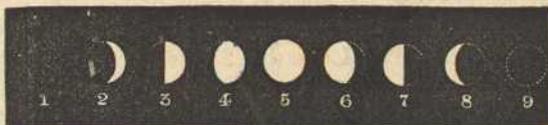


FIG. 22.—FASES DE LA LUNA

plano del papel, y el otro semicírculo debajo; siguiéndose de aquí que cuando la Luna está en la posición señalada para su lleno, en las circunstancias indicadas en la figura, se hallará sobre la línea que une á la Tierra con el Sol. La luz de este último pasará así por encima de la Tierra hasta la Luna, la cual quedará iluminada, y en el novilunio encontraríamos aquélla debajo de la línea que une la Tierra con el Sol.

Como las posiciones relativas de la Tierra y del Sol cambian, sucederá á veces que este último viene á estar exactamente en la posición de la línea

de intersección. Cuando se da este caso, la Tierra, en el tiempo del plenilunio, se halla directamente entre la Luna y el Sol. La primera queda así en la sombra de nuestro planeta. La luz del segundo es interceptada, y entonces decimos que se ha eclipsado la Luna; pero si ésta penetra sólo parcialmente en la sombra, su eclipse será parcial. Por otra parte, cuando el Sol está situado sobre la línea de intersección en el tiempo del novilunio, la Luna se halla directamente entre la Tierra y el Sol, y el cuerpo oscuro de aquélla intercepta entonces la luz del astro luminoso, produciéndose un eclipse solar. Generalmente sólo se oscurece una parte del Sol, lo cual constituye el bien conocido eclipse parcial; pero si la Luna pasa centralmente sobre el Sol, podremos tener una cualquiera de las dos notabilísimas especies de eclipse que hay. Algunas veces la Luna intercepta completamente los rayos solares, en cuyo caso prodúcese el sublime espectáculo del eclipse total, que tanto nos revela sobre la naturaleza del Sol, y del que ya hemos hablado en el capítulo anterior.

En ciertas ocasiones, sin embargo, aunque la Luna esté situada centralmente sobre el Sol, se ve un círculo de luz alrededor de la Luna, con lo cual tenemos lo que se llama *eclipse anular*. Es muy notable que la Luna pueda algunas veces ocultar completamente el Sol y no lo haga siempre, y es otro hecho curioso que el volumen aparente de la Luna, por término medio, sea igual al que parece tener el astro luminoso; pero, debido á las fluctuaciones en sus distancias, los volúmenes aparentes actuales de ambos cuerpos ofrecen ciertos cambios. Puede suceder que el volumen aparente de la Luna sea mayor que el del Sol, en cuyo caso un paso central produce un eclipse total; pero también puede acontecer que el volumen aparente del Sol exceda al de la Luna, y entonces el paso central sólo ocasionará un eclipse anular.

Apenas hay fenómenos celestes más interesantes que las diferentes descripciones de los eclipses. El almanaque anunciará siempre oportunamente cuándo han de ocurrir, y se pueden observar sin telescopio los pormenores más notables. En un eclipse de Luna (fig. 23) es interesante notar el momento en que se descubre por primera vez la sombra negra, observar su gradual invasión sobre la brillante superficie de la Luna, y seguirla, si el eclipse es total, hasta que sólo quede un ligero creciente de luz lunar, para ver después su extinción final cuando toda la luna esté sumida en la sombra. Á menudo se manifiesta un espectáculo de mayor interés y magnificencia, pues aunque el astro está oculto de tal modo detrás de la Tierra que no podría llegar á la superficie un solo rayo directo de la luz del Sol, obsérvese con frecuencia que la Luna permanece visible, presentando un brillo de tinte cobrizo suficiente para que se distingan varias de las señales de la superficie. ¿De dónde procede aquella luz? Se debe á los rayos del Sol, que acaban de rozar los bordes de la Tierra. Al hacerlo así se han doblado por la refracción de la atmósfera, volviéndose hacia adentro en la sombra.

Esos rayos han cruzado á través de un prodigioso espesor de la atmós-

fera terrestre, y en su largo viaje por centenares de millas de aire han tomado un tinte colorado ó cobrizo. Esta propiedad de nuestra atmósfera no deja de ser familiar, pues ¿no vemos al salir el Sol ó al ponerse, que brilla con una luz mucho más rojiza que la de los rayos que nos dispensa al mediodía? Pero debe advertirse que esos rayos han de atravesar una masa de atmósfera más considerable al salir el Sol ó al ponerse que al mediodía, y por eso adquieren el tinte que les distingue de la característica luz del ocaso. Tratándose de un eclipse de Luna, los rayos solares deben efectuar un viaje atmosférico una mitad más largo que al ponerse el astro luminoso, y á esto se atribuye el brillo colorado de la Luna.

Los almanaques nos dan todos los detalles de cada eclipse que deba ocurrir en el año correspondiente, y pueden hacerlo así porque los astrónomos han observado cuidadosamente la Luna durante siglos, averiguando, por sus observaciones, no sólo cómo se mueve el astro en el presente, sino también cómo se moverá en los tiempos futuros. Los cálculos son muy enojosos y complicados; pero hay un principio fundamental sobre los eclipses, tan sumamente sencillo, que debemos referirnos á él. Los que han de ocurrir este año no tienen muy evidente relación con los que hubo el anterior ó con los que habrá el siguiente; pero si consideramos más en general la secuencia de los eclipses, se pondrá de manifiesto un principio muy definido. Cuando los observamos todos en un período de 18 ó 19 años, podemos predecir los futuros para largo tiempo: para ello bastará recordar que á los  $6,585\frac{1}{3}$  días después de un eclipse seguirá otro casi semejante. Así, por ejemplo, en cinco de diciembre de 1881 ocurrió un magnífico eclipse de Luna: si contamos en el sentido inverso 6,585 días desde aquella fecha ó sean 18 años y 11 días, llegamos al 24 de noviembre de 1863, y veremos que entonces ocurrió un eclipse lunar análogo. Por otra parte en el año 1881 hubo cuatro eclipses: si añadimos  $6,585\frac{1}{3}$  días á la fecha de cada uno de ellos, dará las fechas de los cuatro que habrá en el año 1899. Esta regla fué la que permitió á los antiguos astrónomos predecir los eclipses antes de comprender los movimientos de la Luna tan bien como nosotros.

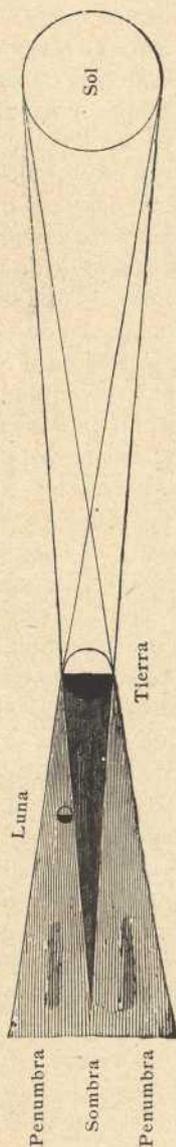


FIG. 23.—FORMA DE LA SOMBRA DE LA TIERRA, MOSTRANDO LA PENUMBRA Ó REGIÓN SOMBRREADA PARCIALMENTE. En la penumbra la Luna es visible; en la sombra es casi invisible.

Durante un largo viaje, y tal vez bajo circunstancias críticas, ese astro facilitará á menudo al marinero los más preciosos datos. Para navegar, por ejemplo, desde Liverpool á la China, el capitán debe determinar con frecuencia la posición exacta que su barco ocupa; y si no pudiera hacer esto, nunca hallaría ruta á través del vastísimo oceano. Consigue esto primeramente por medio de sus observaciones del Sol, que le indicarán el lugar en que se halla el buque; pero además el capitán necesita conocer la hora de Greenwich antes de señalar con su dedo un punto de la carta geográfica y decir: —Mi barco está aquí.—Para asegurarse de la hora de Greenwich, el buque lleva un cronómetro que se ha regulado cuidadosamente al emprender el viaje, y para mayor precaución empléanse otros dos ó tres, á causa de que un error desconocido en el cronómetro podría ser muy peligroso, pues á cada minuto el capitán podría alejarse quince millas más del punto á que se dirige. En su consecuencia, importa mucho algunas veces tener los medios necesarios para comprobar el cronómetro; y sería muy conveniente que todos los capitanes se hallasen en disposición de consultar, cuando lo desearan, algún dato infalible para conocer la hora de Greenwich. Necesitaríamos, en una palabra, un reloj de Greenwich que fuera visible en todo el globo. Este reloj existe, y, lo mismo que cualquier otro, tiene una esfera con ciertas señales y una manecilla que recorre aquélla. El gran reloj de Westminster es insignificante cuando se compara con los que los capitanes usan para arreglar sus cronómetros. La superficie de esa enorme esfera es la del cielo. Los números grabados en la de un reloj están sustituidos por las estrellas, mientras que la mano que se mueve es la misma magnífica Luna. Cuando el capitán desea comprobar su cronómetro, mide la distancia desde aquélla á alguna estrella inmediata; y así, por ejemplo, puede ver que el astro se halla á 3° de la estrella Régulo. En el *Almanaque náutico* está la indicación de la hora de Greenwich cuando la Luna se halla á 3° de Régulo; y comparando este dato con las indicaciones del cronómetro, hállase la corrección necesaria.

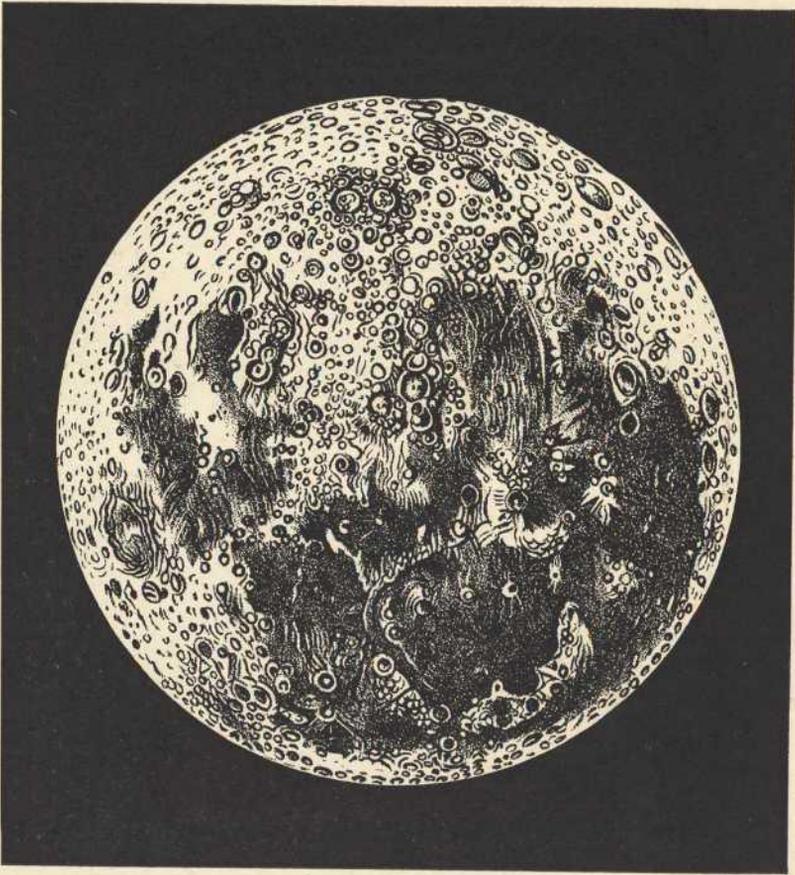
Á decir verdad, mucho debemos á la Luna, y en otro capítulo demostraremos que es mucho más de lo que en otro tiempo se pensaba; pero existe una creencia, acerca del astro, que debe considerarse como desprovista de todo fundamento. Superiores autoridades en la ciencia han admitido que la Luna y el tiempo se relacionaban, pero una cuidadosa comparación ha demostrado que no hay ninguna marcada relación entre la una y el otro.

Con frecuencia vense extensos espacios en blanco, en los mapas de Africa y Australia, que indican nuestra ignorancia acerca del interior de esos grandes continentes; pero no los encontramos en el mapa de la Luna, lo cual prueba que los astrónomos conocen la superficie del astro mejor que los geógrafos el interior de Africa, pues todas las manchas de la superficie de aquélla grandes como una parroquia *inglesa* han sido notadas y hasta bautizadas.

El mapa de la Luna, representada en la lám. VI en vista de dibujos



LÂM. VI



CARTA DE LA SUPERFICIE LUNAR

hechos con auxilio de pequeños telescopios, basta para dar una idea general del lado del astro que mira á la Tierra, y por él vemos los caracteres más distintivos del paisaje lunar. Esas oscuras regiones, tan conocidas en la Luna llena, son fáciles de reconocer en el mapa. En otro tiempo creyóse que eran mares, y, á decir verdad, aun conservan el nombre, aun-

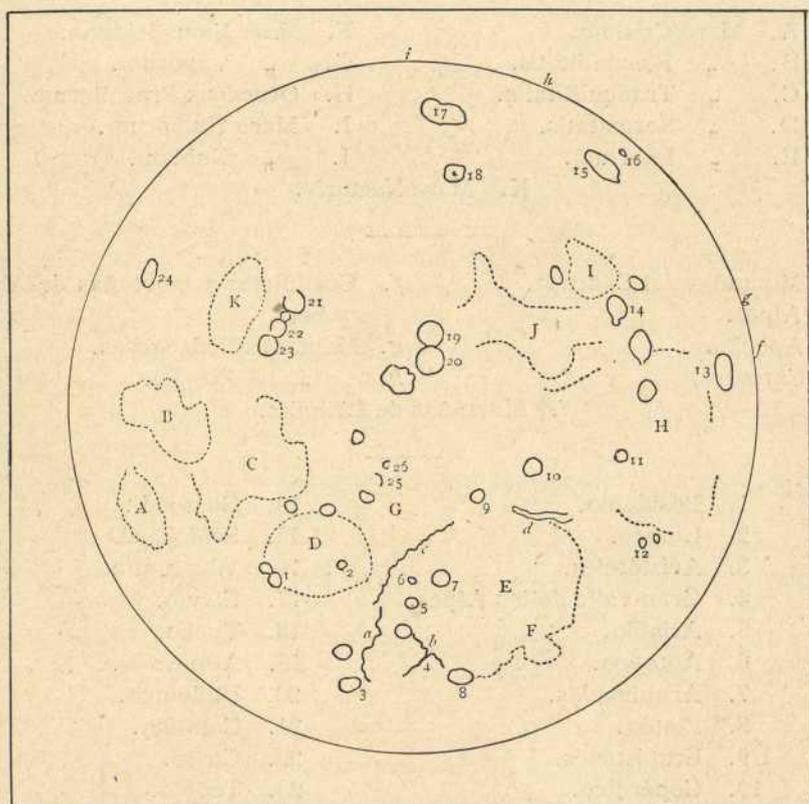


FIG. 24.—GUÍA PARA EL MAPA DE LA LUNA (lám. VI)

que es evidente que no contienen agua alguna. El mapa nos representa también una especie de cordilleras ó porciones elevadas, y cuando las medimos reconócese que son altas montañas. Pero lo más notable en el mapa son unos objetos que parecen anillos y están profusamente diseminados en la superficie: son los llamados *cráteres lunares*.

Para facilitar la referencia á los diversos puntos de interés, hemos arreglado un mapa índice que, por la comparación con la lámina que representa la Luna, dará una clave para los nombres de los diversos objetos. Los mares están representados por letras mayúsculas; y así, por ejemplo, *A* es el *Mare Crisium*, y *H* el *Oceanus Procellarum*. Las cordilleras ó

montañas están indicadas con minúsculas, de modo que *a* señala en el índice las llamadas *Montañas del Cáucaso*, mientras que *c* son los *Apeninos*. Los notables cuerpos de diversas dimensiones á que se da el nombre de *cráteres* van señalados con números; y así se verá que el 1 indica el cráter *Posidonio*.

A.	Mare Crisium.	F.	Mare Sinus Iridium.
B.	" Fœcunditatis.	G.	" Vaporum.
C.	" Tranquillitatis.	H.	Oceanus Procellarum.
D.	" Serenitatis.	I.	Mare Humororum.
E.	" Imbrium.	J.	" Nubium.
K. Mare Nectaris.			

<i>a.</i>	Montañas del Cáucaso.	<i>f.</i>	Cordilleras y montañas de Alemn- berf.
<i>b.</i>	Alpes.	<i>g.</i>	Montañas Pedregosas.
<i>c.</i>	Apeninos.	<i>h.</i>	" Dærfel.
<i>d.</i>	Carpatos.	<i>i.</i>	Montañas de Leibnitz.

1.	Posidonio.	14.	Gassendi.
2.	Linneo.	15.	Schickard.
3.	Aristóteles.	16.	Wargentín.
4.	Gran valle de los Alpes.	17.	Clavio.
5.	Aristilo.	18.	Tycho.
6.	Antolico.	19.	Alfonso X.
7.	Arquímedes.	20.	Ptolomeo.
8.	Platón.	21.	Catalina.
9.	Eratóstenes.	22.	Cirilo.
10.	Copérnico.	23.	Teófilo.
11.	Kepler.	24.	Petavio.
12.	Aristarco.	25.	Higinio.
13.	Grimaldi.	26.	Triesnecker.

Los objetos lunares sólo se pueden ver bien cuando la luz del Sol los hiere de tal modo que forman marcados contrastes con la sombra; y por esta causa es imposible observar bien la Luna cuando está en su lleno, porque entonces no se proyectan sombras pronunciadas. El momento más oportuno para ver cualquier objeto lunar coincide por lo común con aquel en que la línea que marca el límite entre la luz y la sombra pasa por la inmediación, pues entonces los detalles se realzan con distinción exquisita.

La lám. VII dará idea de un paisaje lunar, en el que se representa el

objeto conocido de los astrónomos con el nombre de Triesnecker. El distrito que se incluye no es más que una pequeñísima fracción de toda la superficie lunar, pero representa un área muy considerable, pues comprende muchos centenares de millas cuadradas, y en él vemos varias series de montañas lunares, siendo el punto central uno de esos notables cráteres que constituyen los caracteres distintivos del paisaje lunar. Ese cráter mide unas veinte millas de diámetro y tiene en el centro una montaña cuyo pico se representa iluminado por el Sol saliente.

En la lám. VIII se figura una vista típica de un cráter lunar; mas este bosquejo es, sin duda, algo imaginario, ó á lo menos fuera del alcance de nuestros astrónomos terrestres, si bien se puede asegurar que el objeto representado existe en la Luna. Á juzgar por la escala en que se ejecutó el dibujo, el vasto cráter debe tener muchas millas de anchura, y la montaña de su centro se elevará á muchos miles de pies. Con el mejor telescopio no veríamos la Luna mejor que á la simple vista si se hallase solamente á unas 250 millas en vez de estar á 240,000, y por lo tanto no debemos esperar que se puedan distinguir detalles en el astro, aunque fuese con el más fino telescopio. Una vista de Inglaterra á la distancia de 250 millas nos mostraría á Londres como un punto colorado, por contraste con la superficie general del país.

Pasemos ahora, desde un bosquejo algo caprichoso, á un examen más prosaico de lo que el telescopio no revela. La lám. IX representa un considerable cráter, bien conocido de todos los astrónomos, y al que se ha bautizado con el nombre de *Platón*. Su suelo es casi plano, y no existe la montaña central tan á menudo vista en otros cráteres.

Los picos de las montañas lunares proyectan largas y recortadas sombras, tales como no las vemos en nuestro planeta, resultando, sin duda, la diferencia, de la falta de aire de la Luna. El de la Tierra difunde cierta cantidad de luz que mitiga la oscuridad de las sombras terrestres, tendiendo á suavizar sus contornos (*penumbra*). En la Luna no hay tales influencias, y nos aprovechamos de esta circunstancia para medir la altura de las montañas lunares.

A menudo es fácil calcular la altura de un campanario, de una elevada chimenea, ó de otro objeto semejante, midiendo la longitud de su sombra; y el procedimiento más seguro consiste en averiguar el número de pies que hay desde la base del objeto hasta la extremidad de la sombra, operación que se practicará al mediodía. Hecho esto, se buscará en el *Almanaque* la elevación del Sol, y después se obtendrá por un simple cálculo la longitud de la sombra. Si las observaciones se hicieran el 4 de marzo ó el 6 de setiembre en Londres, no sería necesario el cálculo, pues la longitud de la sombra al mediodía es igual á la altura del objeto. En verano dicha longitud es menor que la elevación, y en invierno excede á esta última. Al salir ó al ponerse el Sol, las sombras son, por supuesto, mucho más largas que al mediodía, y las que medimos en la Luna pertenecen á esta especie. Para

obtener estas medidas hay que servirse del más indispensable auxiliar del telescopio ecuatorial, ó sea del micrómetro.

El micrómetro, en su forma más común, es una pieza pequeña de aparato que se puede atornillar á la extremidad ocular del telescopio. Ya indica su nombre que es un instrumento para medir pequeñas distancias; pero, en cierto sentido, ese término no es muy propio, pues los objetos á que el astrónomo aplica el micrómetro, suelen ser todo menos pequeños. Muy á menudo tienen inmensas dimensiones que exceden por mucho á las de la Luna, y aun á los de todo nuestro sistema, aunque por otra parte debemos confesar que el nombre no es del todo impropio, pues por enormes que los objetos sean, parecen pequeños á causa de la gran distancia á que se hallan. En su consecuencia, para tomar tales medidas, necesitábamos un instrumento de la mayor delicadeza; y aquí tenemos otro caso en que se busca el auxilio de las telarañas, como en otra ocasión á que ya nos hemos referido. En el micrómetro filar hay dos hilos de araña paralelos y otro que forma ángulos rectos con ellos, pudiéndose mover uno ó dos de los paralelos por medio de un tornillo. La distancia en que la línea se mueve indícase con exactitud anotando el número de revoluciones y partes de una revolución del tornillo. Supongamos, por ejemplo, que se hacen coincidir primero las dos líneas, separándolas después hasta que la aparente longitud de la sombra de la montaña sea igual á la distancia de las líneas. Así sabremos el número de revoluciones del tornillo del micrómetro, que es equivalente á la longitud de la sombra. El valor del tornillo es conocido por otras observaciones, y por lo tanto es posible determinar dicha longitud, averiguándose su equivalencia en millas. La elevación del Sol en el momento en que se tomen las medidas, se puede hallar también, y así, es dado calcular la altura de la montaña, así como la que tiene la plataforma que rodea un cráter.

La belleza é interés que ofrece la Luna como objeto telescópico, nos induce á dar aquí algunos detalles sobre los más notables caracteres que presenta. Los más de los objetos que vamos á describir se pueden ver bien sin más que un telescopio de moderada potencia; pero advertiremos que no todos se divisan bien al mismo tiempo, debiéndose recordar que la región más marcada es la frontera entre la luz y la oscuridad. En su consecuencia se elegirán para la observación los objetos que se hallen en dicha frontera ó cerca de ella. Aquí seguiremos la numeración apuntada en el mapa que dimos en otro lugar.

1. *Posidonio*.—El diámetro de este inmenso cráter mide cerca de 60 millas, y, aunque la plataforma que lo circuye es comparativamente estrecha, hállase tan bien marcada que se distingue perfectamente. Según se observa á menudo en los volcanes lunares, el fondo del cráter está bajo el nivel de la llanura que le rodea, cerca de 2,500 pies en el presente caso.

Hacia fines del siglo último, Schroeter, el celoso observador hannoveriano, creyó ver señales de actividad en el pequeño cráter que hay en el

suelo del *Posidonio*; y es singular que en su descripción le representara de color gris en su interior en un tiempo que debía estar oscurecido por negras sombras. Esto es interesante, sobre todo si se relaciona con lo que se ha observado en el siguiente objeto

2. *Linneo*.—Este pequeño cráter se halla junto al *Mare Serenitatis*. Cincuenta ó sesenta años hace hizose una descripción, en la cual se dijo que medía 6  $\frac{1}{2}$  millas de diámetro, siendo tan marcado que dos astrónomos le eligieron como punto fundamental para el examen de la Luna. En 1866, Schmidt, de Atenas, anunció que el cráter estaba oscurecido aparentemente por las nubes. Más tarde hizose visible un cráter sumamente pequeño; pero todo aparece tan confuso ahora que no se podrá tomar como punto de guía. Esta es la prueba más evidente de los cambios que se efectúan en un cráter lunar.

3. *Aristóteles*.—Se ha dado el nombre del gran filósofo á un gran cráter de 50 millas de diámetro, cuyo interior, aunque muy escabroso, no presenta señales marcadas de cono central; pero las altas paredes de este cráter, que miden más de 10,500 pies de elevación, cubren de sombra el fondo, de manera que sus irregularidades no se ven nunca bien.

4. *El gran valle de los Alpes*.—A través de los *Alpes* lunares extiéndose este maravilloso valle, cuya anchura no baja de 3  $\frac{1}{2}$  á 6 millas. Según Mädler, su profundidad es, por lo menos, de 11,500 pies, y la longitud de 80 millas. Algunas cordilleras bajas corren paralelas á los lados, siendo posiblemente resultado del deslizamiento de tierras.

5. *Aristilo*.—En condiciones favorables, el gran telescopio de lord Rosse ha permitido ver el interior de ese magnífico cráter, indicado por profundas galerías que irradian del centro. Mide unas 34 millas de anchura por 10,000 pies de profundidad.

6. *Antólico*.—Este cráter es algo más pequeño que el anterior, al cual se encuentra inmediato, según dice Mädler, quien cree reconocer una marcada relación entre todos los cráteres de la Luna. Según sus observaciones, hállanse con frecuencia casi unidos, y el más pequeño suele estar hacia el sud.

7. *Arquímedes*.—Esta vasta llanura, de 50 millas de diámetro, tiene su liso interior dividido en siete zonas distintas, que se corren de este á oeste. No hay montaña central, ni otras marcadas señales internas de actividad primitiva; pero sus paredes irregulares elévanse formando una especie de abruptas torres, y al exterior se ven claramente como unas terrazas.

8. *Platón*.—Se puede ver en la parte norte de la Luna y con un pequeño telescopio esta extensa llanura gris. Está admirablemente representada en la lám. IX. La altura de la plataforma, por término medio, es de unos 3,800 pies en el lado oriental. En el occidental es algo más baja, pero hay un pico que se eleva á cerca de 7,300 pies. La llanura, circuida por ese vasto baluarte, presenta grandes proporciones: forma un círculo irregular de unas 70 millas de diámetro, y contiene un área de 2,700 millas

cuadradas. En su suelo se distinguen muy bien las sombras del muro occidental, así como también tres pequeños cráteres; pero perseverantes observadores han reconocido mucho mayor número. La línea que va desde el cráter á la izquierda es una de esas notables grietas que atraviesan la Luna en tantas direcciones; y otra se distingue más lejos en el mismo sentido. Más arriba de *Platón* destácanse varias montañas, de las cuales la más elevada es *Pico*, de unos 8,000 pies de altura. Su larga y puntiaguda sombra induciría á creer á primera vista que es muy escarpada; pero Schmidt, que ha estudiado en particular la inclinación de las pendientes lunares, opina que no lo es tanto como muchas de las montañas suizas que con frecuencia se escalan. Para dar una idea del celo de Schmidt en su estudio, diremos de paso que en seis años practicó 57,000 observaciones con el micrómetro para medir las altitudes lunares. Su gran carta de las montañas de la Luna está basada nada menos que en 2,731 dibujos y bosquejos.

9. *Eratóstenes*.—Este profundo cráter, de más de 37 millas de diámetro, se halla en la extremidad de la gigantesca cordillera de los *Apeninos* lunares, y no deja de ser probable, según lo indica Mädler, que en algún tiempo formase la salida de las asombrosas fuerzas que elevaron aquellos picos.

10. *Copérnico*.—De todos los cráteres lunares éste es uno de los mayores y mejor conocidos, gracias á los dibujos de Herschel. La región situada al oeste presenta innumerables cráteres muy diminutos, y tiene una montaña central de muchos picos de 2,400 pies de altura. Hay buenas razones para creer que la terraza que se ve en el interior se formó principalmente por la subida, la congelación parcial y la retirada de un vasto mar de lava. En el plenilunio se ven irradiar varias estrias alrededor del cráter.

11. *Kepler*.—Aunque la profundidad interior de este cráter apenas mide menos de 10,000 pies, la pared que le rodea es muy baja, pero notable por estar cubierta de la misma sustancia brillante que también forma un sistema de rayos luminosos, no, empero, como los que rodean á *Copérnico*. Se ha dicho que este es el único ejemplo en que aquellos misteriosos rayos se observan en una parte nivelada de la Luna.

12. *Aristarco* es el cráter más brillante de la Luna, y muéstrase así en particular cuando se observa con un telescopio grande. Su brillantez es tal que con frecuencia se ha visto en el lado oscuro de la Luna inmediatamente después del novilunio, dando lugar con esto á las maravillosas historias de los volcanes lunares activos. Al SE. hay otro pequeño cráter, conocido con el nombre de *Herodoto*, y al norte de éste se ve un estrecho valle profundo que en ninguna parte mide más de 2 1/2 millas de anchura. Esta es una de las más grandes grietas lunares.

13. *Grimaldi* llama la atención por ser el objeto más oscuro de su tamaño en toda la Luna. En circunstancias muy excepcionales se ha distinguido á la simple vista, y, como su área se ha calculado en cerca de 14,000 millas cuadradas, se tendrá con esto una idea de lo poco que se

puede ver en la Luna sin el auxilio del telescopio: pero debe añadirse que siempre se observa ese cuerpo muy reducido.

14. El gran cráter *Gassendi* se ha figurado muchas veces en los dibujos á causa de su complicado sistema de grietas: en su extremidad norte se comunica con otro cráter más pequeño, pero mucho más profundo, que á menudo se llena de negra sombra después de haberse iluminado el suelo de *Gassendi*.

15. *Schickard* es otro cráter considerable, cuya área mide muy poco menos que la del anterior. A este cráter se refería Chacornac cuando indicó por primera vez que, á causa de la curvatura de la superficie de la Luna, un espectador que se hallase en el centro del suelo "creería estar en un desierto sin límites," pues la pared que le circuye, aunque tiene en parte más de 10,000 pies de altura, está enteramente debajo del horizonte.

16. Junto al anterior está *Wargentin*. Apenas puede dudarse de que éste es, en realidad, un gigantesco cráter lleno casi hasta los bordes de lava congelada.

17. *Clavio*.—Cerca del paralelo 60 de latitud sur lunar hállase esta enorme cerca, cuya área no mide menos de 16,500 millas cuadradas; y así en su interior como en sus paredes obsérvanse muchos picos y cráteres secundarios. Mädler dice que la vista telescópica de la salida del Sol sobre la superficie de *Clavio* es realmente un espectáculo de indescriptible magnificencia. Uno de los picos se eleva á nada menos que á 24,000 pies sobre el fondo de uno de los cráteres incluidos. Mädler opina también que en esa vasta región hay cráteres tan profundos que ningún rayo de la luz del Sol ha penetrado jamás hasta el fondo de sus espantosos abismos; mientras que, como para formar contraste, hay picos en cuyas cúspides brilla la luz del día, que es dos veces más larga que la de la noche.

18. Si se observa la Luna llena, aunque sea con unos gemelos de teatro ó con el más pequeño telescopio, se verá desde luego un cráter que se distingue entre todos los demás á causa de los brillantes rayos de luz que de él parten. Es el majestuoso *Tycho*, de 17,000 pies de profundidad por 50 millas de diámetro ( lám. X). En el centro se eleva un pico de 6,000 pies de altura, y una serie de terrazas diversifica sus pendientes interiores; pero sus admirables y brillantes rayos misteriosos son lo que principalmente asombra al observador. Cuando el Sol se eleva sobre *Tycho*, esas estrías son del todo invisibles en su inmediación, y entonces se necesitaría un ojo muy práctico para reconocer ese cráter entre las inmediaciones montañosas; mas apenas el Sol alcanza una altura de 25° á 30° sobre el horizonte, los rayos emergen de su oscuridad, y aumentan gradualmente en brillantez hasta el plenilunio, siendo entonces lo más notable en su superficie. Hasta ahora no se ha dado ninguna explicación satisfactoria sobre el origen de estos objetos. Presentan todas las longitudes, desde la de algunos centenares de millas hasta la de 2,000 ó 3,000 en un caso; y extiéndense con soberbia indiferencia á través de las vastas llanu-

ras, llegando á los cráteres más profundos y á las cimas más altas. Nada conocemos en nuestra Tierra que se pueda comparar con eso.

Cerca del centro del disco de la Luna hay una fina línea de cráteres siempre accesibles á nuestra vista, y entre ellos haremos especial mención de dos: el uno es *Alfonso* (19), cuyo suelo está singularmente marcado por dos brillantes señales y algunas otras oscuras, que no se deben á las irregularidades de la superficie. El otro es *Ptolomeo* (20), que además de otros cráteres pequeños tiene su suelo cruzado por numerosas cordilleras, visibles cuando el Sol sale ó se pone.

21, 22, 23. Cuando la Luna cuenta cinco ó seis días se observará muy pronto un magnífico grupo de tres cráteres que se halla sobre la línea divisoria entre la noche y el día. Se conocen con los nombres de *Catalina*, *Cirilo* y *Teófilo*. *Catalina* es el que está más al sur del grupo. Su profundidad excede de 16,000 pies, y comunicase con *Cirilo* por un ancho valle; pero entre *Cirilo* y *Teófilo* no existe ningún lazo de unión. Diríase que los enormes muros que rodean al primero, tan altos como el *Mont Blanc*, se acabaron de formar cuando las fuerzas volcánicas comenzaron la formación de *Teófilo*, cuya plataforma domina considerablemente la de su compañero. *Teófilo* aparece como un cráter redondo bien marcado, de unas 64 millas de diámetro y una profundidad interior de 140,000 á 18,000 pies, presentando en su centro un magnífico grupo de montañas, cuya elevación viene á ser la tercera parte de dicha cifra; lo cual prueba que los últimos esfuerzos eruptivos en esta parte de la Luna igualaron en intensidad á los que los precedieron. Aunque *Teófilo* es en su conjunto el cráter más profundo de la Luna, se ha deformado poco ó nada por las erupciones secundarias; mientras que el suelo y las paredes de *Catalina* presentan marcadas señales de cráteres más pequeños, de diversas dimensiones, que se destruyeron parcialmente entre sí. En la primavera del año, un poco antes del primer cuarto, se puede ver muy bien ese curioso grupo de volcanes extinguidos si se observa á una hora conveniente de la tarde.

24. *Petavio* es notable no solamente por sus grandes dimensiones, sino por la rara circunstancia de tener un doble baluarte. Su aspecto es magnífico al terminar el plenilunio; pero desaparece del todo cuando el Sol se halla á más de 45° sobre su horizonte. El suelo del cráter es muy convexo, culminando en un grupo central de colinas interceptadas por una profunda grieta.

25. *Higinio* es un pequeño cráter situado en la inmediación del anterior. Uno de los mayores abismos lunares le atraviesa, trazando una brusca curva; y no es difícil verle por poco favorables que sean las condiciones.

26. *Triesnecker*.—Ya hemos descrito este hermoso cráter, y no le citamos de nuevo más que para llamar la atención sobre el complicado sistema de grietas indicadas en la lám. VIII. A juzgar por las sombras observadas al interior, no se puede dudar que dichas grietas son depresiones, y



TRIESNECKER  
(SEGÚN NASMYTH)





añadiremos que sus bordes están á menudo evidentemente elevados. Diríase que son fracturas en la superficie de la Luna.

De las diversas montañas que á veces se manifiestan como proyecciones en el borde actual de la Luna, las indicadas por Leibnitz (*i*) parecen ser las más altas. Schmidt reconoció que el pico más notable se elevaba á 41,900 pies sobre el valle inmediato. Al comparar estas altitudes con las de las montañas de nuestro globo, debemos agregar á su altura la profundidad del mar, y de este modo resultará que nuestras más grandiosas montañas tienen aun mayor elevación que la de cualquiera de la Luna.

Vamos á estudiar ahora la muy importante cuestión sobre el origen de esas notables formaciones en la superficie de la Luna, confesando desde luego que las pruebas en este punto no son más que indirectas. Para explicar hasta la evidencia el origen volcánico de los notables cráteres lunares, sería casi preciso haber observado las erupciones volcánicas en la Luna con el auxilio de nuestros telescopios, y que de estas erupciones hubiera resultado la formación del bien cononocido anillo, con ó sin la elevación de la montaña desde el centro de la llanura que aquél rodea. ¿Han observado los astrónomos semejante fenómeno? Decir que jamás se vió nada de esto sería un poco aventurado. En ciertas ocasiones, cuidadosos observadores hablaron de ligeros cambios en la Luna. Según hemos dicho ya, creyóse que el cráter llamado Linneo, de respetables dimensiones como cuerpo lunar, pero de poca importancia como objeto telescópico, había sufrido alguna alteración, y otra vez se pensó que un diminuto cráter se había elevado hasta cerca del conocido con el nombre de *Higinio*. A juzgar por estos hechos, sería cuando menos aventurado asegurar que no existe ahora ningún origen apreciable de perturbación en la superficie de la Luna; pero aun cuando se probaran realmente esos supuestos cambios, de lo cual estamos quizás más lejos de lo que muchos astrónomos suponen, aun serían muy insignificantes si se comparan con los poderosos fenómenos que dieron origen á los grandes cráteres observados en tan considerable extensión de la superficie lunar.

Inevitablemente debemos llegar á la conclusión de que en la superficie de la Luna hubo en otro tiempo mucha mayor actividad que ahora, y podemos dar una explicación razonable, ó por lo menos plausible, sobre las causas que motivaron la cesación de esa actividad en épocas recientes. Dirijamos una ojeada á otros dos cuerpos de nuestro sistema, la Tierra y el Sol, y comparémoslos con la Luna. De esos tres cuerpos, el Sol es considerablemente el más grande, mientras que la Luna es mucho más pequeña que la Tierra. También hemos visto que la temperatura del astro luminoso es enorme, y en otro lugar diremos qué razones hay para creer que el Sol pierde gradualmente calórico.

La superficie de la Tierra, compuesta de rocas sólidas y de arcilla, ó cubierta en gran parte por la vasta extensión del oceano, presenta pocas señales marcadas de una alta temperatura; pero es muy probable, á juzgar

por los fenómenos volcánicos comunes, que el interior de nuestro globo la conserve todavía elevadísima. Y de aquí sacamos las siguientes deducciones. Un cuerpo voluminoso necesita más tiempo que otros más pequeños para enfriarse. Una considerable masa de hierro conservará su calórico más tiempo que otra de escasa dimensión. Cualquiera que haya sido el primitivo origen del calor en nuestro sistema (cuestión que no debemos discutir ahora), parece bastante claro que los diferentes cuerpos del mismo eran todos originalmente calientes y que se han enfriado poco á poco durante el trascurso de los siglos. El Sol es tan vasto que aun no ha

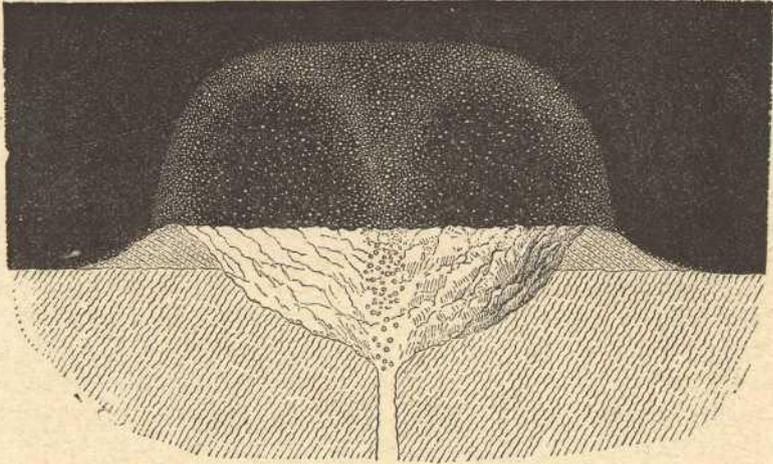
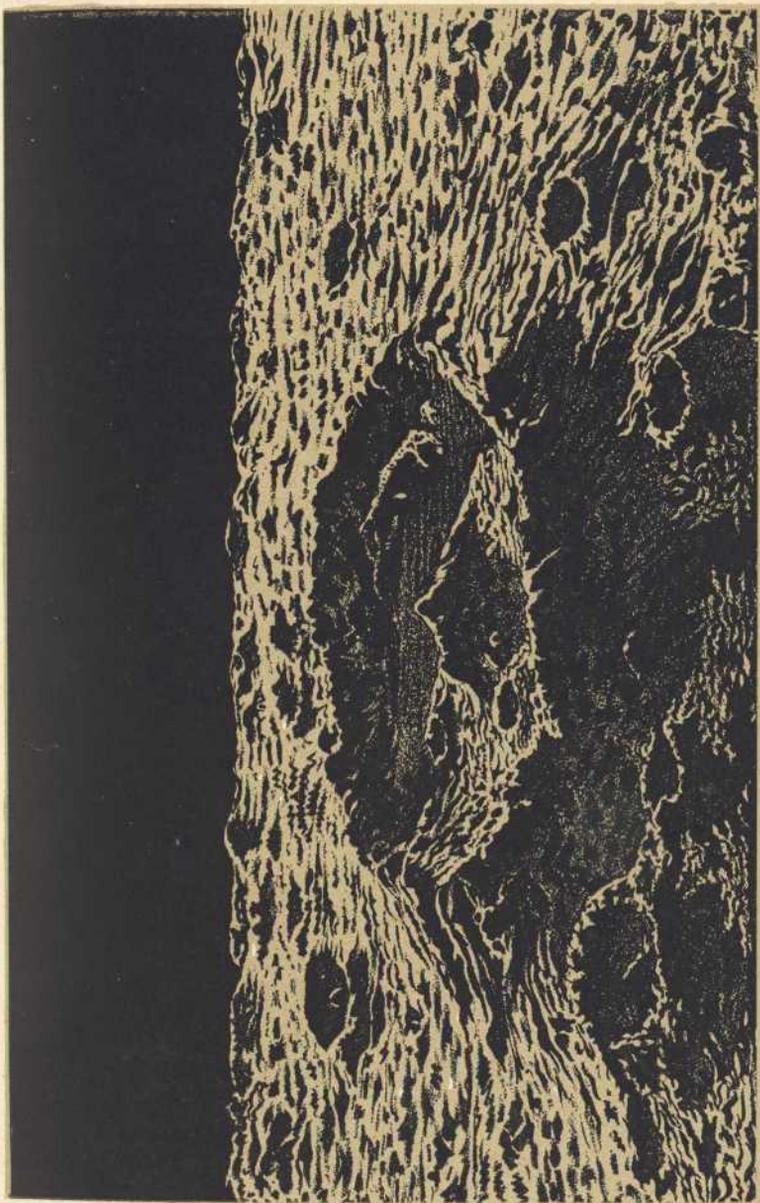


FIG. 25. VOLCÁN EN ACTIVIDAD

tenido tiempo de enfriarse; la Tierra, de un volumen intermedio, se ha podido enfriar exteriormente, pero conserva en su interior un calor considerable; y la Luna, el cuerpo más pequeño de los tres, se ha enfriado de tal modo que los cambios importantes de su superficie no pueden ser debidos ya á los fuegos interiores.

En su consecuencia, natural es atribuir el origen de los cráteres lunares á causas que mediaron en alguna antigua época de la historia de la Luna. No tenemos datos para conocer hasta qué punto será remoto ese tiempo, pero podemos suponer que la antigüedad de los cráteres lunares es inmensa. En la época en que la Luna conservaba suficiente calórico para que en ella se produjeran esas grandiosas convulsiones volcánicas que sus cráteres nos prueban, debió haber en la Tierra mucho más calor que ahora. Y no es aventurado creer que cuando en la Luna se hallaban los volcanes en actividad, la Tierra era tan ardiente que la vida no podía ser posible en su superficie. Esta suposición nos indicaría para los cráteres del astro una antigüedad demasiado considerable para ser apreciada por siglos y miles de



CRÁTER LUNAR NORMAL  
(SEGÚN NASMYTH)



años, como se hace para calcular el trascurso del tiempo, según lo reconoce la historia de los acontecimientos humanos.

No sería improbable que hubiesen pasado millones de años desde que los poderosos cráteres de *Platón* y *Copérnico* se hubiesen consolidado para tomar su forma actual.

Ahora podremos explicarnos mejor la formación de los cráteres lunares. La teoría de M. Nasmyth sobre la materia parece ser la más acertada, aunque debe admitirse que no deja de contener puntos dudosos. Podemos explicar de qué modo se formó el muro que rodea los cráteres de la Luna

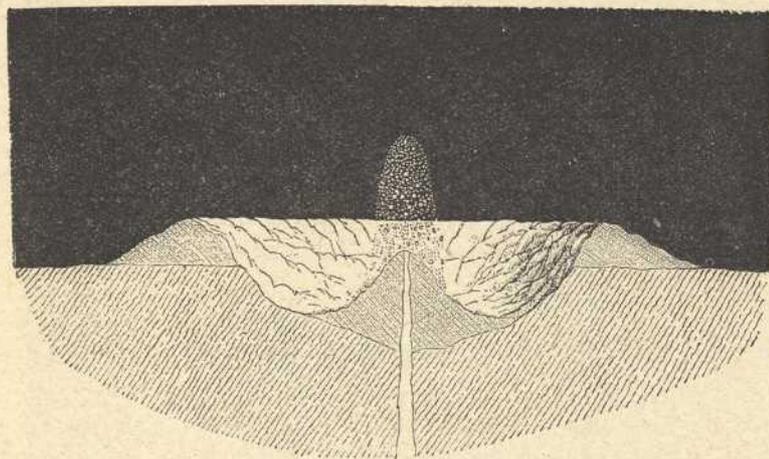


FIG. 26. —ACTIVIDAD SUBSIGUIENTE DÉBIL

y la gran montaña que á menudo se eleva en el centro de los mismos. La fig. 25 representa un bosquejo imaginario de una abertura volcánica de la Luna en el tiempo en que sus cráteres eran activos. Vese que la erupción está en todo su vigor y que las fuerzas interiores arrojan un torrente de cenizas ó de piedras que van á caer á considerable distancia, produciendo las acumulaciones que formaron el muro del cráter.

El segundo grabado representa el cráter en un período más posterior de su historia. La prodigiosa fuerza explosiva se ha debilitado ya, ó más bien extinguido: manifiéstase ya sólo por intermitencias durante algún tiempo; pero el volcán vuelve á ser activo, aunque sólo con una parte de su primera energía. De la misma abertura salen escasas materias que van á depositarse alrededor del orificio, formando poco á poco una montaña en el centro; y, por fin, cuando la actividad ha cesado completamente, quedando el volcán silencioso y tranquilo, encontramos los restos de su primitivo vigor demostrado por el muro que rodea el antiguo cráter, y la montaña que se eleva en su interior. El suelo plano que se observa en algunos de esos

cráteres podía ser muy bien debido á un exceso de lava que después se consolidó (fig. 27).

En esta teoría para explicar la estructura de un cráter, una de las principales dificultades consiste en comprender el considerable volumen á que algunos de los cráteres alcanzan, pues en la Luna hay algunos de 40, 50 ó más millas de diámetro, y también se observa un anillo bien marcado, con una montaña en su centro, cuyo diámetro no mide menos de 78 millas (*Petavio*). Parece difícil concebir cómo la abertura del centro pudo lanzar los materiales á 39 millas, distancia que media entre el centro de *Petavio* y el muro, aunque la dificultad se allana mucho teniendo en cuenta que la fuerza de gravedad es mucho menor en la Luna que en la Tierra. ¿No hemos

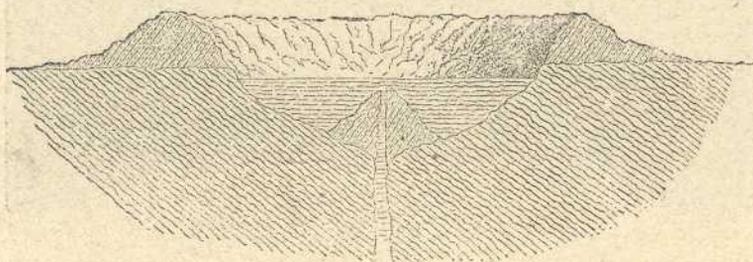


FIG. 27.—FORMACIÓN DEL NIVEL DEL SUELO POR LA LAVA

dicho ya que este astro es mucho más pequeño que nuestro globo, tanto que ochenta lunas colocadas en el platillo de una balanza apenas equilibrarían el peso de nuestro planeta? El peso de una onza en la Tierra nunca será más que el de una onza; pero, á causa del reducido volumen de la Luna, su gravitación es mucho menor que en la superficie de nuestro globo, y así resulta que en este último el peso de 6 onzas sólo equivaldría al de una en la Luna, siendo igual la proporción si se tratase de libras ó de arrobas. El labrador que carga con un saco de trigo en la Tierra, podría llevar seis con el mismo esfuerzo en la Luna; el jugador de pelota que puede lanzar ésta á 100 varas en nuestro planeta, la arrojaría á 600 en el astro; y, por último, el volcán que en la Luna despediría proyectiles á la distancia de 39 millas, teniendo la misma fuerza explosiva en la Tierra, no los lanzaría á más de 6 ó 7.

También se debe tener en cuenta que en la Luna hay innumerables cráteres del mismo tipo general, pero de las más diversas dimensiones; y que desde un diminuto objeto telescópico de 2 ó 3 millas de diámetro podemos ascender gradualmente hasta llegar al poderoso *Petavio*. Respecto á los cráteres más pequeños, bien se les puede atribuir un origen volcánico; y como la continuidad desde ellos á los más grandes no se interrumpe, parece razonable suponer que hasta los mayores reconocen análogo origen.

No debemos extendernos mayormente en los caracteres más interesan-



PLATÓN  
(SEGÚN NASMYTH)



tes de la Luna, pues por mucho atractivo que tenga, y por magnífico que sea el espectáculo que el astro nos presenta en el cielo, nos falta tanto que decir, que no podemos permitirnos más digresiones sobre el asunto. Una sola mancha en la Luna basta para que un observador celoso se pueda dedicar á su estudio durante muchas noches; y hé aquí por qué debemos dejar á un lado muchos detalles, consagrandó el breve espacio que nos queda á tratar varios puntos de interés general.

¿Por qué esos paisajes lunares son tan excesivamente rugosos? ¿Por qué nos recuerdan siempre desiertos estériles, sin que veamos en ninguno risueñas llanuras y verdes bosques tales como los que existen en la Tierra? Por algunos conceptos, en la Luna no hay condiciones muy diferentes de las de la Tierra. Así como en esta última, existen en aquel astro las agradables alternativas del día y de la noche, sólo que el día lunar tiene la duración de catorce de los nuestros, sucediendo lo mismo con la noche. Á nosotros nos prestan calor los rayos del Sol, y la Luna lo recibe también; pero sea cual fuere la temperatura durante el largo día lunar, parece evidente que el frío de las noches en el astro es mucho más intenso que el de las más heladas regiones de nuestro globo.

Nuestros más grandes telescopios no pueden revelarnos directamente si existe ó no la vida en aquel astro. Los gigantescos árboles de California podrían crecer en las montañas lunares, y los elefantes pasearse por sus llanuras, sin que nuestros telescopios nos permitieran verlos. El más diminuto objeto que podría distinguirse en la Luna debe tener por lo menos las dimensiones de una gran catedral; de modo que los seres organizados, si existiesen, no serían visibles como objetos telescópicos.

En su consecuencia debemos apelar á las evidencias indirectas para deducir si la vida sería posible en la Luna. Por lo pronto digamos que los astrónomos no creen que pueda existir tal como la conocemos. Entre las condiciones necesarias para la vida, el agua es una de las primeras: tómese cualquier vegetal, desde el líquen que crece en la roca hasta el árbol gigantesco de la selva, y veremos que la sustancia de toda planta contiene agua y que no podría existir sin ella. Este líquido no es menos necesario para la vida animal, y, sin él, hasta la del hombre sería inconcebible.

Por lo tanto, á menos de haber agua en la Luna, deberemos deducir que la vida es imposible allí, tal como la conocemos; y ahora la cuestión queda reducida á saber si en el astro existe ó no aquel líquido. Si un individuo estacionado en la Luna observa la Tierra con un telescopio, ¿podría ver nuestras aguas? Seguramente que sí. Divisaría las nubes, observando sus continuos cambios, y esto sólo sería para él una prueba de la existencia del agua; mientras que un astrónomo situado en la Luna también vería nuestros mares como tersas superficies de color, que contrastarían notablemente con la tierra. En resumen, considerando que mucho más de la mitad de nuestro globo está cubierta de océanos, y que la mayor parte del resto puede quedar oscurecida por las nubes, el astrónomo lunar, al con-

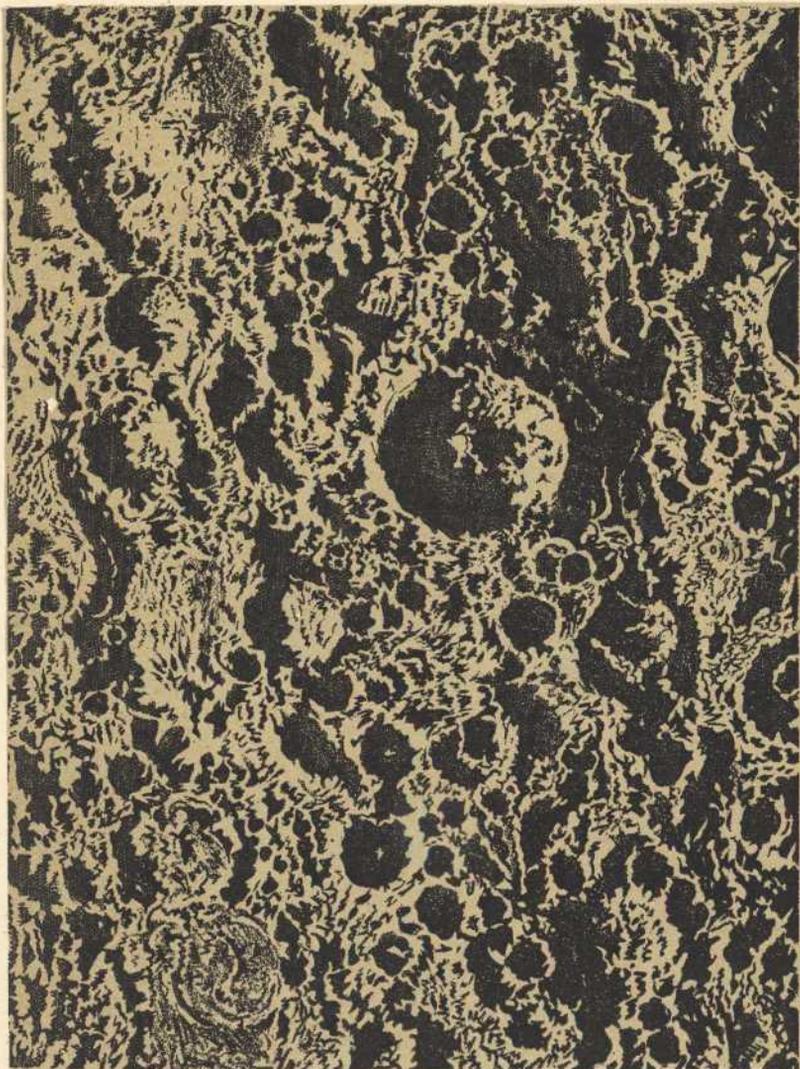
templar nuestra Tierra, no vería á menudo más que agua en una ú otra forma, y probablemente deduciría en conclusión que nuestro globo no era habitable más que para los animales anfibios.

Pero cuando observamos la Luna con nuestros telescopios ¿vemos acaso señales de agua? Sin duda hay muchos espacios considerables que á primera vista parecen océanos y que los antiguos astrónomos llamaron por cierto *mares*, nombre que aun conservan, por más que sea absurdo; pero un detenido examen demuestra que los supuestos mares de la Luna son desiertos, señalados á menudo por pequeños cráteres y rocas. El telescopio no nos revela la existencia de mares ni océanos, ni de lagos ni ríos; y la grandiosidad del paisaje lunar no queda oculta jamás por las nubes en la superficie. Cuando el astro está sobre el horizonte y las nubes terrestres no impiden la observación, vemos los detalles de la superficie con toda claridad. En la Luna no hay nubes, ni siquiera las nieblas ó vapores que invariablemente se elevan de las aguas allí donde existen; y en su consecuencia los astrónomos han venido á deducir que nuestro satélite es un desierto estéril, completamente falto de agua.

De otro elemento esencial de vida carece también la Luna. Nuestro globo está rodeado de una densa capa de aire que reposa en la superficie, extendiéndose sobre nuestras cabezas á la altura de 200 ó 300 millas. Inútil parece decir cuán necesario es el aire para la vida, y, por lo tanto, abordamos aquí la interesante cuestión de resolver si la Luna está rodeada de una atmósfera. Para comprender mejor el problema que vamos á plantear, imagínese que un viajero emprende el viaje desde la Tierra á la Luna. Á medida que avanzase, encontraría el aire más rarificado, hasta que al fin, cuando se hallara á varios centenares de millas sobre la superficie de la Tierra, habría dejado atrás los últimos vestigios perceptibles de la atmósfera de nuestro globo; pero aun hallándose entonces completamente fuera de esta atmósfera, sólo habría recorrido una pequeñísima parte de su viaje de 240,000 millas, debiendo franquear todavía una vasta extensión antes de llegar al astro. Si este último tuviese una atmósfera semejante á la nuestra, cuando el viajero se aproximara al término de su excursión, y á pocos centenares de millas de la superficie lunar, esperaría encontrar otra vez señales de dicha atmósfera, cuya densidad aumentaría gradualmente hasta que el viajero alcanzase la superficie de la Luna. Entonces aquél habría pasado por una atmósfera al principio de su excursión, penetrando en otra al fin de la misma, pero debiendo cruzar en la mayor parte del viaje por un espacio completamente falto de aire.

Tal sería el resultado si la Luna estuviese rodeada de una atmósfera semejante á la nuestra; pero no sucede así. Al acercarse el viajero á la Luna, en vano buscaría ese aire respirable; y es muy posible que cuando se hallara junto á la superficie encontrase ligeros vestigios de alguna capa gaseosa que rodeara el astro, pero no sería ni una fracción de la atmósfera de que disfrutamos. Podemos decir, por lo tanto, que no existe aire respi-

LÁM. X



TYCHO Y SUS ALREDEDORES



nable en la Luna, tal como lo entendemos; de modo que si un habitante de la Tierra fuese conducido al astro, seguramente moriría allí sofocado lo mismo que en medio del espacio.

Y ahora se podría preguntar cómo sabemos esto. Siendo el aire transparente ¿cómo puede esperarse que nuestros telescopios nos muestren si la Luna posee realmente semejante capa? La verdad es que sólo por métodos indirectos de observación hemos podido reconocer la aridez de la Luna; pero se pueden aducir varios argumentos, de los cuales el más concluyente es el que resulta de lo que llamamos *ocultación* de una estrella. Sucede á veces que la Luna se muestra entre la Tierra y una estrella, y la temporal extinción de ésta es una *ocultación*. Podemos observar el momento en que esta ocultación se verifica, y vemos cuán repentina y notable es la extinción de ese cuerpo celeste. Si la Luna tuviese una atmósfera copiosa, la gradual interposición de esa atmósfera por el movimiento del astro produciría una lenta desaparición de la estrella, y no el repentino fenómeno generalmente observado.

La carencia de agua y de aire en la Luna explica ese carácter rugoso que distingue el paisaje lunar. Sabemos que en la Tierra la acción de los vientos y de las lluvias, de los hielos y las nieves, tiende de continuo á rebajar nuestras montañas y á reducir sus asperezas; pero en la Luna no hay tales agentes. Los volcanes esculpieron la Luna, permítasenos la frase, comunicándole sus caracteres actuales; y aunque hayan estado silenciosos durante siglos y siglos, las huellas del trabajo volcánico parecen hoy tan frescas como lo estaban cuando los poderosos fuegos se extinguieron.

Las altísimas torres, los suntuosos palacios y los imponentes templos tienen corta vida en la tierra; y la incesante acción del agua y del aire es la que más contribuye á que esos monumentos desaparezcan como una visión. En la Luna no existe ninguna de estas causas destructoras, aunque al vez los cambios de temperatura en el tránsito desde el día á la noche lunares van acompañados de expansiones y contracciones que pudieran compensar hasta cierto punto la falta de más poderosos agentes de disolución.

Parece probable que un edificio en la Luna se conservaría siglos y siglos tal como lo dejaran sus constructores. En él no serían necesarios los cristales, porque no hay viento ni lluvia; tampoco harían falta los hogares y el fuego, porque el combustible no ardería sin aire; y los habitantes de una ciudad lunar no se verían molestados por el polvo, ni por los miasmas, ni por sonidos de ninguna especie.

El hombre está adaptado para vivir en condiciones muy limitadas: algunos grados de temperatura más ó menos, una ligera variación en la composición del aire y la precisa continuidad de la alimentación bastan para producir la diferencia entre la salud y el estado morbosos, entre la vida y la muerte. Si fijamos nuestras miradas más allá de la Luna para

contemplar la inmensidad del universo, vemos innumerables globos celestes con todas las variedades concebibles de temperatura y de constitución; y entre ese vasto número de mundos diseminados en el espacio, ¿habrá alguno habitado por seres vivientes? Á esta importante pregunta, la ciencia no puede contestar ni asegurar nada; pero es imposible abstenerse de hacer conjeturas. Vemos que en nuestro globo la vida rebosa en todas partes, y encontramosla bajo las más diversas condiciones que imaginarse pueda: hallamos la vida bajo el ardiente sol de los trópicos, y en las regiones del polo, donde reinan los hielos eternos, así como también en las grutas donde no penetra un solo rayo de sol; la vida existe hasta en las profundidades del océano; y cualesquiera que sean las circunstancias exteriores, la encontramos generalmente bajo una forma ú otra donde quiera que se vaya.

No es nada probable que entre los millones de esferas del universo haya una sola en un todo semejante á nuestro globo, y que tenga como éste aire y agua, el mismo volumen y composición; y tampoco parece verosímil que el hombre pueda vivir ni una sola hora en ningún cuerpo sino en la Tierra, así como el árbol no subsistiría en más esfera que la nuestra. Los hombres y las plantas pueden vivir en nuestro globo, porque su constitución se adapta especialmente á las condiciones particulares del planeta que habitamos.

Si pudiéramos observar más de cerca algunos de los cuerpos celestes, tal vez veríamos que en ellos también existe la vida, pero especialmente adaptada á cuanto les rodea: la vida en extrañas formas, más extrañas que las que Dante describió y Doré ha dibujado; y tal vez la inteligencia podría albergarse en esas esferas lo mismo que en nuestro globo.



---

## CAPÍTULO IV

### EL SISTEMA SOLAR

Importancia excepcional del Sol y de la Luna.—Su curso.—Orden de la distancia.—Los orbes inmediatos.—¿Cómo se han de distinguir?—Los planetas Venus y Júpiter llaman la atención por su brillantez.—Sirio no está próximo.—Los planetas Saturno y Mercurio.—Planetas telescópicos.—Significación de la palabra *planeta*.—Urano y Neptuno.—Cometas.—Los planetas están iluminados por el Sol, pero no las estrellas.—La Tierra es verdaderamente un planeta.—Los cuatro planetas interiores: Mercurio, Venus, la Tierra y Marte.—Velocidad de la Tierra.—Los planetas exteriores: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.—Luz y calor que los planetas reciben del Sol.—Volúmenes comparativos de los planetas.—Los planetas menores.—Todos los planetas efectúan su revolución en el mismo sentido.—El sistema solar.

EN los dos anteriores capítulos hemos tratado de describir los cuerpos celestes en el orden de su relativa importancia para la humanidad. Después de los preliminares, en los cuales se habló principalmente de los medios que nos permitían observar dichos cuerpos, procedimos á describir estos últimos, ocupándonos ante todo de los que merecen con preferencia nuestra atención en el Universo entero. No aludimos ahora á la significancia intrínseca del Sol cuando se compara con otros cuerpos ó grupos de los mismos diseminados en el espacio, pues tal vez haya muchos orbes que rivalicen con ese astro en esplendor, en volumen y en masa. En otro capítulo se demostrará que así es, en efecto; y después indicaremos el verdadero lugar del Sol entre los infinitos cuerpos celestes; pero cualesquiera que sea su importancia entre aquéllos, no se puede poner en duda ni un instante que su inconmensurable influencia sobre la Tierra sobrepuja á la de todos los demás. Era natural, por lo tanto, ó, mejor dicho, inevitable, que en nuestra primera excursión por los abismos del espacio, explorásemos, ante todo, ese poderoso cuerpo que es la fuente de nuestra vida misma.

Después del Sol debíamos dar la preferencia á la Luna, como ya se comprenderá. La importancia intrínseca de este astro, cuando se compara con otros cuerpos celestes, podrá ser escasa, y, á decir verdad, es casi infinitesimal; pero en la economía de nuestra Tierra tiene, y ha tenido, una in-

fluencia á que sólo excede la del mismo Sol. La Luna se halla tan cerca de nosotros, que sus brillantes rayos hacen invisibles infinitos orbes de un volumen y esplendor incomparablemente mayores; y además ocupa un lugar excepcional en la historia de la astronomía, pues el mayor descubrimiento que la ciencia hizo debióse al movimiento de ese astro.

Pero una vez descritos en parte el Sol y la Luna (después será necesario volver á tratar de ambos), natural era vacilar en cuanto á la elección del asunto de que nos ocuparíamos primero, pues fuera de esos dos grandes astros, no hay ningún otro cuerpo celeste de tan excepcional interés y significación que por tal concepto deba ser preferido para desarrollar la historia del cielo de la manera más natural. Si se tratase de describir los cuerpos celestes por el orden de su magnitud, la tarea sería imposible á causa de nuestra ignorancia, porque ni aun podemos asegurar cuál de aquéllos debería considerarse como el primero; y aunque el más poderoso se hallara al alcance de nuestros telescopios (suposición improbable), no tenemos la menor idea sobre la parte del cielo en que se debe buscar. Aun suponiendo que fuese posible alinear todos los cuerpos visibles por el orden de su magnitud y esplendor, también sería impracticable la tarea, porque de los más de ellos sabemos poco ó nada.

En su consecuencia debemos adoptar otro método; y el más sencillo, á la vez que el más natural, consistirá en seguir hasta donde sea posible el orden de distancia de los diferentes cuerpos celestes. Ya hemos dicho que la Luna es el que está más próximo á la Tierra, y, por lo tanto, consideraremos algunos de los otros cuerpos que se hallan comparativamente cerca de nosotros. Después se tratará de los que se encuentran más y más lejos, hasta que, llegados al final del libro, hablaremos de los cuerpos más distantes cuya existencia nos ha revelado también el telescopio.

Aun después de adoptado este plan, debemos tener algunas dudas en nuestra marcha, pues como muchos de los cuerpos celestes se mueven, sus distancias desde la Tierra cambian; pero esta dificultad no es, en rigor, suficiente para entorpecer nuestra marcha, pues no es nuestro ánimo someternos estrictamente á todos los detalles. Bastará describir primero esos grandes cuerpos, no muy numerosos, que, comparativamente hablando, están próximos á la Tierra, aunque separados de ella por vastas y diversas distancias; y después se tratará de los infinitamente lejanos, situados en alturas que apenas concibe nuestra mente.

Vamos, pues, á explorar el cielo para elegir aquellos orbes más inmediatos que deben ser objeto de nuestra primera excursión. El Sol se ha puesto, la Luna no ha salido aún: un cielo sin nubes nos presenta su límpida superficie, sembrada de innumerables puntos luminosos, agrupados unos en constelaciones bien marcadas, diseminados otros acá y allá con diversos grados de resplandor, desde el más reluciente hasta el que apenas se distingue á causa de su palidez. Entre todos esos cuerpos celestes ¿cómo reconocer aquellos que están más próximos á la Tierra? Mirad hacia el oeste. El Sol

acaba de ponerse, y en el punto en que sus últimos rayos lanzan el postrer fulgor, vemos la luminosa estrella de la tarde. Es el planeta Venus, que por su brillo y sus rápidos cambios, así en su posición como en resplandor, haría creer desde luego que se hallaba mucho más próximo á la Tierra que las otras estrellas. Esta suposición se ha confirmado por cuidadosas mediciones, y de consiguiente podemos comprender á Venus en la lista de los orbes más cercanos á nosotros.

Otro planeta notable, que casi rivaliza con Venus por su brillo y que aventaja á éste por sus grandiosas proporciones, se ha designado desde la más remota antigüedad con el majestuoso nombre de Júpiter. No se puede dudar que este planeta se halla mucho más lejos de nosotros que Venus, por lo menos una mitad más, siempre, y en algunas ocasiones á una distancia diez veces mayor; pero, á pesar de todo, debemos considerarle como planeta vecino. Comparado con las infinitas estrellas que en el cielo brillan, podríamos decir que está próximo. Cierto que la distancia que le separa de la Tierra se ha de expresar por centenares de millones de millas; mas por inmensa que esta distancia sea, debería multiplicarse por miles ó centenares de miles para obtener la medida del estupendo abismo que media entre la Tierra y las estrellas que forman las constelaciones.

Venus y Júpiter nos han llamado la atención como cuerpos luminosos, y ahora debemos citar algunos más, en los cuales la brillantez no es una indicación de que podamos fiarnos. Un profano en Astronomía supondría tal vez que la estrella Sirio, según la llaman comunmente, se halla cerca de nosotros, á juzgar por su brillo excepcional; pero no es así, como ya se verá más adelante al referirnos de nuevo á esa preciosa estrella de nuestro cielo del norte. Baste saber, por lo pronto, que Sirio es en realidad un poderoso globo que aventaja por mucho en esplendor á nuestro mismo Sol, pero que se halla sumido en las profundidades del espacio á tan extraordinaria distancia, que cuando sus debilitados rayos llegan á la Tierra nos producen la impresión, no de un sol poderoso, sino de una brillante estrella.

Antes de explicar el principio que nos guiará en la elección de los asuntos de que se ha de tratar, advertiremos que á nuestra lista de los cuerpos celestes es preciso agregar el conocido con el nombre de Saturno, cuya brillantez no llega con mucho á la de Sirio ni á la de algunas otras estrellas; y también Marte, el cual se aproxima algunas veces mucho á la Tierra, siendo entonces tan luminoso que apenas se creería que es intrínsecamente uno de los más pequeños cuerpos celestes. Además de los planetas citados, los antiguos astrónomos descubrieron otro que se llama Mercurio, por lo regular invisible, entre la luz que rodea al Sol. Sin embargo, á veces se aleja lo bastante de este último para que se le pueda ver antes de salir el Sol ó después de ponerse, por lo cual fué descubierto hace muchos siglos. Así, pues, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno forman la lista de los planetas conocidos de los astrónomos de la antigüedad.

Nosotros podemos, empero, ampliar un poco esta lista agregando los

cuerpos telescópicos que en los tiempos modernos se consideraron como dignos de figurar entre los demás. Aquí debemos exponer nuestro criterio en cuanto á determinar si un cuerpo está cerca de la Tierra ó no. Los planetas se pueden reconocer hasta cierto punto por la continua irradiación de su luz, que contrasta con el incesante centelleo de las estrellas; pero si se fija un poco la atención en cualquiera de los cuerpos citados, se notará una diferencia más marcada entre éstos y aquéllas. Así, por ejemplo, se observará en cualquiera noche serena, cuando el cielo está limpio, que Júpiter ocupa una posición dada respecto á las estrellas inmediatas; veremos cómo se halla á la derecha de ésta y á la izquierda de aquélla; y entonces se marcará el lugar de Júpiter en un mapa ó globo, ó bien se hará un bosquejo de las estrellas próximas para reconocer la posición del planeta. Al cabo de uno ó dos meses, cuando se hayan de repetir las observaciones, se ha de comparar de nuevo la posición de Júpiter respecto á las estrellas que le determinaban, y entonces se nota que estas últimas ocupan el mismo lugar, mientras que Júpiter ha cambiado de sitio. Por eso se le llama propiamente *planeta* (ó *estrella errante*), puesto que se mueve de continuo de un punto á otro del cielo. Por análogas comparaciones se podría demostrar que los otros cuerpos citados, Venus, Mercurio, Saturno y Marte, son también errantes y pertenecen á ese grupo de cuerpos celestes conocidos por *planetas*. Aquí tenemos, pues, el simple criterio por el cual se pueden distinguir muy pronto éstos de las estrellas. Todos los cuerpos celestes próximos á nuestro globo son planetas ó estrellas errantes, y el hecho de serlo basta para demostrar que pertenecen á la clase de que ahora nos ocupamos.

Sentado esto, podemos aumentar desde luego considerablemente nuestra lista, pues entre los miles de orbes cuya existencia nos revela el telescopio, encuéntrase acá y allá alguno errante. Á los cinco planetas ya citados debemos agregar otros dos muy notables, Urano y Neptuno, con lo cual tendremos un grupo de siete de los más importantes; y podremos admitir un inmenso número si fijamos la vista en los cuerpos celestes que parecen diminutos objetos telescópicos, y que en realidad son pequeños globos, comparados con el poderoso volumen de nuestra Tierra. Estos planetas menores, en número de doscientos á trescientos, figuran también entre los más próximos á nosotros.

En este punto debemos observar que pueden considerarse, como próximos á nosotros, varios cuerpos celestes de una clase muy distinta de la de los planetas. Nos referimos á los cometas; y, á decir verdad, puede suceder que uno de ellos se aproxima algunas veces á nuestro globo más que ningún planeta se acercó nunca. Estos notables y misteriosos visitantes nos ocuparán bastante en otro capítulo, y por ahora fijaremos sólo nuestra atención en esos globos más conocidos, grandes ó pequeños, que se llaman siempre planetas.

En algunos de los faros establecidos en las costas, en los cuales las luces

son intermitentes, cuando se quiere cortar ó interceptar éstas, empléanse para ello dos semicilindros opacos que encierran la llama central á intervalos dados, produciendo así la oscuridad. Imagínese por un momento que se pudiera adaptar alrededor del Sol un aparato semejante, de modo que fuese posible interceptar todos sus rayos. Como consecuencia evidente, tendríamos que la Tierra quedaría sumida en la oscuridad de la noche; y un momento de reflexión bastará para comprender que la Luna, brillando solamente por los rayos reflejados del Sol, sería del todo invisible. Pero ¿tendría algún otro efecto esa extinción de la luz del Sol? ¿Ejercería esto alguna influencia en los innumerables puntos brillantes que tachonan la celeste bóveda? En las noches de invierno, como el Sol está lejos bajo el horizonte, ningún rayo podría iluminar el cielo, y, por lo tanto, bien estuviere ó no realmente oscurecido el astro febeo, no habría diferencia entre tal oscuridad y la oscuridad de una noche de invierno sin luna; pero las tinieblas repentinas en el Sol producirían un efecto notable, fácil de comprender. Es indudable que las estrellas no manifestarían el menor cambio en su brillantez, pues cada una tiene su propia luz y no se la debe al Sol. Las constelaciones serían tan luminosas como antes, pero en los planetas se produciría un asombroso cambio. Si el Sol se oscureciera, los planetas desaparecerían al punto de nuestra vista: todos ellos se extinguirían como por encanto, y las estrellas se conservarían inalterables. Parece difícil al principio comprender cómo la brillantez de Venus ó la de Júpiter puedan deberse sólo á los rayos que hieren esos cuerpos desde el lejano Sol; pero la evidencia es concluyente en este punto, y ya se reconocerá así cuando tratemos en detalle de los diversos planetas.

Otra objeción se podría hacer aquí. Supóngase que estamos contemplando á Júpiter en una noche de invierno. Podría alguien razonablemente sostener que hallándose la Tierra entre Júpiter y el Sol, los rayos de éste, por lo tanto, no pueden caer sobre el planeta; y tal vez este modo de ver no tendría nada de particular, para un habitante de nuestro globo, hasta que conociere los volúmenes de los diversos cuerpos y las distancias que les separan. Mas para un morador del planeta Júpiter la cuestión tendría otro aspecto muy distinto. Si á semejante ser se le preguntase si le causaba mucho trastorno la interposición de la Tierra entre él y el Sol, su contestación sería poco más ó menos la siguiente: —El paso de la Tierra entre el Sol y yo es un acontecimiento posible, y ha ocurrido en raras ocasiones á largos intervalos; pero distaría mucho de ser una perturbación, pues toda la Tierra, de la que tanto se presume, es en realidad tan diminuta, comparada con el Sol, que cuando aquélla estuviere frente á éste no parecería más que un punto telescópico, siendo inapreciable la cantidad de luz interceptada.

El hecho de que los planetas brillan por la luz del Sol indica desde luego la semejanza entre ellos y nuestra Tierra, y esto nos induce á considerar el astro luminoso como un globo central refulgente asociado con otros

mucho más pequeños, cada uno de los cuales, siendo un cuerpo oscuro, debe al Sol su luz y su calor.

Cuando se demostró la naturaleza del sistema solar, dióse realmente un paso inmenso en el progreso de la ciencia astronómica. El descubrimiento de que la Tierra, cuyo estupendo volumen conocemos, era en realidad un globo suspendido libremente en el espacio, se debió sin duda á un poderoso esfuerzo de la inteligencia humana; pero cuando se reconoció que ese glo-

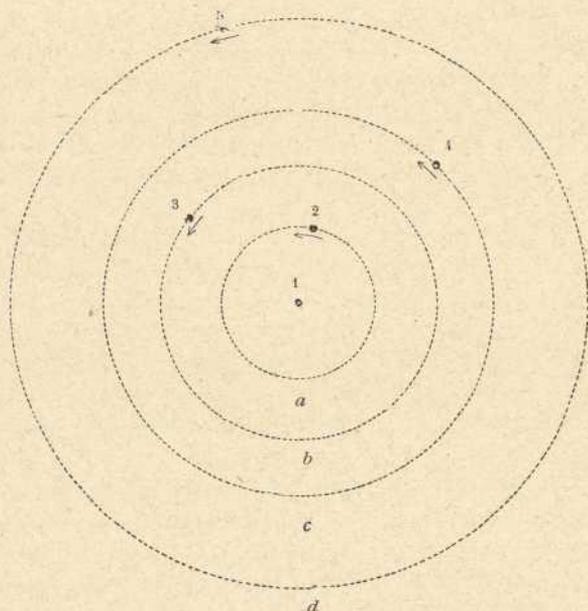


FIG. 28.—LAS ÓRBITAS DE LOS CUATRO PLANETAS INTERIORES

1. El Sol.—2. Mercurio: *a*, 88 días.—3. Venus: *b*, 225 días.—4. La Tierra: *c*, 365 días.  
5. Marte: *d*, 687 días

bo sólo formaba parte de un grupo de otros, algunos pequeños y no pocos muy grandes, y que todos estaban subordinados al Sol, se llegó á una serie de descubrimientos de tal importancia, que no ha tenido paralelo en la naturaleza.

Vemos, pues, que el Sol preside una numerosa familia, cuyos individuos dependen de él y tienen un volumen proporcionado á su posición subordinada. El planeta Júpiter, el más grande entre todos, contiene una milésima parte del material que constituye el volumen total del Sol; y, sin embargo, Júpiter aventaja á todos los demás juntos.

En el centro de nuestro diagrama (fig. 28) se ha representado el Sol, y á su alrededor se ven cuatro pasos casi circulares, indicados por líneas de puntos, para denotar las órbitas en que los diversos cuerpos giran. El más

interno es la órbita del planeta Mercurio, que se mueve alrededor del Sol en ese paso y vuelve al punto de partida en 88 días.

La órbita siguiente, procediendo hacia el exterior, es la del planeta Venus, del que ya hemos hablado, dándole el bien conocido nombre de *Lucero de la tarde*. Se mueve alrededor de su paso en un período de 225 días. Un paso más desde el Sol y llegamos á la órbita de otro planeta, casi del mismo volumen que Venus, y mucho más grande que Mercurio. Efectúa su revolución en 365 días, período muy conocido de nosotros porque representa nuestro año. Y ahora añadiremos que el planeta de que se trata es la Tierra que habitamos. No podrá menos de experimentar asombro el que trate de darse cuenta del enorme trayecto que nuestro globo recorre en su viaje anual. Todos saben que la circunferencia de un círculo viene á ser  $3 \frac{1}{7}$  veces su diámetro; de modo que, admitiendo que la distancia desde la Tierra al Sol es de 927.000,000 de millas, el diámetro del círculo que la Tierra describe alrededor del Sol será de 185.400,000 millas, y de

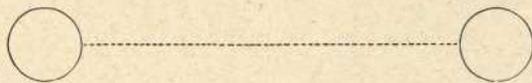


FIG. 29.—EL MOVIMIENTO DE LA TIERRA

consiguiente tendremos para la circunferencia unos 583.000,000 de millas. Esta es la distancia que la Tierra debe recorrer en un año, y bastará un sencillo cálculo para ver qué espacio ha de franquear cada segundo á fin de efectuar su largo viaje en el término prescrito. Por ese cálculo se hallará que dicho espacio es de unas 18 millas, y que de otro modo no completaría su revolución en el plazo indicado.

Reflexiónese ahora un momento sobre lo que implica una velocidad de 18 millas por segundo. ¿Cómo se explica tan espantosa rapidez? Comparémosla con nuestros tipos de movimiento acelerado: vemos el tren *express* atravesar un puente, perderse de vista á los pocos instantes, y parécenos que ninguna velocidad puede igualar á la suya. El tren recorre una milla por minuto: multiplíquese esta velocidad por 18 y tendremos otras tantas millas por *minuto*; pero se ha de volver á multiplicar por 60 para que resulten 18 millas por *segundo*. Vemos, pues, que la velocidad del tren no llega ni á la milésima parte de la de la Tierra. Otro ejemplo: en el tiro al blanco obsérvase que la bala de una carabina franquea la distancia de 1,000 pies ó más en un segundo ó dos, y se nos figura que ningún otro cuerpo podría aventajar al proyectil en rapidez; pero la Tierra se mueve con una velocidad casi cien veces mayor. Sin embargo, desde otro punto de vista, esto no parece tan inconcebible: la Tierra es un poderoso globo, tan sumamente grande que, aun moviéndose con su vertiginosa celeridad, necesita al menos 8 minutos para pasar por su propio diámetro; y hé aquí por qué la rapidez no resulta ser tan enormemente considerable cuando se

considera el inmenso volumen de nuestro globo. Para mayor claridad representamos en el diagrama (fig. 29) el movimiento de la Tierra: la distancia entre los centros de los círculos es unas seis veces el diámetro, y, de consiguiente, si los dos representan la Tierra, el tiempo empleado para pasar desde una posición á la otra es de unos 48 minutos.

Volvamos á la explicación de la fig. 28. Un paso más desde la Tierra y llegaremos á la órbita del cuarto planeta, Marte, que necesita 687 días, ó

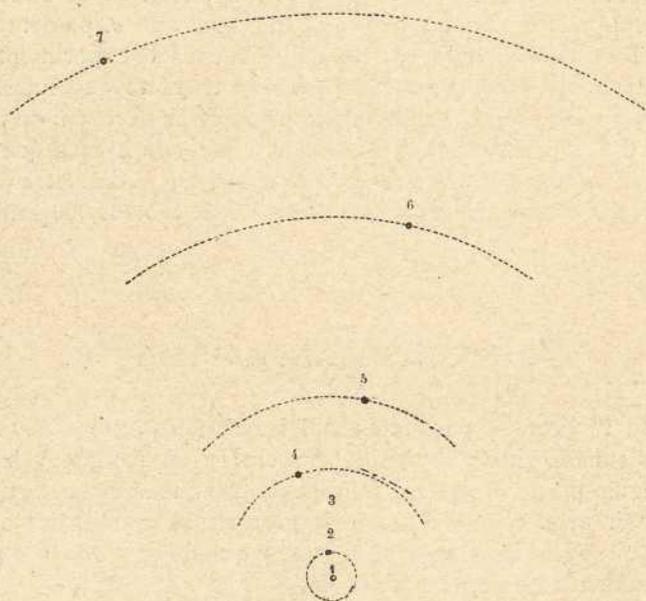


FIG. 30.—LAS ÓRBITAS DE LOS CUATRO PLANETAS GIGANTES

1. El Sol.—2. Marte.—3. Los planetas menores.—4. Júpiter, 12 años.—5. Saturno, 29 años.  
6. Urano, 84 años.—7. Neptuno, 165 años

casi dos años, para recorrer su circuito. Aquí tocamos en el límite de la porción interior del sistema solar.

Los cuatro planetas citados constituyen de por sí un grupo que se distingue por su comparativa proximidad al Sol, y también porque son cuerpos de moderadas dimensiones. En nuestro sistema, Venus y la Tierra son globos casi del mismo volumen; Mercurio y Marte, más pequeños, son un término medio entre el de la Tierra y el de la Luna. Los cuerpos gigantes de nuestro sistema, los que constituyen el notable grupo de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, aventajan mucho por su vasto volumen y peso á los cuatro planetas que se acercan más al Sol; pero, así como ellos, están regidos por el astro del día. En nuestro diagrama (fig. 30) representáanse partes de las órbitas de los grandes planetas exteriores: el Sol preside en

el centro, pero los planetas internos estarían así tan cerca del astro luminoso que sólo es posible figurar la órbita de Marte; después de esta última sigue un considerable espacio, aunque no falta en él la actividad pla-

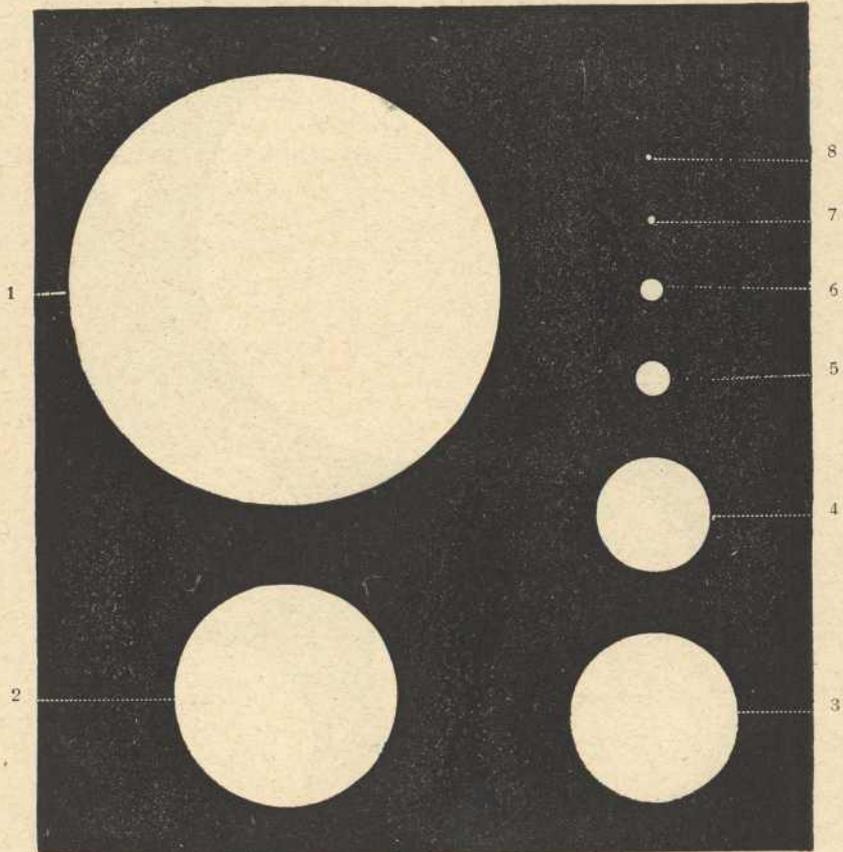


FIG. 31.—TAMAÑO DEL SOL EN COMPARACIÓN CON EL DE LOS VARIOS PLANETAS

1. Desde Mercurio.—2. Desde Venus.—3. Desde la Tierra.—4. Desde Marte.—5. Desde Júpiter.—6. Desde Saturno.—7. Desde Urano.—8. Desde Neptuno

netaria; luego encontramos las de Júpiter y Saturno, y más lejos se halla Urano, limitando todo el sistema la grande órbita de Neptuno, planeta del cual debemos referir una historia maravillosa.

Los diversos círculos de la fig. 31 darán idea de las aparentes dimensiones del Sol según se ve desde los distintos planetas. Tomando el que corresponde á la Tierra para representar la cantidad de calor y luz que aquélla recibe del Sol, los demás círculos denotan el calor y luz de que

disfrutan los planetas correspondientes. Entre los exteriores á la Tierra figura Marte, cuya participación en el calor solar no es mucha menor que la de la Tierra; pero cuando contemplamos á Júpiter y Urano ó Neptuno,

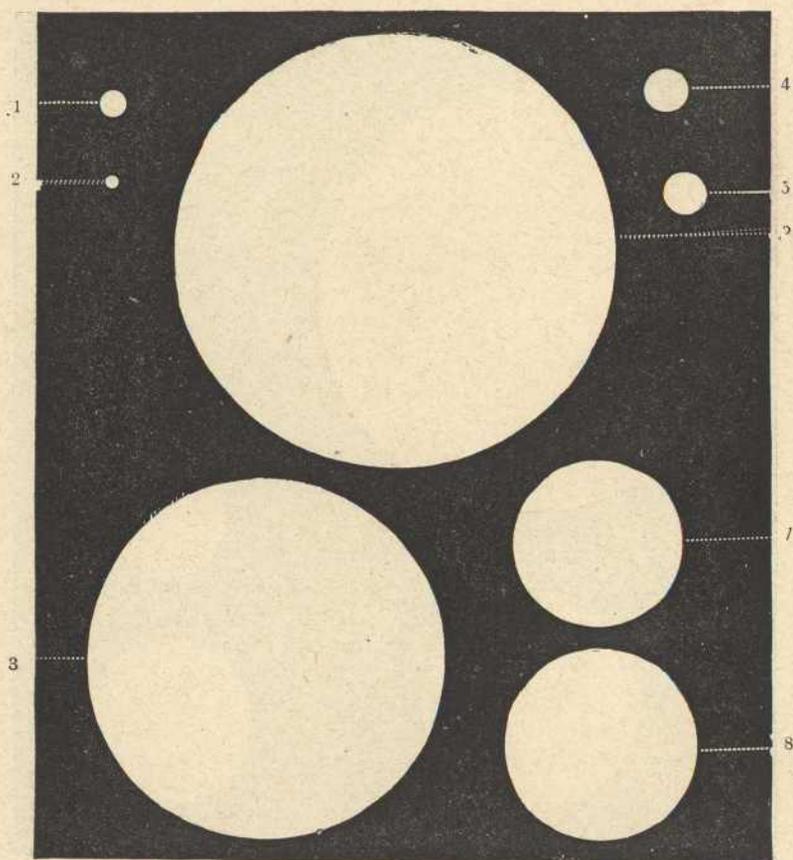


FIG. 32.—TAMAÑOS COMPARATIVOS DE LOS PLANETAS

1. Marte (el planeta rojo).—2. Mercurio (el planeta más cercano al Sol).—3. Saturno (el planeta con anillos).—4. La Tierra (nuestro planeta).—5. Venus (el lucero de la tarde).—6. Júpiter (el planeta mayor).—7. Urano (el planeta de Herschel).—8. Neptuno (el planeta más lejano).

apenas comprendemos cómo cuerpos tan lejanos del Sol pueden tener climas en algún modo comparables con los de los planetas más favorablemente situados.

La fig. 32 representa toda la familia de los planetas que rodean el Sol, habiéndose adoptado la misma escala para dar mejor idea de sus volúmenes comparativos. Según se verá, Júpiter no es solamente el mayor plane-

ta, sino también más grande que todos los otros juntos. Su volumen excede en mil doscientas veces al de la Tierra, es decir, que se necesitarían mil doscientos globos como el nuestro para formar uno equivalente al de Júpiter. En cuanto al peso, su diferencia con el de la Tierra, aunque también enorme, no es tan considerable, y no entraremos aquí en más detalles porque debemos tratar otra vez este punto en otro capítulo.

En esta breve reseña del sistema solar no podríamos dejar de referirnos á los muy numerosos planetas que llaman nuestra atención así por su volumen como por su multitud. En otro tiempo creyóse que en la extensa zona limitada en el interior por la órbita de Marte y en la exterior por la de Júpiter, no hacía su revolución ningún planeta; pero las más recientes investigaciones han demostrado que esta vasta área no contiene un planeta solo, sino centenares de ellos. Muchos de nuestros más celosos astrónomos se han encargado de descubrirlos, y la determinación de sus movimientos no da poco que hacer á los que se dedican al estudio de esta ciencia. Mucho hay que aprender sobre los más diminutos cuerpos celestes, y por esto les consagraremos después un capítulo.

Pero no es nuestro ánimo profundizar la estadística del sistema planetario. Los astrónomos han hecho ya una reseña más ó menos completa de cada uno de los principales cuerpos celestes, han medido sus distancias, las formas de sus órbitas, las posiciones que ocupan y el tiempo de su revolución, dándonos á conocer, sobre todo, los volúmenes y peso de los planetas más grandes. Todo esto ofrece mucho interés en la astronomía; mas ahora fijaremos particularmente nuestra atención en los puntos más generales de la ciencia.

Para terminar el presente capítulo recordaremos una ó dos importantes verdades respecto á este magnífico sistema planetario. Hemos visto que los planetas efectúan todos su revolución en pasos casi circulares alrededor del Sol, y ahora debemos consignar otro hecho de grande importancia, cual es el de que los planetas siguen su curso en la misma dirección. Así, pues, puede suceder que uno alcance á otro, pero jamás se dará el caso que dos se crucen como los trenes en las líneas adyacentes de un ferrocarril; resultando de aquí que la conservación de nuestro sistema, es decir, su existencia continua, depende de esa notable uniformidad.

Tal es nuestro sistema solar, grandioso grupo bien organizado de planetas que circulan alrededor de un sol común, suspendido en el espacio y completamente aislado de toda intervención externa. Ninguna estrella, ninguna constelación ejerce una influencia apreciable en nuestro sistema solar. Nosotros constituimos un pequeño grupo de islas separadas de los cuerpos celestes más próximos por las más inmensas distancias. Tal vez las otras estrellas, siendo soles, tendrán sistemas planetarios que circulan á su alrededor; pero sobre esto nada sabemos. De las estrellas sólo podemos decir que son puntos luminosos, y si tuvieran planetas éstos permane-

cerían invisibles para nosotros siempre, aunque tuviesen muchas veces el volumen de Júpiter.

Esta limitación á nuestros conocimientos posibles no debe inquietarnos; pues así como se encuentra en el sistema solar todo cuanto se requiere para satisfacer nuestras necesidades materiales y diarias, así se hallará suficiente ocupación para el espíritu en el estudio que tiene por objeto penetrar en los misterios celestes que están á nuestro alcance.



---

## CAPITULO V

### LA LEY DE LA GRAVEDAD

La gravedad.—Caída de una piedra al suelo.—Todos los cuerpos caen igualmente.—Diez y seis pies por segundo.—¿Será esto verdad en las grandes alturas?—Cómo Newton obtuvo contestación de la Luna.—Su gran descubrimiento.—Cómo fué estatuida la ley de la gravedad.—Ilustraciones de la misma.—¿Por qué no chocan entre sí todos los cuerpos del Universo?—Efecto del movimiento.—Cómo se puede producir un paso circular por la atracción.—Idea general sobre el movimiento de la Luna.—¿Es la gravitación una fuerza de grande intensidad?—Dos pesos de 50 libras.—Dos globos de hierro, de 53 varas de diámetro, separados por la distancia de una milla, se atraen con la fuerza de una libra.—Características de la gravedad.—Las órbitas de los planetas no son estrictamente círculos.—Descubrimientos de Kepler.—Construcción de una elipse.—Primera ley de Kepler.—¿Se mueve un planeta uniformemente?—Ley de los cambios de velocidad.—Segunda ley de Kepler.—Relación entre las distancias y la periodicidad.—Tercera ley de Kepler.—Las leyes de Kepler y la ley de la gravedad.—Movimiento en línea recta.—Un cuerpo no sometido á las fuerzas perturbadoras se movería en línea recta con una velocidad constante.—Aplicación de este principio á la Tierra y á los planetas.—La ley de la gravedad deducida de las de Kepler.—Gravitación universal.

**D**EBEMOS interrumpir por un momento nuestra historia de los cuerpos celestes para enunciar y describir con algunos pormenores el principio, extremadamente importante, conocido con el nombre de *ley de la gravedad*; ley que domina todo el conjunto de la astronomía y á la que deben atribuirse los movimientos de la Luna alrededor de la Tierra y los de los planetas alrededor del Sol. Esos movimientos se pueden explicar muy bien una vez admitida la ley de la gravedad, y, por lo tanto, debemos darla á conocer antes de entrar en los detalles sobre los planetas más separados de nosotros. También veremos que esa ley arroja mucha luz en la historia de las estrellas situadas á las más asombrosas distancias en el espacio, facilitándonos también la clave que nos permite dirigir una ojeada retrospectiva á los tiempos pasados para trazar con probabilidades de acierto, si no con seguridad, las primeras fases de la historia de nuestro sistema. El Sol y la Luna, los planetas y los cometas, las estrellas y las

nebulosas, todo está sometido á esa ley universal en que ahora vamos á ocuparnos.

¿Hay nada más común que el hecho de que una piedra arrojada desde cualquiera altura caiga al suelo? Tan familiarizados estamos con esto, que nadie se fija en ello ni lo cree digno de observación. Hay muchos á quienes sorprende á menudo ver una pieza de hierro atraída por un imán, y, no obstante, la caída de una piedra en el suelo es la manifestación de una fuerza no menos interesante que la del magnetismo. La Tierra es la que atrae el cuerpo arrojado, así como el imán atrae el hierro: en ambos casos la fuerza es la de atracción; pero mientras la atracción magnética se concreta á unas cuantas sustancias y tiene un valor comparativamente limitado, la atracción de la gravedad se extiende á grandes distancias por todo el Universo.

Citemos algunos sencillos experimentos sobre la fuerza de gravedad. Cójase con la mano un pedazo de plomo y déjese caer sobre un cojín: para llegar á este último el plomo necesita algún tiempo, que será siempre el mismo cuando la altura lo sea también. Después se tomará otro pedazo grande de plomo, y, si se tiene otro en cada mano á igual elevación y se deja caer á la vez, ambos llegarán al cojín al mismo tiempo. Pudiera creerse que el cuerpo más pesado caería más rápidamente que el ligero; pero cuando se hace la prueba vemos que no sucede así. Repítase el experimento con otras varias sustancias, como, por ejemplo, un pedazo de mármol: también caerá al mismo tiempo que el plomo; y si se hace uso de un corcho tendremos el mismo resultado. Diríase que esto no es exacto si comparamos una pluma con el pedazo de plomo; pero esto es debido solamente al aire, que opone á la primera mayor resistencia que al segundo. Si la pluma se colocara sobre una moneda de cobre y esta última estuviese horizontal al caer, separaría el aire en el descenso, y entonces la pluma caería tan pronto como la moneda, como el mármol ó como el pedazo de plomo.

Si el observador se hallase en una galería al practicar estos experimentos, y si el cojín estuviera á 16 pies bajo sus manos, el tiempo empleado por el mármol para caer desde esta altura sería un segundo; el corcho ó el plomo necesitarían lo mismo, y hasta la pluma recorrería la distancia en igual tiempo si pudiera prescindirse de la interferencia del aire. Hágase la prueba en cualquier ciudad, isla ó continente, á bordo de un buque en el mar, en el Polo Norte, en el Polo Sur, ó en el Ecuador: siempre se verá que cualquier cuerpo, sean cuales fueran sus dimensiones, recorrerá en un segundo una elevación de 16 pies, poco más ó menos. Para mayor claridad añadiremos que la distancia recorrida en un segundo varía muy ligeramente en los diferentes puntos de la Tierra y por causas que no es ahora necesario detallar aquí. Por lo pronto consideraremos que la altura de 16 pies es la que puede franquear un cuerpo en un segundo, libre de toda interferencia, en cualquiera parte de la su-

perficie de la Tierra; pero ahora elevémonos sobre ésta para ver hasta qué punto rige la misma ley. Subamos, por ejemplo, á la cima de una montaña á fin de hacer allí el experimento, y pronto se verá que en esa altura el mármol necesitaría, para recorrer la distancia de 16 pies, un poco más que en la base de la montaña. La diferencia sería infima, pero podría medirse, siendo suficiente para demostrar que la fuerza de la Tierra, para atraer el objeto al suelo, se debilita algo á cierta altura. Sin embargo, bien se ascienda á la cima de una elevada montaña ó ya á las considerables alturas á que alcanza el globo del aeronauta, siempre veremos que subsiste la tendencia de los cuerpos á caer á tierra, aunque es indudable que, cuando más nos alejemos de la superficie de esta última, más se debilitará esa tendencia. Sería del mayor interés averiguar hasta qué punto se extiende esa fuerza de atracción. No podemos elevarnos á más de unas 5 ó 6 millas sobre la superficie de la Tierra, sirviéndonos del globo; pero quisiéramos saber qué sucedería si nos fuese dado llegar á la altura de 500 á 5,000 millas ó más lejos aún en las profundidades del espacio.

Supongamos que un viajero tuviese los medios de ascender en la atmósfera á la distancia de miles y miles de millas, hasta llegar á la espantosa elevación de 250,000 millas sobre la Tierra: mirando desde aquel punto á la superficie de la misma, que se hallaría á tan estupenda profundidad, divisaría todo el mundo como á vista de pájaro, sin serle posible, por supuesto, apreciar los detalles de las ciudades y pueblos. Los caracteres de semejantes paisajes serían continentes enteros é inmensos océanos si los claros de las nubes dejaban en descubierto la superficie de la Tierra.

A esa asombrosa altura, el viajero podría practicar uno de los más curiosos experimentos que jamás le fué dado á ningún filósofo imaginar: vería si la atracción de la Tierra alcanza á semejante elevación, y le sería dado medirla. Tomaríase para el experimento un pedazo de corcho, de mármol ó cualquier otro objeto, grande ó pequeño. Todos sabemos lo que sucedería aquí abajo si se arrojara; pero se necesitaría un Newton para que nos dijera qué ocurriría en tal caso allá arriba. Newton nos dice que la fuerza de la Tierra para atraer los cuerpos hacia sí se extiende aún á esas inmensas alturas, y que el mármol caería. Podemos demostrar que es así, y estamos preparados para el experimento. Tenemos el mármol en la mano, le dejamos caer, y al punto proferimos una exclamación de asombro al ver que aquel cuerpo, una vez libre, no cae rápidamente, sino que parece quedar suspendido. Al observar esto, cualquiera creería hallarse fuera de la atracción de la tierra, suponiendo entonces que Newton se ha equivocado; pero después se vería que el mármol comienza á moverse muy lentamente al principio, y luego con más rapidez, hasta que, adquiriendo cada vez mayor velocidad, parte como una flecha para terminar su largo viaje de 250,000 millas.

Seguramente se dirá que semejante experimento es de todo punto imposible, y, á no dudarlo, nadie podría hacer la demostración de la manera

descrita. A Newton le ocurrió la atrevida idea de servirse de la misma Luna, que se halla casi á dicha distancia sobre la Tierra, para que contestara á estas preguntas; y á fe que nunca se hizo mejor uso de ella. Ese astro desciende á cada momento hacia la Tierra, y podemos calcular cuánto se desvía á cada segundo en dirección á nuestro globo, obteniendo así la medida de la fuerza de atracción de la Tierra. Gracias á ese astro, Newton pudo averiguar que el cuerpo arrojado desde la altura de 240,000 millas sería atraído aún por el suelo que pisamos, y que en virtud de la atracción el cuerpo comenzaría á moverse hacia nosotros, no con la velocidad que observamos aquí abajo, sino con mucha más lentitud. A la distancia de la Luna, un cuerpo, lejos de recorrer lo de 16 pies en un *segundo*, necesitaría para la misma, al principio de su viaje, un *minuto* (1).

A fuerza de observaciones y de estudio, Newton obtuvo por la Luna su inmortal descubrimiento. La gravedad de la Tierra es una fuerza que se extiende muy lejos en el espacio; pero cuanto más distante se halla el cuerpo, más débilmente gravita; y con esto halló Newton el medio para determinar el gran problema respecto á la ley según la cual decrece la fuerza de gravedad. Por la Luna supo que un cuerpo situado á 240,000 millas de distancia requiere un minuto para recorrer un espacio igual al que franquearía en un segundo en su descenso aquí abajo; y este dato era de la mayor importancia. En primer lugar porque demuestra que la fuerza de atracción de la Tierra se debilita con la distancia. A decir verdad, así debía esperarse: razonable era suponer que, á medida que nos retiramos más y más en las profundidades del espacio, la fuerza de atracción debe disminuir, como disminuye el brillo de una luz cuanto más nos alejamos de ella; y es muy notable que la ley según la cual la atracción de la gravedad decrece con la mayor distancia, sea precisamente la misma que aquella según la que el brillo de una luz decrece cuando la distancia aumenta. La ley de naturaleza, anunciada en su más simple forma, nos dice que la fuerza de la gravedad varía en razón inversa al cuadrado de la distancia.

Trataremos de dilucidar este principio, un poco abstracto, con algún sencillo ejemplo. Supóngase que un cuerpo ascendiese sobre la superficie de nuestro globo á la altura de cerca de 4,000 millas, de modo que se hallara á una elevación igual al radio de la Tierra, ó, en otros términos, situado de modo que estuviese dos veces tan lejos del centro de aquélla como un cuerpo colocado en la superficie. Según la ley de la gravedad, la fuerza de la atracción debe disminuir entonces en una cuarta parte; de modo que la que ejerce la Tierra sobre un cuerpo situado á 4,000 millas de

---

(1) El espacio recorrido por un cuerpo que cae es proporcional al producto de la fuerza y al cuadrado del tiempo. La fuerza varía inversamente como el cuadrado de la distancia desde la Tierra; de modo que el espacio variará como el cuadrado del tiempo, é inversamente como el de la distancia. Si esta última aumenta, por lo tanto, seis veces, el tiempo debe aumentar también seis veces para que el espacio recorrido siga siendo el mismo.

altura, sólo es un cuarto de la que ejercería mientras aquél estuviese en la superficie del suelo. Podríamos ver el efecto de esta atracción demostrado de diversos modos: déjese el cuerpo caer, y en el intervalo de un segundo sólo descenderá 4 pies, ó sea un cuarto de la distancia que la gravedad recorre cerca de la superficie de la Tierra; ó, para aclarar más la idea, supongamos que la atracción de aquélla se mide con uno de esos pequeños aparatos llamados *balanzas de muelle*. Si se suspende un peso de cuatro libras en esa balanza, en la superficie de la Tierra el fiel marcará solamente dicho peso; pero si se imagina que el aparato es conducido á una inmensa altura, el peso marcado disminuiría más y más, hasta que al llegar la balanza á la elevación de 4,000 millas, donde estaría *dos veces* más lejos del centro de la Tierra que no al principio, el peso señalado menguaría en una cuarta parte, y la balanza no marcaría ya más que una libra. Si imaginásemos una altura mayor aún, el fiel del aparato seguiría señalando menos peso; de modo que cuando llegase á estar á 8,000 millas, estando entonces *tres veces* más lejos del centro de la Tierra que no al principio, la atracción habría disminuído en una novena parte según la ley de la gravedad. Supongamos ahora que la balanza se hallase situada con su peso de cuatro libras en la órbita que la Luna atraviesa en su curso mensual alrededor de la Tierra: la distancia será entonces unas sesenta veces el radio de aquélla, y, de consiguiente, la atracción de la gravedad disminuirá en la proporción de uno al cuadrado de 60. La balanza no marcará entonces más que la fracción inapreciable de  $1-3,600^a$  parte de las 4 libras; y también vemos que un peso que en la Tierra era de tonelada y media, si se elevase á 240,000 millas quedaría reducido á menos de una libra. La astronomía parece enseñarnos que la atracción de la gravedad se puede extender por los más profundos golfos del espacio.

Este principio tiene mucha más trascendencia de la indicada hasta aquí. Sólo hemos hablado de la atracción de la Tierra, demostrando que ésta se extiende á través del espacio; pero la ley de la gravedad no es tan limitada. No solamente la Tierra atrae todos los cuerpos, siendo ésta á su vez atraída por ellos, sino que todos se atraen entre sí ó mutuamente; de modo que la ley de la gravedad, en su más completa forma, nos dice que "todo cuerpo del universo atrae á otro con una fuerza que varía en razón inversa del cuadrado de la distancia."

Es imposible para nosotros apreciar tanto como es debido la importancia de esa ley, que nos facilita la clave para explicar los complicados movimientos de los planetas; ha servido también para hacer maravillosos descubrimientos, en los cuales la ley de la gravedad nos permitió anticiparnos al telescopio para adivinar la existencia de cuerpos antes de haberlos visto.

Aquí se podría hacer una objeción, á la verdad muy plausible. Si la Tierra atrae la Luna, se preguntará, ¿por qué no cae el astro á la Tierra? Si la Tierra es atraída por el Sol ¿por qué no llega hasta él? Si el Sol se

halla sometido á la atracción de otras estrellas ¿por qué no se verifica una espantosa colisión? No sin razón se podría alegar que si todos los cuerpos celestes se atraen entre sí, parecería natural que se precipitasen unos contra otros por efecto de esa atracción, convirtiendo así todo el universo material en una inmensa masa. Ya sabemos que esos choques no ocurren con frecuencia, y que es muy poco probable que esto se verifique. Por lo pronto vemos que aunque nuestra Tierra ha sido atraída por el Sol, según dicen, durante los siglos de los siglos, se halla ahora tan lejos del astro febeo como lo estaba antes. ¿No está esto en contradicción con la doctrina de la gravedad universal? En los primeros tiempos de la Astronomía semejantes objeciones se consideraron como insuperables; y aun se oye á veces hacerlas, por lo cual estamos más en el deber de explicar cómo el sistema solar ha podido librarse de la catástrofe de que parecía amenazado.

No puede dudarse que si la Tierra y la Luna hubiesen estado inicialmente colocadas en *reposo*, se habrían unido por la atracción, sucediendo lo mismo con el Sol y los planetas que lo rodean, en cuyo caso el sistema se hubiera destruido; pero el caso es que aquéllos se mueven, así como la Luna, y hé ahí por qué esos cuerpos pudieron resistir bien á la atracción, que hubiera ocasionado su aniquilamiento.

Es tan necesario comprender claramente cómo la atracción central es compatible con la revolución en un paso casi circular, que nos parece oportuno representarlo aquí (fig. 33) para que se vea de qué modo la Luna recorre su órbita mensual, guiada y gobernada por la atracción de la Tierra.

El imaginario esquema de la fig. 33 figura un corte de la Tierra, con una alta montaña en su parte superior: si se colocara un cañón en la cima de aquélla, en C, y se disparase la bala en la dirección C E con una escasa carga de pólvora, el proyectil se movería á lo largo del primer paso curvo; si se disparara segunda vez con mayor carga, el paso se efectuaría por la segunda línea y la bala caería de nuevo en el mar; pero si empleamos una cantidad de pólvora más considerable aún, sirviéndonos de un cañón de mayor calibre que el de las piezas construidas hasta aquí, otro será el resultado. La velocidad del proyectil debe ser ahora de algunas millas por segundo, pero debemos suponerla ajustada de tal modo que el proyectil se mueva á lo largo del paso CD, siempre á la misma altura sobre el mar, aunque circunvolucionando todavía, como debe hacerlo todo el proyectil, desde la línea horizontal en que se movió en el primer momento. Llegada á D, la bala debe estar aún á la misma altura sobre la superficie, y como su velocidad no ha disminuído, partirá al punto de nuevo, moviéndose alrededor de otro arco de círculo sin acercarse más á la superficie. De este modo la bala viajará alrededor de todo el globo, volviéndose otra vez á C y partiendo de nuevo por el mismo paso. Si entonces pudiésemos derribar la montaña con el cañón de la cima, tendríamos un cuerpo que efectuaría

siempre su revolución alrededor de la Tierra por efecto de la atracción de la gravedad.

Haciendo ahora un esfuerzo mental, imaginemos un enorme cañón que pudiera disparar una bala de 2,000 millas de diámetro, y supongamos también que el proyectil, cuya velocidad debe ser de 3,000 pies por segundo, ó sea dos ó tres veces mayor que la de cualquiera de nuestras piezas modernas, se dispara horizontalmente desde un punto que se halle casi á 250,000 millas sobre la superficie de la Tierra. Alrededor de ésta última la estupenda bala progresaría en una órbita casi circular, volviendo al punto de partida en unas cuatro semanas. Después comenzaría una nueva revolución, y, transcurrido un segundo período igual, volvería á encontrarse en el sitio en que se disparó, repitiéndose este movimiento siglos y siglos.

No se crea que esto es un cuento: si no existe el gigantesco cañón, en cambio se puede mostrar la poderosa bala, pues la vemos todos los meses: es la magnífica Luna. Nadie dice que el astro se dispara nunca con semejante cañón, pero debe admitirse que se mueve como si hubiera sucedido así. En otro

capítulo profundizaremos la historia de la Luna para demostrar cómo llegó á efectuar su revolución de esa manera tan maravillosa.

Nuestro grabado indica que un movimiento circular ó casi circular, como el de la Luna alrededor de la Tierra, ó el de ésta alrededor del Sol, se armoniza con la concepción de la ley de la gravedad universal.

Estamos acostumbrados á considerar esta última como una fuerza de estupenda magnitud. ¿No es la gravedad la que rige los movimientos de la Luna en su revolución alrededor de la Tierra? Y ¿no se halla esta última retenida en su paso alrededor del Sol por la inmensa fuerza superior de la atracción del astro? Nadie puede negar que todos los cuerpos accesibles á nuestra observación parecen atraerse mutuamente, obedeciendo á la ley de la gravedad; pero debe confesarse que, si uno de los que atraen á otro, ó los dos, no tienen un enorme volumen, la intensidad será casi inapreciable. Procuremos demostrar cuán débil es la fuerza de la gravedad entre

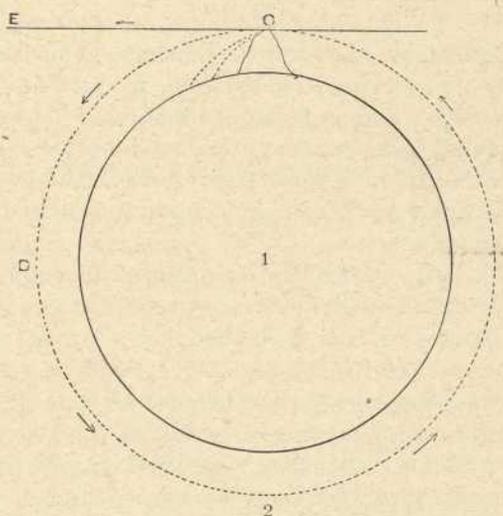


FIG. 33.—ILUSTRACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LA LUNA  
1. Sección imaginaria de la Tierra.—2. Paso del proyectil

cuerpos de reducidas dimensiones: tómense, por ejemplo, dos pesas de hierro de 50 libras cada una y colóquense de modo que estén separadas por la distancia de un pie de centro á centro: se observará que hay atracción de gravedad entre ambas y que las dos tienden á unirse, aunque no se mueven, lo cual consiste en que esa fuerza invisible, aunque existe ciertamente, es en extremo limitada. Aquí no se trata de una fuerza comparable por su intensidad con la magnética. Todo el mundo sabe que el imán atraerá poderosamente una pieza de hierro; pero la intensidad de la gravedad es mucho menor en masas de gran volumen. La atracción entre esas dos pesas de 50 libras es inferior á la diez millonésima parte de una sola libra. Semejante fuerza es infinitesimal comparada con el roce entre las pesas y la mesa en que se hallan, y por lo tanto no es respuesta á la atracción ni aun por el más ligero movimiento. Sin embargo, si suponemos que cada una de esas pesas está montada en ruedas libres de todo roce y que se deslizan por rails perfectamente horizontales, es indudable que comenzarían á atraerse lentamente y con el trascurso del tiempo llegarían á ponerse en contacto.

Si queremos explicarnos la gravedad como una fuerza cuya intensidad se puede medir, debemos hacer uso de moles inmensamente más poderosas que las pesas de 50 libras. Imaginémonos dos globos, compuesto cada uno de 417,000 toneladas de hierro fundido, sólidos y de 53 varas de diámetro, y supóngase que se colocan separados por la distancia de una milla: cada globo atrae al otro por la fuerza de la gravedad, y no importa que entre ellos haya edificios y obstáculos de toda especie, porque esa fuerza pasará por todos los impedimentos tan fácilmente como la luz penetra á través del cristal, no habiendo nada que intercepte su marcha. Cada uno de los globos de hierro, por lo tanto, atraerá al otro en todas circunstancias; mas, á pesar de sus gigantescas proporciones, la intensidad de esa atracción es todavía muy escasa, aunque apreciable, pues sólo equivaldría á una fuerza igual á la de la presión que ejerce una sola libra de peso. Supongamos ahora que fuese posible neutralizar el roce de tal modo que los globos pudieran seguir el impulso de sus mutuas atracciones: los dos comenzarían á acercarse, pero sus moles son tan grandes y la atracción tan reducida que su marcha sería muy lenta, tanto que se necesitaría un microscopio para reconocer cuándo ha comenzado el movimiento. Deberá trascurrir por lo menos hora y media antes que la distancia que les separa disminuya en un solo pie; y, aunque su progreso se acelera después, habrán de pasar tres ó cuatro días para que los dos globos se pongan en contacto.

Debemos explicar particularmente el más notable carácter de la fuerza de la gravedad. La intensidad parece depende solamente de la magnitud de las moles y no de la naturaleza de las sustancias que las constituyen. Hemos supuesto que los dos globos eran de hierro colado; pero si uno de ellos, ó ambos, se compusieran de plomo ó cobre, de madera ó de piedra, de aire ó de agua, la fuerza de atracción seguiría siendo la misma, con tal

que las masas se mantuvieran inalterables. En esto observamos una considerable diferencia entre la atracción de la gravedad y la atracción magnética: esta última no es perceptible en la gran mayoría de sustancias y sólo muy notable tratándose del hierro.

En nuestra explicación del sistema solar hemos representado la Luna efectuando su revolución alrededor de la Tierra en un paso casi circular y los planetas girando alrededor del Sol en órbitas que son también aproximadamente circulares. Ahora debemos hacer una descripción más minuciosa de esos notables pasos, y, en vez de considerarlos como círculos perfectos, determinar con exactitud en qué difieren de estos últimos.

Si un planeta efectuase su revolución alrededor del Sol en un paso verdaderamente circular en cuyo centro estuviese siempre el astro, sería obvio que la distancia desde éste al planeta, siendo siempre igual al radio del círculo, tendría una magnitud constante. Ahora bien: no se puede dudar que la distancia desde el Sol á cada planeta es aproximadamente siempre la misma; pero cuando se practican observaciones exactas, reconócese con claridad que no es absolutamente constante. Las variaciones que presenta pueden ser de muchos millones de millas; pero, aun en los casos extremos, la variación en la distancia del planeta no es más que una pequeña fracción, por lo regular muy escasa, del total de aquélla. Las circunstancias cambian en el caso de cada planeta. La órbita de la Tierra misma es tal, que la distancia desde nuestro planeta al Sol se desvía poco de su principal valor. Venus se acerca más aún al movimiento perfectamente circular, mientras que, por otro lado, el paso de Marte, y mucho más el de Mercurio, presentan considerables fluctuaciones relativas en la distancia desde el planeta al Sol.

Se ha observado á menudo que muchos de los grandes descubrimientos de la ciencia tienen su origen en la perfecta observación y explicación de ligeras desviaciones de alguna ley aproximadamente verdadera, y en la astronomía tenemos el mejor ejemplo de ese principio. Las órbitas de los planetas son casi círculos, pero no tales exactamente. ¿Por qué será esto? Debía haber alguna razón natural, y ésta es la que se ha encontrado, conduciéndonos á varios de los mayores descubrimientos que el espíritu del hombre hizo jamás en los reinos de la Naturaleza.

En primer lugar veamos lo que debemos inferir del hecho de que la distancia entre un planeta y el Sol no sea constante. El movimiento circular es tan sencillo que nos cuesta renunciar á él cuando la necesidad para hacerlo así no es aparente. ¿No podemos hallar otro medio por el cual se conservase el movimiento circular, siendo compatible con las fluctuaciones en la distancia desde el planeta al Sol? Esto es claramente imposible teniendo al astro en el centro del círculo; pero supongamos que el Sol no estuviera en el centro, mientras que el planeta giraba como antes á su alrededor: en este caso la distancia entre uno y otro fluctuaría. Cuanto más excéntrica fuera la posición del Sol, mayor sería la fluctuación proporcio-

nal en la distancia del planeta cuando se hallase en diferentes puntos de su órbita. También podría suponerse que, colocando una serie de círculos alrededor del astro, sería dado explicar las diversas órbitas planetarias. El centro del círculo perteneciente á Venus ha de coincidir casi con el del Sol, y los de las órbitas de todos los demás planetas se deben situar á las distancias más convenientes del astro para que se pueda explicar satisfactoriamente el gradual aumento y disminución de la distancia entre los dos cuerpos.

No puede dudarse que los movimientos de la Luna y de los planetas se explicarían muy bien por semejante sistema de órbitas circulares; pero el espíritu de investigación astronómica no se satisface con resultados aproximados. Los planetas se observan una y otra vez y compáranse los resultados con los puntos en que aquéllos se hallarían si se movieran según el sistema aquí indicado. Los centros de los círculos se colocan aquí y allá, y sus radios se ajustan cuidadosamente; pero todo es inútil. Examinanse las observaciones de los planetas con el mayor detenimiento para ver si hay alguna equivocación, mas los errores no son suficientes para explicar las discrepancias. La conclusión era inevitable. Los astrónomos se vieron obligados á prescindir del movimiento circular, que se creyó sin rival por lo bello y simétrico, y fuéles forzoso admitir que las órbitas de los planetas no eran circulares.

Pero, si estas órbitas no eran circulares, ¿qué podían ser? Tal fué el gran problema que Kepler se propuso resolver, lo cual consiguió para su mayor gloria, haciendo después la demostración de una manera admirable. El gran descubrimiento de la verdadera forma de las órbitas planetarias es uno de los hechos más notables en la historia de la astronomía, y hasta se puede dudar que ningún otro descubrimiento en toda la ciencia haya conducido á resultados de tanto interés.

Debemos aventurarnos un poco en el campo de la ciencia geométrica para estudiar allí la naturaleza de esa curva que tanta importancia adquirió por el descubrimiento de Kepler. No hay duda de que el asunto es difícil. Tratarle en detalle nos conduciría á muchos cálculos complicados, impropios aquí; pero es indispensable hacer un bosquejo general del asunto, aunque procuraremos concretarnos para no traspasar los límites de que podemos disponer.

La curva que representa fielmente los movimientos de un planeta en su revolución alrededor del Sol pertenece á ese bien conocido grupo de curvas que los matemáticos describen como *secciones cónicas*. La forma particular de la que indica la órbita de un planeta es conocida con el nombre de *elipse*, y se la llama, menos exactamente, óvalo. La elipse es una curva que se puede trazar al punto: para esto el medio más sencillo es el que emplea el dibujante y que daremos á conocer aquí brevemente.

En el grabado que se acompaña (fig. 34) represéntanse dos alfileres que atraviesan una hoja de papel. Sobre ellos se pasa un bramante en forma de

ojal, como se indica, y distiéndese con la punta de un lápiz, que deberá mantener la cuerda tendida, describiendo entonces la punta de aquél una curva alrededor de los alfileres y volviendo al punto de que partió. Así se produce la célebre curva geométrica llamada *elipse*, y sería muy instructivo trazar cierto número de ellas, cambiando en cada caso las circunstancias en que se formaron. Si los alfileres, por ejemplo, permanecen colocados como antes, mientras que la longitud del bramante aumenta, de modo que el lápiz esté más separado de aquéllos, se observará que la elipse pierde algo de su prolongación y se acerca más al círculo; mientras que, por otra parte, si la longitud del bramante disminuye en el ojal, al paso que los

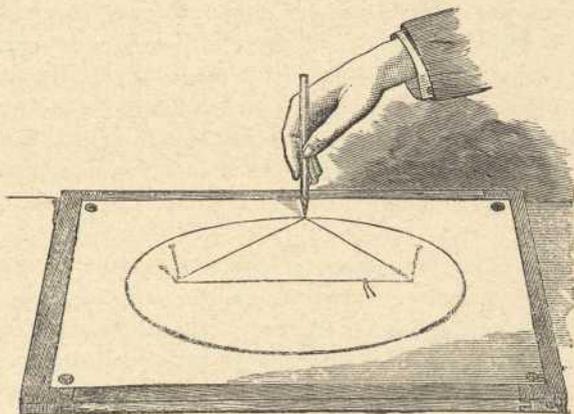


FIG. 34. — DIBUJO DE UNA ELIPSE

alfileres ocupan la misma situación, la elipse resultará más oval, ó, como diría un matemático, su *excentricidad* aumentará. También es útil estudiar los cambios que la forma de la elipse sufre cuando uno de los alfileres cambia de posición, sin que se altere la longitud del ojal. Si los dos alfileres se acercan más, la excentricidad disminuirá, aproximándose más la elipse á la forma de un círculo; y si se separan á mayor distancia, dicha excentricidad aumentará. Será evidente que el círculo es en realidad una forma de elipse si suponemos que los dos alfileres se acercan tanto que llegan á coincidir: la punta del lápiz trazará entonces simplemente un círculo á medida que el lápiz se mueva alrededor de la figura.

Será obvio que los puntos señalados por los alfileres tienen notables relaciones respecto á la curva. Cada uno de esos puntos se llama *foco* de la elipse, y ésta no puede tener más de dos. En resumen, no hay más que dos posiciones posibles para los alfileres cuando se trata de hacer una elipse de dimensiones determinadas

Resulta, pues, que la elipse es una curva que difiere particularmente del círculo por su variedad de forma. Se pueden hacer grandes y peque-

ñas, lo mismo que los círculos; pero también se obtienen elipses de mayor ó menor excentricidad. Si no tienen la perfecta sencillez del círculo, en cambio nos ofrecen la variedad de que aquél carece y además la belleza que puede resultar de un gracioso contorno.

Los antiguos geómetras habían estudiado la elipse, observando sus focos, y llegaron á conocer sus propiedades. Por esto Kepler estaba ya familiarizado con la elipse en la época en que comenzó sus siempre memorables investigaciones sobre los movimientos de los planetas. Como ya hemos dicho, reconoció que estos movimientos no podían avenirse con las órbitas circulares, y preguntóse qué figura de órbita se debía buscar. Naturalmente, pensó en la elipse: sus propiedades eran conocidas y se podía hacer la comparación, que por cierto debía ser memorable. Kepler vió que el medio de explicar el movimiento de los planetas era suponiendo que el paso en que cada uno giraba era una elipse. El descubrimiento tenía la mayor importancia: por una parte ordenaba los movimientos de los grandes globos que circulan alrededor del Sol, y por otra realizaba el valor de esas magníficas curvas que habían sido objeto del más elevado estudio de los antiguos, reconociéndolas el honor de haber definido las grandes vías del Universo.

Pero no hemos enunciado sino en parte el primer descubrimiento de Kepler. Ya se ha visto que un planeta efectúa su revolución en una elipse alrededor del Sol y que éste se halla, por lo tanto, en algún punto del interior de la curva; pero ¿en cuál? Interesante por demás es la contestación á esta pregunta, pues ya hemos indicado que la importancia de los focos es superior á la de todos los demás puntos. Kepler demostró que el Sol debe estar situado en uno de ellos en la elipse en que cada planeta verifica su revolución; de modo que podemos enunciar la primera de las leyes de Kepler sobre el movimiento planetario en los siguientes términos:

*Cada planeta gira alrededor del Sol en un paso elíptico, hallándose el Sol en uno de los focos.*

Ahora podemos formarnos una idea clara de las órbitas de los planetas, por numerosos que sean, en su revolución alrededor del Sol. En primer lugar observaremos que la elipse es marcadamente una curva plana, es decir, que cada planeta debe limitar sus movimientos á un plano en el curso de su largo viaje, teniendo de consiguiente cada uno cierto plano apropiado.

Es verdad que todos los planos coinciden casi, al menos en cuanto se refiere á los grandes planetas; pero son distintos, y el único punto en que convienen consiste en que cada uno pasa á través del Sol. Todas las órbitas elípticas de los planetas tienen un foco común, y éste se halla en el centro del Sol.

Bueno será aclarar esta ley notable, considerando las circunstancias de dos ó tres planetas diferentes. Tomemos, pues, por primer ejemplo la Tierra, en la que el paso, aunque realmente es una elipse, es casi circular. Si se dibujase con toda exactitud, según la escala, en una hoja de papel, la

diferencia entre la órbita elíptica y el círculo apenas se reconocería sin hacer una cuidadosa medición. En el caso de Venus, la elipse se acerca más aún al círculo, y los dos focos de la elipse casi coinciden con el centro de aquél, mientras que en Mercurio tenemos una elipse que se desvía del círculo de una manera muy pronunciada, al paso que en las órbitas de algunos de los planetas menores la excentricidad es aun mayor. Es sumamente notable que cada planeta, sea cual fuere su distancia del Sol, se mueva en una elipse de cualquiera forma; y ahora veremos que todos están obligados á seguir un paso elíptico, no siendo posible ninguno de otra forma.

Partiendo de ese paso, el planeta prosigue su curso, y después de cierto intervalo, conocido con el nombre de *tiempo periódico*, vuelve al punto de partida. Después traza de nuevo el paso elíptico que primeramente recorrió, y de este modo sucedense las revoluciones una tras otra por la misma vía alrededor del Sol. Trataremos ahora de seguir al planeta en su curso, observando su movimiento durante el tiempo requerido para recorrer el circuito completo del Sol. Las dimensiones

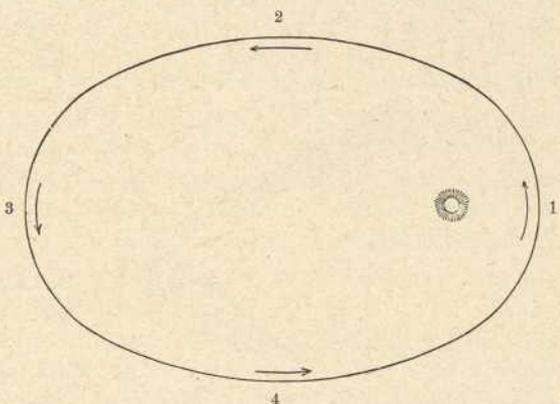


FIG. 35.—VELOCIDAD VARIABLE DEL MOVIMIENTO ELÍPTICO

1. Pequeña velocidad.—2 y 4. Velocidad media.  
3. Gran velocidad

de una órbita planetaria son tan estupendas que el planeta debe progresar en su curso muy rápidamente para completar su viaje en el tiempo prefijado.

Como ya hemos visto, la Tierra debería moverse con la velocidad de unas 18 millas por segundo para efectuar su revolución completa alrededor del Sol en el trascurso de  $365 \frac{1}{4}$  días; y aquí podría preguntarse si el movimiento de un planeta es uniforme ó no. ¿Se mueve la Tierra, por ejemplo, constantemente con esa misma velocidad, ó lo hace algunas veces con mayor rapidez y otras con lentitud, de modo que pueda mantenerse el término medio de 18 millas por segundo? Esta es una pregunta muy importante, y podemos contestar á ella clara y terminantemente. La velocidad de un planeta no es uniforme, y sus variaciones se pueden explicar por la figura que acompañamos. Imaginemos primero que el planeta está situado en la parte de su paso que más dista del Sol, hacia la derecha de la figura. En esta posición la velocidad tiene su valor más ínfimo; pero á medida que el planeta comienza á aproximarse al Sol, su marcha se acelera gradualmente, hasta que alcanza su valor medio. Pasado este punto, avanza rápi-

damente hacia el astro, y la velocidad con que se mueve es cada vez mayor, hasta que llega á su punto culminante alrededor del Sol. Después de pasar de éste, la distancia desde el planeta al astro aumenta y la velocidad del movimiento comienza á disminuir. Poco á poco vuelve otra vez á su valor medio, que baja más y más hasta que el planeta se retira á su mayor distancia del astro, en cuyo tiempo la velocidad es de nuevo la que supusimos al principio. Así observamos que, cuanto más próximo al Sol se halla el planeta, más rápidamente se mueve. Podemos determinar numéricamente la ley según la cual la velocidad del planeta varía. La fig. 36 representa una órbita planetaria con el Sol en el foco S. Tomemos dos porciones, A B y C D, alrededor de la elipse,

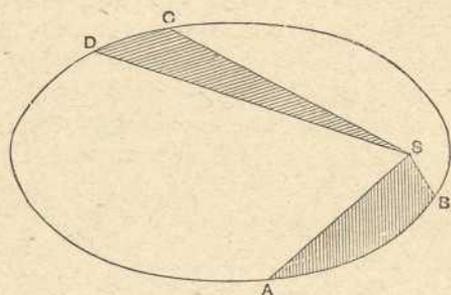


FIG. 36.—IGUALES ÁREAS EN IGUALES TIEMPOS

con el foco, y sombreando las dos áreas casi triangulares. Así se puede enunciar la segunda ley de Kepler en los siguientes términos:

*Todo planeta se mueve alrededor del Sol con tal velocidad en cada punto, que una línea recta trazada desde él al Sol pasa por áreas iguales en tiempos iguales.*

En su consecuencia, si las dos porciones sombreadas A B S y D C S tienen la misma área, los tiempos empleados por el planeta en recorrer las porciones de la

elipse A B y C D serán iguales. Si un área es mayor que la otra, el tiempo será más largo en proporción á las áreas.

Admitida esta ley, la razón del aumento en la velocidad del planeta cuando se acerca al Sol es desde luego aparente. Para recorrer un área determinada cuando se halla próximo al Sol, evidentemente es necesario un arco más grande que en otras partes del paso, mientras que en la opuesta extremidad de éste basta uno pequeño para un área considerable, y la velocidad disminuye por lo tanto.

Estas dos leyes enuncian completamente el movimiento de un planeta alrededor del Sol. La primera determina el paso que aquél recorre. La segunda describe cómo la velocidad del planeta varía en diferentes puntos; pero Kepler añadió una tercera ley que nos permite comparar los movimientos de dos distintos planetas que hacen su revolución alrededor del mismo Sol. Antes de dar á conocer esta ley es necesario explicar con exactitud lo que se entiende por *distancia media* de un planeta. En su paso elíptico, la distancia desde el Sol al planeta cambia constantemente; pero es fácil dar un significado diferente á la distancia que representa el término medio entre todas las distancias. Dase á dicha distancia el nombre de *distancia media*. El modo más sencillo para encontrarla consiste en añadir la

mayor á la menor y tomar la mitad de la suma. Ya hemos definido el tiempo periódico del planeta, ó sea el número de días que el planeta requiere para recorrer por completo su paso. La tercera ley de Kepler establece una relación entre la distancia media y el tiempo periódico, relación que con-  
signa de este modo:

*Los cuadrados de los tiempos periódicos son proporcionales á los cubos de las distancias medias.*

Kepler vió que los diversos planetas tenían diferentes tiempos periódicos. También pudo reconocer que cuanto mayor es la distancia media del planeta, mayor es su tiempo periódico, y resolvió buscar la relación entre ambos. Fácilmente comprendió que no sería exacto decir que el tiempo periódico fuese meramente proporcional á la distancia media, pues entonces, si un planeta tuviese una distancia dos veces más considerable que otro, el tiempo periódico en el primer caso habría sido doble que en el segundo; pero las observaciones demostraron que, aunque el tiempo periódico en un caso excediera al del otro, era menor que el doble. Por repetidos cálculos, que hubieran agotado la paciencia de un hombre menos confiado en sí mismo y menos seguro de la exactitud de las observaciones que trataba de interpretar, Kepler descubrió, al fin, la verdadera ley, y expresóla en la forma que ya hemos dicho.

Para ilustrar mejor la naturaleza de esta ley tomaremos por comparación la Tierra y el planeta Venus. Si se indica la distancia media desde nuestro globo al Sol por la unidad, la de Venus á aquel astro será de 0'7233, y, omitiendo decimales, podemos representar el tiempo periódico de la Tierra por 365'3 días, y el de Venus por 224'7. Ahora bien: según la ley que Kepler enuncia, el cuadrado de 365'3 está con el de 224'7 en la misma proporción que la unidad lo es al cubo de 0'7233. El lector puede comprobar fácilmente la exactitud de esta identidad por una sencilla multiplicación; pero debe recordarse que, como sólo se han retenido cuatro cifras para expresar los tiempos periódicos, sólo se han de tomar otras tantas al hacer los cálculos. Tal vez la mejor manera de comprobar consistiría en considerar el tiempo de la revolución de Venus como una cantidad desconocida deduciéndola de la revolución de la Tierra, ya conocida, y la distancia media de Venus. De este modo, sirviéndonos de la ley de Kepler, deduciremos el cubo del tiempo periódico por una simple proporción, y se podrá obtener el valor resultante de 224'7 días. En los cálculos astronómicos se suelen hallar las distancias de los planetas por la ley de Kepler. El tiempo periódico del planeta es un elemento que se puede medir con mucha exactitud, y una vez conocido determinase el cuadrado de la distancia media, y de consiguiente esta última misma.

Tales son las celebradas leyes del movimiento planetario, que siempre se asociaron con el nombre de su descubridor. El admirable talento con que fueron deducidas de un considerable número de observaciones, la belleza intrínseca de las leyes mismas, su absoluta exactitud y el lazo de unión que

han establecido entre los diversos cuerpos del sistema solar, son otras tantas condiciones que las hacen ocupar con justicia un lugar excepcional en la ciencia astronómica.

Según las estableció Kepler, estas leyes planetarias fueron meramente resultados de la observación. Reconocióse de hecho que los planetas se movían en elipses; pero el ilustre descubridor no nos dijo por qué habían de girar en aquéllas más bien que en ninguna otra curva. Tampoco le fué dado explicar la razón de que recorriesen áreas iguales en tiempos iguales, ni por qué los planetas obedecían invariablemente á la tercera ley; de modo que las teorías de Kepler, tal como las expuso, conservábanse con el carácter de tres verdades independientes, muy bien establecidas, pero no apoyadas por explicaciones que nos diesen á conocer por qué esos movimientos serían más apropiados que otros para la revolución de los planetas.

Fué un verdadero triunfo para la gran ley de la gravedad universal quitar á las leyes de Kepler el carácter empírico de que adolecían.

El notable descubrimiento de Newton unió las tres leyes aisladas de Kepler en una hermosa doctrina. No solamente demostró Newton que aquéllas eran verdaderas, sino también que debían serlo, y que no era posible que otras lo fueran, demostrando hasta la evidencia en su famosa obra los *Principia* que la verdadera explicación de las leyes de Kepler debía buscarse en la atracción de la gravedad.

Hizo ver que en el Sol existía una fuerza de atracción, y que era necesaria consecuencia de la misma que todos los planetas girasen en una órbita elíptica alrededor del astro teniendo á éste por foco. Demostró que el radio de la órbita del planeta debía recorrer iguales áreas en tiempos iguales, y que al comparar los movimientos de dos planetas era necesario obtener los cuadrados de los tiempos periódicos proporcionales á los cubos de las distancias medias.

Como esta obra no es un tratado de matemáticas, no discutiremos aquí las demostraciones que Newton adujo, y que han sido comprendidas por todos cuantos se tomaron la molestia de estudiarlas. Nos limitaremos á una breve reseña del asunto para dar idea del razonamiento empleado, absteniéndonos de todo detalle de carácter técnico.

En primer lugar imaginemos un globo libremente suspendido en el espacio y del todo aislado de la influencia de los demás cuerpos del universo, suponiendo también que se pone en movimiento por algún impulso, partiendo como una inmensa bala á través de las regiones del espacio. Cuando el impulso cesa, el globo se mueve y sigue progresando; pero ¿qué vía seguirá? Estamos tan acostumbrados á ver que una piedra arrojada al aire traza una línea curva, que, naturalmente, podríamos pensar que el cuerpo proyectado en el espacio libre hará lo mismo; pero un poco de reflexión bastará para reconocer que los casos no son iguales. En las regiones del espacio libre no tenemos la idea de arriba y abajo, pues todos los

pasos son semejantes; no hay razón para que el cuerpo se incline á la izquierda ó á la derecha, y, por lo tanto, debemos suponer que bajo tales circunstancias, una vez libre el cuerpo de toda interferencia, se moverá en línea recta. Por desgracia no podemos demostrar esto por un experimento práctico; pues, obligados á permanecer en la superficie de la Tierra, carecemos de medios para aislar un cuerpo de las fuerzas externas. La resistencia del aire, así como el rozamiento en otras varias formas, no menos que la gravedad hacia la Tierra misma, se oponen á nuestros experimentos. La piedra arrojada á lo largo de una capa de hielo hallará pocos obstáculos, y en este caso vemos que seguirá una línea recta á lo largo de la superficie uniforme; pero la piedra lanzada del mismo modo en el espacio seguiría un curso del todo rectilíneo. Demostramos esto, no intentando una experiencia, que necesariamente sería fútil, sino por razonamiento indirecto; y de la verdad de este principio no podrá dudar ni un instante aquel que haya pesado bien los argumentos aducidos para explicarlo.

Admitido, pues, el paso rectilíneo del cuerpo, lo primero que se deseará conocer es la velocidad con que se efectuará el movimiento.

La piedra que se desliza sobre la superficie de un lago helado recorrerá, como se puede observar, una larga distancia antes de quedar en reposo, por haber poco rozamiento, aunque alguno hay entre el hielo y la piedra; y como ese rozamiento tiende siempre á paralizar el movimiento, al fin llegará el instante en que el cuerpo quede inmóvil. En un viaje á través de las soledades del espacio no hay rozamiento para el cuerpo, ni tendencia á que disminuya la velocidad; y, por lo tanto, creemos que aquél podría viajar siempre con la misma rapidez. Sin duda este principio no parece convenir con nuestra experiencia ordinaria: un barco queda inmóvil en el mar cuando el viento cesa; un tren de ferrocarril perderá gradualmente su velocidad si se desvaporá; y el movimiento de rotación de un trompo se extinguirá hasta quedar el objeto inmóvil. En estos ejemplos tenemos, al parecer, la prueba de que cuando ha cesado la fuerza que comunicó el movimiento, este último cesará también gradualmente y por completo; pero en todos estos casos se observará, si reflexionamos, que la extinción del movimiento se debe atribuir á la acción de fuerzas resistentes. El barco retarda por el rozamiento con el elemento líquido; el tren, por el rozamiento de las ruedas y por el hecho de tener que abrirse paso á través del aire; y la resistencia de este último es principalmente la causa de que el trompo quede inmóvil, pues si se extrajese el aire, haciendo el experimento en el vacío, el trompo seguiría girando durante un tiempo mucho más largo. Apreciando debidamente estas consideraciones, nos parecerá posible admitir que un cuerpo, lanzado libremente en el espacio, sin que se le oponga ninguna resistencia externa, continuará moviéndose siempre en línea recta, conservando hasta el fin la velocidad con que primeramente partió. Este principio se conoce con el nombre de *primera ley del movimiento*.

Apliquemos ahora este gran principio á la importante cuestión del movimiento planetario: tómese, por ejemplo, el caso de nuestro globo, y veamos las consecuencias de esa primera ley. Nuestra Tierra se mueve á cada momento con la velocidad de unas 18 millas por segundo, y la ley de que hablamos nos asegura que, si aquélla no estuviese sometida á ninguna fuerza exterior, seguiría siempre una línea recta á través del universo, sin perder nunca la precisa velocidad que ahora lleva; pero ¿se mueve la Tierra de este modo? Evidentemente no. Ya hemos visto que nuestro planeta se mueve alrededor del Sol, y las bellas leyes de Kepler nos han dado á conocer ese movimiento con la más perfecta precisión. La consecuencia es evidente: la Tierra no puede estar libre de la fuerza exterior: en nuestro globo debe haber alguna influencia que ejerce de continuo su acción, y esta influencia, cualquiera que sea, desvía constantemente á la Tierra del paso rectilíneo que tiende á seguir, obligándole á trazar una elipse en vez de una línea recta.

El gran problema que se ha de resolver se enuncia ahora fácilmente. ¿Qué influencia es esa, de dónde proviene, y á qué ley está sometida? Y adviértase que la cuestión no se limita solamente á la Tierra: Mercurio y Venus, Marte, Júpiter y Saturno, proclaman altamente que, no moviéndose en pasos rectilíneos, deben estar sometidos á alguna fuerza. ¿Cuál será la que guía á los planetas en su marcha? Antes del tiempo de Newton inútilmente se hubiera preguntado esto. El poderoso genio de ese sabio pudo dar una respuesta satisfactoria, ocasionando una revolución en toda la ciencia moderna.

¿Dónde están los datos que han de facilitarnos la contestación á esta pregunta? Aquí no tenemos problema alguno que pueda resolverse por las matemáticas. Estas son seguramente útiles y hasta indispensables para la averiguación; pero no debemos atribuirles un alcance que no poseen. En casos de esta especie, todo cuanto con ellas se puede hacer es interpretar los resultados obtenidos por la observación. Los datos de que se sirvió Newton fueron, pues, los hechos reconocidos en el movimiento de la Tierra y de los otros planetas; hechos que tuvieron admirable expresión con el auxilio de las leyes de Kepler, que Newton tomó como base de sus trabajos, y para cuya interpretación invocó la ayuda del célebre razonamiento matemático creado por él.

Debemos, pues, abordar la cuestión de este modo: estando un planeta sometido á *alguna* influencia externa, es preciso determinar cuál es, sabiendo ya que el paso de cada planeta es una elipse y que todos giran alrededor del Sol en áreas iguales y en los mismos tiempos. La influencia en cada planeta es lo que un matemático llamaría una fuerza, y esta última ha de tener alguna línea de dirección. La más sencilla concepción de una fuerza es la de la tensión comunicada á una cuerda, y el sentido en que esta cuerda se dirige es en el presente caso la dirección de una fuerza. Imagine-mos que la que se ejerce en cada planeta se comunique por una cuerda in-

visible. ¿Qué nos dicen las leyes de Kepler respecto á la dirección de aquella y á la intensidad del esfuerzo que se trasmite en toda su longitud?

El análisis matemático de las leyes de Kepler traspasaría los límites que se nos conceden para esta obra, y de consiguiente debemos limitarnos á los resultados obtenidos por las mismas. Newton tomó primero la ley en que se demostraba que el planeta se movía en áreas iguales en los mismos tiempos, é hizo ver con irrefutable lógica que esto indicaba desde luego en qué dirección obraba la fuerza en el planeta. Newton demostró que esa cuerda de que antes hablábamos debía dirigirse invariablemente hacia el Sol.

Faltaba aún explicar la intensidad de la fuerza y de qué modo esa intensidad variaba cuando el planeta estaba en diferentes puntos de su paso; pero la primera ley de Kepler nos permite contestar á esta pregunta. Si el paso del planeta es elíptico y si la fuerza se dirige siempre hacia el Sol en un foco del elipse, entonces el análisis matemático nos obliga á decir que la intensidad de la fuerza debe variar inversamente como el cuadrado de la distancia desde el planeta al Sol.

Los movimientos de los planetas en conformidad con las leyes de Kepler se explicarían así hasta en sus menores detalles si admitimos que una fuerza de atracción llevó al planeta hacia el Sol y que la intensidad de aquella está en razón inversa del cuadrado de la distancia. ¿Podemos vacilar en decir que semejante atracción existe? Ya hemos visto cómo la Tierra atrae al cuerpo en su descenso, y también cómo su atracción se extiende á la Luna, explicando la revolución del astro alrededor de nuestro globo. Ahora sabemos que el movimiento de los planetas alrededor del Sol se puede explicar igualmente como consecuencia de esa ley de atracción; pero la evidencia que confirma la ley de la gravedad universal es realmente mucho más poderosa que ninguna de las que hemos enunciado. Ya volveremos á tratar de ese punto más adelante, demostrando no sólo cómo el Sol atrae á los planetas, sino cómo éstos se atraen entre sí; y se verá de qué modo esta mutua atracción ha conducido á notables descubrimientos, por los cuales se ha reconocido que la ley de la gravedad es verdadera é incontestable.

Admitida esa ley, podemos demostrar que los planetas deben verificar su revolución alrededor del Sol en pasos elípticos, hallándose el astro en el foco; y haremos ver igualmente que han de recorrer áreas iguales en tiempos iguales. Asimismo se demostrará que los cuadrados de los tiempos periódicos deben ser proporcionales á los cubos de sus distancias medias; y diremos de qué manera se pueden explicar los misteriosos movimientos de los cometas. Por la misma gran ley comprenderemos las revoluciones de los satélites y otros numerosos detalles relativos al sistema solar. Por último, demostraremos que, cuando nuestra vista se extiende más allá de los límites de ese sistema para contemplar los demás que se hallan diseminados en el espacio, reconócese aun allí la evidencia de la gran ley de la gravedad universal.

---

## CAPÍTULO VI

### UN PLANETA DE NOVELA

Reseña del asunto.—¿Es Mercurio el planeta más próximo al Sol?—Paso de un planeta interior á través del Sol.—¿Se ha visto alguna vez el paso de Vulcano?—Visibilidad de los planetas durante un eclipse total del Sol.—Investigaciones del profesor Watson en 1878.

FORMADA ya una idea general del sistema solar, y con las nociones que tenemos sobre la ley de la gravedad universal por la lectura del capítulo anterior, vamos á entrar en un examen más detallado de los planetas y de sus satélites. Comenzaremos por los que están más próximos al Sol, pasando después de uno á otro hasta llegar á los confines del sistema, lo cual ocupará mucho nuestra atención. Cada planeta es en sí un globo, y será un deber describir cuanto sobre él sepamos. Los satélites, que acompañan á tantos planetas, nos ofrecen muchos puntos interesantes. La circunstancia de su descubrimiento, su volumen, su manera de moverse y sus distancias, serán objeto de nuestro estudio. Tendremos ocasión de demostrar cómo los planetas se perturban mutuamente y qué notables consecuencias resultan de esto. Algunas veces será preciso referirnos á los importantes problemas sobre las dimensiones y el peso de los cuerpos celestes, dando á conocer cómo se pueden hallar. En una gran parte de nuestra excursión recorreremos espacios bien conocidos, donde los resultados se confirman por frecuentes observaciones; pero en algunos puntos éstas no son seguras, pues si bien se ha demostrado que tal ó cual planeta está mucho más cerca que otro, en cambio hay alguno sobre el cual no se puede afirmar nada positivo, por lo cual le damos el nombre de *Planeta de novela* (*The Planet of Romance*).

Con frecuencia se había creído que Mercurio, considerado largo tiempo como el planeta más próximo al Sol, no tenía realmente derecho á ser distinguido así. Mercurio efectúa su revolución alrededor del Sol á la distancia de unos 36 millones de millas por término medio; y entre él y el Sol

puede haber uno ó muchos planetas. Tal vez alguno gire á 10 millones de millas, otro á 15, y así sucesivamente. Pero ¿existen tales planetas? ¿Efectúa alguno su revolución dentro de la órbita de Mercurio? Había algunas razones para creerlo así. En los movimientos de aquél observábanse claras indicaciones de una influencia que podía explicarse suponiendo que existía un planeta interior; pero era necesariamente muy difícil distinguir el objeto, pues siempre debe estar inmediato al Sol, y aun con el mejor telescopio es generalmente imposible ver un punto como una estrella en esa posición.

Nuestros métodos ordinarios de observar un planeta no son suficientes en este caso, y debemos apelar á los métodos extraordinarios si se quiere tratar de resolver la gran cuestión sobre la existencia de los planetas intramercuriales. Por lo menos hay dos que algunas veces pueden servir para nuestro objeto.

El primero sería aplicable cuando se diese el caso de que el planeta desconocido llegara á estar directamente entre la Tierra y el Sol. En el adjunto diagrama tenemos el astro en el centro: la órbita interior



FIG. 37.—EL TRÁNSITO DEL PLANETA DE NOVELA

1. Paso de la Tierra.—2. Paso de Vulcano?—  
3. La Tierra.—4. Vulcano?—5. El Sol

representa la de aquel planeta que ha recibido el nombre de *Vulcano* antes de que su existencia se determinara satisfactoriamente, y la órbita externa indica la de la Tierra. Como Vulcano se mueve más rápidamente que ésta, sucederá á menudo que el planeta la alcanzará; de modo que los tres cuerpos tendrán las posiciones señaladas en el diagrama. Sin embargo, no se seguiría de aquí necesariamente que Vulcano estuviera con exactitud entre la Tierra y el Sol; pero si Vulcano existe realmente, podemos estar seguros de que algunas veces los tres cuerpos se hallarán directamente en línea, y esto nos proporcionaría entonces la oportunidad de hacer el descubrimiento telescópico del planeta. En tal caso esperaríamos verle como un punto oscuro que se mueve con lentitud á través de la faz del Sol. Los otros dos planetas interiores á la Tierra, Mercurio y Venus, se ven á veces en el acto de su paso, y no puede haber duda de que si Vulcano existe, sus tránsitos por el Sol deben ser más numerosos que los de Mercurio, y sobre todo que los de Venus. Por otra parte se puede suponer razonablemente que Vulcano es un globo pequeño, y, como distará mucho más de nosotros que el mismo Mercurio al efectuar su paso, no podemos esperar

que nos ofrezca un espectáculo comparable en importancia con el tránsito de cualquiera de los otros dos planetas.

La cuestión se reduce ahora á saber si las investigaciones telescópicas han permitido ver alguna cosa que pueda considerarse como el paso de Vulcano. En este punto no es posible decir nada con certeza. En más de una ocasión los observadores aseguraron haber visto una mancha que atravesaba rápidamente el Sol, y por su forma y aspecto presumieron que era un planeta intramercurial; pero un detenido examen de las circunstancias en que semejantes observaciones se hicieron no tendió á confirmar esta presunción. Semejantes descubrimientos se han hecho generalmente por personas poco familiarizadas con el uso del telescopio; y es á la verdad un hecho muy significativo que, á pesar del celoso y detenido examen á que se sometió el Sol durante los siglos pasados por astrónomos que se consagraron especialmente á este estudio, no se haya hecho ningún descubrimiento telescópico de Vulcano por un observador experto. Por un examen de todo el asunto, nos inclinamos á creer que no hay ahora ninguna evidencia telescópica digna de confianza respecto al tránsito de un planeta intramercurial sobre la faz del Sol.

Sin embargo, aun tenemos otro método por el cual se puede esperar razonablemente el descubrimiento de tales planetas si realmente existen.

Este método es muy raro, y requiere observaciones tan hábiles como delicadas, siendo solamente posible su aplicación cuando el Sol está oscurecido por un eclipse total.

Cuando la Luna está situada directamente entre la Tierra y el Sol, la brillantez del día se convierte momentáneamente en la oscuridad de la noche. Si el cielo está despejado de nubes, las estrellas se pueden ver hasta cerca del punto en que la corona indica donde está el Sol oscurecido. Aunque un planeta estuviese inmediato al astro, sería visible en semejante ocasión; pero es necesario hacer cuidadosos preparativos cuando se trata de hacer una observación de esta especie. Lo primero que debe evitarse es el peligro de confundir el planeta con las estrellas ordinarias, á las cuales se asemeja tal vez. El distinguido astrónomo americano profesor Watson adoptó sus medidas especialmente para esa observación durante el gran eclipse total de 1878. Su duración debía ser sólo de dos ó tres minutos, y era preciso hacer todo el trabajo en tan corto intervalo. Watson había estudiado antes cuidadosamente las estrellas inmediatas al Sol, y cuando se produjo el eclipse su vista práctica reconociólas al punto, viendo entre ellas un objeto que seguramente parecía ser el planeta intramercurial tanto tiempo buscado. Añadiremos que el mismo observador creyó distinguir en aquella ocasión un segundo planeta. La observación de Watson fué confirmada hasta cierto punto por Mr. Swift. Debemos advertir que no se ha observado Vulcano, aunque se buscó particularmente durante los eclipses ocurridos desde 1878; y no creemos posible que un astrónomo tan experto como Watson pudiera equivocarse. Ha sido uno de los más

afortunados descubridores de los pequeños planetas, y es probable que cuando el cuerpo ó cuerpos celestes intramercuriales sean más conocidos se reconozca por la posteridad que la primera observación exacta fué debida á Watson.

Algún primitivo astrónomo, muy familiarizado con el cielo, aprendería á reconocer las diversas estrellas y constelaciones. La experiencia le habría demostrado que esos cuerpos celestes son permanentes; debió observar que Sirio aparecía invariablemente en las mismas estaciones del año; y notaría cómo estaba situada respecto á Orión y las otras constelaciones próximas. Del mismo modo llegaría á conocer cada una de las demás brillantes estrellas, con cuya vista se familiarizó, sin duda, hasta el punto de saber en qué región debía encontrarlas; y observó que, aunque cada una se movía al parecer, sus relativas posiciones no se alteraban nunca. No hay duda que aquel antiguo astrónomo conoció el planeta Venus, considerándole como la estrella de la tarde y como estrella de la mañana, y se acostumbraría á considerarle también como un cuerpo que oscilaba de un lado á otro del Sol. Fácilmente podemos imaginar cómo en el purísimo cielo de un desierto oriental se hizo el descubrimiento de Mercurio. El Sol se ha puesto, el breve crepúsculo ha cesado, cuando de pronto se divisa, por la parte del horizonte donde aún el Sol ilumina el cielo con sus postreros fulgores, una brillante estrella. Para el observador descuidado nada de extraño tendría esto, puesto que todo el cielo está sembrado de estrellas; pero el primitivo astrónomo no aceptaría tal explicación sabiendo que no aparece ninguna estrella brillante en semejante punto del cielo. Ansioso de estudiar el hecho, observa el cielo con el mayor cuidado en la noche siguiente, y vuelve á ver á mayor altura, y más brillante aún, la estrella de la víspera. Todas las noches aquel cuerpo celeste parece aumentar de tamaño y es más notable su fulgor, hasta que al fin se reconoce con toda claridad. Tal vez sigue elevándose más y más, y acaso adquiera mayor volumen hasta alcanzar la brillantez de Venus. Tales fueron, sin duda, las suposiciones que hicieron los que primero observaron aquel orbe brillante; pero no hubieron de confirmarse. Después de algunas noches de lucir excepcionalmente, la brillantez de ese misterioso planeta disminuye: Mercurio se acerca de nuevo al horizonte al ponerse el Sol, hasta que al fin desaparece tan pronto después de aquél que llega á ser invisible. ¿Se ha perdido para siempre? Pueden trascurrir años antes de que se presente otra buena oportunidad de observar ese planeta después de ponerse el astro luminoso; pero se le verá otra vez atravesando por la misma serie de cambios, aunque tal vez bajo circunstancias muy diferentes, pues así su mayor altura en el horizonte como su brillantez varían de una manera notable. Solamente al cabo de largas y cuidadosas observaciones conseguiría el astrónomo primitivo asegurarse de que los diversos aspectos se podían atribuir á un cuerpo celeste único. En los desiertos de Oriente el fenómeno de la salida y de la puesta del Sol era, sin duda, bien conocido, y en aquel cielo despejado, en

el punto en que los rayos solares iluminaban el horizonte, era fácil ver un punto brillante semejante á una estrella. Esta última se elevaba todos los días á mayor altura antes de ocultarse el astro luminoso, y su brillo aumentaba con la distancia: después acercábase más al Sol y volvía á quedar algún tiempo invisible. Tales fueron las observaciones del primitivo astrónomo. Divisábase un cuerpo celeste después de ponerse el Sol y otro antes. Para nosotros puede parecer una obvia deducción de los hechos observados que los dos cuerpos eran idénticos; y la deducción es correcta, pero de ningún modo obvia. Una larga y paciente observación condujo á establecer la notable ley de que uno de esos cuerpos no se divisaba nunca hasta que el otro había desaparecido; y de aquí se dedujo que el fenómeno, así al salir el Sol como al ponerse, se debía al mismo cuerpo, que oscilaba de un lado á otro del Sol.

Fácilmente se comprenderá que la identidad de esos dos cuerpos, enunciada por algunos observadores, no podía aceptarse antes de ser comprobada cuidadosamente. Y ¿cómo habían de aplicarse las pruebas en un caso de esta especie? Apenas se puede dudar que la demostración más completa y convincente de la verdad científica se halla en la realización de un pronóstico. Cuando Mercurio hubo sido observado algunos años, notóse cierta regularidad en la repetición de sus apariciones, y, una vez que se hubo establecido aquélla, hízose posible la predicción: se pudo prever con seguridad el tiempo en que se vería á Mercurio después de ponerse el Sol y antes de salir éste. Cuando se vió que estas predicciones se cumplían con exactitud y que el planeta se veía siempre si se obedecía á las indicaciones dadas, fué imposible no aceptar la hipótesis en que las predicciones se basaban. Con esa hipótesis asociábase la idea de que todos los diversos aspectos resultaban de las oscilaciones de un solo cuerpo, y desde entonces quedó fundado el descubrimiento de Mercurio en una base tan sólida como aquella en que reposaba el de Júpiter y el de Venus.

En las latitudes de las Islas Británicas es generalmente posible ver á este planeta algún tiempo durante el curso del año; pero no es practicable establecer, dentro de límites razonables, ninguna regla general para hallar las fechas en que la investigación debe hacerse. Sin embargo, aquel que tuviera empeño en ver á Mercurio, generalmente lo conseguirá con un poco de paciencia. Primeramente debe consultar el almanaque que da las posiciones planetarias y elegir después el momento en que Mercurio aparece como estrella de la mañana ó de la tarde. Semejante ocasión se hallará sobre todo durante los meses de la primavera, pues la elevación de Mercurio sobre el horizonte suele ser entonces mayor que en otras estaciones; y en el crepúsculo vespertino, como unos tres cuartos de hora después de ponerse el Sol, la vista de este magnífico planeta recompensará la atención del observador.

Para los astrónomos que poseen telescopios ecuatoriales no son necesarias semejantes instrucciones. Para disfrutar de la vista telescópica de

Mercurio consultamos primero el almanaque náutico á fin de averiguar la posición que el planeta ocupa. Si esta posición está sobre nuestro horizonte, podemos enfilar desde luego el telescopio al planeta, y hasta cuando hay una fuerte luz se le verá muy á menudo. Sin embargo, el aspecto telescópico de Mercurio produce no pocas veces una decepción; pues, aunque el planeta es en realidad mucho más grande que la Luna, hállase tan lejos que parece insignificante.

Sin embargo, en la vista telescópica hay un detalle que llamaría desde luego la atención, y es que Mercurio no se ve por lo regular como un cuer-

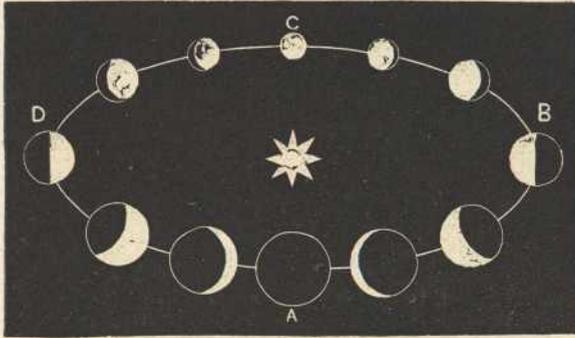


FIG. 38.—EL MOVIMIENTO DE MERCURIO, VIÉNDOSE LAS VARIACIONES DE SUS FASES Y DE SU TAMAÑO APARENTE

po circular, sino que aparece más bien bajo la forma de media luna, como una luna en miniatura. Las fases de Mercurio se han de explicar también exactamente bajo los mismos principios que las del astro de la noche. Mercurio es un globo compuesto, así como la Tierra, de materiales que no tienen en sí origen de luz; pero una mitad del planeta debe estar vuelta siempre hacia el Sol, y esta mitad queda, por lo tanto, brillantemente iluminada por los rayos de aquél. Cuando contemplamos á Mercurio nada se ve en el lado que no recibe la luz, y la forma de media luna se debe á la vista defectuosa que obtenemos de la mitad iluminada. Mercurio parece tan pequeño que á la simple vista no se podría definir la forma del cuerpo luminoso; y hasta, tratándose de Venus, se ha de apelar al telescopio si se quiere observar la forma de su creciente, que es mucho más grande. En resumen, prescindiendo del hecho de revestir Mercurio la forma que acabamos de indicar y de que pasa por varias fases en correspondencia con los cambios en su relativa posición respecto á la Tierra y el Sol, no sabemos mucho más del planeta, porque es demasiado pequeño y brillante para que sea posible delinear los detalles de su superficie. Ciertamente se han hecho repetidas observaciones que nos ilustran sobre algunos caracteres físicos del planeta. Se ha creído haber visto señales de poderosas montañas, suponiéndose la exis-

tencia de una atmósfera que rodea el planeta; pero semejantes asertos no se deben admitir sin mucha reserva, si es que se les da algún crédito, y de todos modos no debemos fijar mucho en ellos la atención.

Los hechos bien establecidos respecto á Mercurio se refieren principalmente al paso que recorre alrededor del Sol. El tiempo que el planeta necesita para su revolución completa es poco menos que 88 días. Su distancia del Sol, por término medio, viene á ser de 36.000,000 de millas, y la velocidad con que el planeta se mueve pasa de 29 millas por segundo, término medio. Ya hemos hablado del muy característico y notable aspecto de la

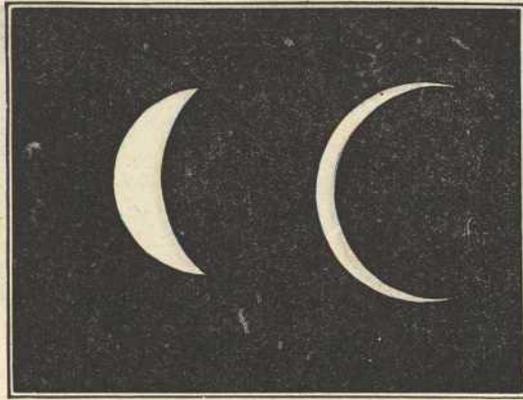


FIG. 39.—MERCURIO VISTO EN FORMA DE CRECIENTE, Ó MEDIA LUNA

órbita de Mercurio: esta órbita difiere de la de los pasos de todos los demás grandes planetas por su mucha mayor desviación de la forma circular. En la mayoría de casos las órbitas planetarias son tan poco elípticas que un diagrama de ellas, dibujado con toda exactitud, no diferiría á la simple vista de un círculo, á menos de tomarse cuidadosamente las medidas. En el caso de Mercurio las circunstancias son diferentes, pues la forma elíptica del paso sería reconocida hasta la evidencia por un observador casual. La distancia desde el Sol al planeta fluctúa entre límites muy considerables; pero el menor valor que alcanza es de unos 30.000,000 de millas y el mayor de 42.000,000. Según la segunda ley de Kepler, la velocidad del planeta debe presentar cambios correspondientes: ha de girar con mucha rapidez alrededor de aquella parte de su paso que se halla cerca del Sol y con más lentitud en torno de los puntos remotos. La mayor velocidad es de unas 35 millas por segundo y la menor de unas 23.

Para formarse clara idea de los movimientos de Mercurio no se deben considerar separadamente la magnitud de la velocidad y las dimensiones del cuerpo por las que aquélla se produce. Seguramente la velocidad de 29 millas por segundo es enorme si se compara con las ordina-

rias. La de Mercurio es por lo menos cien veces mayor que la de la bala de una carabina; pero cuando comparamos las dimensiones de los cuerpos con sus velocidades, la del planeta parece relativamente mucho menor que la del proyectil. Este último atraviesa una distancia igual á su propio diámetro muchos miles de veces en un segundo; mas, aunque Mercurio se mueve con una rapidez excesivamente superior, el diámetro del planeta es tan inmenso que se necesitaría un período de dos minutos para que se moviera á través de un espacio igual á su diámetro. Visto el globo de Mercurio en su conjunto, la velocidad de su marcha es lenta y apropiada á sus dimensiones.

Como sabemos poco ó nada de la verdadera superficie de Mercurio, nos es imposible decir si existe la vida en el planeta; pero no sin razón podría deducirse que apenas puede haberla, por lo menos análoga de la que conocemos en nuestro globo. El calor y la luz del Sol llegan á Mercurio con una intensidad infinitamente más considerable que en la Tierra. Cuando Mercurio se halla á mayor distancia del astro luminoso, la intensidad del calor solar es entonces cuatro veces mayor que el más ardiente calor que puede sentirse en la Tierra; pero si Mercurio penetra en el punto más cálido de su órbita, durante el curso de sus notables cambios de distancia, tendrá una temperatura de fuego. La intensidad del calor del Sol no será entonces menos de nueve veces más considerable que la mayor radiación á que nosotros estamos expuestos; y adviértase que estos cambios se suceden con una rapidez mucho más grande que el cambio de nuestras estaciones. En Mercurio el intervalo entre el verano y el invierno no es más que de 42 días, mientras que todo el año consta sólo de 88.

Estos rápidos y tremendos cambios en el calor solar deben ejercer de por sí una poderosa influencia en la habitabilidad de Mercurio. M. Ledger observa muy oportunamente en su interesante obra *El Sol* que si hubiera habitantes en este planeta las palabras *perihelio* y *afelio*, que entre nosotros se consideran á menudo como términos expresivos de ideas de un carácter intrincado ó recóndito, serían familiares á todos en la superficie de Mercurio. Esas palabras significan *cerca del Sol* y *lejos del Sol*; pero no asociamos estas expresiones con ningún fenómeno evidente, porque los cambios en la distancia de la Tierra al Sol son muy poco considerables. Sin embargo, en Mercurio, donde el Sol se eleva en seis semanas á más del doble de su tamaño aparente y produce dos veces mayor cantidad de luz y de calor, semejantes cambios deben ser familiares á todos. Perihelio y afelio entrañan ideas íntima y evidentemente relacionadas con toda la economía del planeta.

Sería, no obstante, muy aventurado fundar deducción alguna en cuanto al clima teniendo sólo en cuenta la proximidad ó alejamiento del Sol, pues el clima depende de otras cosas además de la distancia del astro. La atmósfera que rodea la tierra ejerce una profunda influencia en nuestro clima, y si Mercurio tiene una atmósfera, como á menudo se ha dicho, su clima

debe, por lo tanto, modificarse de una manera excesivamente considerable. Sin embargo, apenas es posible suponer qué clase de atmósfera sería adecuada para los habitantes, atendidas las violentas y enormes fluctuaciones de la radiación solar. Todo cuanto podemos decir, por lo tanto, es que el problema sobre la vida en el planeta Mercurio no se ha resuelto ni se resolverá tal vez nunca, y seguirá siendo un misterio impenetrable.

En el año 1627 fué cuando Kepler anunció importantes acontecimientos astronómicos. El sabio, después de estudiar profundamente los movimientos de los planetas, examinó las primeras observaciones que hizo, y por su estudio del pasado se aventuró á predecir lo futuro. Kepler anunció que en el año 1631 los planetas Venus y Mercurio cruzarían por el Sol, y fijó las fechas, señalando el 7 de noviembre para Mercurio y el 6 de diciembre para Venus. Esta predicción era muy notable para aquel tiempo.

Estamos tan acostumbrados á consultar nuestros almanaques y conocer por ellos todos los fenómenos astronómicos anunciados durante el año, que con mucha facilidad se olvida que en los primeros tiempos no era esto posible. Lentamente y paso á paso se ha comunicado á la Astronomía esta perfección que nos permite anunciar con exactitud los más delicados fenómenos. El anuncio del paso de esos dos planetas, indicado por Kepler algunos años antes de que ocurriera, se consideró entonces como un acontecimiento de los más notables; y el ilustre Gassendi hizo sus preparativos para observar si se confirmaban ó no las predicciones de aquel sabio. Ahora podemos indicar con exactitud el tiempo del paso sin más diferencia que la de algunos minutos; pero en otro tiempo no se podía pensar en semejante precisión. Gassendi juzgó indispensable dar principio á su tarea vigilando el tránsito de Mercurio dos días antes del tiempo indicado por Kepler, y había ideado una ingeniosa combinación para estudiar el fenómeno. En el postigo de la ventana cerrada de una habitación oscura practicó un agujero, y, sirviéndose de una lente, formóse una imagen del Sol en una pantalla blanca; admirable procedimiento para estudiar la superficie del astro luminoso, y que aun hoy día, á pesar de nuestros telescopios, es el principio en que se funda uno de los más conocidos métodos de observación. Gassendi comenzó á vigilar el 5 de noviembre, estudiando cuidadosamente la imagen del Sol siempre que tenía oportunidad para ello.

El tránsito de Mercurio no se efectuó hasta cinco horas después del señalado por Kepler. Gassendi había hecho sus preparativos valiéndose de todos los recursos de que podía disponer; pero eran muy imperfectos comparados con los que tenemos ahora, lo cual no impidió que hiciera algunas observaciones sumamente útiles, reconociendo así el primer tránsito de un planeta por el Sol.

Los pasos de Mercurio tienen su principal importancia en el hecho de que su observación revela la exactitud de nuestros cálculos sobre los movimientos del planeta. Con frecuencia se ha esperado que el estudio hecho durante un tránsito de aquél proporcionaría datos dignos de confianza res-

pecto al carácter físico del globo de Mercurio; y, aunque no completamente, las esperanzas se realizaron. Hábiles observadores han descrito el aspecto del planeta en su tránsito, representándole como un punto redondo y oscuro circuído de un borde luminoso, cuya profundidad se apreció diversamente en distintas ocasiones, suponiéndola de una á dos terceras partes del diámetro de Mercurio. Apenas se puede dudar que una densa atmósfera, rodeando á Mercurio, sería suficiente para producir un aspecto semejante al que se nos ha descrito, y por lo tanto debe admitirse la probabilidad de que tal atmósfera exista realmente; pero, por otra parte, las medidas de la intensidad de la luz desde Mercurio parecen hacer dudoso que haya semejante atmósfera.

Aquí dejaremos el planeta Mercurio, interesante cuerpo celeste que estimula nuestra curiosidad intelectual, aunque al mismo tiempo elude nuestros esfuerzos para conocerle mejor. Sin embargo, tenemos un dato de interés, del que nada habíamos dicho hasta ahora. Dificil tarea es, pero de ningún modo imposible, pesar este planeta en la balanza celeste, determinando su masa en comparación con la de otros globos de nuestro sistema. La operación es delicada, mas nos conduce á algunos de los puntos de mayor interés en los descubrimientos astronómicos. El peso de Mercurio, según lo determinó recientemente Von Asten, representa una vigésima cuarta parte del de nuestro globo.



---

## CAPITULO VII

### VENUS

Interés que ofrece este planeta.—Su aparición inesperada.—La estrella de la tarde.—Visibilidad á la luz del día.—Solamente iluminado por el Sol.—Las fases de Venus.—Por qué el creciente no se distingue á la simple vista.—Variaciones en el volumen aparente en el planeta.—Semejanza de Venus con la Tierra.—El tránsito de Venus.—La escala del sistema solar.—Las órbitas de la Tierra y de Venus no están en el mismo plano.—Recurrencia de los pasos.—Aspecto de Venus en su tránsito.—Observaciones en 1864 y 1882.—Los primeros pasos en 1631 y 1639.—Observaciones de Horrocks y Crabtrees.—El anuncio de Halley.—Explicación sobre el Paralaje.—Viaje á Otahiti.—El resultado de Encke.—Valor probable de la distancia del Sol.—Observaciones del último paso de Venus en Dunsink.—Cuestión sobre la atmósfera de Venus.—Observaciones del doctor Copeland.—Utilidad de tales investigaciones.—Estadística sobre Venus.

**P**OR una razón no habría sido inoportuno comenzar nuestra revista de los planetas por la descripción de Venus, aunque no sea particularmente notable por su volumen, puesto que hay planetas centenares de veces más grandes. Su órbita es sin duda más considerable que la de Mercurio, pero también mucho más pequeña que la de otros de los cuerpos celestes que nos ocupan. Venus no tiene tampoco el magnífico séquito de satélites que comunican tanto interés é importancia á los poderosos planetas de nuestro sistema; mas esto no destruye el hecho de que se le considere como sin igual entre todos aquéllos. No hablamos ahora del espectáculo que sólo se ve con el telescopio: nos referimos á la observación ordinaria que dió á conocer á Venus muchos siglos antes de la invención de los aparatos astronómicos. ¿Quién no se ha complacido en contemplar ese glorioso objeto? Sin embargo, no se puede ver siempre que se quiere, pues durante algunos meses las bellezas de Venus quedan ocultas á las miradas de los mortales, bellezas que parecen realizarse por la incertidumbre respecto á su aparición. No queremos decir con esto que los movimientos de Venus sean caprichosos: muy lejos de ello, están prescritos con un detalle, con una exactitud prosaica que se aviene muy mal con el carácter de la diosa del amor. Mas para aquellos que no consagran particularmente su atención

al estudio de las estrellas, la imprevista aparición de Venus es uno de sus mayores encantos. Pasan muchos meses sin que se haya visto el planeta ni pensado en él. En una magnífica tarde de primavera el Sol acaba de ponerse. El amante de la Naturaleza se detiene á contemplar el espectáculo, y por la parte del O. llámale de pronto la atención un punto que brilla como un diamante en la celeste bóveda: es la estrella de la tarde, es el planeta Venus. Una ó dos semanas después obsérvase otra magnífica puesta de Sol, y ahora se ve que aquel cuerpo celeste se ha elevado á cierta altura sobre el horizonte y continúa brillando mucho después de haberse extendido las sombras de la noche. Un poco más tarde se observará que Venus aparece con toda su brillantez y esplendor, y entonces todos los cuerpos celestes, incluso Sirio y Júpiter, deben palidecer ante el fulgor de Venus, la reina sin par del firmamento.

Al cabo de algunas semanas la altura de Venus al ponerse el Sol disminuye, así como también su brillo, que se desvanecé gradualmente. El planeta deja entonces de ser visible y casi todo el mundo le olvida; pero la caprichosa Venus no ha hecho más que moverse de O. á E., y cuando el Sol sale se verá la estrella de la mañana en esta última dirección. Su brillo aumenta poco á poco, hasta que alcanza la belleza de la estrella de la tarde. Después el planeta se acerca más al Sol y piérdese de vista durante muchos meses, volviendo á comenzar luego el mismo cielo de cambios, después del intervalo de un año y siete meses.

Cuando Venus alcanza toda su brillantez se puede ver fácilmente á la luz del día, y entonces el espectáculo que ofrece demuéstranos la supremacía de Venus cuando se compara con los otros planetas y las estrellas fijas. En tal momento su brillantez es de cuarenta á sesenta veces mayor que la de la más luminosa estrella en el cielo del Norte.

Este magnífico cuerpo celeste fulgura con frecuencia de tal modo que á primera vista es difícil persuadirse de que el planeta no sea luminoso de por sí; mas no puede dudarse que sólo es un globo oscuro, asemejándose por tal concepto á nuestra Tierra. La brillantez de Venus no es mucho mayor que la del planeta que habitamos en un día de sol, y su luminosidad se debe sólo á la luz reflejada del astro, como se ha explicado ya al hablar de la Luna.

Sin embargo, no podemos distinguir á la simple vista la graciosa forma de creciente del planeta, y sólo vemos un punto brillante, demasiado pequeño para que sea posible apreciar forma alguna. El mecanismo óptico del ojo forma en la retina una imagen del planeta, pero muy diminuta. Hasta cuando Venus está más cerca de la Tierra, el diámetro del planeta subtiende un ángulo de poco más de un minuto de arco; y así es que en la retina del ojo la imagen de Venus se refleja con  $\frac{1}{6,000}$  parte de pulgada de diámetro. Por mucha que sea la delicadeza de la retina, no le es posible percibir la forma en un punto tan diminuto. La estructura nerviosa que se ha descrito como origen de la visión es demasiado grosera para recibir los

detalles de tan diminuta imagen; y hé aquí por qué la brillantez de Venus aparece sólo á la simple vista como un punto brillante. No podemos distinguir qué forma tiene, ni menos aún reconocer su verdadera belleza. Si el diámetro de Venus fuera algunas veces mayor, si el planeta tuviese, por ejemplo, el volumen de Júpiter ó cualquier otro de los cuerpos celestes que nos ocupan, su creciente se distinguiría muy pronto á la simple vista. Si todos pudiéramos ver la forma de creciente sin auxilio del telescopio, hubiese sido una verdad elemental y casi evidente que Venus era un cuerpo oscuro que giraba alrededor del Sol; y entonces se habría reconocido de

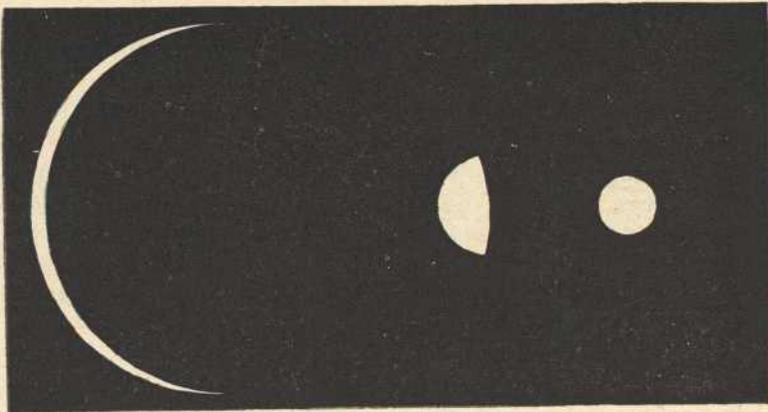


FIG. 40.—DIFERENTES ASPECTOS DE VENUS, SEGÜN EL TELESCOPIO

una vez la analogía entre ese planeta y la Tierra, en cuyo caso la gran teoría que Copérnico debía descubrir en tiempos comparativamente modernos, tal vez habría sido hallada con otros descubrimientos en las naciones del Antiguo Oriente.

En la fig. 40 se representan tres vistas de Venus bajo distintos aspectos: el planeta está mucho más próximo á la Tierra cuando se ve el creciente, pareciendo formar parte de un círculo mucho mayor que el que Venus describe cuando está en su apogeo.

El dibujo da idea de los distintos aspectos del planeta en sus verdaderas proporciones relativas; pero es muy difícil percibir claramente señales de ninguna especie en la brillante superficie.

Varios observadores han visto manchas ú otras particularidades, y aseguran que las extremidades de los cuernos son á veces irregulares, para demostrar que la superficie de Venus no es lisa. Se ha intentado varias veces demostrar, en vista de tales observaciones, que debe haber altas montañas en Venus; pero no debemos confiar mucho en los resultados.

Es el caso que nuestro globo y este planeta tienen un volumen casi igual, tanto que apenas se distingue la diferencia; pero el diámetro de la

Tierra es algunas millas más grande que el de Venus. También es curioso que el tiempo de rotación de Venus sobre su eje parezca ser casi igual al de la Tierra. Esta última gira una vez en un día y Venus emplea media hora menos, con corta diferencia. También hay indicios de la existencia de una atmósfera alrededor de Venus; pero no tenemos medios de conocer ahora cuáles pueden ser los gases de que se compone.

Si hay oxígeno en la atmósfera de ese planeta, parecería posible que existiese en él la vida, que no sería muy diferente de la que tenemos en nuestro globo. Sin duda que el calor del Sol en Venus es mucho más excesivo que el que nosotros conocemos aquí; pero esto no parece una dificultad insuperable. En la tierra vemos ahora la vida así en las regiones más calidas como en las glaciales; y, á decir verdad, si vamos á los trópicos, la encontraremos cada vez más exuberante; de modo que si en la superficie de Venus hubiera agua y oxígeno en su atmósfera, podría esperarse hallar allí una vigorosa vida vegetal, tal vez de una especie análoga, poralgu nos conceptos, á la vida en la Tierra.

Al hablar del planeta Mercurio y en nuestra breve descripción de Vulcano, ese planeta hipotético, debemos aludir á los fenómenos que presenta el paso de un planeta sobre la faz del Sol. Este fenómeno, siempre curioso, y digno de llamar la atención de los astrónomos, es particularmente notable en el caso de Venus. El tránsito de este planeta tiene, en efecto, una importancia que apenas podría igualar á la de cualquier otro fenómeno en nuestro sistema, y por lo tanto trataremos este punto en el presente capítulo. En los últimos años hemos tenido ocasión de observar el hecho dos veces, lo cual es bien raro; y adviértase que en lo futuro no se verificará ya ningún paso de ese planeta hasta que la presente generación y unas cuantas más se hayan extinguido: el fenómeno no se observará hasta el mes de junio del año 2004. No aventuramos mucho al decir que el reciente tránsito de 1882 y el anterior de 1874 excitaron la atención de los astrónomos en mucho más alto grado que ningún otro fenómeno celeste.

El paso de Venus nó podría describirse como un espectáculo magnífico y notable, pues no llega ni con mucho al que nos ofrece un gran cometa ó una lluvia de estrellas. ¿Por qué, pues, se consideró el tránsito de Venus como un hecho de tanta importancia científica? Es porque ese paso nos permite resolver uno de los más grandes problemas que jamás ocupó la atención del hombre: con el tránsito de Venus intentamos determinar en qué escala está construido nuestro sistema solar, y verdaderamente no puede haber problema más noble. Fijémonos en esto un instante.

En el centro de nuestro sistema tenemos el Sol, globo majestuoso que es más de un millón de veces mayor que la Tierra; y circulando alrededor del astro tenemos los planetas, entre los cuales figura el nuestro. Cuéntanse centenares de otros pequeños, pero pocos comparables con el que habitamos, mientras que algunos exceden por mucho á nuestro globo. Además de los planetas cuéntanse otros cuerpos celestes en el sistema solar, y mu-

chos de ellos van acompañados de sistemas de lunas que hacen su revolución. Hay centenares y acaso miles de cometas, mientras que los cuerpos menores se cuentan por millones. Cada individuo de esa innumerable legión celeste gira en una órbita determinada alrededor del Sol, y colectivamente forman el sistema solar.

Es comparativamente fácil averiguar la *figura* de este sistema, medir las distancias relativas de los planetas al Sol y hasta los volúmenes de aquéllos; pero se tropieza con dificultades peculiares cuando tratamos de inquirir cuál es el *volumen* del sistema, así como su forma. El tránsito de Venus nos permite resolver esta cuestión.

Si examinamos, por ejemplo, un mapa ordinario de Europa, se verán figurados los diversos países con toda precisión. Podemos decir cuál es el curso de los ríos, observar que Francia es más grande que Inglaterra, y que Rusia es mayor que Francia; mas, por mucha que sea la perfección del mapa, necesítase alguna otra cosa antes de que podamos obtener clara idea sobre las dimensiones del país. Debemos conocer *en qué escala se ha dibujado el mapa*, que tiene una línea de referencia con ciertas señales. Esta línea es la que da la escala y ha de indicarnos que una pulgada del mapa corresponde á tantas ó cuantas millas de la superficie que se ve. Sin la escala aquél sería un objeto inútil para muchos fines. Supongamos que se consulte una carta geográfica para elegir un camino de Londres á Viena: al punto veremos la dirección que se debe tomar y las diversas ciudades y países que se atraviesan; pero, si no se examina la pequeña escala del ángulo, el mapa no nos dirá cuántas millas se deben recorrer en el viaje.

Muy pronto se puede hacer un mapa del sistema solar, dibujando las órbitas de algunos de los planetas y de sus satélites, y comprendiendo muchos cometas. Será posible representar esos cuerpos celestes y el Sol con su respectivo volumen; mas para que el mapa sea suficiente necesítase alguna cosa más: es preciso tener la escala que nos indique cuántos millones de millas en el cielo corresponderán á una pulgada del mapa, y en este punto encontramos una dificultad.

Es comparativamente fácil obtener todos los volúmenes *relativos* de las órbitas de los diferentes cuerpos celestes, pues muy sencillas observaciones bastan para ello; pero es difícil señalar con exactitud la escala exacta del mapa celeste.

Sin embargo, hay varias maneras de resolver el problema, aunque todas muy laboriosas. El método más celebrado es el que se ideó en una ocasión con motivo del paso de Venus, y así se explica la importancia que se le da, siendo uno de los mejores medios conocidos para hallar la escala según el que nuestro sistema está construido. Obsérvese toda la importancia del problema. Una vez obtenida la escala por el tránsito del planeta, todo queda averiguado: conocemos el volumen del Sol y su distancia, así como también el de Júpiter; sabemos cuáles son las dimensiones de los co-

metas y el número de millas que recorren en su viaje; nos es dado averiguar también la velocidad de las estrellas fugaces; y llegamos á saber que nuestra Tierra no es más que uno de los individuos menores de la majestuosa familia del Sol.

Como el paso de Venus está dentro del de la Tierra, y como Venus se mueve más rápidamente que nuestro globo, síguese de aquí que Venus pasa con frecuencia por la Tierra, y precisamente en el momento de su tránsito sucederá á veces que la Tierra, el planeta y el Sol vengan á estar en una misma línea recta. Entonces podemos ver á Venus sobre la faz del Sol, y este es el fenómeno á que damos el nombre de paso ó tránsito de Venus. Es evidente que si los tres cuerpos se hallaran exactamente en línea, el observador terrestre vería destacarse vivamente á ese planeta junto al brillante fondo del Sol.

Considerando que nuestro globo es alcanzado por Venus una vez cada nueve meses, podría creerse que los pasos de este planeta deben ser con una frecuencia correspondiente; pero no sucede así. El paso de Venus es cosa sumamente rara, y con frecuencia trascurren cien años ó más sin que se produzca una sola vez el hecho.

La rareza de los tránsitos proviene de la circunstancia de que el paso del planeta está inclinado al paso de la órbita de la Tierra; de modo que, mientras que en la mitad de su tránsito Venus se halla más arriba del plano de dicha órbita, en la otra mitad está debajo. Cuando Venus alcanza á la Tierra, la línea desde esta última á Venus pasará, por lo tanto, generalmente por encima ó por debajo del Sol; pero si se diese el caso de que el planeta alcanzara á nuestro globo en cualquiera de los puntos en que el plano de la órbita de Venus pasa á través de la de la Tierra, ó cerca de aquéllos, entonces los tres cuerpos se hallarán en línea y la consecuencia será el tránsito de Venus. La rareza del fenómeno no debe ser, de consiguiente, un misterio. La Tierra pasa por uno de los puntos críticos cada mes de diciembre, y por el otro cada mes de junio; de manera que si se da el caso de que la conjunción de Venus ocurra el 6 de junio ó el 7 de diciembre, ó en las inmediaciones de esta fecha, el paso del planeta ocurrirá en esta conjunción, pero en ninguna otra circunstancia.

La ley más notable respecto á la repetición del fenómeno es el bien conocido intervalo de ocho años. Todos los tránsitos se pueden agrupar en pares, estándose separados los dos de cualquiera de estos pares por un intervalo de ocho años. Así, por ejemplo, en 1761 se observó un paso de Venus, y en 1769 otro: ya no se vieron más hasta los que se presentaron en 1874 y 1882. Después sigue un largo intervalo y ya no se observará el fenómeno hasta el año 2004, repitiendo en 2012.

Esta repetición de los tránsitos apareados se explica de un modo muy sencillo. Es el caso que el tiempo periódico de Venus tiene una notable relación con el de la Tierra. Venus efectúa trece revoluciones alrededor del Sol casi en el mismo tiempo que el que la Tierra necesita para ocho; y de

consiguiente, si en 1874 Venus y la Tierra se hallaran en línea con el Sol, ocho años después aquélla se hallaría de nuevo en el mismo sitio, y también Venus, porque ha podido hacer trece revoluciones. Habiendo ocurrido un tránsito del planeta en el primer caso, debe producirse otro en el segundo.

Sin embargo, no ha de suponerse que cada ocho años los planetas vol-

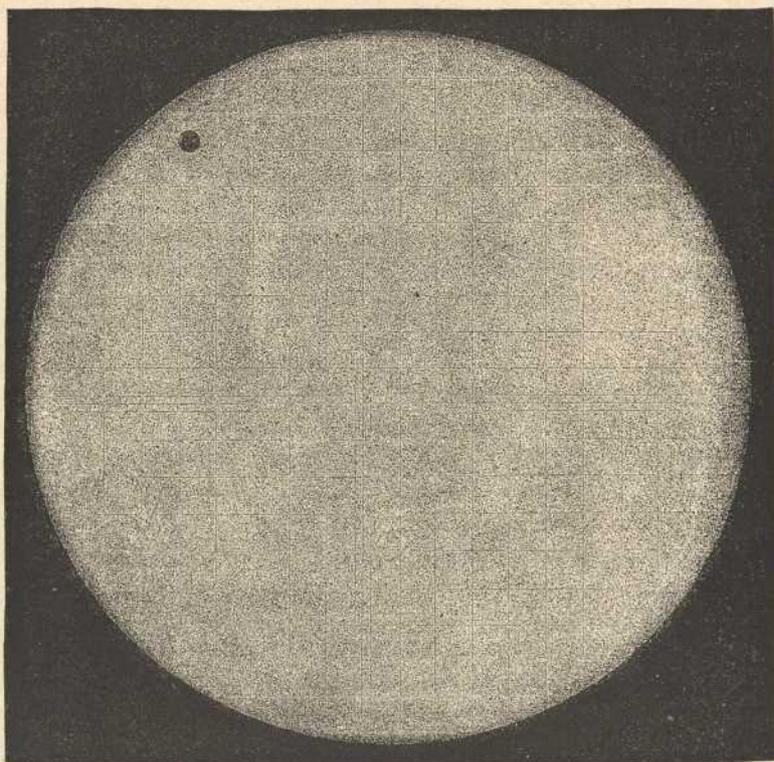


FIG. 41.—VENUS SOBRE EL SOL EN EL PASO DE 1874

verán á la misma posición con suficiente exactitud para que ese intervalo sea regular, pues sólo es aproximadamente verdad que trece revoluciones coinciden con ocho de la Tierra. Después de un intervalo de ocho años, cada conjunción se verifica en una posición que difiere ligeramente; de modo que cuando los dos planetas se juntaron otra vez en el año 1890, el punto de conjunción estaba tan separado del punto crítico que la línea desde la Tierra á Venus no cruzaba el Sol, y así, aunque el planeta pasó muy cerca del astro, no se verificó tránsito alguno.

La fig. 41 representa el paso de Venus en 1874: es copia de una fotografía que se obtuvo durante el fenómeno por M. Janssen. Este astróno-

mo colocó su telescopio en dirección al Sol y, en los pocos minutos de que podía disponer, la imagen del astro se reprodujo en la placa fotográfica puesta en el aparato. El borde circular figura el disco del Sol, y en este disco vemos la imagen de Venus con el aspecto que tenía durante su paso en 1874. Los únicos detalles que se notan además reducen a unas cuantas manchas en el Sol, algo confusas por cierto, y á una red de líneas que se tendieron á través del campo de la visión del telescopio para facilitar las medidas. Podría suponerse que el aspecto de Venus delante del astro se

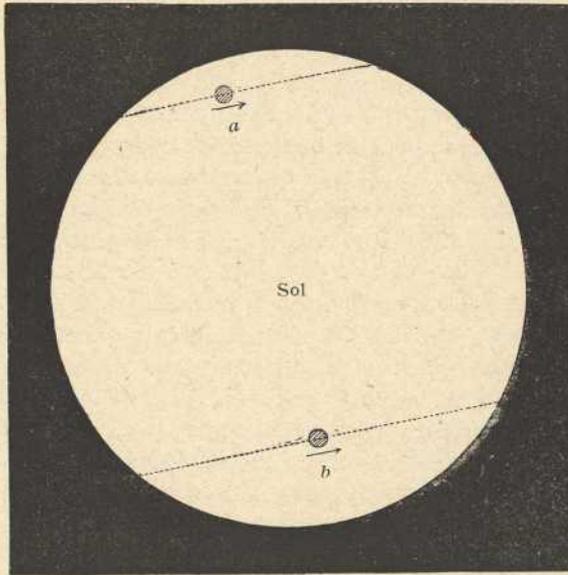


FIG. 42.—EL PASO DE VENUS Á TRAVÉS DEL SOL EN LOS TRÁNSITOS DE 1874 Y 1882

*a*, Venus en 1874.—*b*, Venus en 1882

podría confundir con una de las manchas de éste, que á menudo son grandes y redondas, y en ciertas ocasiones han simulado la aparición del planeta; pero no hay temor de que suceda así. El tránsito del planeta en el momento anunciado, y en el punto preciso del borde del Sol, que los cálculos indicaron, así como la forma de Venus y las circunstancias de su movimiento, bastan para reconocer á Venus y distinguir el planeta de cualquiera mancha solar ordinaria.

En el grabado 42 representábase el curso que el planeta siguió á través del Sol en 1874 y 1882: nuestra generación ha tenido la fortuna de observar dos veces el fenómeno.

El círculo blanco indica el disco del Sol: Venus penetra en la blanca superficie, y poco á poco el punto negro se sitúa enfrente del astro, hasta

que al cabo de media hora, ó algo menos, el oscuro disco es completamente visible. El planeta cruza con lentitud, observado por centenares de telescopios desde todos los puntos accesibles de nuestro globo donde el fenómeno es visible, hasta que al fin, pasadas algunas horas, el planeta sale por el otro lado.

Será útil dirigir una ojeada retrospectiva á los diversos pasos de Venus de que se conserva algún recuerdo histórico, y los cuales no son muy numerosos. Sin duda han ocurrido centenares de tránsitos desde que el hombre apareció por primera vez sobre la tierra; pero no se comenzó á fijar la atención en el hecho hasta poco antes de 1631, si bien parece que en este año nadie observó el paso del planeta.

Los buenos resultados que Gassendi obtuvo al observar el tránsito de Mercurio hicieronle concebir la esperanza de que sería igualmente afortunado respecto á Venus, cuyo paso había predicho también Kepler. Gassendi observó el Sol los días 4, 5 y 6 de diciembre, y otra vez el 7; mas no vió señal ninguna de planeta, lo cual fué debido á que el tránsito de Venus ocurrió durante la noche del 6 al 7, y sería, por lo tanto, invisible para los observadores de Europa.

Kepler había supuesto que después del tránsito de 1631 no habría otro hasta 1761; pero esta vez la perspicacia del sabio quedó desmentida. Sin duda no apreció debidamente el notable período de ocho años, según el cual el paso de 1631 sería seguido por otro en 1639. Podemos decir que con este último comenzó la historia del asunto, pues fué la primera vez en que se observó bien el paso del planeta, aunque, según parece, sólo por dos personas.

Un joven y celoso astrónomo llamado Horrocks, había tenido empeño en estudiar los movimientos de Venus, y como descubriese que el tránsito de este planeta se repetiría en 1639, hizo sus preparativos para observarlo. La profesión clerical de Horrocks dificultaba hasta cierto punto á que éste satisficiera sus deseos; pero, aunque resuelto á no faltar á sus deberes de ministro, decidió, sin embargo, aprovechar todos los momentos que le quedasen libres durante el día para estudiar el Sol. En la mañana del día en que debía efectuarse el paso del planeta, precisamente un domingo, Horrocks se hallaba á primera hora en su puesto. Con gran sentimiento suyo hubo de retirarse á las nueve para desempeñar su servicio, pero éste terminó pronto, y antes de las diez estaba ya de nuevo en observación. En aquel momento no vió en la brillante faz del Sol nada de particular, como no fuese una ligera mancha que en nada tenía aspecto de planeta. De nuevo fueron á buscarle, porque se le necesitaba en la iglesia, y no pudo volver hasta la una á su observatorio. Entonces vió el Sol más ó menos cubierto de nubes, pero algún tiempo después dispersáronse éstas, y con indecible alegría Horrocks distinguió en el Sol la mancha oscura y redonda, en la cual reconoció muy pronto el planeta Venus. Las observaciones no podían durar mucho, porque era invierno, y el Sol debía ponerse muy

pronto. Solamente utilizó media hora; pero había hecho sus preparativos tan bien, que ese breve tiempo le bastó para tomar medidas exactas.

Horrocks había anunciado el acontecimiento de antemano á su amigo Guillermo Crabtrees, que, preparado á su vez, pudo observar también el paso; pero el clérigo astrónomo no comunicó á nadie más la noticia, y limitóse á decir después:

“Espero que se me dispense por no haber dado cuenta á mis amigos del fenómeno esperado; pero sé que los más de ellos se cuidan poco de bagatelas de esta especie, y que prefieren sus halcones y sus perros, por no decir otra cosa peor.”

Hasta mucho tiempo después no se reconoció toda la importancia del tránsito de Venus; y había trascurrido ya cerca de un siglo cuando el gran astrónomo Halley (1656-1741) llamó la atención sobre el asunto. El siguiente tránsito debía ocurrir en 1761, y cuarenta años antes de que se produjera, Halley explicó su célebre método para hallar la distancia del Sol por medio del paso de Venus. El sabio astrónomo era entonces hombre de sesenta años, y no podía esperar que le fuese dado presenciar el fenómeno; pero con noble lenguaje recomendó el problema á las personas más entendidas, y escribió á la Sociedad Real de Londres una carta que decía en uno de sus párrafos: “Mi más ardiente deseo es que esta ilustre Sociedad se penetre de la importancia del asunto, que yo me propongo explicar á los astrónomos jóvenes, pues tal vez vivan lo bastante para observar estas cosas, sirviéndose de un método que les permitirá conocer la distancia del Sol con exactitud. Le recomiendo una y otra vez, seguro de que cuando yo no pertenezca ya al mundo de los vivos tendrán ocasión de apreciar mi método en lo que vale para observar tales cosas, recordando mis recomendaciones y aplicándose con celo á tan importante estudio. Cuando hayan averiguado con exactitud las magnitudes de las órbitas planetarias, alcanzarán la fama inmortal y la gloria á que se habrán hecho acreedores.”

Halley disfrutó de larga vida, pero murió diez y nueve años antes de efectuarse el paso del planeta.

Aquellos que deseen saber cómo el tránsito de Venus puede indicar la distancia desde el Sol deben prepararse á estudiar un problema geométrico no poco complicado. No podemos entrar aquí en detalles necesarios para una explicación completa, y será preciso limitarnos á dar una idea general del método, á fin de que nuestros lectores comprendan que el paso de Venus contiene en realidad los elementos necesarios para la solución del problema.

Ante todo debemos explicar brevemente lo que los astrónomos entienden por *paralaje*, pues por éste se debe determinar la distancia del Sol ó de cualquier otro cuerpo celeste.

Tomaremos un simple ejemplo: sitúese una persona junto á una ventana desde donde pueda mirar los edificios, los árboles, las nubes, ó cualesquiera objeto distante. En uno de los vidrios póngase una estrecha tira de pa-

pel en el centro y verticalmente, y, cerrando el ojo derecho, obsérvese con el izquierdo la posición de la tira relativamente á los objetos del fondo. El observador, sin moverse del sitio que ocupa, se cerrará después el ojo izquierdo, mirando de nuevo la posición de la tira de papel con el derecho; y entonces notará que el lugar de aquélla en el fondo ha cambiado. Esta aparente desviación de la tira de papel relativamente al fondo distante es lo que se llama *paralaje*.

Si el observador se acerca á la ventana y repite el experimento, verá que *la aparente desviación de la tira aumenta*; mientras que si se aleja de aquélla la desviación disminuye; y si se sitúa en el opuesto lado de la estancia, aquélla decrece más aún, aunque probablemente será todavía visible. Vemos, pues, que el cambio en la aparente desviación en la tira de papel, según que se mire con el ojo derecho ó con el izquierdo, varía en razón al cambio de la distancia. De aquí se puede inferir que, si tenemos los medios de tomar la medida de la desviación, nos será dado calcular la distancia entre el observador y la ventana.

Este principio, aplicado en una escala gigantesca, es el que nos permite averiguar las distancias de los cuerpos celestes. Mírese, por ejemplo, el planeta Venus, hágase corresponder éste con la tira de papel, y sea el Sol el fondo, donde se ve el planeta en el momento de su paso. En vez de los dos ojos del observador sitúense dos observatorios en distintas regiones de la Tierra, después midamos el grado de desviación, y por él se calculará la distancia del planeta. Todo dependerá entonces de los medios de que se disponga para medir la desviación de Venus, según se vea desde las dos distintas estaciones.

Hay varios métodos para hacer esto, pero el más sencillo es el que propuso Halley.

Desde el observatorio en A (fig. 43) el planeta parece seguir el trayecto superior de los dos indicados en la figura, y desde B sigue el inferior; de modo que debemos medir la distancia entre los dos trayectos, lo cual se puede efectuar de diversas maneras. Supongamos que el observador en A nota el tiempo que Venus ha empleado en cruzar el disco, y que se hacen análogas observaciones en B: como el trayecto visto desde este último punto es el mayor, debe deducirse que el tiempo observado en B será más largo que en A. Cuando los astrónomos de diferentes hemisferios se reúnen para comparar sus observaciones, los *tiempos* obtenidos permitirán calcular las longitudes de los trayectos. Conocidas estas últimas, quedan determinados sus puntos en el disco circular del Sol, y así se averigua el grado de desviación de Venus en su tránsito. De este modo se mide la distancia del planeta, y así se conoce la escala del sistema solar.

Los dos tránsitos á que se refieren las memorables investigaciones de Halley ocurrieron en 1761 y 1769. Los resultados del primero no fueron muy felices, á pesar de los arduos trabajos de los que practicaron las observaciones; pero el paso de 1769 será para siempre memorable, no sólo

por haberse determinado la distancia del Sol, sino porque dió lugar al primero de los célebres viajes del capitán Cook. El intrépido marino fué comisionado para ir á Otahiti á estudiar el paso de Venus; y el 3 de junio, en un día magnífico, observóse el fenómeno cuidadosamente, tomándose las medidas por varios astrónomos. Simultáneamente con estas observaciones hicieron otras en Europa, y por la combinación de unas y otras adquirióse el primer conocimiento exacto de la distancia del Sol; pero no se discutieron aquéllos por el pronto. Hasta 1824 no computó el ilustre

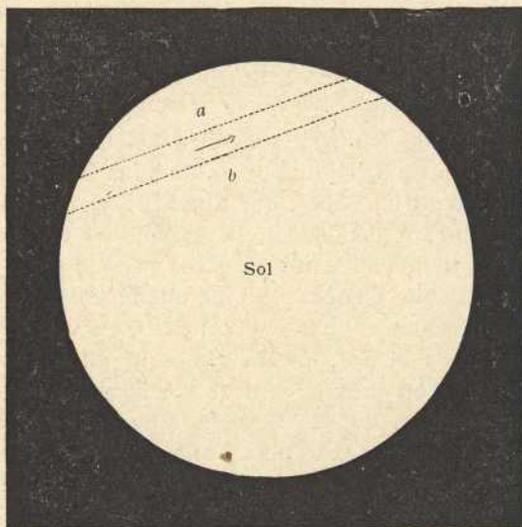


FIG. 43.—GRABADO ILUSTRATIVO DE LA OBSERVACION DEL TRÁNSITO DE VENUS DESDE DOS LOCALIDADES *a* Y *b*, EN LA TIERRA

*a*, trayecto aparente desde *a*.—*b*, trayecto aparente desde *b*

Encke la distancia del Sol, obteniendo como resultado definitivo 95 millones de millas.

Durante muchos años se adoptó invariablemente esta cifra; pero al fin comenzaron á surgir dudas sobre la exactitud del resultado, y expusieronse con diferentes grados de importancia, siendo de notar que todas versaban sobre el mismo punto, es decir, indicando que la distancia del Sol no era, en realidad, tan considerable como lo aseguraba Encke en vista de sus cálculos. Debe recordarse que hay varios métodos para buscar la distancia del Sol, métodos que creemos necesario dar á conocer en otro lugar. En resumen, reconocióse que la cifra de Encke era exagerada, y que la distancia del astro se podría fijar probablemente en 92.700,000 millas.

Se nos dispensará que recordemos aquí nuestras propias observaciones

sobre el último paso de Venus, que tuvimos la suerte de ver desde Dunsink, en la tarde del 6 de diciembre de 1882.

La mañana de aquel memorable día se presentó lo más desfavorable que imaginarse pudiera para contemplar tan grandioso espectáculo astronómico: una capa de nieve de 2 pulgadas de espesor cubría la tierra, y siguió cayendo más á intervalos durante toda la tarde; de modo que parecía imposible que se pudiera ver nada cuando llegase el momento; pero en tales casos bueno es recordar la recomendación hecha á los observadores cierto día con motivo de un célebre eclipse. Dijoseles que, por malo que fuera el tiempo, no dejaran nunca de hacer sus preparativos, exactamente como los harían cuando el Sol brillara con todo su esplendor. No hay duda que muchos observadores se han aprovechado de este consejo, y á él debimos también nosotros nuestro buen éxito.

En el observatorio de Dunsink tenemos dos telescopios ecuatoriales, uno de ellos antiguo, pero bastante bueno, de unas 6 pulgadas de abertura. El otro es el gran ecuatorial South, que tiene 12: ya hemos hablado de él en un capítulo anterior. A las once de la mañana el tiempo parecía peor que nunca, pero seguimos haciendo nuestros preparativos. Mr. Rambaut se encargó del telescopio menor, y yo me quedé en el otro. Aun nevaba cuando abrimos las ventanas de la cúpula; pero, en vez de enfocar directamente los telescopios al Sol, los dirigimos al punto en que sabíamos se hallaría, y se puso en movimiento el mecanismo de reloj que hacía girar los telescopios. Aun no era llegada la hora del tránsito anunciado. Mr. Hind, el entendido director del *Almanaque Náutico*, había tenido la bondad de enviarnos sus cálculos, los cuales demostraban que el paso del planeta, visto desde Dunsink, debía comenzar á la 1, 35 minutos y 48 segundos, tiempo medio de Dublín, y que el punto del disco del Sol por donde el planeta penetraría se hallaba á  $147^{\circ}$  de la punta N. del Sol rodeando por el E. Este dato tenía una doble ventaja: indicábanos en primer lugar el momento preciso en que se debía esperar el paso, y, lo que no era menos útil, decíanos el punto exacto del Sol en que debía fijarse la atención. Esto es de mucha importancia, pues tratándose de un telescopio grande sólo es posible ver una parte del astro á un tiempo, y de consiguiente, si la debida parte del Sol no se refleja en el campo de la visión, el fenómeno puede pasar inadvertido.

Debemos decir dos palabras sobre el ocular del ecuatorial South. Por lo pronto es evidente que el brillo del Sol debe atenuarse mucho antes de que el ojo pueda mirar impunemente. La luz del astro se refleja sobre una placa de cristal trasparente inclinado en cierto ángulo, y la principal cantidad del calor del Sol, así como de su luz, pasan á través de la placa y se pierden; pero cierta fracción de la luz se refleja desde el cristal y penetra en el ocular. Esta luz se ha reducido ya mucho en su intensidad, pero aun se puede disminuir más, si se quiere, por medio de un ingenioso mecanismo. El cristal que refleja la luz forma lo que se llama el *ángulo de polarización*, y en-

tre el ocular y el ojo hay una placa de turmalina que el observador puede hacer girar. En una posición apenas se opone al paso de la luz; pero cuando está en ángulo recto intercepta casi toda aquélla; de modo que, sin más que ajustar la posición de la turmalina, el observador puede obtener la imagen con la brillantez conveniente, haciéndose así las observaciones con el debido grado de iluminación.

Todos nuestros preparativos parecían al principio inútiles, pues hasta la una de la tarde no se había visto el menor vestigio de Sol; pero poco después de dicha hora observóse que el día se aclaraba, y al mirar al N., de donde llegaban el viento y la nieve, notamos con indecible placer que las nubes se desvanecían. Al fin comenzó á mejorar el cielo por la parte del S., y cuando el momento crítico se acercaba pudimos distinguir la mancha donde el Sol comenzaba á ser visible á través de las nubes. Sin embargo, el momento anunciado por Mr. Hind llegó y pasó sin que el Sol se dejara ver del todo, aunque teníamos la seguridad que iba á ser más aparente. En su consecuencia se perdió el contacto externo; pero nos consolamos reflexionando que ésta no era una importante fase, y que tal vez tendríamos mejor suerte con el contacto interno.

El Sol atravesó, por último, las nubes, pude ver su disco redondo, é inmediatamente miré al punto en que se debía concentrar la atención. Habían pasado algunos minutos desde el momento indicado por Mr. Hind para el primer contacto, y con indecible placer observé el pequeño punto oscuro que indicaba que el paso de Venus había comenzado ya; pero el momento más crítico no era llegado aún. Por la expresión *primer contacto interno* debemos entender el instante en que el planeta está *exactamente* sobre el Sol. Este primer contacto debía ocurrir 21 minutos después que el externo; pero las nubes frustraron otra vez nuestras esperanzas de ver el primer contacto. Mientras observaba fijamente el majestuoso progreso del planeta, noté que además de Venus había otros cuerpos entre mi aparato y el Sol: eran copos de nieve, que volvían á caer en abundancia, y cuyo aspecto me pareció magnífico. El efecto telescópico de una tempestad de nieve con el Sol en el fondo era cosa que jamás había visto hasta entonces, y recordóme la dorada lluvia que á veces se observa en los fuegos artificiales; pero de buena gana hubiera renunciado al espectáculo, pues la consecuencia fué que el Sol y Venus desaparecieron de la vista. Las nubes se acumularon, la nieve cayó con más fuerza, y apenas podía esperarse ver alguna cosa más. A la 1 y 57 minutos el primer contacto había terminado, penetrando Venus completamente en el Sol. Sólo habíamos obtenido una rápida vista, sin tomar medidas ni hacer otras observaciones útiles. Sin embargo, sólo el ver una parte del paso de Venus es un acontecimiento que se recuerda toda la vida, y por lo tanto quedamos más satisfechos de lo que es posible expresar.

Sin embargo, aun nos esperaba algo mejor: mi ayudante vino á decirme que él también había observado á Venus en la misma fase que yo, y

los dos volvimos á ocupar nuestro sitio. A las dos y media las nubes comenzaron á dispersarse, y pronto renació la esperanza de ver al Sol. No se trataba ya de hacer observaciones sobre el contacto, pues Venus habría avanzado ya bastante, y en su consecuencia se preparó el micrómetro. Las nubes se desvanecieron al fin, y en aquel momento Venus había penetrado tanto en el Sol que la distancia desde el borde del planeta al del astro era casi dos veces el diámetro de Venus. Medimos la distancia del borde interior de Venus desde el limbo más próximo del Sol, y las observaciones se repitieron con toda la frecuencia posible; pero debemos añadir que no se hicieron sin mucha dificultad. El Sol estaba muy bajo, y tanto su borde como el de Venus no presentaban este carácter fijo tan conveniente para las mediciones micrométricas.

Pudimos tomar diez y seis medidas; pero las nubes comenzaban á interponerse de nuevo, y reconocimos que el resto del paso no sería ya visible más que para los miles de astrónomos que en climas más favorecidos le habían esperado con ansia. Antes de terminarse el fenómeno dediqué algunos minutos á tomar una vista del paso en la forma más pintoresca que el campo del aparato me podía presentar, vista que me pareció verdaderamente espléndida. El Sol comenzaba á tomar estas tintas rojizas que le son peculiares á la hora de ponerse, y, muy adelantado en su faz, veíase el disco afilado, negro y redondo de Venus. Entonces comprendí la inmensa alegría de Horrocks cuando en 1639 presencié por primera vez el espectáculo. La belleza intrínseca del fenómeno, su rareza, la realización de las predicciones, y el noble problema que el paso de Venus nos permite resolver, son cosas que no se pueden olvidar. Por desgracia el acontecimiento no se repetirá hasta el mes de junio del año 2004.

El paso de Venus proporciona también ocasión para estudiar la naturaleza física del planeta, y no estará de más indicar aquí brevemente los resultados obtenidos. En primer lugar ese paso arroja alguna luz sobre la cuestión de saber si Venus va acompañado de un satélite. Si le siguiera de cerca algún pequeño cuerpo celeste, se concebiría que en circunstancias ordinarias la brillantez del planeta eclipsaría los débiles rayos de luz de su diminuto compañero, quedando así el satélite invisible; y de consiguiente era del mayor interés explorar la inmediación del planeta en el momento de su paso. Si existía un satélite, cosa que se ha sospechado á menudo, sería posible descubrirlo en el brillante fondo del Sol, y por esto se fijó la atención en este punto durante los últimos pasos; pero no se reconoció satélite alguno de Venus. En su consecuencia no parece nada probable que el planeta le tenga, al menos de dimensiones apreciables.

Mejor resultado dieron las observaciones encaminadas á reconocer cuál es la atmósfera que rodea á Venus. Si el planeta no tuviese ninguna, sería completamente invisible antes de comenzar su entrada en el Sol, y ya no se vería cuando se hubiera separado de él. Las observaciones hechas durante los tránsitos no convienen con tal suposición, y en los últimos fenó-

menos se ha fijado la atención principalmente en este punto, obteniéndose un resultado muy notable, el cual nos prueba de la manera más concluyente la existencia de una atmósfera alrededor de Venus. A medida que el planeta salía gradualmente del Sol, vióse que su borde circular, extendiéndose en la oscuridad, estaba limitado por un arco de luz; y el doctor Copeland, que observó el paso en circunstancias excepcionalmente favorables, pudo seguir al planeta hasta que hubo salido por completo del Sol, en cuyo tiempo el globo, aunque invisible en sí, se marcaba distintamente por el círculo de luz que le rodeaba. Este círculo luminoso es inexplicable como no sea suponiendo que el globo de Venus está circuido de una capa atmosférica lo mismo que la Tierra.

Podría preguntarse qué utilidad reporta consagrar tanto tiempo y trabajo á la observación de un fenómeno celeste como el tránsito de Venus, que tan poca relación tiene con los asuntos prácticos. ¿Qué importa que el Sol se halle á 95 millones de millas de nosotros, ó sólo á 92 millones, ó á cualquiera otra distancia? Debemos admitir desde luego que esta investigación tiene muy poco que ver con los asuntos prácticos; pero nadie negará que para computar con perfecta exactitud los almanaques náuticos necesitamos conocer la distancia del Sol. El comercio depende de una buena navegación, y para ésta es un factor importante tener un almanaque náutico digno de confianza; de modo que la mayor perfección de éste supone los mejores resultados para aquélla. Ahora bien: sabido es que para el barco que va en demanda del puerto durante una noche tempestuosa, ó que se halla en otras circunstancias críticas, el hecho de avanzar 1 ó 2 metros más es á menudo de mucha trascendencia; y así podemos comprender que á la influencia infinitesimal del paso de Venus en el almanaque náutico se deba la seguridad de un valioso buque.

Otros motivos hay para aplaudir que se gaste tiempo y dinero en observar el paso de Venus. Tenemos en este fenómeno un fructuoso origen de conocimientos, pues nos dice á qué distancia nos hallamos del Sol, que es el fundamento de todas las grandes medidas del mundo; satisface la curiosidad intelectual del hombre, mostrándole las verdaderas dimensiones del majestuoso sistema solar, en el que tanta importancia tiene la Tierra, aunque sea una parte subordinada; y nos permite comprender la gigantesca escala en que está construido el grandioso Universo.

Los límites de esta obra no nos permiten entrar en otras consideraciones sobre el paso de Venus, pues cuando se comienza á estudiar los detalles tropiézase con una infinidad de materias técnicas y delicadas. Baste decir que, cuando se trata del paso de un planeta, la elección del punto para observar, detalle que da lugar á no pocos debates, la de los instrumentos que han de usarse, y la descripción que debe hacerse de cuanto se ve, son todas cuestiones de la mayor importancia y muy complicadas. Conviene, sobre todo, que los observadores estén particularmente acostumbrados á esta clase de trabajos, pues ni aun el mismo Matusalén hubiera podido vi-

vir suficiente tiempo para obtener toda la *práctica* en el estudio de los pasos de Venus. A fin de compensar la inevitable falta de experiencia, los observadores deben prepararse por una instrucción especial; y, por otra parte, la interpretación de las observaciones lleva consigo muchos puntos espinosos que son origen de no poca controversia. Si quisiéramos profundizar estas materias para hacerlas del todo inteligibles deberíamos descender á minuciosos detalles, y, por lo tanto, desistimos de ello, tanto más cuanto que ya hemos dicho que el paso de Venus es solamente uno de los métodos para hallar la distancia del Sol, método célebre sin duda, pero tal vez no el más seguro. No es improbable que la determinación final de la distancia del Sol se obtenga al fin de una manera muy distinta, según se explicará en uno de los siguientes capítulos.

Debemos terminar aquí nuestra descripción del gracioso planeta, pero antes de hacerlo añadamos algunos detalles estadísticos sobre su volumen y dimensiones y su órbita.

El diámetro de Venus es de unas 7,660 millas, y el planeta no parece desviarse de la forma globular en un grado apreciable, aunque apenas se puede dudar que su diámetro polar es realmente algo más corto que el ecuatorial: este diámetro no es más que unas 258 millas menor que el diámetro de la Tierra. La masa de Venus representa unas tres cuartas partes la de nuestro globo, ó, en otros términos, si comparamos el volumen de este planeta con el del Sol, habría de figurarse por la fracción 1 dividida por 425,000. Observaremos que la masa de Venus no es del todo tan grande, en comparación con su volumen, como se podría esperar. La densidad del planeta es, poco más ó menos, 0'850 la de la Tierra. Venus pesaría 4'81 veces tanto como un globo de agua de igual tamaño. La gravitación en su superficie será un poco menos que la observada en la superficie de la Tierra. En esta última, un cuerpo que cae recorre 16 pies por segundo, mientras que en Venus franquearía 3 pies menos. El tiempo de rotación de Venus es una cuestión sobre la cual hay todavía muchas dudas; pero supónese que será de unas 23 horas y 21 minutos.

La órbita de Venus es notable por lo mucho que se aproxima su forma á las del círculo. La mayor distancia del planeta desde el Sol no excede en un 1 por 100 á la menor. Su distancia media desde el astro luminoso es de unos 67 millones de millas, y el movimiento de la órbita tiene una velocidad media de cerca de 22 millas por segundo, efectuando el planeta su revolución completa en 224'70 días.



---

## CAPITULO VIII

### LA TIERRA

La Tierra es un gran globo.—Cómo se mide el volumen de la Tierra.—La línea de base.—La latitud hallada por la elevación del polo.—Un grado del meridiano.—La Tierra no es una esfera.—Experimento del péndulo.—¿Es el movimiento de la Tierra lento ó rápido?—Coincidencia del eje de rotación con el eje de figura.—Existencia del calor en la Tierra.—Efectos de la fuerza centrífuga.—Comparación con el Sol y Júpiter.—La protuberancia ecuatorial.—El peso de la Tierra.—Comparación entre el peso de la Tierra y un globo igual de agua.—Comparación de la Tierra con un globo de plomo.—El péndulo.—Uso del péndulo para medir la intensidad de la gravedad.—El principio del isocronismo.—Forma de la Tierra medida por el péndulo.

Las más simples consideraciones astronómicas nos indican desde luego que la Tierra es un cuerpo redondo. El Sol, la Luna y los planetas tienen esta forma, como lo revelan nuestros telescopios. Indudablemente los cometas no son redondos, pero tampoco son un cuerpo sólido, puesto que podemos ver á través de ellos; y tienen un peso tan insignificante que no es dado apreciarle con nuestras medidas. Así, pues, si todos los cuerpos sólidos que alcanzamos á ver son globos redondos, debe presumirse que la Tierra lo es también; pero, además, tenemos datos más directos que nos permiten prescindir de la suposición.

Para reconocer que la superficie del mar es curva, nada mejor que observar en un día sereno un buque distante. Cuando éste se halle muy lejos aún, su casco desaparecerá gradualmente, conservándose los mástiles visibles; y en un claro día de verano se divisará á menudo con unos gemelos de teatro, ó sin ellos, la extremidad de la chimenea de un vapor que se destaca sobre las aguas, mientras que el cuerpo del buque se mantiene abajo. Si el mar fuese perfectamente plano nada oscurecería el casco, y de consiguiente sería visible mientras la chimenea se divisara; pero si el mar es curvo realmente, la parte protuberante impide que se distinga el casco, sin que la chimenea deje de verse.

En su consecuencia sabemos por esto que el mar es curvo en todas

partes, y por lo tanto es natural suponer que la tierra es un globo; y si tomamos medidas más cuidadosas, veremos que este globo no es exactamente redondo, hallándose aplanado hasta cierto punto en cada uno de los polos. De ellos se puede formar clara idea con un globo de goma elástica, el cual se comprime en dos lados opuestos de modo que sobresalga en el centro. La Tierra está aplanada en los polos y forma saliente en el ecuador. La divergencia de la forma globular, sin embargo, no es muy considerable en la Tierra, y apenas se notaría sin tomar medidas cuidadosamente.

La determinación del volumen de nuestro globo supone operaciones no poco delicadas. Se ha necesitado mucha habilidad y grandes trabajos para llevar á cabo la obra; pero ahora son conocidas las dimensiones de la Tierra con mucha exactitud, aunque tal vez no con toda la precisión que puede esperarse alcanzar. La importancia científica que tiene la medición exacta de nuestro planeta no se apreciará nunca lo bastante.

El radio de la Tierra es en sí la unidad con que se expresan generalmente las magnitudes astronómicas; y así, por ejemplo, cuando se hacen observaciones que tienen por objeto hallar la distancia de la Luna, una vez discutidas y corregidas aquéllas, nos dicen que esa distancia es igual á cincuenta y nueve veces el radio ecuatorial de la Tierra. Si deseamos averiguar la distancia de la Luna en millas, es preciso saber el número de éstas que tiene el radio de la Tierra.

Después de elegir un espacio bien nivelado de la superficie del globo, se mide una línea de varias millas de longitud, á la cual se da el nombre de *línea de base*, y, como de ésta dependen todas las medidas que se toman luego, es indispensable que su medición se haga con la más rigurosa exactitud; de modo que, aunque sólo tenga 4 ó 5 millas de largo, para obtener la precisión necesaria, sin más error que algunas pulgadas, requiérense minuciosas precauciones. No entraremos aquí en la descripción de las operaciones que se exigen, porque nos extenderíamos demasiado. Baste decir que, cuando se han medido en diferentes puntos de la superficie de la Tierra algunas bases, para averiguar la extensión total de aquélla se ha de proceder á la medición de ángulos y hacer cálculos trigonométricos muy complicados. Partiendo de una base de pocas millas de longitud, se pueden medir mayores distancias hasta que se llega á la de 100 millas ó más, siendo así posible medir una línea que se corra al norte y al sur.

Hasta aquí el trabajo se reduce al que puede hacer el agrimensor terrestre. Las distancias que toma se entregan después al astrónomo, y éste deduce de ellas las dimensiones que la Tierra puede tener, establece su observatorio en la extremidad norte de la línea larga, y procede á determinar su latitud por la observación. Hay varios métodos para buscar esta latitud, y recomendamos las obras de astronomía práctica á los que los quieren conocer en detalle, limitándonos á indicar aquí brevemente el principio que rige para tales observaciones.

Todos nuestros lectores conocerán, sin duda, la estrella Polar, que, si bien no es de ningún modo la más brillante de todas, tiene tal vez más importancia que ninguna otra del cielo. En ciertas latitudes se encuentra esa estrella á considerable elevación, y noche tras noche se ve siempre en el mismo sitio en la parte norte. Pero supongamos que se emprende un viaje al hemisferio sur: á medida que nos acercamos al ecuador obsérvase que la estrella Polar está más cerca del horizonte, hasta que, llegados á dicho punto, la vemos en el horizonte mismo; mientras que, si se cruza la línea, notaremos al penetrar en el hemisferio sur que la estrella Polar es invisible.

Por otra parte, el viajero que salga de Inglaterra, por ejemplo, en dirección á Noruega, verá que esa estrella está cada noche en el cielo á mayor altura de la que tenía antes; y si continúa su viaje más hacia el norte, verá que ese cuerpo celeste se eleva gradualmente, hasta que al fin, al aproximarse al polo de la Tierra, divisará la estrella á considerable altura sobre su cabeza. De aquí resulta que, cuanto mayor es la elevación de nuestra latitud, mayor lo es también generalmente la de la estrella Polar. Cerca de esta última está el polo celeste, y alrededor de él efectúa la estrella Polar su revolución, como todas las demás estrellas, una vez cada día; pero el círculo que describe es tan pequeño que, á menos de fijar mucho la atención, pasará inadvertido. El verdadero polo celeste no es un punto visible, pero es dado determinarle con exactitud, y nos permite establecer con la mayor precisión la relación entre el polo y la latitud. Así, pues, podemos decir que la elevación del polo celeste sobre el horizonte es igual á la latitud del sitio.

El astrónomo, situado en la extremidad de la línea larga, mide la elevación del polo celeste sobre el horizonte, operación algo delicada. En primer lugar, como el polo celeste es invisible, debe medir, en vez de éste, la altura de la estrella Polar, cuando se halla en su punto más culminante, repitiendo la operación doce horas después, cuando la elevación de la estrella sea menor. El término medio entre los dos dará la altura del polo celeste; pero ésta se debe corregir de varias maneras, que no es necesario detallar aquí, bastando decir que por medio de tales operaciones se determina la latitud de una extremidad de la línea.

El astrónomo, provisto de todos sus instrumentos, se traslada después á la extremidad opuesta de la línea, repite allí las operaciones, y ve que el polo tiene distinta elevación, que corresponde á la latitud diferente: la diferencia de las dos alturas le dará una medida exacta del número de grados y fracciones de grado entre las latitudes de las dos estaciones. El resultado se puede comparar entonces con la distancia en millas entre los dos puntos de observación, que se ha averiguado por la medición trigonométrica. Por un simple cálculo se obtendrá después el número de millas y fracciones de milla que corresponden á un grado de latitud, ó, en términos más familiares, la longitud de un grado del meridiano.

La operación se repite en diferentes puntos de la Tierra, en los hemisferios austral y boreal, en las altas latitudes y en las bajas. Si el nivel del mar en toda la Tierra fuese un globo perfecto, tendríamos una importante consecuencia, y es que la longitud de un grado del meridiano sería igual en todas partes: sería la misma en el Perú y en Suecia, en la India y en Inglaterra; pero las longitudes de los grados no son de ningún modo iguales, y por esto sabemos que nuestra Tierra no es realmente una esfera. Las longitudes medidas de los grados nos permiten ver de qué manera nuestro globo se desvía de dicha forma. Cerca del polo la longitud de un grado es mayor que en la inmediación del ecuador, lo cual demuestra que la Tierra está aplanada en los polos y es protuberante en aquél, ofreciéndonos esto los medios de calcular la longitud de los ejes polar y ecuatorial.

Podemos decir que el eje polar de la Tierra es el diámetro más corto de la misma. Este eje intersecta la superficie en los polos norte y sur, y alrededor de él la Tierra efectúa una rotación cada día sideral, día que es algo más corto que el ordinario, pues sólo consta de 23 horas, 56 minutos y 4 segundos. La rotación se verifica como si un eje rígido pasase á través del centro de la Tierra, ó, haciendo una comparación más familiar, diremos que la Tierra gira como lo haría un ovillo de estambre alrededor de una aguja de hacer calceta que lo atravesase por su centro. La rotación de nuestro globo sobre su eje se podría demostrar de una manera notable por un experimento bastante sencillo. Para dar á conocer el principio en que se basa, podemos suponer que el observador está situado en el polo, y que sobre el punto de la Tierra en que el eje polar corta la superficie se ha construído una alta cúpula, desde cuya cima descende un largo alambre hasta cerca del suelo, teniendo sujeto en su extremidad un peso considerable. Si este último se mantiene fijo en un lado y se suelta después, oscilará lentamente, pero el plano en que se mueva se conservará invariable. Si la cúpula permaneciera en reposo, la posición del plano de oscilación seguiría siendo la misma relativamente á las paredes que le rodean; pero la cúpula gira con la Tierra, y dará la vuelta entera alrededor en el día sideral; de modo que habrá un cambio en el lugar del plano de oscilación relativamente á la cúpula, la cual girará aparentemente con bastante velocidad para completar una revolución en el día sideral. Si la cúpula se hallase situada en una latitud más baja, el cambio aparente en el plano de oscilación del péndulo no sería tan rápido; pero su movimiento se podría observar muy bien. Y así se ha visto que el grado de desviación de aquél conviene con lo que se calculó, suponiendo que la Tierra gira. Esto es lo que se conoce con el nombre de experimento del péndulo de Foucault.

Es una circunstancia digna de atención que el eje sobre el cual gira la Tierra sea idéntico al más corto diámetro de la misma, según se ha reconocido por los diversos cálculos. Semejante coincidencia no sería concebible si la forma de nuestro globo no se relacionase, en cierto modo, con el hecho de que aquél gira. ¿Qué conexión existiría? Si profundizamos el

asunto, veremos que la forma de la Tierra es una consecuencia de su rotación.

En diversas localidades la Tierra está ahora sujeta á convulsiones volcánicas que se producen de vez en cuando. El fenómeno de los volcanes, asociado con el de los terremotos; la existencia de manantiales de agua caliente, los *geisers* descubiertos en varios puntos, todo, en fin, nos indica que el calor existe en el interior de la Tierra, y bien sea éste general, como algunos suponen, ó meramente local en las diversas localidades donde se observan sus manifestaciones, la verdad es que existe, y para nuestro objeto basta reconocerlo así sin discutir más este punto. Ese calor interno, sea poco ó mucho, tiene evidentemente distinto origen que el que conocemos en la superficie. El nuestro proviene del Sol: el del interior de la Tierra no puede haber procedido del astro, pues su intensidad es demasiado considerable, y otras muchas causas se oponen á la suposición de que haya tenido su origen en el Sol. ¿De dónde ha venido, pues, ese calor? En el estado actual de nuestros conocimientos apenas podemos contestar á la pregunta, y, á decir verdad, esto no importa mucho para nuestro asunto. Admitido que ese calor existe, todo cuanto necesitamos es aplicar una ó dos de las bien conocidas leyes de aquél para la interpretación de los hechos. Debemos considerar, ante todo, la bien conocida ley por la cual el calor tiende á difundirse y propagarse lejos de su primer foco. El calor, profundamente concentrado en el interior de la Tierra, tiende á penetrar á través de las rocas y llega lentamente en la superficie. Cierto que las rocas y materiales que cubren nuestra Tierra no son buenos conductores del calórico: los más de ellos, muy por el contrario, tienen males condiciones como tales; pero de todos modos conducen ese agente, y por su mediación el calor llega á la superficie. No se puede hacer la objeción de que no le experimentamos, pues un solo ejemplo bastaría para refutarla. Unos cuantos ladrillos son suficientes para conservar el calor en un horno. Cierto que alguna parte escapará, pero lo demás quedará concentrado; y si algunos pies de ladrillos pueden conservar el calor en un horno, ¿no es fácil que varios miles de rocas le mantengan oculto en las profundidades de la Tierra, aunque ese calor fuera siete veces más considerable que el de los más poderosos hornos que jamás existieron? El calor escaparía lentamente, y tal vez de una manera imperceptible; pero si nuestros conocimientos sobre la Naturaleza no son una ilusión, debemos suponer que no hay rocas que puedan impedir, por gruesas que sean, que en el trascurso del tiempo llegue el calor á la superficie; y cuando esto sucede, ese calor irradiaría en virtud de otra ley, perdiéndose gradualmente.

Tal vez nos conduciría demasiado lejos la discusión sobre algunas de las objeciones que podrían hacerse contra lo que acabamos de exponer. A menudo se dice que el calor interno de la Tierra se produce por combinaciones químicas ó procedimientos mecánicos, y que así puede renovarse constantemente apenas se escapa, ó más pronto aún; pero esto es más bien

una diferencia en la forma que en la sustancia. Si el calor se produjese de esa manera (y no puede dudarse que es posible exista semejante origen respecto á una parte del calor interno del globo), se gastarían hasta cierto punto las fuerzas química ó mecánica, agotándose más ó menos. Cada unidad de calórico que se escapase sería una pérdida del mismo para el globo, ó, lo que es igual, la pérdida de una unidad en la fuerza química ó mecánica para producir el calórico. De todos modos el resultado sería la disminución del calor de la Tierra. Se observará, por supuesto, que una gran parte del que escapa no depende del procedimiento de conducción lenta. Cada erupción de un volcán emite una cantidad enorme de calórico que desaparece rápidamente de la Tierra, mientras que en muchos sitios, como en los manantiales cálidos, hay un desprendimiento continuo de calor que debe alcanzar inmensas proporciones.

La Tierra pierde así el calor, pero nunca lo recobra ni adquiere nuevas fuerzas para producir otro nuevo, de lo cual resulta que el interior de nuestro globo debe enfriarse cada vez más. Seguramente esto se verificará con extremada lentitud. La vida de un individuo, la de una nación, y tal vez la de la misma raza humana, no ha sido bastante larga para presenciar ningún cambio marcado en la cantidad de calórico terrestre; pero la ley es inevitable y, aunque aquél se pierda lentamente, la disminución es continua; de modo que en el trascurso de los siglos ha de producir por necesidad grandes é importantes efectos.

No es nuestro ánimo discutir sobre las consecuencias que semejante hecho pueda tener para la Tierra en lo futuro: solamente queremos dirigir una mirada retrospectiva al pasado para ver á qué desenlace nos vemos conducidos inevitablemente; y para ello podemos prescindir, como inapreciables, de esos intervalos de tiempo con que estamos familiarizados en la vida y hasta en la historia ordinaria. Como la Tierra pierde calor diariamente, claro está que ayer tendría más que hoy, y el año pasado más que el actual. El efecto no ha sido apreciable en los tiempos históricos; pero si nos remontamos, no á centenares y miles, sino á millones de años, se podrá reconocer ese efecto, y hasta veremos que es de asombrosa magnitud. Debe haber habido un tiempo en que la Tierra encerraba mucho más calor que ahora, en que su superficie estaba en realidad caliente. No pretenderemos calcular el número de miles ó millones de años trascurridos desde ese tiempo; pero podemos estar seguros de que cuanto más nos remontásemos en las edades del pasado, más calor encontraríamos en la Tierra, hasta que al fin la temperatura subiría de tal modo que llegaría al calor rojo, y en un tiempo anterior al calor blanco; mientras que en un período más lejano aún nuestra tierra, ahora sólida, se hallaría en fusión. No es necesario retroceder más, ni tampoco intentaremos señalar el origen probable de ese calor. Lo encontramos ahora y sabemos que se pierde cada día, lo cual confirma nuestra deducción.

Una gota de rocío en el pétalo de una flor es casi globular, pero nunca

completamente, porque la gravedad la oprime contra aquélla, desfigurándola hasta cierto punto. La gota de lluvia que cae es un globo. La gota de aceite suspendida en un líquido con el cual no se mezcla, forma un globo. Y pasando ahora de las cosas pequeñas á las grandes, imaginemos un inmenso globo de materia fundida, tan grande como la Tierra y compuesto de materiales tan blandos que obedezcan á las fuerzas de atracción ejercidas por cada parte del globo en todas las demás. No se puede dudar cuál sería el efecto de estas atracciones: tenderían á corregir toda irregularidad de la superficie, así como la del océano queda tersa cuando está libre de la influencia perturbadora del viento. Podemos esperar, pues, que nuestro globo en fusión, aislado de todo agente externo, tomaría la forma de una esfera.

Pero supongamos ahora que esa esfera, antes en reposo, comience á girar alrededor de un eje que pase por su centro: no se necesita suponer que ese eje sea un objeto material, ni tampoco de qué manera se produce la velocidad de la rotación; pero fácilmente se puede ver cuál sería la consecuencia de ese movimiento. La esfera se deformaría, la fuerza centrífuga haría sobresalir la masa fundida en el ecuador, aplanándola en los polos, y cuanto mayor fuera la velocidad de la rotación, más grande sería el rebasamiento. Supongamos ahora que la Tierra en fusión, girando siempre, comenzase á pasar del estado líquido al sólido: la forma que tomaría al consolidarse sería indudablemente muy irregular en la superficie, á causa de las convulsiones y trastornos consiguientes á la trasformación de tan enorme masa de materia; mas á pesar de las irregularidades podemos estar seguros de que la forma de la superficie de la Tierra, en su conjunto, coincidiría con la que tomó por el movimiento de rotación. Así podemos explicar la protuberancia del ecuador en nuestro globo, invocando esta forma para corroborar la opinión de que la Tierra se hallaba en algún tiempo en el estado blando ó de fusión.

Este aserto se podría confirmar comparando la figura de nuestro planeta con la de algunos otros cuerpos celestes. El Sol, por ejemplo, parece ser casi un globo perfecto, pues las medidas que podemos tomar no demuestran que el diámetro polar de ese astro sea más corto que el ecuatorial, y así podíamos esperararlo. No cabe duda que el Sol gira sobre su eje, y, como la rotación es la que produce la protuberancia, ¿por qué ese movimiento no habría deformado el Sol lo mismo que la Tierra? La probabilidad es que existe realmente una diferencia entre los dos diámetros del Sol; pero es demasiado pequeña para que podamos medirla. Imposible es no relacionar esto con la *lentitud* de la rotación del Sol: ese último necesita veinticinco días para efectuar su revolución completa, y la protuberancia apropiada para tan lenta velocidad no es apreciable.

Por otra parte, cuando observamos uno de los planetas que giran con rapidez, obtiéndose un resultado muy diferente. Tomemos, por ejemplo, por ser el más notable, el gran planeta Júpiter.

Visto con el telescopio nótase desde luego que no es un globo, y la diferencia es tan marcada que no se necesitan mediciones para demostrar que el diámetro polar de Júpiter es más corto que el ecuatorial. La desviación de la verdadera forma esférica es mucho más considerable que la de la Tierra, y es imposible no relacionar este hecho con la mucha más rápida rotación de Júpiter. En otro capítulo se tratará de este magnífico orbe; pero podemos decir, desde luego, que el tiempo de su rotación es de menos de diez horas, á pesar de ser Júpiter más de mil veces mayor que la Tierra. Su enorme rapidez ha sido causa de que forme un rebasamiento en el ecuador de una manera muy marcada.

Después de medir las dimensiones de la Tierra, lo primero que debe hacer el astrónomo es determinar su peso, problema que apura los recursos de la ciencia. Poco ó nada sabemos del interior de nuestro globo: cierto que abrimos profundas minas, las cuales nos permiten penetrar á media milla ó una en las entrañas de la Tierra, pero de nada sirve esto para explorarlas. ¿Qué es una milla en comparación con la distancia que hay hasta el centro de nuestro globo? Sólo  $\frac{1}{4,000}$  parte del conjunto. Nuestro conocimiento del interior de la Tierra no alcanza más que á una profundidad insignificante bajo la superficie, y no tenemos idea de la naturaleza de nuestro globo á unas cuantas millas más abajo del suelo que pisamos. Siendo tan completa nuestra ignorancia respecto á los contenidos sólidos de la Tierra, ¿no parece inútil empresa proponernos pesar todo el globo, determinando su peso? Sin embargo, este problema se ha resuelto ya. El peso de la Tierra es conocido, no con la exactitud obtenida en otras investigaciones astronómicas, pero con bastante aproximación.

Inútil parece expresar el peso de nuestro globo con las unidades comunes, pues aunque enumerásemos billones de toneladas no se podría formar clara idea. Mejor es comparar la mole de la Tierra con la de un globo igual de agua. Desde luego puede esperarse que la primera es más pesada que el segundo. Las rocas que forman su superficie pesan más, volumen por volumen, que los océanos que en ella reposan. La abundancia de metales en la Tierra y el gradual aumento de la densidad de ésta, que debe resultar de la enorme presión en las grandes profundidades, son datos suficientes para hacernos comprender que nuestro planeta es mucho más pesado que un globo de agua de iguales dimensiones. Newton supuso que la Tierra pesaba de cinco á seis veces más que un volumen igual de agua, y no es difícil admitir como plausible semejante indicación. Las rocas y materiales que hay en la superficie suelen ser unas dos ó tres veces más pesados que el agua. Por otra parte, hay una inmensa cantidad de hierro en la Tierra, y se ha supuesto que en sus remotas profundidades la proporción es más considerable aún. Ahora bien: un globo de hierro pesaría unas siete veces más que uno de agua, y de aquí se deduce que el peso de la Tierra será probablemente más de tres veces mayor que el globo de agua, y acaso menos de siete. Fijando la densidad entre cinco y seis, Newton adoptó un

resultado plausible, que parece resultar correcto. Se han propuesto varios métodos para resolver este importante problema con exactitud; pero de todos ellos sólo hablaremos de uno, porque nos confirma de una manera notable la ley de la gravedad universal.

En nuestro capítulo sobre esta materia se dijo que la fuerza de gravedad entre dos masas de moderadas dimensiones era sumamente pequeña, y precisamente de esta causa nace la dificultad de pesar nuestro globo. La aplicación práctica del procedimiento lleva consigo numerosos detalles en cuya enumeración no es necesario entrar aquí, bastándonos explicar el principio. Para hacer más clara nuestra descripción imaginemos un gran globo de 2 pies de diámetro, y, como conviene que sea todo lo pesado posible, supóngase que es de plomo. Otro más pequeño, colocado cerca del primero, es atraído por la fuerza de la gravedad. El grado de esta atracción es muy reducido, pero se puede medir por un procedimiento especial para el caso. La intensidad de dicha atracción depende á la vez de las masas de los globos y de la distancia que los separa, así como de la fuerza de la gravedad. También podemos medir muy pronto la atracción de la Tierra sobre el globo pequeño, y comparar la ejercida por el globo de plomo con la de nuestro planeta. Si el centro de la Tierra y el de dicho globo estuviesen á la misma distancia del cuerpo atraído, la intensidad de sus atracciones nos daría desde luego la proporción de sus masas por un simple cálculo; pero en este caso la cuestión no es tan sencilla, pues la bola de plomo dista solamente algunas pulgadas de la que es atraída, mientras que el centro de atracción de la Tierra se halla casi á 4,000 millas del centro de aquélla. Para compensar esta diferencia, la atracción de la esfera de plomo se ha de reducir á lo que sería si se trasladara á la distancia de 4,000 millas, lo cual se puede hacer afortunadamente por un simple cálculo, dependiente de la gran ley según la cual la intensidad de la gravedad varía en razón inversa del cuadrado de la distancia. De este modo, apelando á la vez al cálculo y á la experimentación, podemos comparar la intensidad de la atracción de la esfera de plomo con la que la Tierra ejerce. Sabido es que las atracciones son proporcionales á las masas, y en virtud de esa ley se han medido las moles comparativas de la Tierra y de la esfera de plomo, averiguándose que la primera es una mitad más pesada que un globo de plomo de igual volumen. Resumiendo, podemos decir que la masa de la Tierra tiene un peso algo más de cinco veces mayor que el del globo de agua de iguales dimensiones.

En el capítulo sobre la gravedad hemos citado el hecho de que un cuerpo que se deja caer cerca la superficie de la Tierra recorre un espacio de 16 pies en el primer segundo, distancia que varía ligeramente en las distintas partes del globo. Si este último fuera perfectamente redondo, entonces la atracción sería la misma en todos los puntos, y el cuerpo recorrería la misma distancia donde quiera que se hallase; pero la Tierra no es redonda, y por eso resulta una diferencia según la localidad. En el polo

el radio de la Tierra es más corto que en el ecuador, y en su consecuencia la atracción de aquélla en el polo es más considerable que en el ecuador. Si tuviéramos medios de medir con exactitud la distancia que un cuerpo recorrería en un segundo en uno y otro punto, podríamos averiguar sin dificultad cuál es la forma de la Tierra.

Sin embargo, es difícil medir exactamente la distancia que un cuerpo recorre en su descenso durante un segundo, y, por lo tanto, hemos debido apelar á otros medios para medir la fuerza de atracción de la Tierra en el ecuador y otros puntos accesibles de su superficie. Los métodos adoptados se fundan en el péndulo, que es al mismo tiempo uno de los más sencillos y útiles entre los instrumentos filosóficos. El péndulo ideal se reduce á un peso suspendido de un punto fijo por un alambre flexible. Si se aparta el péndulo á un lado de su posición vertical, soltándole después, el peso oscilará de un lado á otro.

Para efectuar este movimiento el péndulo requiere cierto tiempo, que no dependerá apreciablemente de la longitud del arco en que el péndulo oscila. Para comprobar esta notable ley suspéndase otro péndulo detrás del primero, siendo ambos de longitud igual, retírense á un lado, suéltense, y se verá que parten y vuelven juntos, lo cual debía esperarse; pero si retiramos mucho un péndulo á un lado y el otro solamente un poco, los dos oscilarán aún simpáticamente, lo cual quizás no se esperaría. Si se establece todavía mayor diferencia en el arco de vibración, también se verá que los dos pesos emplean el mismo tiempo en su balanceo. Podemos variar el experimento sirviéndonos de pesos de diferente volumen ó sustituyendo los de hierro con otros de plomo; mas el período de vibración será siempre el mismo, aunque oscilen en diferentes arcos, grandes ó pequeños. Hasta si se emplease una bola de madera tendríamos igual resultado que con la de hierro.

Sin embargo, si se cambia la *longitud* del alambre que sostiene el peso, entonces el período se alterará, como podría demostrarse fácilmente. Tómese un péndulo corto, que tenga sólo una cuarta parte de la longitud del largo, suspéndanse los dos, uno junto á otro, compárense los períodos de vibración de ambos, y se verá que el primero tiene un período una mitad más breve que el del segundo. Enunciando el resultado en general, podremos decir que el tiempo de vibración de un péndulo es proporcional á la raíz cuadrada de su longitud. Si cuadruplicamos la longitud del péndulo, doblamos el tiempo de su vibración; si aumentamos la longitud del péndulo nueve veces, aumentará tres veces el período de su vibración.

La gravedad de la Tierra es la que hace oscilar el péndulo, y cuanto mayor sea aquélla más rápida será la oscilación, lo cual se explica sin dificultad. Si la Tierra atrae el peso muy pronto, el tiempo será muy breve; y si la fuerza de atracción disminuye, el peso no podrá bajar tan aprisa, alargándose así el período.

Fácil es determinar con mucha exactitud el tiempo de vibración del pé-

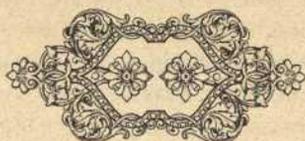
dulo. Hagásele balancear dando diez mil oscilaciones y mídase el tiempo que han empleado. El arco en que el péndulo se mueve podrá no ser del todo constante, pero ya hemos visto que esto no afecta apreciablemente el *tiempo* de su oscilación. Supongamos que se comete el error de un segundo en la determinación del tiempo de diez mil oscilaciones: esto supondrá sólo el error de  $\frac{1}{10,000}$  parte del segundo en el tiempo de una sola oscilación, y nos dará la determinación correspondientemente exacta de la gravedad.

Llévese un péndulo al ecuador, y, produciendo diez mil oscilaciones, determínese cuidadosamente el *tiempo* que requieren. Trasládese después el mismo péndulo á otra parte de la Tierra, repítase el experimento, y así habremos comparado la gravitación en dos puntos. Sin duda se han de adoptar muchas precauciones; pero no necesitamos enumerarlas aquí, ni tampoco entrar en detalles respecto á la manera de mantener el movimiento del péndulo, ni referirnos á los efectos de los cambios de temperatura en la alteración que pueden producir. Para nosotros basta demostrar cómo se puede seguir con exactitud el tiempo de oscilación del péndulo, calculándose por esta medida la intensidad de la gravedad.

El péndulo nos permite así el reconocimiento con toda perfección de la gravitación que existe en la superficie de la Tierra; pero no podemos inferir que solamente la gravedad afecta las oscilaciones del péndulo. Ya hemos visto cómo la Tierra gira sobre su eje, y cómo atribuimos á esta rotación la saliente que forma en el ecuador; mas la fuerza centrífuga resultante de la rotación afecta también los cuerpos en la superficie de la Tierra, disminuye su peso, y esto es más marcado en el ecuador, debilitándose el efecto á medida que nos acercamos á los polos. Sólo por esta causa la atracción del péndulo en el ecuador es menor que en ninguna otra parte, y, por lo tanto, las oscilaciones del péndulo emplearán allí más tiempo que en otras localidades. Prescindiendo del aparente cambio en la gravitación, esto se debe meramente á la fuerza centrífuga; pero además hay un verdadero cambio en la gravedad. A primera vista pudiera creerse que, habiendo una protuberancia en el ecuador, debería haber allí mayor atracción que en ningún otro punto; pero no sucede así. El efecto de la materia adicional está más que compensado por la mayor distancia del péndulo desde el centro de la Tierra, y bastará reflexionar un instante para reconocer que el péndulo en el polo se halla en rigor más próximo á la masa de la Tierra generalmente que lo está el péndulo en el ecuador. El hecho de que sin más que hacer oscilar un péndulo en diferentes partes de la Tierra podemos determinar su *forma* con tanta exactitud como por las cuidadosas mediciones de los arcos del meridiano, tomadas en diversos puntos de la Tierra, demuéstranos de la manera más marcada cómo las investigaciones en diferentes ramas de la ciencia se relacionan entre sí.

Dejamos para otro capítulo el importante fenómeno de aquel movimiento de la Tierra conocido con el nombre de *precesión*. En una obra como la

presente no nos es dado extendernos en mayores detalles sobre nuestro planeta. La superficie de la Tierra, su contorno y sus océanos, sus montañas y ríos, son asuntos de la geografía física; mientras que las rocas y sus contenidos, los volcanes y los terremotos, deben estudiarse por los geólogos y físicos.



---

## CAPITULO IX

### MARTE

Los planetas más próximos.—La superficie de Marte se puede examinar con el telescopio.—Órbita notable de Marte.—Semejanza de Marte con una estrella.—La excentricidad de la órbita de Marte.—Diferentes oposiciones de Marte.—Movimiento aparente del planeta.—Efecto del movimiento de la Tierra.—Medida de la distancia de Marte.—Investigación teórica sobre la distancia al Sol.—¿Hay nieve en Marte?—La rotación del planeta.—La gravedad en Marte.—¿Tiene Marte algún satélite?—El gran descubrimiento de Hall.—La revolución de los satélites.—Los viajes de Gulliver.

**Y**A hemos hablado de Mercurio y de Venus, considerándolos como cuerpos celestes distantes, conocidos principalmente por la investigación telescópica y por los cálculos hechos después de repetidas observaciones. Nuestro conocimiento de la Tierra es de distinto carácter y le hemos obtenido de diferente manera; mas era necesario, procediendo metódicamente, hablar de nuestro globo después del planeta Venus, á fin de asignar á la Tierra su verdadera posición en el sistema solar. Hecho esto, pasaremos al planeta Marte, sometiéndonos en su descripción al sistema seguido para Venus y Mercurio.

Venus y Marte merecen particularmente nuestra atención desde cierto punto de vista, es decir, porque son los planetas más próximos, y naturalmente puede esperarse averiguar á nosotros más sobre ellos que respecto á los que están muy distantes. En el caso de Venus, sin embargo, apenas es aplicable lo que acabamos de exponer; pues, como ya hemos dicho, la deslumbradora brillantez de este planeta nos impide hacer un examen telescópico verdaderamente satisfactorio.

En cuanto á Marte, es mucho más fácil examinar su aspecto; y, exceptuando la Luna, conocemos mejor los detalles de su superficie que los de ningún otro cuerpo celeste.

Ese magnífico planeta presenta muchos caracteres que deben tomarse en consideración, además de los que nos ofrece su estructura física. La

órbita de Marte es muy notable, y, por las observaciones que de ella se hicieron, Kepler describió sus famosas leyes. Cuando Marte se aproximaba á la Tierra fué posible medir su distancia con exactitud, y obtúvose así otro método para hallar la distancia al Sol; método que por lo menos compite en precisión con el que nos proporciona el paso de Venus; y también debe advertirse que el mayor triunfo en la investigación telescópica pura alcanzado en este siglo fué el descubrimiento de los satélites de Marte.

Á la simple vista este planeta parece una estrella de primera magnitud, y generalmente se reconoce por su color rojizo; pero el astrónomo principiante no se debe fiar sólo de esta particularidad, porque hay varias estrellas que presentan poco más ó menos el mismo carácter. Marte se ha confundido á menudo con la estrella Aldebarán, la más brillante que hay en la constelación del Toro, y con frecuencia aseméjase á Betelgosa, punto muy refulgente en la constelación de Orión. Las equivocaciones de este género serán imposibles si el principiante ha estudiado primero las principales constelaciones y estrellas brillantes, y en este caso le interesará mucho observar las posiciones de los planetas, vigilando sus incesantes movimientos. Algunas veces, sin embargo, el planeta estará demasiado cerca del Sol para ser visible: saldrá con el astro y desaparecerá con él, y en su consecuencia no se hallará sobre el horizonte durante la noche. La mejor hora para ver uno de los planetas exteriores á la Tierra será aquella en que se halle en lo que llamamos su *oposición*. La de Marte se produce cuando la Tierra llega á estar directamente entre ese planeta y el Sol, momento en que es menor que nunca la distancia desde Marte á nuestro globo. Hay otra ventaja para observar á Marte durante su oposición, y es que se halla entonces á un lado de la Tierra, y el Sol en el opuesto; de modo que, cuando Marte está á gran altura en el cielo, el astro luminoso se encuentra directamente debajo de la Tierra, ó, en otros términos, el planeta ocupa entonces la mayor elevación sobre el horizonte de media noche. Algunas oposiciones de Marte, sin embargo, son mucho más favorables que otras, como se demuestra claramente en la fig. 44, que representa la órbita de Marte y de la Tierra dibujadas exactamente con arreglo á la escala. Se observará que, mientras la órbita de nuestro globo es casi circular, la del planeta tiene un grado muy marcado de excentricidad, debiendo advertirse de paso que, exceptuando la órbita de Mercurio, la de Marte es la más excéntrica de todas las de los mayores planetas de nuestro sistema, resultando de aquí que el valor de una oposición de Marte para los fines telescópicos varía de una manera notable. Las oposiciones que más favorecen al observador serán aquellas que se producen todo lo más cerca posible al 26 de agosto: el extremo opuesto se hallará en una oposición que ocurra cerca del 22 de febrero. En este último caso la distancia entre el planeta y la Tierra es casi dos veces mayor que la primera. La última oposición favorable ocurrió en el año 1877: durante ella Marte fué un planeta magnífico que mereció la atención de todos los observadores. Las oposiciones

favorables se siguieron con intervalos irregulares: la más próxima ocurrirá en el año 1892, y habrá otra en 1909.

Los movimientos aparentes de Marte no son nada sencillos, y bien podemos comprender los apuros del primitivo astrónomo que se propuso observar y explicarse sus movimientos. El planeta aparece como un cuerpo

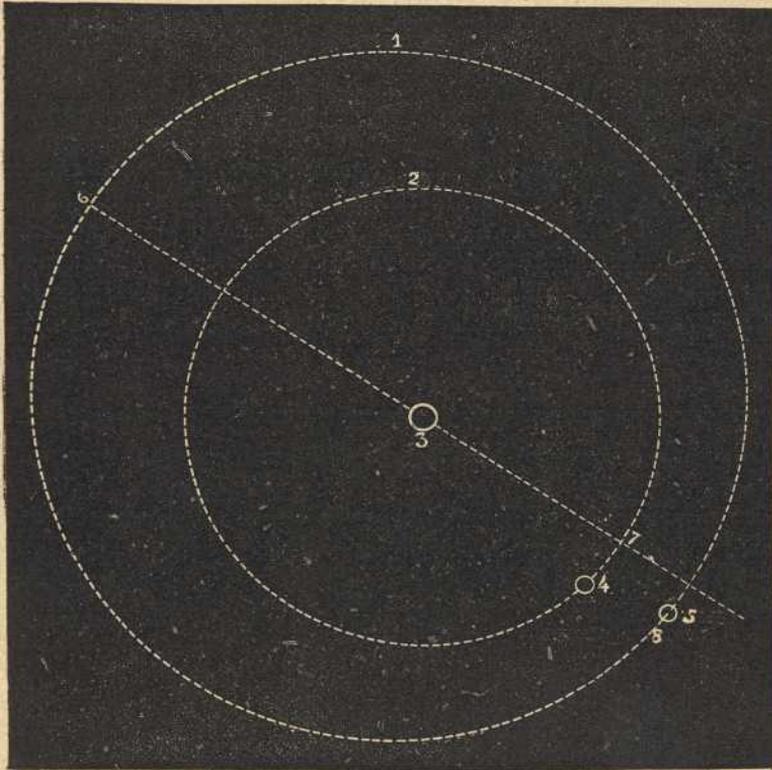


FIG. 44.— LAS ÓRBITAS DE LA TIERRA Y MARTE MOSTRANDO LA FAVORABLE OPOSICIÓN DE 1877

1. Órbita de Marte.—2. Órbita de la Tierra.—3. El Sol.—4. La Tierra.—5. Marte.—6. 22 febrero.—7. 26 agosto.—8. 11 agosto 1877

muy marcado y brillante: el astrónomo le mira con atención, y ve de qué modo se halla situado entre las constelaciones bien conocidas ya. Á las pocas noches vuelve á observar el planeta y parecele que no está en el mismo sitio, por lo cual fija más su atención para reconocer cómo está situado respecto á las estrellas. Entonces no le queda ya la menor duda sobre el particular. Decididamente Marte ha cambiado de posición: es un planeta, una estrella errante. Noche tras noche, el primitivo astrónomo, firme en su puësto, nota los cambios de Marté y ve que se mueve con más rapidez que

al principio, lo cual le hace suponer que el planeta se halla en vías de completar pronto su revolución en el cielo. El astrónomo resuelve seguir vigilando á Marte para ver si se confirman sus suposiciones, y pasados algunos días comienza á creer que no se mueve con tanta rapidez como al principio, convenciéndose al fin de ello. Trascurridas algunas noches más, le parece que el planeta se ha detenido en su carrera, y, efectivamente, reconoce que es así; pero ¿permanecerá Marte en reposo? ¿Habrá terminado su largo viaje? Por espacio de algunas noches diríase que así es; mas al fin el astrónomo comienza á sospechar que el planeta retrocede, hecho que se confirma evidentemente, quedando así demostrado el movimiento directo y retrógrado de Marte.

En la mayor parte de su viaje ese planeta se mueve de continuo de O. á E., y retrocede, efectivamente, así como la Luna y el Sol se mueven; pero sólo durante una parte de su paso, comparativamente pequeña, obsérvanse esos complicados movimientos, que debieron ser un enigma para el primitivo observador. La fig. 45 representa el paso de Marte en la oposición de 1877, figurándose únicamente la porción en que se observan las anomalías. El resto del paso se verifica, no con velocidad uniforme, pero sí con dirección igual.

Ante las complicadas evoluciones aparentes de Marte creeriase difícil que se pueda dar una explicación sencilla sobre el movimiento planetario. Si el de Marte fuera puramente elíptico, podría muy bien preguntarse cómo es posible que efectúe tan extraordinaria evolución. El hecho se explica por la circunstancia de que la tierra en que estamos se mueve, y, aunque Marte estuviera en reposo, eso bastaría para que pareciera que el planeta hace lo mismo, combinándose así los movimientos aparentes del planeta con los verdaderos. Esta particularidad no produce ninguna confusión al geómetra, que, distinguiendo entre los unos y los otros, puede explicarse muy bien la muy complicada evolución de Marte. Si pudiéramos trasladar nuestro observatorio desde la Tierra á un punto fijo como el Sol, veríamos que la verdadera forma de la órbita de Marte era una elipse, producida por la revolución alrededor del Sol en conformidad con las leyes de Kepler, descubiertas por las observaciones respecto á ese planeta.

En el tiempo de su oposición, y bajo las más favorables circunstancias, Marte se puede acercar á la Tierra, cuando más, á la distancia de 35 millones de millas. Sin duda parecerá enorme esta cifra si se compara con los tipos de nuestras medidas terrestres; mas apenas es mayor que la distancia de Venus cuando se halla más próximo á nosotros, y es mucho menor que la de la Tierra al Sol. Ya hemos dicho cómo se ha conocido la *forma* del sistema solar por las leyes de Kepler, y cómo es dado averiguar el volumen del sistema y de sus diversas partes cuando se mide directamente cualquiera de éstas. Cuando Marte se acerca más á nosotros, la ocasión es favorable para medir su distancia; y hé aquí otro medio de resolver el mismo problema que el que nos ofrecía el paso de Venus, y de conocer también la

distancia del Sol y la de los planetas en general, así como otros muchos datos numéricos relativos al sistema solar.

Durante la oposición de Marte en 1877 se procuró, con el mejor resultado, aplicar este método á la solución del gran problema. No diremos que fuese aquella la primera tentativa de este género; pero las observaciones de 1877 se practicaron con tanta habilidad y atención que el resultado fué tan útil como importante para la Astronomía. Mr. David Gill, ahora astrón-

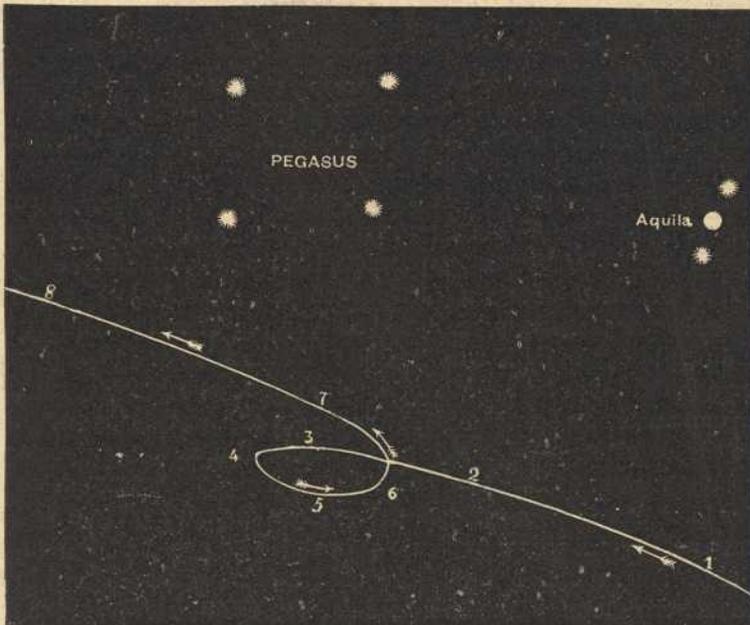


FIG. 45.—MOVIMIENTOS APARENTES DE MARTE EN 1877

1. Abril 1877.—2. Junio.—3. Julio.—4. Agosto.—5. Setiembre.—6. Octubre.—7. Noviembre.  
8. Diciembre

onomo de S. M. la reina de Inglaterra en el cabo de Buena Esperanza, emprendió un viaje á la isla de la Ascensión sólo con el objeto de observar el paralaje de Marte en 1877. En tal ocasión el planeta se aproximó tanto á la Tierra que ofreció la más admirable oportunidad para la aplicación del método, y Mr. Gill pudo tomar una serie de valiosas medidas, las cuales le permitieron deducir la distancia del Sol con una exactitud en nada inferior á la que se alcanzó por el paso de Venus.

Aun hay otro método por el cual Marte puede darnos á conocer la distancia del Sol; método admirable y del mayor interés por su relación con algunas de las más elevadas investigaciones matemáticas. Ya estaba bosquejado en la teoría dinámica de Newton, y fué perfeccionado por Le Ve-

rier: se funda en la gran ley de la gravedad, y asóciase íntimamente con los magníficos descubrimientos sobre la perturbación planetaria, que constituye tan admirable capítulo de la astronomía moderna.

Hay cierta relación conocida entre dos cantidades que á primera vista parecen del todo independientes: estas cantidades son la masa de la Tierra y la distancia del Sol. De las medidas de la intensidad de la gravedad en la superficie de aquélla, y de los movimientos relativos del astro luminoso y de nuestro planeta, síguese que el paralaje del Sol es proporcional á la raíz cúbica de la masa de la Tierra. Sobre este resultado no hay la menor duda, y la consecuencia es obvia. Si tenemos los medios de pesar nuestro globo en comparación con el Sol, la distancia de éste se podrá deducir en el acto. Pero ¿cómo hemos de colocar en el platillo de la balanza nuestro voluminoso globo? Hé aquí el problema que Le Verrier nos ha enseñado á resolver, invocando el auxilio de Marte.

Si este planeta, en su revolución alrededor del Sol, estuviera sometido únicamente á la atracción del astro, seguiría siempre, según las bien conocidas leyes de Kepler, el mismo paso elíptico; y al cabo de un siglo, ó de muchos, la forma, el volumen y la posición de ese elipse se mantendrían inalterables. Por fortuna, para nuestro objeto, la Tierra produce una perturbación en la órbita de Marte. Aunque la masa de aquélla es por mucho inferior á la del Sol, nuestro globo, sin embargo, es bastante grande para ejercer una atracción apreciable en Marte. La elipse descrita por este planeta no es, de consiguiente, siempre la misma. Su forma y posición cambian gradualmente; de modo que esta última depende de la masa de la Tierra. Por la observación se podría determinar el punto en que se halla el planeta, averiguando por un cálculo la posición en que él mismo se encontraría si la Tierra faltase. La diferencia entre los dos se debe á la atracción de nuestro globo, y, una vez medida, se puede conocer la masa de la Tierra. El grado de desviación aumenta de un siglo á otro; pero, como la proporción es pequeña, necesitanse observaciones antiguas para calcular las medidas con exactitud.

Un hecho notable, ocurrido hace más de doscientos años, nos permite determinar cuál era la posición de Marte en aquella época. En 1.º de octubre de 1672 tres observadores independientes presenciaron la ocultación de una estrella en Acuario por Marte. El lugar de esta estrella se conoce con exactitud, y por lo tanto tenemos los medios para determinar el punto ocupado por Marte en el día de que se habla. Por este resultado, en combinación con las observaciones modernas, sabemos que la desviación de ese planeta por la atracción de la Tierra ha tenido el aumento de 294 segundos en el trascurso de dos siglos, habiéndose asegurado que no puede haber más error que el de un segundo en este cálculo, de lo cual se deduciría que la masa de la Tierra se determina hasta una tres centésimas partes de su total. Si no hubiese error, esto daría la distancia del Sol hasta cerca de una nueve centésima parte. Á pesar de la belleza intrínseca de este

método y los muy superiores auspicios bajo los cuales se ha introducido, apenas será digno de confianza en comparación con algunos otros métodos. No atacamos la fidelidad de las observaciones, ni tampoco pondremos en duda que la desviación del planeta es debida principalmente, si no del todo, al efecto perturbador de la atracción terrestre; mas parece imposible estar seguro de que alguna otra causa, por pequeña que sea, no habrá contribuído también al resultado. No podemos tener la certeza de que el cálculo sea exacto en absoluto. Por interesante y admirable que sea, se debe considerar más bien como una notable confirmación de la ley de la gravedad que como un medio preciso de medir la distancia del Sol.

Las aproximaciones de Marte á la Tierra nos proporcionan oportunidades para practicar un cuidadoso examen telescópico de su superficie; mas no era de esperar que los detalles pudieran delinearse con tanta precisión como los de la Luna, pues aun en las circunstancias favorables ese planeta está cien veces más lejos que el astro de la noche, y, por lo tanto, sus detalles deberían tener dimensiones mucho mayores para distinguirlos con tanta claridad como los de la Luna. Marte es mucho más pequeño que la Tierra: su diámetro mide 4,200 millas, es decir, poco más de la mitad del de nuestro globo. En nuestra fig. 46 representamos los volúmenes comparativos de ambos cuerpos.

Presento al lector dos dibujos del aspecto telescópico de Marte. Ambos son debidos á Mr. E. Burton, que se sirvió de un telescopio de moderadas dimensiones de gran perfección óptica. Parece difícil no admitir que las señales indicadas en Marte corresponden á divisiones de tierra y agua en el planeta, tanto más cuanto que hay circunstancias bastante demostrativas de que en Marte existe el segundo de dichos elementos. En sus polos hay considerables regiones blancas que sufren cambios periódicos, y se ha supuesto que son debidas á la acumulación de hielo ó nieve en las regiones polares de ese cuerpo celeste. En ciertas ocasiones, cuando se observa el planeta con el telescopio, llama mucho la atención una especie de prominencia cuya brillantéz y bien marcado contorno constituye uno de los caracteres más notables.

Al examinar el planeta nótese que no presenta siempre la misma cara al telescopio, como sucede con la Luna. Marte gira sobre un eje exactamente lo mismo que la Tierra, y no deja de ser un hecho curioso que el periodo requerido para efectuar su revolución completa sea sólo de media

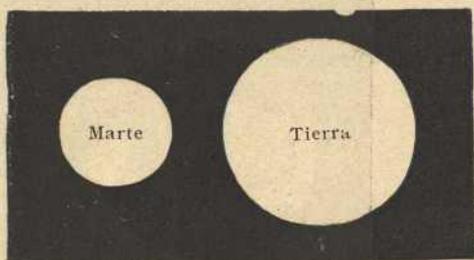
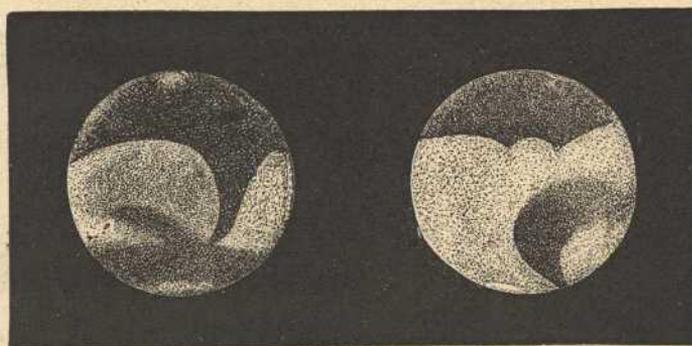


FIG. 46. — VOLÚMENES RELATIVOS DE MARTE Y LA TIERRA

hora más que el empleado por la Tierra. El período exacto es de 24 horas, 37 minutos, 22  $\frac{3}{4}$  segundos (Proctor), de lo cual se sigue que el aspecto del planeta cambia de hora en hora, haciéndose invisible el lado occidental gradualmente, mientras que el oriental se deja ver poco á poco; de modo que en 12 horas el aspecto del planeta se transforma del todo. A causa de estos cambios, á menudo es difícil identificar los detalles con los que vemos en los mapas, muy inferiores en comparación de los que tenemos de la Luna por lo que hace á la precisión. Sin embargo, no puede dudarse que los principales caracteres del planeta están bien determinados, tanto que algunos astrónomos han dado nombre á todos los objetos prominentes.



12 mayo 1871

11 abril 1873

FIG. 47.—VISTAS DE MARTE, POR C. E. BURTON

En cuanto á la cuestión sobre la posibilidad de la vida en Marte, pocas palabras debemos añadir. Si fuese cierta la existencia del agua allí, se tendría una de las condiciones más fundamentales; y, aunque la atmósfera de ese planeta tuviese pocos puntos de semejanza en su composición ó densidad con la de nuestro globo, la vida sería posible. No obstante, aun suponiendo que el hombre hallaría allí conveniente alimento para su cuerpo y aire apropiado para su respiración, parece muy dudoso que pudiera existir. A causa del escaso volumen de Marte y de lo reducido de su masa en comparación con la Tierra, la intensidad de la gravedad en la superficie de aquél sería muy diferente de la que tenemos en nuestro globo. Ya hemos dicho cuán limitada es la gravedad en la Luna, y la misma observación se aplica á Marte, en menor grado aún.

Un cuerpo que pesara en la Tierra 2 libras sólo tendría una en Marte; y el mismo esfuerzo que necesita cualquiera de nosotros para levantar 56 libras de peso, bastarían en aquel planeta para levantar el doble. El efecto de tales cambios en el hombre sería muy notable: experimentaría como una fluctuación á que no está acostumbrado en la Tierra, sus trabajos serían mucho más ligeros, podría recorrer dobles distancias que nosotros sin

sentir más fatiga, y para saltar á una altura de 8 pies no necesitaría más esfuerzo que el empleado aquí para franquear 4. A pesar de todo esto, bien se puede dudar que nuestro organismo se adaptaría á un cambio tan radical y completo. Debe comprenderse que la circulación de la sangre y los diversos movimientos que constituyen la vida se alterarían tal vez fatalmente con semejantes cambios.

La Tierra va acompañada de una luna. Júpiter lleva tras sí cuatro. Marte es un planeta que efectúa su revolución entre las órbitas de nuestro globo y de Júpiter: es un cuerpo del mismo tipo general de aquéllos, está sometido al mismo Sol, y los tres planetas forman parte del mismo sistema. Pero si nuestro globo tiene una luna y Júpiter cuatro, ¿por qué le ha de faltar á Marte la suya? Seguramente Marte es un cuerpo pequeño, menor que la Tierra, y mucho más reducido aún que Júpiter; de modo que no podía esperarse que Marte tuviera grandes lunas; pero ¿por qué ha de carecer en absoluto? Así razonaban los astrónomos, sin descubrir nunca ningún satélite de Marte. Durante varios siglos el planeta fué observado activamente con este especial objeto, y, como nunca se veía nada, dedújose que las analogías no eran aplicables en este caso, creyéndose, por último, que Marte sin luna era una excepción de la regla.

Parecía inútil proseguir de nuevo las investigaciones que tantas veces dieron un resultado negativo; mas la presente generación ha presenciado otra tentativa, practicada con la mayor habilidad, y cuyo resultado fué de los más satisfactorios: nos referimos al memorable descubrimiento de los dos satélites de Marte, tal vez el más importante en el siglo actual.

Ese descubrimiento fué debido al profesor Asaph Hall, el eminente astrónomo del Observatorio de Washington. Mr. Hall estaba provisto de un instrumento de colosales dimensiones y de exquisita perfección, conocido por *el gran refractor de Washington*, fabricado por los celebrados constructores Messrs. Alvan Clark é hijos, y que por sus nobles proporciones deja atrás cualquier otro telescopio destinado á semejantes investigaciones. El objetivo mide 36 pulgadas de diámetro, y no es menos notable por la perfección de su definición que por su tamaño.

A pesar de estas ventajosas cualidades del telescopio, y de la consumada habilidad del astrónomo, éste no habría conseguido descubrir los satélites de Marte en las ocasiones ordinarias, y por esto se aprovechó prudentemente de aquella memorable oposición del planeta en 1877, durante la cual, como ya hemos dicho, el planeta se aproximó á la Tierra más que de costumbre.

Sabido era que Marte no podía tener una luna de grandes dimensiones; pues, á tener un satélite nada más que como la centésima parte del volumen del nuestro, hace largo tiempo que se había observado. Mr. Hall comprendió, por lo tanto, que, en el caso de acompañar á Marte algún satélite, éste debía ser sumamente pequeño, y, por lo tanto, se preparó muy bien para la investigación. Todas las circunstancias fueron favorables: no

sólo se acercó el planeta á la Tierra todo cuanto era posible, y no sólo se disponía del telescopio de Washington, el más poderoso refractor que se conoce, sino que la situación de esta ciudad es tal que se pudo ver á Marte desde el observatorio á gran altura, y siendo el aire muy puro. Cuando la Asociación Británica celebraba sus sesiones en Plymouth, en 1877, recibió un telegrama de Mr. Hall anunciando que esperaba descubrir un satélite; pero la fortuna sonreía al astrónomo, y en vez de uno fueron dos, sin contar que hizo otras observaciones muy útiles, relacionadas con el mismo hecho.

El más exterior de los satélites efectúa su revolución alrededor del planeta en el período de 30 horas, 17 minutos, 54 segundos; pero el interno es el que más excitó la curiosidad de todos los astrónomos del mundo. Marte gira sobre su eje en un día que tiene casi la misma duración que el nuestro de 24 horas, y el satélite interior hace su revolución en 7 horas, 39 minutos y 14 segundos; de modo que gira tres veces alrededor del planeta mientras que éste hace una sola revolución. Este hecho no tiene ejemplo en el sistema solar, y, por lo que sabemos hasta aquí, tampoco en todo el universo. En el caso de nuestro globo, éste gira veintisiete veces por cada revolución de la Luna, y hasta cierto punto lo mismo podemos decir de Saturno y de Júpiter; mientras que en el gran sistema del mismo Sol y de los planetas el astro gira sobre su eje varias veces por cada revolución de aquéllos. El movimiento anómalo del satélite de Marte, sin embargo, se ha podido explicar suficientemente. Ya trataremos de este punto en otro capítulo, puesto que se relaciona con una importante rama de la astronomía moderna.

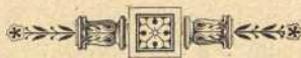
Será interesante obtener alguna noción sobre el volumen probable de esos dos satélites de Marte. Por las más exactas medidas se ha reconocido que la luz de la Luna en su lleno es veinticuatro veces mayor, por término medio, que la de Vega, estrella muy brillante de primera magnitud. Si la Luna se trasladara hasta donde se halla Marte cuando éste se acerca más á nosotros, haciéndose la debida compensación por lo que desminuye la luz solar, el astro nocturno nos parecería todavía una mitad más brillante (0'5887) que una estrella de primera magnitud; pero se calcula que Deimos no era más luminosa que una de duodécima magnitud, de la cual toma, poco más ó menos, 25'120 para darnos tanta luz como Vega. De aquí se deduce evidentemente que si Deimos se compone de materiales análogos á los de nuestra Luna, su faz debe tener un área de  $\frac{1}{15,000}$  parte, poco más ó menos, de la Luna, ó bien será de unas 18 millas de diámetro. Fobos es más brillante cerca de media magnitud, con corta diferencia, y necesitaría un diámetro de 22  $\frac{1}{3}$  millas del material de la Luna para reflejar la luz que ahora recibe; pero esa estrella se halla tan cerca de Marte que, á pesar de su pequeñez, parecerá, vista desde la superficie del planeta, que tiene unas dos terceras partes del volumen de nuestra Luna. El satélite más distante y pequeño aparece como una cuarta parte del tamaño de su rival.

Como los satélites giran en pasos verticalmente sobre el ecuador de su primario, el uno menos de 4,000 millas y el otro 14,500 más arriba de la superficie, síguese de aquí que nunca pueden ser visibles desde los polos de Marte. Para ver Fobos, la látitud planetaria del observador no debe exceder de  $68^{\frac{300}{4}}$ , pues de lo contrario el satélite estaría oculto por el cuerpo de Marte, del mismo modo que los habitantes de las Islas Británicas no podrían ver un objeto que girase alrededor de la Tierra á pocos centenares de millas sobre el ecuador. Por la misma razón dicha estrella sólo estaría durante poco más de un tercio de cada revolución más arriba del horizonte de un espectador en el planeta.

Antes de terminar este interesante capítulo sobre los satélites, diremos algunas palabras sobre dos puntos de carácter literario. Mr. Hall consultó á sus amigos sobre los nombres que convendría dar á los que había descubierto. Con este motivo hablóse de Homero, y un pasaje de la *Iliada* sugirió los nombres Deimos y Fobos, personajes que acompañan siempre á Marte.

A los que han leído los *Viajes de Gulliver* debe serles familiar un curioso dato respecto á los satélites de Marte. Los astrónomos que iban á bordo de la isla flotante de Lacuta, según Gulliver, tenían muy buena vista y mejores telescopios, y el célebre viajero anunció que habían descubierto dos satélites de Marte, uno de los cuales verificaba su revolución alrededor del planeta en 10 horas. El autor, no sólo supuso exactamente el número de satélites, sino que anunció el tiempo periódico con singular precisión. No sabemos en qué se fundaría Gulliver. Hace algunos años cualquier astrónomo que hubiese leído el viaje á Lacuta habría pensado que el aserto era un absurdo. Sin duda podía haber dos satélites de Marte; pero decir que uno de ellos hacía su revolución en 10 horas hubiera sido asegurar un imposible. Hé aquí cómo la verdad resultó más extraña que la ficción.

Aquí daremos por terminada la descripción de ese magnífico é interesante planeta. Con gusto nos extenderíamos sobre otras particularidades del mismo; pero hay tantos cuerpos celestes que llaman nuestra atención en el sistema solar, tantos que aventajan á Marte en volumen é importancia intrínseca, que nos es forzoso desistir. Sin embargo, no pasaremos desde luego á los planetas gigantes; pues, aparte de Marte, hay otros que, si bien pequeños, ofrecen el mayor interés y servirán de asunto para el siguiente capítulo.



---

## CAPITULO X

### LOS PLANETAS MENORES

Los cuerpos celestes menores de nuestro sistema.—Ley de Bode.—Descubrimiento de Piazzi.—¿Era un planeta aquel pequeño cuerpo?—El planeta invisible.—Gauss practica la investigación por las matemáticas.—El planeta recobrado.—Varios descubrimientos.—Número de los planetas menores conocidos.—La región que se debe explorar.—Construcción de la carta astronómica para buscar los planetas menores.—Cómo se descubre uno de éstos.—Naturaleza física de esos planetas.—Su gravitación.—Cómputos de Berlín.—Cómo los planetas menores nos dicen la distancia del Sol.—Exactitud de las observaciones.—Cómo se pueden multiplicar.—Victoria y Safo.—El método más perfecto.

EN nuestros capítulos sobre el Sol y la Luna, la Tierra y Venus y Mercurio y Marte, hemos descrito los caracteres y movimientos de globos de vastas dimensiones. El menor de esos cuerpos celestes es la Luna; pero aun ésta mide 2,000 millas de un lado á otro. En los planetas menores encontraremos unos de dimensiones casi insignificantes en comparación con los grandes globos de nuestro sistema. Varios de ellos tienen un diámetro de muy pocas millas, pero en otros es muy considerable. Si estos planetas estuviésemos cerca de la Tierra se distinguirían muy bien; mas hallándose tan distantes no se reconocen con facilidad, ni aun mediante nuestros mejores telescopios, permaneciendo invisibles cuando no se hace uso de ningún instrumento.

En un diagrama representando las órbitas de los diversos planetas obsérvase un considerable espacio vacío entre la órbita de Marte y la de Júpiter. Con frecuencia se supuso que esta región debía contener algún otro planeta, y la presunción se arraigó más cuando se descubrió una notable ley que indicaba con mucha exactitud las distancias relativas de los grandes planetas de nuestro sistema. Tómese la serie de números 0, 3, 6, 12, 24, 48 y 96, de los cuales cada uno, excepto el segundo, es el doble de la anterior; y, si añadimos cuatro á cada cual, tendremos 4, 7, 10, 16, 28, 52 y 100. Excepto el quinto de estos números (28), todos son marcadamente proporcionales á las distancias de varios planetas desde el Sol; y, en una palabra, las distancias son como siguen: Mercurio, 3'9; Venus, 7'2; Tierra, 10;

Marte, 15'2; Júpiter, 52'9; y Saturno, 95'4. Aunque no podemos explicar por qué esta ley (conocida con el nombre de ley de Bode) debe ser verdadera, el hecho de que lo es en gran parte en el caso de los planetas conocidos nos induce á preguntar por qué no puede haber también uno que efectúe su revolución alrededor del Sol á la distancia representada por 28.

Tal era la fuerza del argumento, que muchos astrónomos resolvieron, á fines del siglo pasado, aunar sus esfuerzos para buscar el planeta desconocido. Parecía indudable que no podía tener mucho volumen, pues de lo contrario se habría visto hace mucho tiempo; pero si existía era preciso buscar los medios para descubrirle entre las numerosas estrellas sembradas á su paso.

Las investigaciones practicadas obtuvieron su recompensa muy pronto, haciendo memorable para la Astronomía la noche del primér día de nuestro siglo. El observatorio era el de Palermo, y Piazzi fué quien hizo el memorable descubrimiento del primer planeta menor conocido. El infatigable astrónomo había organizado un ingenioso sistema para explorar el cielo, y el más propio para reconocer un planeta entre las estrellas. Cierta noche eligió una serie de cincuenta de aquéllas, más ó menos apropiadas á las circunstancias, y con el círculo meridiano determinó la posición de todas ellas. A la noche siguiente volvió á observarlas con el mismo instrumento y de igual manera, y repitió la operación varias noches sucesivas. Cuando Piazzi hubo hecho la comparación de sus resultados, conocía cuatro ó más posiciones de cada una de las estrellas en cuatro noches, y al fin completó la serie. Tuvo la suficiente perseverancia en practicar sus observaciones para muchos grupos de estrellas; pero su trabajo alcanzó al fin la recompensa merecida. El 1.º de enero de 1801 comenzó á examinar el cielo, después de ciento cincuenta y ocho noches de estudio, observando con su telescopio cincuenta estrellas, cuyas posiciones recordó cuidadosamente. Las doce primeras eran indudablemente tales, y al parecer también la décimatercera, estrella de octava magnitud en la constelación de Tauro, no habiendo nada para distinguir el aspecto telescópico de este cuerpo celeste del que presentaban los que le precedían ó seguían. A la noche siguiente el astrónomo observó de nuevo las cincuenta estrellas, repitiendo la operación el 3 y el 4 de enero, y comparó entonces las cuatro posiciones halladas para cada una de las anotadas en su lista. Hecho esto, pudo reconocer que el décimotercero cuerpo celeste anotado en aquélla era diferente de las demás y de todas las otras estrellas observadas antes. Las cuatro posiciones del cuerpo misterioso eran distintas, ó, en otras palabras, aquél se movía, y, por lo tanto, debía ser un planeta.

Algunos días de observación bastaron para averiguar cómo aquel pequeño cuerpo celeste, llamado después Ceres, efectuaba su revolución alrededor del Sol, y de qué modo circulaba en aquel paso libre situado entre el de Marte y el de Júpiter. Este descubrimiento excitó el más vivo interés y ha tenido mucha influencia en el progreso de la Astronomía.

Después que Piazzi hubo hecho algunas observaciones más para identificar el carácter de Ceres como planeta, debió interrumpir su estudio por no ser ya la estación favorable, dejando de ser visible el nuevo cuerpo celeste. El planeta, sin embargo, seguiría moviéndose, y cuando se volviese á emprender las observaciones se le hallaría seguramente en alguna distante región, confundido otra vez con las estrellas á que tanto se asemejaba. ¿Cómo se podría reconocer los movimientos del planeta durante su período de invisibilidad, para identificarle cuando llegase el caso oportuno?

La dificultad atrajo la atención de los astrónomos, y buscaron algún método por el cual se pudiese reconocer de nuevo la posición del planeta, á fin de impedir que el descubrimiento de Piazzi fuese relegado al olvido. Un joven matemático alemán, llamado Gauss, comenzó su brillante carrera resolviendo este problema satisfactoriamente.

Como ya hemos dicho, el planeta describe un elipse alrededor del Sol, y éste se halla en un foco de aquélla. Se podía demostrar que, una vez conocidas tres posiciones de un planeta, queda completamente determinada la elipse en que se mueve. Piazzi había visto á Ceres al menos en tres ocasiones, y en cada una de ellas tuvo oportunidad de medir la posición que ocupaba, lo cual facilitó á Gauss el medio de resolver el problema, que podría anunciarse así: conocida la posición del planeta en tres noches, determinar sin más observaciones cuál será la que ocupe en una ocasión dada algunos meses después. Los cálculos matemáticos, basados en las leyes de Kepler, eran suficientes para resolver el problema, y Gauss lo consiguió. Demostrando que el telescopio del astrónomo no servía para descubrir el planeta durante su largo período de invisibilidad, hizo ver que la pluma del matemático la podía seguir con infalible certeza; y cuando la estación fué propia para las observaciones, Gauss dió principio á su investigación. El telescopio se dispuso convenientemente para observar el punto que los cálculos del matemático indicaban, y allí se vió á Ceres. Desde entonces el pequeño planeta ha quedado tan completamente sometido al razonamiento matemático, que todas las noches del año se puede indicar la posición de ese cuerpo celeste con tanta exactitud como la que obtenemos para la Luna ó los grandes planetas de nuestro sistema.

El descubrimiento de un planeta menor fué seguido rápidamente por otros semejantes; de modo que en el espacio de siete años se agregaron al sistema solar Palas, Juno y Vesta, cuyas órbitas están en la región situada entre la órbita de Marte y la de Júpiter. Parece que durante largo tiempo se creyó que nuestro sistema planetario se había completado ya; pero cuarenta años después continuóse la serie de descubrimientos, que aumentaban cada vez más, hasta que en 1884 el número de planetas menores conocidos pasó de 240. La fig. 48 representa su distribución en el sistema solar.

Estos numerosos descubrimientos no se verifican exactamente como el

que hizo Piazzi. Por el perfeccionamiento de los telescopios y el celo con que algunos astrónomos se han dedicado á esta interesante investigación, se ha creado un nuevo método para observar los cuerpos celestes más diminutos.

Sabido es que las órbitas en que los grandes planetas se mueven coinciden próximamente con aquella que el Sol parece seguir entre las estrellas, y al que se ha dado el nombre de *eclíptica*. Natural es suponer que los pla-

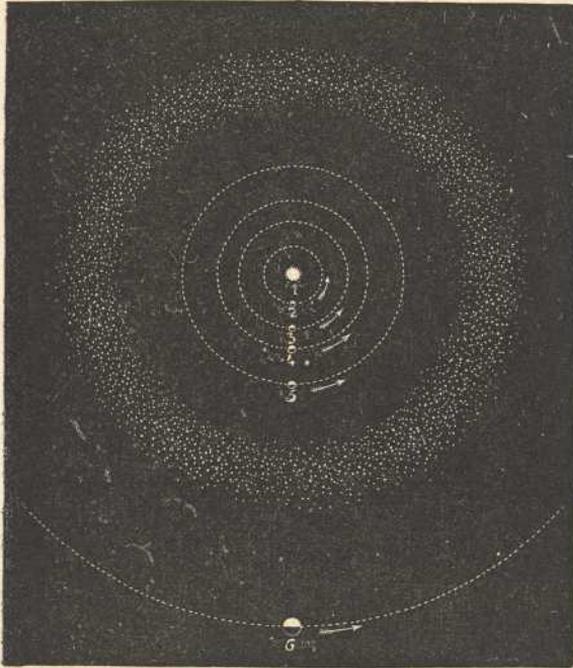


FIG. 48.— LA ZONA DE LOS PLANETAS MENORES ENTRE MARTE Y JÚPITER

1. El Sol.—2. Mercurio.—3. Venus.—4. La Tierra.—5. Marte.—6. Júpiter

netas menores recorren también el mismo camino, que los conduce á través de todos los signos del zodiaco. Algunos de estos planetas se desvían mucho, sin duda, del trayecto del Sol; pero la mayoría se mantiene cerca, lo cual simplifica la investigación y descubrimiento de los nuevos cuerpos celestes. Se ha de examinar cierta zona que se extiende alrededor del cielo, y es de poca utilidad emprender la exploración en otras partes del firmamento.

Lo primero que debe hacerse es construir una carta astronómica que contenga las estrellas de esta región, tarea verdaderamente ardua, pues las estrellas visibles con los grandes telescopios se cuentan por miles y

miles, por limitada que sea la región. Muchos de los planetas menores ahora descubiertos, cuerpos celestes sumamente diminutos, son sólo visibles con poderosos telescopios, y para reconocerlos necesitanse cartas astronómicas, en las cuales se figuran las más pequeñas estrellas. Muchos astrónomos han concurrido con sus trabajos para trazarlas; y como no podemos citarlas todas, nos referiremos sólo á las que el profesor Peters preparó cuidadosamente, habiéndole servido para descubrir muchos planetas nuevos.

El astrónomo que se dedica en esta investigación comenzará por enfilar su telescopio á la parte del paso del Sol situado en el meridiano á media noche, pues allí hay más probabilidad de obtener buen éxito, por ser la región en que un planeta está más cerca de nuestro globo que en ninguna otra parte de su curso. Punto por punto compara su carta con el cielo, y por lo regular observa que las estrellas de éste y las que tiene representadas se corresponden con exactitud; pero algunas veces puede suceder que falte en la carta un punto del cielo. Esto llama la atención del astrónomo: sigue con la vista el cuerpo celeste, y si se mueve reconócela como planeta; mas aun no está seguro de su descubrimiento, pues tal vez sea uno ya conocido. Para aclarar esta duda debe emprender una minuciosa investigación, observando todos los planetas que ya conoce, para ver si es posible que alguno de ellos haya estado en la posición del que consideró como nuevo. Si puede asegurarse de que no es así, estará autorizado para anunciar á los demás astrónomos el descubrimiento de un nuevo planeta. Parece seguro que los más importantes de todos los pequeños cuerpos celestes se han reconocido hace ya mucho tiempo: los que se agregan á la lista son generalmente objetos muy diminutos, no visibles con los telescopios pequeños.

Nada sabemos absolutamente sobre la naturaleza física de esos cuerpos y el carácter de su superficie. Tal vez sean globos en miniatura como nuestra Tierra, diversificados por continentes y oceanos; y si hay vida en estos cuerpos, cuyo diámetro se reduce á menudo á unas pocas millas, debe ser muy diferente de la que nosotros conocemos aquí. Prescindiendo de otras dificultades por la posible falta de aguas y la improbabilidad de que haya una atmósfera de composición y densidad propias para respirar, el simple hecho de la gravedad ofrecería el más notable contraste con las condiciones de vida en la Tierra.

Procuremos ilustrar este punto, tomando, por ejemplo, un planeta menor de 8 millas de diámetro, ó que tuviera, en números redondos, sólo una milésima parte del de nuestro globo. Si imaginamos también que los materiales del planeta son los mismos que los de nuestra Tierra, será fácil probar que la gravedad en la superficie del cuerpo celeste sólo será una milésima parte de la que tenemos aquí, de lo cual se sigue que el peso de un objeto en la Tierra se reduciría á la milésima parte si este objeto se trasladara al planeta. No se probaría lo que decimos con una balanza ordinaria,

en la cual se colocan los pesos en un platillo y el cuerpo que se ha de pesar en otro. De esta manera el cuerpo pesaría lo mismo en todas partes; pues, si su gravedad se altera, lo mismo sucedería en igual proporción con la de los pesos que la equilibran; pero si se hiciera el experimento con una balanza de muelle, el cambio se reconocería al punto. Una carga de 1,000 libras se levantaría en la superficie del planeta sin más esfuerzo que el que necesitaríamos en la Tierra para sostener una libra. Los efectos que esto produciría son muy notables, según vamos á demostrar por un ejemplo que comprende un punto de no escaso interés en otro ramo de la Astronomía.

Una piedra arrojada al aire cae pronto al suelo. La bala de una carabina, disparada también al aire, subirá cada vez á más altura, hasta que al fin su movimiento cesa, comienza á girar y cae á tierra. Esto es debido, por supuesto, á la atracción de la Tierra, que, obrando en el proyectil en todo tiempo, disminuye gradualmente la velocidad, paraliza el ascenso y hace caer la bala. Debe recordarse que la eficacia de la atracción disminuye cuando la altura aumenta; y, de consiguiente, cuando el proyectil lleva una prodigiosa velocidad, por efecto de la cual sube á una enorme elevación, su vuelta se retarda por dos causas. En primer lugar, la distancia que ha de cruzar de nuevo ha aumentado considerablemente, y seguidamente la eficacia de la gravedad ha disminuído. Cuanto mayor es la rapidez, más debe ser la fuerza de aquélla para atraer el proyectil, y así la velocidad puede aumentarse al fin hasta el punto en que la gravedad, disminuyendo siempre á medida que el cuerpo sube, no puede nunca neutralizar del todo la rapidez, resultando de aquí el notable caso de un cuerpo proyectado fuera para no volver.

Posible es aclarar este razonamiento bajo la forma numérica, demostrándose que una velocidad de 6 millas por segundo verticalmente ascensional bastaría para sustraer completamente un cuerpo de la gravedad de nuestro globo. Semejante rapidez excede por mucho á la de los proyectiles de nuestra artillería: es, á la verdad, de veinte á treinta veces mayor que la de una bala de cañón; y, aunque pudiéramos producirla, la resistencia del aire ofrecería una insuperable dificultad. Semejantes reflexiones, sin embargo, no afectan la conclusión de que para cada planeta hay cierta velocidad específica apropiada, y dependiente tan sólo de su volumen.

Si suponemos, para mayor sencillez, que los materiales de los planetas son análogos, la ley que expresa la velocidad crítica para cada planeta se podría anunciar en la más simple forma, porque, en rigor, es simplemente proporcional al diámetro de aquél. Para el planeta menor, cuyo diámetro sea una milésima parte del de la Tierra, la velocidad crítica sería la milésima parte de 6 millas por segundo, escasa velocidad si se compara con los tipos comunes. Un niño puede arrojar aquí una pelota á 15 ó 16 pies de altura; mas para que sea conducida á esta elevación se ha de proyectar con una velocidad de 30 pies por segundo. El niño que estuviese en un planeta de 8 millas de diámetro arrojaría su pelota verticalmente hacia arriba, y

el cuerpo subiría á una altura asombrosa. Si la velocidad primera fuese de menos de 30 pies por segundo, la pelota cesaría en su movimiento poco á poco, comenzaría á girar, y caería con una velocidad gradual hasta obtener la misma con que fué lanzada; pero si la velocidad primera hubiera sido mayor que de 30 pies por segundo, el cuerpo se elevaría más y más para no volver. En otro capítulo deberemos referirnos otra vez á este punto.

La atmósfera que rodea al planeta pequeño debe estar considerablemente rarificada en las circunstancias ordinarias. Aun suponiendo que la cantidad de aire por cada pie cuadrado en ese planeta fuese tanta como la que tenemos en nuestro globo en la misma proporción, la diferencia en la gravedad produciría otra muy considerable en la densidad de la superficie. El peso del aire es el que ejerce presión en las capas inferiores, comunicándoles su densidad. Si la gravedad menguase, dicha presión disminuiría, dejando al aire dilatarse; y, por lo tanto, debe suponerse que la atmósfera que rodea á un planeta pequeño está sumamente rarificada, aunque es posible que tenga un volumen enorme.

El notable aumento en el número de planetas menores ha recompensado el celo de los astrónomos que se consagraron á su estudio, y sus triunfos han dado mucho que hacer á los autores del *Anuario de Berlín*. Este útil libro es superior aún á nuestro *Almanaque Náutico* y á otras publicaciones análogas.

Varios hábiles astrónomos consideran como un deber suministrar al *Anuario* los más minuciosos pormenores sobre los movimientos de los planetas menores. Apenas terminan sus observaciones sobre un planeta, trasladánlas á los encargados de confeccionar dicho *Anuario*; y así es que en los diversos tomos de esta importante obra se encuentra todo cuanto se quiere saber respecto á los movimientos de los pequeños cuerpos celestes. Debe confesarse que muchos de los planetas menores carecen de interés; de modo que los astrónomos se inclinan á creer que el tiempo empleado para observar esos cuerpos podría aprovecharse mejor en estudios astronómicos de mayor importancia.

El Sol, que rige á los poderosos planetas de nuestro sistema, sirve también de guía á los diminutos globos que constituyen los planetas menores. Cada uno efectúa su revolución en una órbita elíptica, y algunas veces varios de ellos se acercan lo bastante á la Tierra para que se puedan medir sus distancias. Las observaciones se practican con mucha precisión, y es fácil multiplicarlas cuanto se quiere. Algunos de estos pequeños cuerpos tienen, por lo tanto, bastante importancia astronómica, con tanto mayor motivo en cuanto parecen destinados á determinar más exactamente que Venus ó Marte la verdadera distancia de la Tierra al Sol. Los más pequeños de esos planetas, sin embargo, solamente se pueden ver con poderosos telescopios, y no es dado medirlos con la necesaria exactitud. También es evidente que los planetas que han de elegirse deben estar lo más cerca posible de la Tierra y tener órbitas de un alto grado de excentricidad. De

modo que cuando se hallen en su perihelio y en oposición simultáneamente, puede ser ventajosa su proximidad. En circunstancias favorables algunos de los planetas menores se acercarán á la Tierra á una distancia de poco más de tres cuartas partes de la del Sol; y estas diversas condiciones limitan á una docena, poco más ó menos, el número de planetas útiles para los fines astronómicos.

Determinar la distancia del Sol por los planetas menores es un método que nos ofrece indisputables ventajas. El planeta mismo es un punto diminuto semejante á una estrella, y las medidas que de él se toman se aplican á los otros que se ven cerca con el telescopio. Aquí juzgamos conveniente aclarar este punto en breves palabras. Al hablar de medidas desde el planeta á la estrella no nos referimos á lo que sería tal vez la acepción más común de la frase: *no* entendemos por esto medir el número de millas que hay en línea recta entre el planeta y la estrella, sino una cosa mucho más sencilla, que consiste en medir por ángulos la distancia aparente de los objetos. Estas medidas son muy diferentes de las lineales, y ambos métodos pudieron conducir á resultados que á primera vista parecían paradójicos. Tómese, como ejemplo, el grupo de estrellas que forman las Pléyades y las que constituyen la Osa Mayor: este último grupo es grande, y el otro pequeño. Cada par de estrellas de la Osa Mayor forma un gran ángulo con el ojo, y cada dos de las Pléyades produce uno pequeño: estos ángulos son los objetos directos de la medición astronómica. Hablamos de la distancia de las estrellas, entendiendo por esto el ángulo limitado por las dos líneas desde el ojo á los dos cuerpos celestes. Esto es lo que nuestros instrumentos pueden medir, y debe observarse que no se hace referencia alguna á magnitud linear. Las mediciones angulares más exactas de esta especie obtiéndense cuando dos estrellas se hallan tan próximas entre sí que se las puede comprender en el mismo campo visual del telescopio. Hay muchas diferentes formas de aparatos que permiten al astrónomo alcanzar para dichas mediciones una precisión que no es posible obtener con objetos menos marcados ó que se hallen á mayor distancia aparente.

La verdadera importancia que tiene el método de los planetas menores para hallar la distancia del Sol, apenas depende tanto de la exactitud con que el astrónomo procede en su estudio como del hecho de que por la naturaleza de dicho método se puede concentrar en el resultado un considerable número de observaciones. Al hablar de la exactitud de éstas no debe presumirse que están exentas de error, puesto que hay alguno, ó algunos; y, aunque sean ligeros, si la distancia que ha de medirse es corta, el error puede representar una fracción muy apreciable del total. Lo mejor que se puede hacer para evitar esto en lo posible es tomar el término medio de muchas observaciones, y hé aquí en lo que consiste principalmente el método de los planetas menores. Con él no es necesario esperar el paso de Venus, pues cada año uno ú otro de los planetas menores se

acercará lo bastante á la Tierra para que sean posibles las observaciones. Las diversas circunstancias de cada planeta, y la gran variedad de las observaciones á que se les somete, contribuirán cada vez más á eliminar los errores.

Como el planeta prosigue su curso por el cielo, y atendido que este último está sembrado en todas partes de innumerables y diminutas estrellas, es evidente que el planeta, tan semejante á cualquiera de las mismas, tendrá siempre algunas en su inmediación; y como sus movimientos son bien conocidos, podremos predecir dónde se hallará cada noche que debe observarse. De este modo es fácil convenirse de antemano con los observadores de diversos puntos muy distantes uno de otro para el estudio que ha de hacerse en una noche dada.

A instancia de Mr. Gill se ha tratado últimamente de practicar este método en una escala adecuada á su importancia. En 1882 los planetas Victoria y Safo se acercaron tanto á la Tierra que al punto se hicieron preparativos para tomar simultáneamente medidas en los hemisferios austral y boreal. Muchos meses antes de darse principio á las observaciones, trazóse una carta astronómica, y cada uno de los astrónomos que debía tomar parte en el trabajo pudo saber de antemano qué estrellas se debían utilizar cada noche. Vistas estas últimas desde cualquier punto de la Tierra, lo mismo en Cabo de Buena Esperanza que en Francia ú otro país, sus posiciones se mantienen inalterables, pues tan enorme es la distancia á que se hallan de nosotros que cualquier cambio es apenas apreciable en la Tierra; pero no sucede lo mismo tratándose de un planeta menor. Su desviación, observada desde el Cabo ó desde Europa, es suficiente para que se puedan medir.

La desviación del planeta se debe deducir de la comparación entre las observaciones hechas en el hemisferio del N. y en el del S., que deben practicarse tan simultáneamente como sea posible, debiéndose tener en cuenta el movimiento del planeta en los intervalos que haya. Aunque se adopten todas las precauciones para evitar un error cualquiera en cada observación, siempre es indispensable comparar las mediciones tomadas por los diversos astrónomos, y por supuesto con distintos instrumentos. En este punto no tenemos mucha mayor desventaja que cuando se observa el paso de Venus; pero la dificultad se puede obviar, y de todos modos siempre será preferible el método de los planetas menores. La dificultad se vencería si fuese posible que un astrónomo se trasladase con sus aparatos, después de hacer sus observaciones durante una noche serena, desde el hemisferio boreal al austral, para repetir allí su trabajo. Una transformación semejante se puede efectuar sin que intervenga algún agente milagroso, y con esto tenemos el más perfecto método para medir las distancias del Sol, que ya conocemos. Mr. Gill ha sabido aplicarle con buen éxito para Juno; pero hay otros planetas más favorablemente situados.

Tomemos, por ejemplo, alguno de esos planetas menores que á veces

se acercan á 7.000,000 de millas de la Tierra. Cuando la oposición va á efectuarse, sitúase un hábil observador en algún punto conveniente cerca del ecuador. El instrumento que ha de usar debe ser el aparato llamado *heliómetro* (1), verdadera maravilla de mecánica y óptica, y que se emplea particularmente para medir estrellas muy distantes. Las medidas se toman durante la noche, apenas el planeta se ha elevado á bastante altura para que se le vea distintamente; y después el observador y el observatorio se trasladan al otro lado de la Tierra. ¿Cómo se ha de hacer esto? Más bien preguntaríamos cómo es posible evitarlo. ¿No gira la Tierra sobre su eje, de modo que al cabo de algunas horas el observador del ecuador es conducido materialmente á varios miles de millas alrededor? Al acercarse la mañana repítanse las observaciones, y se verá que el planeta ha cambiado de lugar notablemente respecto á las estrellas. Esto se debe, en parte, á su propio movimiento, pero también, por mucho, á la desviación paraláctica resultante de la rotación de la Tierra, que puede llegar á 20 segundos. Las medidas tomadas en una sola noche con el heliómetro no deben contener un error que exceda de un segundo, y podemos esperar razonablemente que sea posible hacer las observaciones unas veinticinco noches durante la oposición. La principal dificultad de la operación resulta del movimiento del planeta durante el intervalo que divide las observaciones de la noche de las de la mañana; pero se puede obviar con frecuentes mediciones del lugar ocupado por el planeta respecto á las estrellas entre las cuales pasa. De esperar es que mucho antes del próximo tránsito de Venus se habrá resuelto ya satisfactoriamente el problema de la distancia del Sol por medio de los planetas menores.

---

(1) El heliómetro es un telescopio que tiene el objetivo de cristal cortado por la mitad á lo largo de un diámetro. Una ó ambas mitades se pueden mover transversalmente por medio de un tornillo, y cada mitad da una imagen completa del objeto. Las medidas se toman observando cuántas vueltas del tornillo bastan para que la imagen de la estrella formada por una mitad del objetivo de cristal coincida con la imagen del planeta formada por la otra.



---

---

## CAPITULO XI

### JÚPITER

El gran volumen de Júpiter.—Comparación de su diámetro con el de la Tierra.—Dimensiones del planeta y su órbita.—Su rotación.—Comparación de su peso y volumen con los de la Tierra.—Ligereza relativa de Júpiter.—Cómo se explica.—Júpiter se halla probablemente en condición calorífica.—Las fajas de Júpiter.—Manchas en la superficie.—Tiempo de rotación de algunas.—Tempestades en Júpiter.—Júpiter no se halla en estado incandescente.—Los satélites.—Su descubrimiento.—Aspecto telescópico.—Sus órbitas.—Eclipses y ocultaciones.—Un satélite en su tránsito.—La velocidad de la luz descubierta.—¿Cómo se debe medir experimentalmente?—Determinación de la distancia del Sol por los eclipses de los satélites de Júpiter.—Estos satélites demuestran el sistema de Copérnico.

**A**L explorar la magnífica serie de cuerpos celestes que constituyen el sistema solar, hemos procedido gradualmente, paso á paso, fuera desde el Sol; y, prosiguiendo este método, llegamos al soberbio planeta Júpiter, que recorre majestuosamente su órbita exteriormente á las órbitas de los planetas menores de que acabamos de hablar. Notable es el contraste que nos presentan esos diminutos cuerpos celestes comparados con el inmenso globo de Júpiter.

Si hubiésemos seguido otra marcha, es decir, si hubiéramos comenzado nuestro estudio de los diversos cuerpos del sistema planetario por el orden de su magnitud, los planetas menores habrían quedado para lo último, debiendo comenzar nuestra descripción por Júpiter. Á este planeta le corresponde figurar en primera línea sin asomos de rivalidad; el siguiente en la lista es el interesante Saturno; y después hemos de bajar mucho en la escala de magnitud antes de llegar á Urano y Neptuno, siendo preciso descender más aún para encontrar el grupo menor de los planetas en que está comprendida la Tierra. Tan marcadamente se sobrepone Júpiter á todos los demás planetas, que, aunque Saturno se aumentara con todos los otros globos de nuestro sistema confundidos en uno, la masa unida no igualaría al gigantesco globo de Júpiter.

El adjunto grabado representa las dimensiones relativas de Júpiter y la Tierra, comunicando á la simple vista más vívida impresión sobre el enorme volumen de Júpiter que si tratásemos de expresarle con cifras. Sin embargo, como será preciso citar datos numéricos, lo haremos desde luego.

Júpiter efectúa su revolución en una órbita elíptica alrededor del Sol en el foco á una distancia media de 482.000,000 de millas; de modo que la órbita de Júpiter viene á tener 5'2 veces mayor diámetro que el recorrido por la Tierra. La forma de la órbita de Júpiter se desvía muy apreciablemente de la del círculo, siendo la mayor distancia desde el Sol 5'45, y la menor de 4'95, tomándose por unidad la distancia de la Tierra al Sol. En las más favorables circunstancias para ver este planeta en su oposición, debe hallarse unas cuatro veces más lejos de nuestro globo que éste lo está

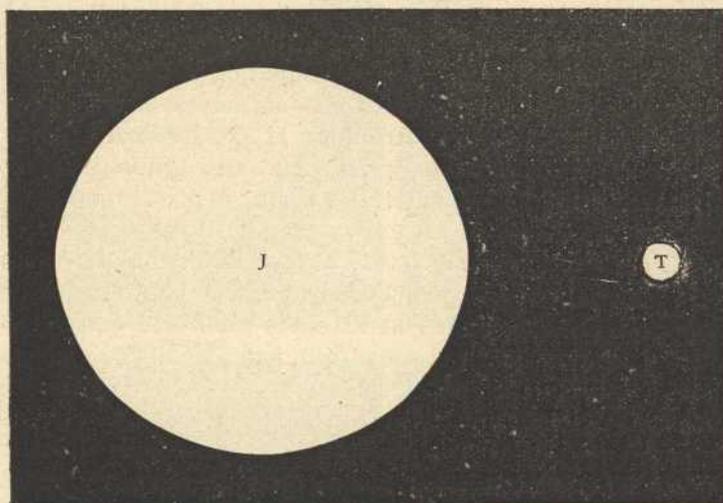


FIG. 49.—DIMENSIONES RELATIVAS DE JÚPITER Y LA TIERRA

J, Júpiter.—T, la Tierra

del astro luminoso. Júpiter confirma también la ley de que cuanto más lejos se halle un planeta tanto menor es la velocidad con que se efectúa el movimiento orbitario de aquél. Mientras que la Tierra recorre 18 millas por segundo, Júpiter no franquea más de 8; y así vemos que el tiempo empleado por un planeta exterior para completar una revolución es más considerable que el período de la Tierra. No sólo debe el planeta exterior seguir un curso más largo que el de nuestro globo, sino que la celeridad es menor, y hé aquí por qué Júpiter necesita 4,332'6 días, ó sea 12 años menos 50 días para recorrer su circuito.

El diámetro medio del gran planeta es de unas 85,000 millas, y decimos diámetro porque hay una marcada diferencia respecto á Júpiter entre sus diámetros ecuatorial y polar. Ya hemos visto que hay una diferencia análoga en el caso de la Tierra, en la que vemos que el diámetro polar es más corto que el ecuatorial; pero la desproporción entre ambos es mucho más

considerable en Júpiter que en nuestro globo, pues el diámetro ecuatorial es de 87,500 millas, mientras que el polar no pasa de 82,500. La elipticidad de Júpiter así producida es bastante marcada para que se pueda reconocer sin cuidadosas medidas.

Alrededor de su más corto diámetro el planeta gira con lo que debe considerarse como una enorme velocidad si se reflexiona sobre el volumen del globo. Cada rotación se completa en unas 9 horas y 55  $\frac{1}{2}$  minutos. Naturalmente podemos comparar esto con la mucho más lenta rotación de nuestra tierra en 24 horas; y la diferencia es mucho más notable aún si consideramos las relativas velocidades en el ecuador de nuestro globo y en el de Júpiter. Como el diámetro de este último es cerca de once veces mayor que el de la Tierra, síguese de aquí que la velocidad del ecuador en Júpiter será unas veintisiete veces más considerable que la de aquélla; y sin duda á esta rapidez debe atribuirse la extraordinaria elipticidad de Júpiter, pues semejante rotación produce un alto grado de fuerza centrífuga, que hace sobresalir los materiales de que el planeta parece estar formado.

A juzgar por lo que podemos ver, Júpiter no es un cuerpo sólido, circunstancia muy importante y que nos obliga á entrar aquí en ciertos pormenores, puesto que vemos un marcado contraste entre el grandioso planeta de que se trata y los otros en que antes nos hemos ocupado. Por las medidas ya dadas, fácil es calcular el volumen de Júpiter: se hallará que es unas mil doscientas veces mayor que la Tierra, ó, en otros términos, se necesitarían mil doscientos globos tan grandes como el nuestro para formar uno solo que tuviera las dimensiones de Júpiter; y en su consecuencia, si los materiales de que este planeta se compone fueran de una naturaleza análoga á los de la Tierra, podría esperarse que el peso de Júpiter excedería al de aquélla proporcionalmente á sus volúmenes. Este es el punto de que principalmente vamos á tratar ahora. No es nada fácil pesar el globo que habitamos, y, de consiguiente, mucho más difícil sería hacerlo con tan inmenso planeta, que dista de nosotros algunos centenares de millones de millas. El problema parece espinoso, pero los recursos intelectuales del hombre han bastado para resolverlo, sirviéndose de ciertos fenómenos naturales, los cuales nos han proporcionado los datos requeridos. Todas las investigaciones de esta especie tienen por base la gravedad universal. La masa de Júpiter atrae á otras en el sistema solar, y la eficacia de tal atracción se demuestra más particularmente en los cuerpos que se hallan cerca de Júpiter, y en virtud de la cual imprímense ciertos movimientos en estos cuerpos. Los podemos observar con nuestros telescopios, medir su grado, y con estos datos calcular el volumen del cuerpo que los produce. Este es el único método de que disponemos para averiguar cuáles son las masas de los planetas; y, aunque sea difícil en su aplicación, no solamente por las observaciones requeridas, sino por la profunidad de los cálculos á que se deben someter aquéllas, en el caso de Júpiter, no obstante,



2 FEBRERO



4 FEBRERO



12 FEBRERO



28 FEBRERO

EL PLANETA JÚPITER



no hay duda sobre el resultado. El trabajo se simplifica mucho para este planeta á causa del magnífico sistema de las cuatro lunas que le acompañan. Estas pequeñas lunas se mueven gobernadas por Júpiter, y se pueden utilizar para nuestro objeto. Por las observaciones de los satélites de Júpiter nos ha sido dado medir su fuerza de atracción, determinando después el volumen del poderoso planeta.

A los que no conocen especialmente los principios de la mecánica podrá parecerles difícil alcanzar la exactitud de que semejante método es susceptible; y, sin embargo, no se puede dudar que esas lunas nos dan á conocer realmente cuál es la masa del planeta, sin más diferencia que la de una centésima parte del total, cuando resulta. Si se necesitase otra confirmación, no sería difícil obtenerla. Algunas veces un planeta menor se acerca á la órbita de Júpiter y sufre su atracción. El planeta debe entonces apartarse forzosamente de su paso, y se puede medir el grado de su desviación, calculándose por el resultado las dimensiones de Júpiter. La masa de éste, según resulta por los planetas menores, conviene con la masa conocida por los satélites. No hemos apurado con esto los recursos de la Astronomía: podemos prescindir de todo el sistema planetario é invocar algunas veces el auxilio de un cometa que, atravesando las órbitas de varios cuerpos celestes, sufren grandes perturbaciones. Por ahora bastará observar que una ó dos veces se dió el caso de que los cometas errantes se acercaran lo bastante á Júpiter para sentir el efecto de su poderoso cuerpo, revelándose por sus movimientos la magnitud de la masa que los alteró. Los satélites de Júpiter, los planetas menores y los cometas, todos nos dicen cuál es el volumen de Júpiter; y como unos y otros dan el mismo resultado, ó por lo menos con muy ligera diferencia, no podemos vacilar en deducir que se ha determinado con toda exactitud cuáles son las dimensiones del más grande planeta de nuestro sistema.

Debemos dar á conocer ahora el resultado de estos cálculos, los cuales demuestran que Júpiter es muy inferior al Sol y que se necesitarían mil cuarenta y ocho planetas de su volumen para formar un globo tan grande como el de aquel astro. También sabemos que se deberían reunir trescientos diez globos como el de nuestra Tierra para equilibrar el peso de Júpiter.

Esto nos demuestra que ese planeta es un cuerpo majestuoso; pero otro punto ha de considerarse que tiene más importancia. ¿No hemos consignado que Júpiter es mil doscientas veces *mayor* que la Tierra? Pues, entonces, ¿cómo es que ese cuerpo pesa sólo trescientas diez veces más que nuestro globo? Esto indica, desde luego, algún contraste fundamental entre la constitución de Júpiter y la de la Tierra. ¿Cómo hemos de explicar la diferencia? De dos modos se concibe: en primer lugar puede suponerse que el planeta se compone de materiales en parte ó del todo desconocidos en la Tierra; pero podría hacerse otra suposición más filosófica y con más visos de verdad. Ciertamente que no sabemos nada, ó muy poco, de lo que pue-

den ser las sustancias elementales de Júpiter; pero uno de los grandes descubrimientos de la astronomía moderna nos ha enseñado alguna cosa sobre las que existen en otros cuerpos del universo, demostrándonos completamente que son con mucho idénticas á las de la Tierra. Ya tendremos oportunidad de tratar de este importante punto en otro capítulo, y ahora nos limitaremos á justificar la opinión de que los materiales de Júpiter no son del todo diferentes de los de nuestro globo. Si ese planeta se compusiese de cuerpos análogos á los de la Tierra, sólo habría un medio para explicar la gran diferencia entre su volumen y su masa; y tal vez lo mejor sería dirigir una mirada retrospectiva al pasado probable del globo que habitamos, pues no parece imposible que la presente condición de Júpiter se fundase en el estado de nuestra tierra hace innumerables años.

En un capítulo anterior indicamos cómo la Tierra se había enfriado poco á poco, demostrando que en una época muy remota la superficie debió estar tan ardiente que no sería posible la vida en ella. En un periodo más anterior aún, decíamos también, el calor sería tal que no puede haber agua en la Tierra; y, por lo tanto, parece probable que hubo un tiempo, sumamente remoto, en que todos los océanos que ahora conocemos, y tal vez una porción considerable de sus más sólidos materiales, debían hallarse en estado de vapor. Semejante trasformación del globo no alteraría su *masa*, pues los materiales pesan lo mismo, cualquiera que sea la condición de su temperatura; pero sí se modificaría en el más alto grado el volumen del globo.

Si todos los océanos se convirtiesen en vapor, nuestra atmósfera, cargada de poderosas nubes, tendría una masa algunos centenares de veces mayor de la que presenta ahora, y el volumen del globo estaría dilatado á proporción. Vista desde un planeta distante, la atmósfera cargada de nubes parecería indicar las dimensiones de nuestro globo, y en vista de ellas se reduciría su densidad, deduciéndose que ésta era mucho menor que ahora.

Por estas consideraciones será evidente que la diferencia entre el volumen y el peso de Júpiter, comparados con los de la Tierra, desaparecería del todo si supusiéramos que este planeta es actualmente un cuerpo muy calentado, cuyas condiciones fuesen las que presentaba la Tierra hace innumerables siglos. Todas las circunstancias del planeta contribuyen á justificar este razonamiento. Ya hemos dicho que la pequeñez de la Luna fué la causa de que se enfriara lo suficiente para que sus volcanes enmudeciesen; y del mismo modo las escasas dimensiones de la Tierra, comparadas con las de Júpiter, explican el hecho de que este planeta conserve todavía una gran parte de su primitivo calor, mientras que nuestro globo, más pequeño, ha perdido ya la más considerable porción. El argumento se robustece cuando hacemos la comparación con otros planetas. Por regla general obsérvase que los más pequeños, así como la Tierra y Marte, tienen mucha densidad, que indica una temperatura baja; mientras que los más grandes, como Júpiter y Saturno, tienen muy poca, lo cual revela que aun conservan una

gran parte de su calor primitivo. Al decir calor primitivo ya se comprenderá que no nos referimos de ningún modo al del Sol, del cual reciben los grandes planetas exteriores mucho menos que los que están más cerca.

Cuando con un pequeño telescopio examinamos la superficie de Júpiter, justifican nuestras opiniones respecto á dicho planeta, cuyo volumen es tan grandioso, por fortuna, que aun á la distancia de más de 300 millones de millas se pueden reconocer en su superficie algunas de las formas características.

En la lámina 9 representanse cuatro diferentes vistas del planeta Júpiter: la primera sirve para dar una idea del aspecto del planeta en 2 de febrero de 1872, visto con un poderoso telescopio. En ese admirable dibujo, debido á Mr. L. Tronvelot, del Observatorio del Colegio Harward (EE. UU.), se nota desde luego que el contorno de Júpiter es marcadamente elíptico: la superficie presenta generalmente las curiosas series de fajas representadas en la lámina, casi paralelas entre sí y al ecuador del planeta.

Cuando se observa á Júpiter durante una hora ó dos, reconócese que el aspecto de las fajas sufre algunos cambios, debidos en parte á la rotación regular del planeta sobre su eje, que en un período de menos de cuatro horas hará desaparecer completamente el hemisferio que primero vimos, sustituyéndole con el que estaba al otro lado. Además de los cambios así producidos, las fajas y otros caracteres del planeta ofrecen también mucha variedad: á veces obsérvanse unas nuevas, mientras que las antiguas se pierden de vista; y, en una palabra, un detenido examen de Júpiter nos demostrará el muy notable hecho de no haber señales permanentes en el planeta. Esto nos recuerda al punto el contraste que ofrecen Júpiter y Marte: en el planeta más pequeño las señales son casi del todo permanentes, y ha sido posible formar mapas de la superficie con bastantes detalles exactos; pero tratándose de Júpiter esto sería imposible, pues el dibujo que hiciéramos hoy sería diferente en el mismo hemisferio á las pocas semanas. Por este concepto hay analogía entre los aspectos de dicho planeta y los del Sol.

Debe notarse, sin embargo, que algunas veces aparecen en el planeta manchas más permanentes que las fajas, y podemos citar, sobre todo, la que los astrónomos conocen con el nombre de *mancha roja*, que ha sido un distintivo notable de Júpiter desde 1878.

De todo lo dicho se deduce forzosamente que, cuando se contempla la superficie de Júpiter, no miramos un cuerpo sólido. La falta de caracteres permanentes del planeta sería hartamente inteligible si la superficie que divisamos fuese en realidad una atmósfera cargada de nubes tan densas que nuestra mirada no pudiese penetrar en el interior del planeta. Las fajas confirman, sobre todo, esta manera de ver. Desde luego nos hace recordar las zonas ecuatoriales de nuestro globo; y no es improbable que un observador bastante alejado de la Tierra, para ver en conjunto su aspecto, observaría en su superficie fajas de nubes más ó menos perfectas semejantes á las de Júpiter.

Por otra especie de observación reconocemos también la importante verdad de que este planeta no es un cuerpo sólido, por lo menos superficialmente. El período de rotación de Júpiter alrededor de su eje se ha llegado á conocer estudiando ciertas manchas bastante marcadas y permanentes para hacer las observaciones necesarias. Supóngase que una de aquéllas se halla en el centro del disco del planeta: apenas se ve, mídase cuidadosamente su posición, anotando el tiempo. A medida que pasan las horas la mancha se mueve hacia el borde del disco, gira por el otro lado del planeta, y vuelve á ser visible. Cuando vuelve á ocupar el mismo sitio de antes se anota otra vez el tiempo y el intervalo trascurrido desde su salida hasta su regreso: es lo que se llama período de rotación del planeta. Si Júpiter fuera sólido, y si todos esos caracteres se hallaran fijos en su superficie, claro es que el tiempo de rotación que se encuentra para cualquiera mancha coincidiría precisamente con el período empleado por otra para su movimiento; pero con este planeta no sucede así. Más verdadero sería decir que cada mancha nos da su período especial; y no se crea que las diferencias son muy ligeras. Se ha reconocido que el tiempo empleado por la mancha roja para dar su vuelta es cinco minutos más largo que el requerido por algunas manchas blancas situadas cerca del ecuador; mientras que ciertos puntos negros emplean para su viaje dos minutos menos. En su consecuencia debe considerarse como seguro que el globo de Júpiter, en cuanto de él se ve, no es un cuerpo sólido. Se compone exteriormente, por lo menos, de nubes y masas de vapor, que parecen agitarse por tempestades de las más violentas, á juzgar por los incesantes cambios de la superficie del planeta.

Bien sabido es que las tempestades que trastornan la atmósfera que rodea nuestro globo se atribuyen todas al calor del Sol.

Este calor es el que, bañando las vastas masas continentales, calienta el aire que con ellas está en contacto. Este aire, haciéndose cada vez más ligero, se eleva, mientras que otro ocupa su lugar. La corriente así producida forma una brisa ó viento, y en circunstancias excepcionales tenemos el fenómeno de los ciclones y huracanes, debidos todos al calor del Sol. Inútil parece decir que las lluvias que tan á menudo acompañan á las tempestades resultan también del calor del Sol, que destila de la vasta extensión del océano la humedad que refresca la Tierra.

Las tempestades en Júpiter parecen ser mucho más violentas que las de la Tierra, aunque la intensidad del calor del Sol en aquel planeta no es más que una mera fracción, realmente menos que la vigésimaquinta parte del que recibimos en nuestro globo. Es increíble que la principal causa de las terribles tormentas de Júpiter se deba del todo, ó en gran parte, á la débil influencia del calor solar, y, de consiguiente, parece natural que se busque algún otro origen para explicar semejantes perturbaciones. Este origen parece evidente si admitimos que Júpiter conserva todavía una considerable proporción de su primitivo calor interno. Así como el mismo Sol

se perturba por las más violentas tempestades á causa de su calor interno, del mismo modo, aunque en menor grado, observamos igual fenómeno en Júpiter. También advertiremos que las manchas del Sol suelen presentarse en zonas más ó menos regulares, paralelas al ecuador del astro, y, por este concepto, no desemejantes á las fajas de Júpiter.

Admitido que este planeta conserva todavía algo de su calor interno, falta saber cuál será la cantidad. Por lo pronto es evidente que en Júpiter hay incomparablemente mucho menos que en el Sol. La brillantez de Júpiter, de tan notable esplendor en el cielo del mediodía, reconoce el mismo origen que el de la luz que ilumina nuestro globo, la Luna ó los otros planetas; ó, en otras palabras, Júpiter brilla por la luz del Sol reflejada, y no en virtud de su luminosidad propia. Todos los que usan el telescopio pueden comprender esta verdad. Los pequeños satélites de Júpiter se sitúan á veces entre el observador y el Sol y proyectan una sombra sobre el planeta, sombra negra, ó al parecer de este color, si se compara con la brillante superficie que la rodea, de lo cual se deduce que Júpiter debe al Sol todo su brillo. Los satélites confirman también esta verdad: hay ocasiones en que alguno penetra en la sombra del planeta, y entonces se desvanece, porque Júpiter puede interceptar la luz que antes hacía visible el satélite, mas no puede prestar ninguna á este último para sustituir la que cortó (1).

Bastante hemos dicho para resolver sobre la cuestión de si Júpiter puede ser un cuerpo habitado por seres vivientes tales como nosotros lo entendemos. Evidentemente no: el calor interno y las terribles tempestades parecen excluir toda posibilidad de vida orgánica, aunque no hubiese otras razones para ello. Sin embargo, acaso se diga, tal vez con algún fundamento, que Júpiter puede aspirar, en un lejano porvenir, á ser centro de vida orgánica, pues seguramente llegará el tiempo en que, cesando el calor interno, las nubes se condensarán gradualmente formando océanos, y acaso en la superficie aparezca la tierra firme, convirtiéndose así el planeta en un mundo habitable.

Volvamos ahora al interesante y magnífico sistema de los cuatro satélites que acompañan á Júpiter, y á los cuales nos hemos referido más de una vez.

La época de su descubrimiento se puede considerar como una de las más importantes en la historia de la Astronomía. Estos cuerpos celestes se hallan situados de una manera notable en la línea que divide los objetos visibles sin aparato alguno de aquellos que exigen el uso del telescopio. Se ha dicho con frecuencia que los satélites de este planeta se distinguen sin antejo alguno; pero, sin entrar aquí en controversia sobre el asunto, nos limitaremos á citar el hecho de que, á pesar de haber sido Júpiter familiar á los observadores durante siglos y en los cielos más serenos, nadie dijo

---

(1) Añadiremos que algunos observadores creen que en circunstancias excepcionales se ha observado en algunos puntos de Júpiter algún ligero grado de luz.

nada ni, por lo tanto, descubrió los satélites hasta que Galileo los reconoció con su nuevo telescopio.

En la fig. 50 representase el planeta y su sistema de satélites tales como se ven con un telescopio de moderada potencia. Aquí se ve el globo de Júpiter, y casi en línea con su centro los cuatro pequeños cuerpos celestes: tres en un lado y uno en el otro. Parecen estrellas; pero se pueden distinguir de éstas por sus incesantes movimientos alrededor del planeta,

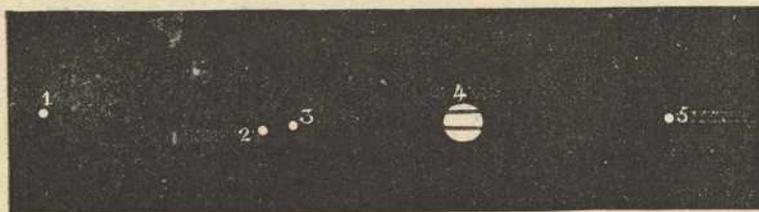


FIG. 50.—JÚPITER Y SUS CUATRO SATÉLITES VISTOS CON UN TELESCOPIO DE PEQUEÑA POTENCIA  
1, el 3.<sup>o</sup> satélite; 2, el 2.<sup>o</sup>; 3, el 1.<sup>o</sup>; 4, Júpiter; 5, el 4.<sup>o</sup> satélite

al que no dejan de acompañar durante todo su circuito. Para el que estudia el cielo no puede haber más agradable espectáculo que observar este magnífico sistema.

En la fig. 51 se representan algunos de los diversos fenómenos que los satélites nos ofrecen. La prolongada sombra negra es la producida por la interposición de Júpiter en el paso de los rayos de Sol; el segundo satélite está en la sombra y, por lo tanto, eclipsado; pero adviértase que el eclipse de un satélite no se debe atribuir á la interposición del cuerpo de Júpiter entre aquél y la Tierra: esto es lo que se llama una ocultación. Los satélites segundo y tercero quedan también invisibles, pero es por una causa muy diferente para ambos. El eclipse es por mucho el más notable fenómeno de los dos, porque el satélite, en el momento de penetrar en la sombra, se halla todavía á cierta aparente distancia del borde de Júpiter, y así se ve claramente hasta el momento del eclipse. En una ocultación, el satélite, al pasar por detrás del planeta, se halla próximo á su borde brillante en el instante de su desaparición. Estos cuerpos celestes no son siempre muy fáciles de ver bajo tales circunstancias, pero la magnífica sombra que proyectan forma una mancha negra en la superficie de Júpiter. Algunas veces el satélite puede producir una sombra en el planeta aunque no esté enfrente de él, por lo menos en cuanto se refiere á la Tierra. Un caso de este género es el que se representa en la lámina XI, en la cual se ve el pequeño disco del segundo satélite cerca del borde del planeta, mientras que la sombra es una mancha bien marcada en su superficie.

Los períodos en que los cuatro planetas de Júpiter efectúan su revolución á su alrededor son respectivamente: un día, 18 horas, 27 minutos,

34 segundos, para el primero; 31 días, 13 horas, 13 minutos, 42 segundos, para el segundo; 7 días, 3 horas, 42 minutos, 33 segundos, para el tercero; y 16 días, 16 horas, 32 minutos, 11 segundos, para el cuarto. Así observamos que las revoluciones de los satélites de Júpiter son mucho más rápidas que la de la Luna. Hasta el más lento y el más distante satélite de este planeta necesita para cada revolución menos de las dos terceras partes de un mes lunar ordinario. El más interior, efectuando su circuito en menos de dos días, presenta una serie notable de incesantes y rápidos cambios, y durante cada revolución queda eclipsado. La distancia desde el centro de Júpiter á la órbita del satélite más interior viene á ser de un cuarto de millón de millas, mientras que el radio del más exterior es de un poco más de un millón. El segundo satélite, saliendo del planeta, tiene casi el mismo volumen de la Luna; los otros tres son más grandes, y el tercero el mayor de todos, excediendo por mucho su diámetro al de la Luna.

Entre las muchas é interesantes investigaciones astronómicas á que han dado lugar las observaciones de los satélites de Júpiter, no hay duda que la más celebrada es la de Roemer, que condujo el descubrimiento de la velocidad de la luz.

Los eclipses de los satélites del planeta habían sido observados durante muchos años, anotándose siempre las épocas en que se producían. Al fin se reconoció que reinaba cierto orden en dichos eclipses, así como en otros fenómenos astronómicos, y, una vez averiguadas las leyes que los regían, siguiéronse las naturales consecuencias, siendo posible predecir el tiempo en que debían ocurrir los eclipses en lo futuro. Después se perfeccionaron los cálculos; pero, cuando se trataba de anunciar con exactitud el momento en que el fenómeno debía ocurrir, las predicciones no se cumplían siempre con puntualidad. En algunos casos el eclipse tenía lugar 5 ó 10 minutos antes ó después. Estas diferencias llamaron más la atención, y por ellas hicieron á menudo descubrimientos, siendo uno de los más importantes aquel de que hablamos ahora.

Al fin se descubrió que la irregularidad en la repetición de los eclipses estaba sometida á ciertas reglas. Notóse que, cuando la Tierra estaba cerca de Júpiter, el eclipse total ocurría antes del tiempo anunciado; mientras que, cuando nuestro globo llegaba á estar junto á su órbita fuera de Júpiter, el eclipse se producía después del tiempo indicado. Una vez probado esto, el gran descubrimiento se hizo muy pronto. Cuando el satélite penetra en la sombra, su luz disminuye gradualmente, hasta que desaparece, y el último rayo de luz del satélite eclipsado es el que da el tiempo del eclipse; pero ese rayo debe viajar desde el satélite á la Tierra, entrando en nuestro telescopio antes de que pueda advertirse el fenómeno. Creíase antes que la luz se trasmitía instantáneamente, pensándose que el momento del eclipse ocurrido era el mismo en que el eclipse se veía en el telescopio; mas luego se echó de ver que esto no era exacto. Reconocióse que la luz necesitaba tiempo para hacer su viaje.

Cuando la Tierra se hallaba cerca de Júpiter la luz debía recorrer un corto trayecto, y el eclipse ocurría antes de lo que los cálculos indicaban. Si la Tierra estaba lejos de Júpiter, la luz debía recorrer más camino y necesitaba más tiempo; de modo que el eclipse se retardaba. Esta simple explicación allanó la dificultad que se oponía á predecir los eclipses de los satélites; pero el descubrimiento tuvo mayor significación de la que se pen-

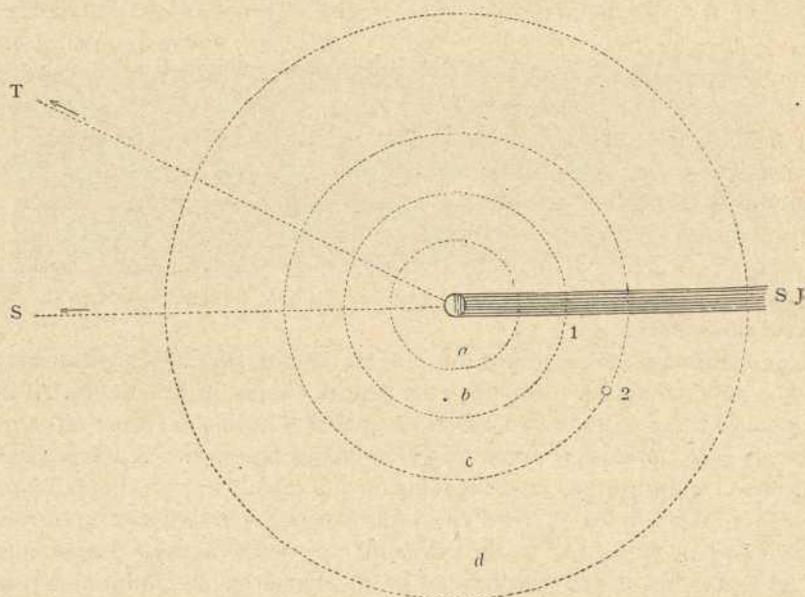


FIG. 51.—DESAPARICIONES DE LOS SATÉLITES DE JÚPITER

T. Á la Tierra.—S. Al Sol.—S J, Sombra producida por Júpiter.—*a* Órbita del 1.<sup>o</sup> satélite, en 2 días.—*b*. Órbita del 2.<sup>o</sup>, en 4 días.—*c*. Órbita del 3.<sup>o</sup>, en 7 días.—*d*. Órbita del 4.<sup>o</sup>, en 17 días.—1. 2.<sup>o</sup> satélite eclipsado—2. 3.<sup>o</sup> satélite oculto.

saba, pues supone que la velocidad de la luz se podía medir, y las recientes investigaciones demuestran que aquélla es de 185,000 millas por segundo.

Uno de los más célebres métodos para medir la distancia del Sol se deriva de una combinación de experimentos sobre la velocidad de la luz según las mediciones astronómicas. Este es un método de admirable perfección é interés, y, aunque no llena todas las condiciones necesarias para ser perfecto, no podemos menos de referirnos á él. A pesar de ser tan asombrosa la velocidad de la luz, se ha encontrado el medio de medirla, y esta es una de las más delicadas investigaciones experimentales que jamás se hayan emprendido. Si es difícil medir la celeridad de la bala de una carabina, mucho más difícil debía ser la operación tratándose de un rayo de luz, cuya rapidez es un millón de veces mayor. Para esto se

necesitaba un aparato especial, y el genio del hombre lo ha inventado.

Cuando se quiere medir la velocidad de un cuerpo que se mueve, comiéndose por señalar cierta distancia, y después se averigua qué tiempo requiere aquél para recorrerla. Determinamos la velocidad de un tren de ferrocarril por el tiempo que emplea en franquear una milla, y la de una bala de fusil por un ingenioso mecanismo fundado en el mismo principio. Tratándose de medir la de la luz, debe elegirse la mayor distancia posible que convenga; pero es necesario que sean visibles las dos extremidades de la línea. Una colina situada á una milla ó dos sería un sitio propio para la estación lejana, y la distancia que medie entre el punto escogido en aquélla y el observador se deberá medir cuidadosamente. Así las cosas, fácil es enunciar el problema. Desde el observador se envía un rayo de luz á dicha estación, debiendo medirse el tiempo que emplea en el trayecto. Podemos imaginar ahora que el observador tiene preparada una linterna de la cual parte un rayo de luz, y suponer que este último hiera la superficie de un espejo reflector al llegar á la estación. En el mismo instante el rayo toma una nueva dirección, que dependerá de la inclinación del espejo, el cual se puede colocar de modo que la luz caiga perpendicularmente sobre él, en cuyo caso el rayo volverá por donde vino. Si se mantiene el espejo fijo en esta posición durante los experimentos, fácil es observar que ese rayo vuelve siempre á la linterna después de recorrer la distancia é iluminar el punto lejano. Aunque este punto se hallara á diez millas, de modo que la luz debiera franquear este espacio á la ida y á la vuelta, no necesitaría para ello más de la nueve milésima parte de un segundo.

El principio de este magnífico experimento será más evidente si se examina nuestro diagrama (fig. 52), que representa la linterna y el observador frente á una rueda de radios salientes. Cada uno de éstos, á medida que va girando, eclipsa el rayo de luz que parte de la linterna, y también el ojo, cuya mirada se fija en el espejo de la estación distante. En la posición en que representamos la rueda, el rayo de la linterna pasará al espejo y volverá de modo que sea visible para el ojo; pero si aquélla está en movimiento puede suceder que el rayo de luz, después de salir de la linterna, no tenga tiempo para volver antes de que el siguiente radio de la rueda llegue á estar frente al ojo y le oculte. Si se imprime á la rueda un movimiento de rotación más rápido, el radio que sigue puede haber pasado del ojo de modo que el rayo de luz vuelva á ser visible otra vez. Se puede medir la velocidad con que la rueda gira, y determinar así el tiempo que cada

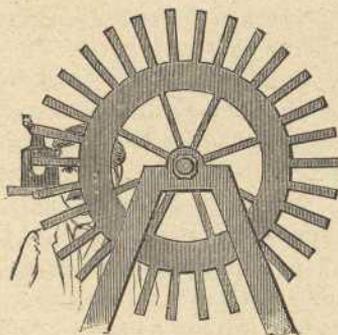


FIG. 52. — MODO DE MEDIR LA VELOCIDAD DE LA LUZ

radio emplea para pasar por frente del ojo. De este modo es posible medir también el tiempo que necesita el rayo de luz para su doble viaje, y en su consecuencia tenemos una medida de la velocidad de la luz.

De aquí resulta que podemos decir cuál es la velocidad de la luz, bien por las observaciones de los satélites de Júpiter ó por la investigación experimental; y, si se adopta este último método, será dado deducir notables consecuencias astronómicas. En una palabra, se puede utilizar este método para resolver el gran problema sobre la distancia de la Tierra al Sol, aunque no con tanta exactitud como con otros.

Las dimensiones del sistema solar son tan considerables, que el rayo de luz requiere un intervalo apreciable de tiempo para franquear el abismo que separa la Tierra del Sol. Ocho minutos es aproximadamente la duración del viaje; de modo que en cualquier momento vemos el astro luminoso según aparecería ocho minutos antes á los ojos de un observador situado cerca de él. En una palabra, si se tapase el Sol de repente, aun se le vería brillar ocho minutos después de haber desaparecido realmente. Podemos determinar este período de tiempo por los eclipses de los satélites de Júpiter.

Mientras el satélite brilla, irradia una corriente de luz á través del vasto espacio que media entre Júpiter y la Tierra. Cuando el eclipse ha comenzado, el pequeño orbe no es ya luminoso; pero aun hay un ligero rayo de luz en su paso, y hasta que todo él ha entrado en nuestros telescopios vemos el satélite brillando como antes. Si pudiésemos calcular el momento en que verdaderamente ocurrió el eclipse, y fuera dado observar en qué instante se ve, la diferencia entre los dos daría el tiempo que la luz emplea en el viaje. Esto se puede averiguar con alguna exactitud, y, como ya conocemos la velocidad de la luz, es fácil hallar la distancia de Júpiter desde la Tierra, deduciendo la escala del sistema solar. Sin embargo, debe observarse que en ambos extremos del procedimiento hay causas de incertidumbre. El fenómeno del eclipse no es instantáneo. El satélite es bastante grande para exigir un tiempo apreciable cuando cruza el límite que define la sombra; de modo que la observación de un eclipse no es bastante precisa para formar la base de una medida exacta (1). Muchas mayores dificultades se ofrecen aún cuando se quiere determinar el verdadero momento en que ocurre el eclipse según lo vería un observador situado en la intermediación del satélite. Para esto se necesitaría una teoría más perfecta de la que tenemos sobre los movimientos de los satélites de Júpiter.

Estos satélites tienen especial atractivo para el matemático, que encuentra en ellos un ejemplo notable para reconocer cuán universal es la ley de la gravedad. Esos satélites, por supuesto, se hallan sometidos principalmente en sus movimientos á la atracción del gran planeta;

---

(1) El profesor Pickering, sin embargo, ha conseguido esta importante mejora para medir la disminución de la luz del satélite que se eclipsa sirviéndose del fotómetro. Mucha mayor precisión se puede esperar de los resultados de tales observaciones.

pero se atraen entre sí, resultando de esto dos consecuencias curiosas.

El movimiento medio del primer satélite cada día hacia el centro de Júpiter es de  $203^{\circ} 4,890$ ; el del segundo, de  $101^{\circ} 3,748$ ; y el del tercero,  $50^{\circ} 3,177$ . Estas cantidades se relacionan de tal modo que resulta la siguiente ley: el movimiento medio del primer satélite, agregado á dos veces al del tercero, es exactamente igual á tres veces el tiempo medio del segundo.

Hay otra ley de carácter análogo que se expresa del modo siguiente (siendo la longitud media el ángulo entre una línea fija y el radio hasta el punto medio del satélite): si á la longitud media del primer satélite agregamos dos veces la misma del tercero, y se sustraen tres veces esta longitud del segundo, la diferencia será siempre  $180^{\circ}$ .

Por la observación se reconoció desde un principio que estas leyes eran verdaderas; pero Laplace demostró que si los satélites efectuaban su revolución casi de este modo, sus mutuas perturbaciones, según la ley de la gravedad, los conservarían siempre en su posición relativa.

Síguese de la segunda ley que, cuando dos de los satélites se hallan en línea en un lado de Júpiter, el otro debe estar en la misma en la parte opuesta del planeta. El cuarto satélite no se toma en consideración en estas leyes.

Terminaremos este capítulo observando que el descubrimiento de los satélites de Júpiter fué realmente la más notable confirmación de la teoría de Copérnico. Este gran hombre quiso que el mundo creyese que nuestro Sol era un gran cuerpo, y que la Tierra y los demás planetas eran otros más pequeños que giraban alrededor de aquél. Esta doctrina, tan contraria á las que antes predominaban y á la inmediata evidencia de nuestros sentidos, no podía establecerse sin muchos razonamientos; y, en este sentido, el descubrimiento de los satélites de Júpiter fué muy oportuno, porque era una magnífica demostración ocular de un sistema idéntico al que Copérnico anunció, aunque en mucha menor escala. El astrónomo que había observado tan atentamente los satélites de Júpiter circulando alrededor de éste, que notó sus eclipses con todos sus interesantes fenómenos, pudo reconocer de una manera inequívoca que el gran planeta regía á los pequeños cuerpos, obligándoles á girar á su alrededor, y con esto tuvo una miniatura del gran sistema solar. "Así como sucedió con las manchas del Sol cuando Galileo anunció este descubrimiento, los filósofos del día lo acogieron con incredulidad, porque estaban persuadidos de que todo cuanto hay en la Naturaleza se había descrito ya en las obras de Aristóteles. Un eminente astrónomo, Clavius, dijo que para ver los satélites se debía tener un telescopio que les produjera; pero cambió de opinión apenas los hubo observado de por sí. Otro filósofo, más prudente, rehusó aplicar el ojo al telescopio si no veía antes los satélites para convencerse. Poco después murió, y el mordaz Galileo dijo:—Espero que al fin los habrá visto durante su viaje al cielo (1).

(1) *Astronomía popular* de Newcomb, pág. 336. (En inglés.)

---

## CAPITULO XII

### SATURNO

Situación de Saturno en el sistema solar.—Saturno es uno de los tres cuerpos celestes más interesantes.—Comparación con Júpiter.—Saturno á la simple vista.—Estadísticas referentes al planeta.—Densidad de Saturno.—Investigaciones de Galileo.—Qué encontró en Saturno.—Un objeto misterioso.—Descubrimientos hechos por Huyghens medio siglo después.—Cómo se demostró la existencia del anillo.—Invisibilidad de los anillos cada quince años.—Rotación del planeta.—La cifra célebre.—Explicación.—Dibujo de Saturno.—La línea oscura.—Investigaciones de Herschel.—¿Es realmente una separación la división del anillo?—Posibilidad de resolver el problema.—El tercer anillo.—Naturaleza física de los anillos de Saturno.—¿Pueden ser sólidos?—Un fluido.—Naturaleza probable de los anillos.—Numerosos satélites pequeños.—Analogía de los anillos de Saturno con el grupo de planetas menores.—Problemas indicados por Saturno.—El grupo de sus satélites.—Descubrimiento de otros.—La órbita de Saturno no es la frontera de nuestro sistema.

A una profunda distancia en el espacio, que á veces llega casi á mil millones de millas, el planeta Saturno efectúa su poderosa revolución alrededor del Sol en un período de más de un cuarto de siglo. Esta gigantesca órbita constituye el límite del sistema planetario según le conocieron los antiguos.

Aunque Saturno no es tan grande como Júpiter, su volumen excede por mucho al de la Tierra, y es verdaderamente mucho más considerable que ninguno de los planetas, excepto Júpiter; pero si este último le aventaja en cuanto se refiere á sus dimensiones, admítase en general que, á pesar de todo su acompañamiento, no puede competir en belleza con el maravilloso sistema de Saturno. Este planeta es, para varios astrónomos, uno de los tres más interesantes que se observan en las latitudes del N. De los otros dos hablaremos después: son la gran nebulosa de Orión y el grupo de estrellas de Hércules.

En cuanto se refiere al globo de Saturno, no vemos caracteres que le comuniquen ningún interés excepcional: es más pequeño que el de Júpiter, y, como éste se halla más cerca de nosotros, el aparente volumen de Sa-

turno es por todos estilos mucho más pequeño que el de Júpiter. También debe notarse que, á causa de su mayor distancia desde el Sol, su brillo intrínseco es menor. Cierto que á menudo se ven ciertas señales y fajas en Saturno; pero no son tan notables y características como las de Júpiter, y el aspecto telescópico del globo de aquel planeta se ha de considerar también como muy inferior al de Marte. Los delicados detalles que en este último vemos cuando está situado favorablemente, no se pueden comparar con los del lejano Saturno, que tampoco nos ofrece el interés de Venus. Sin embargo, aun admitiendo todo esto, no se puede negar que Saturno es un magnífico cuerpo celeste. No debe la belleza á su globo, sino al maravilloso sistema de anillos que le rodean, notables bajo todos los puntos de vista, y que no tienen paralelo en toda la extensión del universo.

A la simple vista Saturno suele aparecer como una estrella de primera magnitud, y apenas sería suficiente su luz sola para distinguirlo de muchas de las más brillantes estrellas fijas. Sin embargo, los antiguos conocían á Saturno y no ignoraban que era un planeta, contándole con los otros cuatro grandes planetas (Mercurio, Venus, Marte y Júpiter), en el grupo de las estrellas errantes. A causa de la inmensa distancia que la separa de nosotros, sus movimientos se efectúan con mucha mayor lentitud que los de otros planetas conocidos de los antiguos. Saturno necesita veinte y nueve y medio años para recorrer su circuito en el cielo; pero, aunque se mueva con tanta lentitud, en comparación de Venus, lo hace con la suficiente rapidez para llamar la atención de muchos observadores atentos. En un solo año Saturno recorre una distancia de 12° grados, poco más ó menos, lo cual basta para que se le pueda observar; y hasta en un mes el planeta atraviesa un arco del cielo, que podrán reconocer cuantos se tomen la molestia de señalar el sitio del planeta respecto á las estrellas inmediatas. Los que tienen el privilegio de usar buenos instrumentos astronómicos, observarán pronto el movimiento de Saturno.

La distancia media desde el Sol á ese planeta es de unos 884 millones de millas. El paso de Saturno es, en realidad, un eclipse con el Sol en el foco, y la forma de esta elipse es marcadamente distinta de la de un verdadero paso circular. Saturno se mueve con una velocidad de 506 millas por segundo, por término medio.

El diámetro medio de su globo es de unas 71,000 millas; su diámetro ecuatorial viene á ser de 74,000, y el polar de 68,000, siendo la proporción de estos números aproximadamente la de 10 á 9. De aquí resulta hasta la evidencia que Saturno se desvía de la verdadera forma esférica de una manera muy pronunciada. La protuberancia en su ecuador debe atribuirse indudablemente á la gran velocidad con que el planeta gira, más de dos veces mayor que la de la Tierra. Saturno verifica una rotación completa en 10 horas, 14 minutos y 23/8 segundos.

Ya hemos hablado de la poca densidad de los materiales de Júpiter, explicándole por la suposición de que aun existe allí el calor interno; y lo

mismo podemos decir, con más fundamento, respecto á Saturno. La ligereza de este planeta es tal que no parece compatible con la suposición de que su globo esté compuesto de materiales sólidos comparables con aquellos que constituyen la corteza terrestre. Los satélites que rodean á Saturno informan un sistema no menos interesante que los conocidos anillos: nos permiten pesar al planeta en comparación con el Sol y deducir de aquí su masa relativamente á la de la Tierra, lo cual nos da un resultado no poco notable. Parece que la densidad de nuestro globo es ocho veces mayor que la de Saturno, ó, en otros términos, que la densidad de este último es menor que la del agua misma; de manera que un enorme globo líquido del mismo volumen que el de aquel planeta pesaría más aún.

Si imaginásemos un vasto océano en que se arrojara un globo idéntico al de Saturno por su volumen y peso, la enorme masa no se sumergiría como la Tierra ó cualquiera otro de los planetas, sino que flotaría en la superficie con una cuarta parte de su masa fuera del agua. Hay poderosos motivos para creer que lo que nuestros telescopios ven del planeta no es una superficie sólida, sino una inmensa capa de nubes que rodean un centro de calor; y apenas se puede rechazar la idea de que Saturno, así como Júpiter, ha conservado su calórico á causa de ser tan enorme su volumen. Sin embargo, debemos referirnos á una circunstancia que acaso parezca algo inconsistente con este modo de ver. Ya sabemos que Júpiter y Saturno son mucho menos densos que la Tierra, y cuando comparamos los dos planetas parece que el segundo tiene mucha menos densidad que el primero, es decir, que cada milla cúbica de Júpiter pesa casi dos veces tanto como una de Saturno, lo cual parecería indicar que éste tiene más calor que el otro. Sin embargo, como Júpiter es más grande, pudiera creerse razonablemente lo contrario. No trataremos de explicar la diferencia; pues, en nuestra ignorancia respecto á la constitución material de estos cuerpos, sería inútil toda discusión.

Nos limitaremos á decir que el volumen de Saturno es tan enorme que el planeta pesa más de ochenta veces tanto como la Tierra. Nuestro grabado representa las disminuciones relativas de una y otra (fig. 53).

Como á la simple vista no se puede distinguir ninguna de las maravillas que rodean á Saturno, podríamos decir que el interés que este planeta excita no comenzó hasta la época en que fué observado con el telescopio. Diremos cuatro palabras sobre la historia, pues sólo paso á paso se llegó á comprender la naturaleza de ese complicado cuerpo celeste. Cuando Galileo terminó la construcción de su pequeño telescopio, que, si bien sólo tenía un aumento de treinta veces, era un gran auxilio, practicó su memorable inspección del cielo. Pudo ver las manchas del Sol y las montañas de la Luna; notó la media luna de Venus y los satélites de Júpiter; y, estimulado con tan notables descubrimientos, trató, naturalmente, de examinar los demás planetas, fijándose desde luego en Saturno. Entonces vió que este último presentaba una forma visible, así como aquéllos, pero que difería de los otros

objetos telescópicos, componiéndose, al parecer, de tres cuerpos que siempre se tocaban entre sí, conservando las mismas posiciones relativas. Estos tres cuerpos se hallaban en una línea: el central era el mayor, y los otros dos estaban situados al E. y al O. El ilustre astrónomo no había visto nunca en el cielo nada tan asombroso ni que pareciera tan inexplicable.

Ansioso de estudiar bien aquel cuerpo celeste, Galileo continuó sus observaciones durante el año 1610, y con no poca admiración notó que los dos cuerpos menores disminuían de tamaño gradualmente, hasta que, en

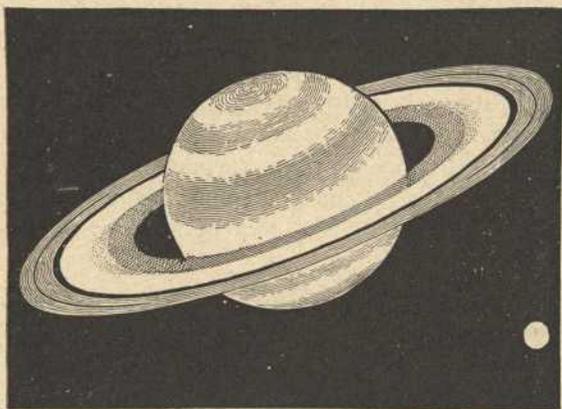


FIG. 53.—VOLÚMENES RELATIVOS DE SATURNO Y DE LA TIERRA

el transcurso de los dos años que siguieron, desvaneciéronse del todo, apareciéndose entonces el planeta con un simple disco redondo como Júpiter. Esta fué otra causa de preocupación para Galileo, pues debía luchar contra los partidarios del antiguo sistema astronómico, que se burlaban de sus descubrimientos, rehusando aceptar sus teorías.

Había anunciado sus observaciones sobre la naturaleza compuesta de Saturno, y ahora debía dar á conocer la gradual disminución y final extinción de aquellos dos globos auxiliares. Naturalmente, temió que sus oponentes se aprovecharan de la oportunidad para declarar que todas sus observaciones eran ilusorias. “¿Qué diremos,—escribía,—sobre tan extraña metamórfosis? ¿Se consumen acaso las dos estrellas menores á la manera de las manchas solares? ¿Se han desvanecido para no volver más? ¿Habrà devorado Saturno á sus propios hijos? ¿Son estas apariencias pura ilusión ó fraude ó me han engañado á mí los cristales, así como á tantos otros á quienes se los enseñé? Ahora ha llegado tal vez el tiempo de que renazcan las esperanzas de los que, guiados por más profunda contemplación, descubrieron la falacia de las nuevas observaciones. No sé qué decir

en un caso tan sorprendente y casi increíble. La brevedad del tiempo, la inesperada naturaleza del hecho, la debilidad de mi comprensión y el temor de engañarme, me confunden y me inquietan.<sup>4</sup>

Pero Galileo no se había equivocado. Los objetos que vió cuando comenzó á observar eran realmente tres, que parecían disminuir de volumen poco á poco, desvaneciéndose al fin; pero esta desaparición sólo era temporal, puesto que más tarde se volvían á ver aquellos cuerpos misteriosos. Esto llamó más la atención. Muy pronto, algo perfeccionado el telescopio, reconocióse que los dos cuerpos que Galileo había descrito como globos ó esferas cerca de Saturno, no eran, en realidad, esféricos, sino más bien medias lunas luminosas, con la concavidad vuelta hacia el gran globo central. También se notó que estos cuerpos pasaban por una notable serie de cambios periódicos. Al principio el planeta presentaba la figura de un verdadero disco circular. Los apéndices aparecían primero como dos brazos, extendiéndose directamente por fuera á cada lado del planeta. Después estos brazos se abrían poco á poco, formando dos medias lunas, semejantes á unas asas del globo: alcanzaban su anchura máxima á los siete ú ocho años, y después comenzaban á contraerse, desvaneciéndose al cabo de un período de tiempo igual.

En 1655 Huyghens descubrió, al fin, la naturaleza de esos objetos, casi cerca de medio siglo después que Galileo fijó en ellos la atención. Dicho astrónomo descubrió la sombra proyectada por el anillo sobre el globo, é hizo la explicación del fenómeno de una manera muy filosófica. Notó que la Tierra, el Sol y la Luna giraban sobre sus ejes, y, por lo tanto, consideró como una ley general que cada uno de los cuerpos del sistema tuviera semejante movimiento de rotación. Sin duda que en aquel temprano período no se habían practicado observaciones para demostrar que Saturno giraba así, mas era en alto grado improbable que ningún planeta dejase de efectuar un movimiento de rotación; y de todas las analogías del sistema deduciase que la velocidad de la rotación debía ser considerable. Un satélite de Saturno, según se había reconocido ya, efectuaba su revolución en un período de diez y seis días, ó poco más de la mitad de un mes, y Huyghens consideró que Saturno giraba probablemente sobre su eje con mucha rapidez. También debía observarse que, si aquellos notables apéndices estaban sujetos por algún lado de unión del planeta, debían girar también con Saturno; mas, si no se hallaban enlazados, también sería preciso que efectuasen su revolución, en caso de conservarse la analogía de Saturno con otros cuerpos del sistema. Puesto que hay unos satélites que giran alrededor de Júpiter, puesto que la Luna efectúa su revolución en torno de la Tierra, y puesto que todo el sistema planetario da vueltas alrededor del Sol, pensaba Huyghens, se debe deducir que, bien se halle en los curiosos apéndices fijos al planeta, ó ya estén físicamente libres de él, deben efectuar un movimiento de rotación.

Teniendo en cuenta estos razonamientos, pronto fué fácil conjeturar la

verdadera naturaleza del sistema saturniano. Ya hemos visto cómo cada quince años los apéndices comenzaban á declinar hasta hacerse invisibles, reapareciendo después, primero en forma de brazos rectilíneos, proyectándose fuera del planeta. El progresivo desarrollo es lento, y durante semanas y meses, noche tras noche, obsérvase el mismo aspecto con muy poco cambio; pero durante todo este tiempo Saturno y sus acompañantes misteriosos están efectuando su movimiento de rotación, y presenta la misma apariencia aunque aquél es incesante. Ahora bien: ¿cuál puede ser la forma de un objeto que llena tales condiciones? Evidentemente no bastará considerar las proyecciones como dos radios que divergen del planeta, pues cambiarían de lo visible á lo invisible en cada rotación, y así habría continuas alteraciones en el aspecto en vez de ese lento y gradual cambio que exige quince años para un período completo. Verdaderamente hay otras consideraciones que excluyen la posibilidad de que los objetos tengan este carácter, pues siempre se hallan á la misma longitud comparados con el diámetro del planeta. Basta reflexionar un poco para comprender que una sola suposición puede explicar todos los hechos. Si hubiera un delgado anillo simétrico que girase en un propio plano en torno del ecuador de Saturno, la persistencia del objeto de una noche á otra quedaría explicada, y esto suprime desde luego la mayor parte de la dificultad. Para lo demás bastaría suponer que el anillo era tan delgado que cuando su borde se volvía hacia la Tierra quedaba invisible, y después, como la parte iluminada del plano se vuelve más y más hacia la Tierra, los apéndices del planeta aumentan gradualmente. La forma de asa que el planeta toma periódicamente, demostraba que el anillo no estaba fijo en el globo; y al fin Huyghens encontró la clave del grande enigma que tanto preocupó á los astrónomos en los últimos quince años. Observó que el anillo era un objeto del más asombroso interés, único entonces, como lo es ahora; pero, comprendiendo que apenas había demostrado el hecho con toda la certeza que merecía, quiso estudiar más la materia. Sin embargo, conveníale, ante todo, no exponerse á perder su descubrimiento, dejando que algún otro astrónomo se lo apropiara, y para esto adoptó el método, muy común en aquella época, que consistía en anunciar por cifras los descubrimientos de esta especie. Así, pues, en 5 de marzo de 1656 publicó la primera serie, que contenía la siguiente proposición:

a a a a a a a	c c c c c	d	e e e e e	g	h
i i i i i i i	l l l l	m m		n n n n n n n n n	
o o o o p p	q r r	s t t t t t		u u u u u	

Tal vez algunas personas curiosas, de esas aficionadas á resolver gero-glíficos, tratarían de descifrar el enigma; pero, si fué así, no sabemos que nadie consiguiese el resultado. A los pocos años de un asiduo estudio, Huyghens comprobó su teoría, y encontróla exacta en todos sus detalles, por lo

cual pareciale ya inútil ocultar al mundo su gran descubrimiento. En su consecuencia, llegado el año 1659, á los tres de haber publicado su criptografía, anunció la interpretación de la misma. Colocando las letras en su debida disposición, el descubrimiento se consignaba en los siguientes términos: *Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam, coherente, ad eclipticam inclinato*, que se puede traducir así: "El planeta está circuido por un anillo delgado y plano que se distingue en todas partes de la superficie, inclinándose á la eclíptica."

Huyghens no se contentó con demostrar simplemente que así quedaban explicados los fenómenos, y quiso hacer la más delicada prueba que puede aplicarse á la teoría astronómica. Propúsose hacer una predicción que, en el caso de cumplirse, haría reconocer como verdadera y exacta su teoría. Por sus cálculos dedujo que el planeta aparecería circular hacia julio ó agosto de 1671, y el hecho se realizó, pues vióse la desaparición del anillo en mayo de aquel año. No hay duda que con nuestros modernos cálculos, fundados en una larga serie de observaciones exactas, podemos ahora explicar muy bien la aparición ó desaparición del anillo de Saturno; pero al recordar el temprano período de la historia del planeta en que fué hecha la predicción de Huyghens, hay que reconocer su realización como asaz completa, confirmando al par satisfactoriamente la teoría de Saturno y de su anillo.

Una vez establecida la certeza astronómica del anillo de Saturno, cada generación sucesiva de astrónomos ha estudiado más y más el asunto, sucediéndose descubrimientos de cada vez más maravillosos. En la portada puede verse una lámina representando el planeta tal como se reconoció en el Observatorio del Colegio Harward (EE. UU.) desde el 28 de julio al 20 de octubre de 1872. El dibujo fué sacado por el distinguido astrónomo y artista Mr. L. Trouvelot, y da una perfecta y hermosa representación de este objeto único. Para comprender, en vista de la lámina, el estupendo volumen del sistema entero, hay que recordar que el tamaño de Saturno es setecientas veces mayor que el de nuestro globo.

El primer grande descubrimiento que se hizo después del de Huyghens demostró que el anillo que rodeaba el planeta estaba marcado por una línea concéntrica oscura que dividía el anillo en dos partes, siendo la exterior más estrecha que la interior: esto lo observó por primera vez Cassini en 1675. Las investigaciones de Maraldi en 1715, seguidas de las de Herschel muchos años después, demostraron que era muy probable que esa línea no fuera sólo una señal negra del anillo, sino que éste estaba separado en dos.

Provisto sir Guillermo Herschel de instrumentos muy perfeccionados, contribuyó por mucho al conocimiento del planeta y de su sistema, observando á Saturno noche tras noche por espacio de muchas horas, habiendo consagrado principalmente su atención al examen de la línea que dividía el anillo. Pudo reconocer que su color no se distinguía del que

tenía el espacio intermedio entre el globo y el anillo; observó durante diez años el segmento norte del anillo, y pudo ver que todo este tiempo seguía presentando la misma anchura é igual color. Pronto tuvo la fortuna de observar la parte S. del anillo, donde vió la línea negra correspondiendo por su aspecto y posición con la del N., y entonces apenas pudo dudar que Saturno estaba rodeado por dos anillos concéntricos, de los cuales el borde exterior de uno se aproximaba mucho al interior del otro. Debe advertirse que el telescopio no nos ha suministrado aún la única prueba indisputable de la división entre los anillos. Los aspectos observados por Herschel confirmarían la opinión de que la línea negra es simplemente una parte del anillo que se extiende á través de su espesor, componiéndose de materiales mucho menos capaces de reflejar la luz que el resto del anillo. Creemos que hasta el presente no ha habido ocasión de comprobar el hecho de la duplicidad del anillo mediante el experimento crucial; pero debe esperarse que cuando Saturno se halle en buena posición para ser observado, y atendida la perfección de los telescopios, será posible determinar el hecho con toda precisión. Por ahora se ha reconocido recientemente que el globo de Saturno se puede distinguir hasta cierto punto á través de la línea negra, lo cual vendría á demostrar que es en parte trasparente.

El anillo exterior se halla dividido también en dos partes por una línea más ligera aún que la otra, tanto que se requiere un buen telescopio y una noche muy serena, así como una favorable posición de Saturno, para que se la pueda ver. Fácil es distinguirla en las extremidades del anillo más lejano del planeta (el autor ha examinado el planeta con el refractor ecuatorial de 12 pulgadas del Observatorio de Dunsink), y esta línea externa es, indudablemente, tan ancha como la otra, aunque menos marcada, sin embargo de que parece más sombría. Seguramente no será una abertura en el anillo. Diríase más bien que éste se adelgaza en aquel punto por tener menos sustancia, aunque sin dividirse.

De esperar es que se obtendrán más amplios detalles cuando el anillo vuelva á estar en tal posición que su parte plana, si se presenta, pase entre la Tierra y el Sol. Semejantes oportunidades son raras, y hasta cuando se presentan puede suceder que el planeta no esté bien situado para observarle. Los astrónomos no tendrán una buena ocasión de hacerlo hasta el año 1907, porque entonces la luz del Sol iluminará un lado del anillo, mientras que el otro estará vuelto hacia la Tierra. Necesítanse poderosos telescopios para estudiar el planeta en tales circunstancias; pero, sin duda, se conseguirá estudiar mejor cuanto se refiere á la división del anillo, así como otras particularidades.

A veces se ha hecho mención de otras divisiones de este anillo, así interiores como exteriores; pero se puede asegurar que no son caracteres permanentes. Son tantos los hábiles observadores que nos han dado á conocer su existencia, que no podemos dudar que se hayan visto algunas veces.

Unos doscientos años después de la época en que Huyghens anunció la verdadera teoría de Saturno, hizose un descubrimiento tan curioso como importante. Hasta el año 1850 habíase supuesto siempre que los dos anillos separados por la bien conocida línea negra constituían todo el sistema que rodeaba á este cuerpo celeste; mas en dicho año el distinguido astrónomo de Cambridge (Mass.), profesor Bond, asombró al mundo astronómico anunciando el descubrimiento de un tercer anillo de Saturno; y, como sucede á menudo en tales casos, fué reconocido independientemente por otro astrónomo, que fué el inglés Dawes. Este tercer anillo se vió dentro del más interior de los ya observados, y extendíase como á media distancia hacia el cuerpo del planeta; de modo que debía tener considerable volumen, ocupando una posición bien marcada. ¿Cómo pudo, pues, pasar inadvertido, no sólo para los telescopios de Galileo y Huyghens, sino para los más perfeccionados instrumentos fabricados después? ¿Cómo pudo escapar este anillo á la penetración del eminente Herschel, que tanto se había fijado en Saturno y su sistema? Ese tercer anillo parece ser de distinto carácter que los otros dos, tanto más cuanto que éstos parecen en cierto modo sólidos. Probablemente no lo son, ni siquiera podrán considerarse como cuerpos líquidos; pero, si se comparan con el tercero, distingúense por cierto carácter de solidez. Pueden recibir la intensa sombra de Saturno y proyectar ellos mismos otra sobre el planeta, mientras que el tercer anillo parece más vaporoso. No tiene la brillantez de los otros, y su aspecto es algo semitransparente, por lo cual le han designado algunos astrónomos con el nombre de *anillo de gasa*, á la verdad nada impropio. Este carácter diáfano fué, sin duda, la causa de que pasara inadvertido para los primeros observadores de Saturno.

Se ha notado con frecuencia que, cuando se hace algún descubrimiento astronómico con un buen telescopio, es posible después reconocer el mismo objeto con instrumentos de mucha menor potencia, y es porque, cuando el observador sabe lo que ha de buscar, le es más fácil fijar su atención en lo que no se la llamaría de otro modo. Este principio se confirma por el hecho de que el tercer anillo de Saturno ha llegado á ser familiar á los que observan con buenos telescopios; pero podría dudarse de si antes de ahora hubiera sido dable verle con la misma facilidad, aun teniendo los mismos instrumentos perfeccionados. En efecto, apenas es posible dejar de suponer que ese *anillo de gasa* ha llegado á ser cada vez más visible con el trascurso del tiempo por alguna causa ú otra. La supuesta reciente aparición del tercer anillo parece la hipótesis más propia para demostrarnos que probablemente todos los del planeta sufren ahora una transformación gradual, aunque las observaciones de Hadley inducen á creer que este astrónomo vió tal vez el anillo de gasa en 1720, y Cassini antes de él.

Los diversos caracteres de los anillos se representan bien en el magnífico dibujo de Trouvelot. En él vemos el interior y el exterior con la línea divisoria. En el primero se notan ligeras señales de esta línea, y en el otro

distínguese el anillo semitransparente. La sombra oscura del planeta, proyectándose sobre el anillo, demuestra que éste, así como aquél, no brilla sino por efecto de la luz del Sol. El dibujo no presenta señales de otras líneas más finas, problemáticas en mayor ó menor grado; pero es una fiel imagen del planeta tal como se ve con un telescopio de los más perfeccionados.

Seguramente todo cuanto se haga para representarnos los anillos solamente conducirá á darnos á conocer los caracteres salientes de este maravilloso sistema, pues nos hallamos á tan inmensa distancia de Saturno que todos los objetos que no tengan dimensiones colosales permanecen invisibles. En realidad, sólo conocemos bien el contorno, no los detalles. Deseamos saber cuál es la textura de los anillos y de qué materiales se componen, averiguando, sobre todo, qué es ese anillo de gasa, tan desemejante á los demás cuerpos celestes que hemos observado. Es indudable que aun se podrá aprender mucho á pesar de las dos ventajosas circunstancias de nuestra posición. Es preciso obtener dibujos exactos de Saturno bajo todos los aspectos en que se presente. Se deben tomar continuamente medidas con toda la exactitud posible, y por ellas llegaremos á conocer las verdaderas dimensiones y formas de los anillos. En tan ímproba tarea deben ocuparse varias generaciones de astrónomos, y sin duda trascurrirán siglos antes de que se pueda averiguar con certeza si el complicado sistema de Saturno tiene en realidad condiciones permanentes, ó si sufre cambios de maravillosa rapidez.

Hemos visto que la ley de la gravedad universal predomina en todas las partes de nuestro sistema, y que esta fuerza explica muchos fenómenos que sin ella serían incomprensibles. Tenemos buenas razones para saber que en este maravilloso sistema saturniano rige también la ley de la gravedad: hay satélites que efectúan su revolución alrededor de aquel planeta lo mismo que un anillo. Estos satélites se mueven, como los otros, según las leyes de Kepler, y por aquí sabemos que Saturno es, en realidad, un cuerpo que atrae; de modo que toda teoría en cuanto á la naturaleza del anillo ha de considerarse sujeta á la condición de que será atraído por el gigantesco planeta situado en el interior.

Nada puede parecer más fácil que conciliar los fenómenos del anillo con la atracción del planeta, suponiendo que el primero reposa simétricamente alrededor del segundo, y que en su centro el planeta atrae al anillo igualmente por todos lados, no habiendo así tendencia á moverse en un sentido más bien que en otro, por lo cual permanece inmóvil; pero esta deducción no sería exacta. El anillo, compuesto de materiales casi infinitamente rígidos, podría, bajo tales circunstancias, permanecer un instante en reposo, mas no siempre, así como tampoco una aguja equilibrada verticalmente en dicho punto. En todo caso el equilibrio es inestable: la más ligera perturbación bastará para interrumpirle, y, cuando esto sucediese, el anillo caería inevitablemente sobre el planeta. Las causas perturbadoras

existen siempre, y, por lo tanto, el equilibrio inestable no puede explicar propiamente el fenómeno.

Aun prescindiendo de esta dificultad, preséntase otra que sería del todo insuperable si el anillo se compusiera de cualesquiera de los materiales que ya conocemos. Una breve comparación nos conducirá naturalmente á explicar los anillos de Saturno según la teoría generalmente admitida hoy.

Imagínese que alguien se encontrara en el planeta Saturno cerca de su ecuador: sobre su cabeza se extendería el anillo que parece sumergirse en el horizonte por el E. y el O., y su mitad visible se asemejaría entonces á un poderoso arco de unas 100,000 millas de luz. Cada partícula de este arco es atraída hacia Saturno por la gravedad, y si aquél sigue existiendo debe ser en virtud de las leyes mecánicas ordinarias que regulan esos arcos de puente de ferrocarril tan bien conocidos, y cuyo sostenimiento depende de la resistencia de las piedras. Cada una de estas últimas está sometida á una inmensa presión; pero el material es resistente y el arco permanece en pie. Cuanto mayor es la abertura del arco, más considerable es la presión en cada piedra: al fin se llega al caso en que la abertura corresponde á la mayor presión que los cimientos pueden resistir, y así se encuentra el límite de la abertura para construir un simple arco de mamposería. Aplíquense estos principios al arco gigantesco formado por el anillo de Saturno y se demostrará que la presión sobre los materiales que le componen sería tan enorme que aquéllos no podrían resistirla. Hasta el mejor templado acero ó el metal más duro sería estrujado como una hoja de papel, y la colosal estructura caería sobre la superficie del planeta. La ley de la gravedad nos obliga á buscar otro medio susceptible de modificar la intensidad de esa presión.

Tenemos otra teoría ya indicada por análogos fenómenos en todo nuestro sistema. Hemos supuesto que el anillo estaría en reposo; pero imagínemos ahora que le anima un movimiento de rotación en su plano alrededor de Saturno como centro. Así tendremos una fuerza desarrollada directamente en oposición á la gravedad de Saturno: esta es la llamada fuerza centrífuga. Y si ahora suponemos que el anillo gira, dicha fuerza obra en todos los puntos en dirección contraria á la que atrae, modificándose así la enorme presión sobre el anillo, con lo cual se vence una de las dificultades.

Solamente la teoría de la gravedad nos demuestra así que el anillo debe tener un movimiento de rotación; mas, por fortuna, no debemos concretarnos á meras suposiciones. Herschel demostró en 1789 que el anillo gira, pues en julio de dicho año el borde de aquél estaba vuelto directamente hacia la Tierra. El famoso astrónomo tenía á su disposición un gran telescopio refractor de 2 pies de longitud, y gracias á la perfección del instrumento pudo reconocer el borde del anillo como una línea luminosa interrumpida, distinguiendo en ella ciertas manchas que se movían poco á poco. También vió que avanzaban desde una extremidad de la línea á la otra, y aseguróse de que esto se debía realmente á la rotación del anillo.

Herschel determinó el período del movimiento, hallando que era de 10 horas, 32 minutos y 15 segundos.

Este es el período de rotación del anillo exterior, y también podemos atribuir al interior otro que mitigará en parte la presión que el arco debería resistir de otro modo. Sin embargo, no desaparece con esto completamente la dificultad. Supongamos que el anillo exterior efectúa su revolución con una velocidad apropiada para neutralizar la gravedad en su borde externo: entonces la fuerza centrífuga será menor en el interior del anillo, mientras que la gravedad aumentará, produciéndose así grandes presiones en las partes internas del anillo exterior. Para obviar la dificultad puede suponerse que las partes exteriores de cada anillo giran más lentamente que las interiores, para lo cual se necesitaría que fueran movibles relativamente entre sí, y esto nos conduciría á deducir que tal vez los anillos se componen, en realidad, de materia en estado fluido. Esto es plausible y explicaría superficialmente los fenómenos. Cada parte de cada anillo se podría mover así con una velocidad apropiada, y los anillos presentarían de este modo cierto número de corrientes circulares concéntricas con distintas velocidades. El matemático podría llevar más lejos su investigación estudiando cómo procedería ese fluido en tales circunstancias, pues sus símbolos le permitirán penetrar en problemas que no son para descritos en el lenguaje general.

Pero aun podemos hacer una ó dos suposiciones más. ¿Qué tendríamos si fuese realmente cierto que el anillo se compone de un increíble número de otros anillos concéntricos, animado cada cual precisamente de la velocidad que sería propia para producir una fuerza centrífuga adecuada para neutralizar la atracción? Sin duda que esto allanaría muchas dificultades; pero deberíamos entrar en varias consideraciones sobre la dinámica en lo que se refiere á la presencia de varias líneas oscuras en el planeta, y semejante sistema de anillos sólidos que efectúan su revolución de cierta manera determinada no es compatible tampoco con las leyes de la dinámica. En su consecuencia nos vemos reducidos á suponer una mayor división del anillo, aunque nos cueste renunciar del todo á la idea de que aquél es de un modo ú otro un cuerpo continuo: no queda más alternativa. Mírese como se quiera, nos vemos conducidos á deducir, en conclusión, que el anillo es realmente una enorme acumulación de cuerpos sumamente diminutos, cada uno de los cuales gira en una órbita propia alrededor del planeta, y es de hecho un satélite. Esos cuerpos son tan numerosos y hállanse tan unidos que nos parecen continuos, y tal vez no sean mayores que los glóbulos líquidos hallados en una nube común sobre la superficie de la Tierra, que á una corta distancia se tomarían por un cuerpo continuo.

Como el anillo de Saturno es único, no podemos encontrar en otra parte el ejemplo de una estructura tan curiosa, aunque el sistema solar nos presenta algunos fenómenos análogos. Tenemos uno, por ejemplo, si bien en muy grandiosa escala, en el que rodea el mismo Sol: nos referimos á la

infinidad de planetas menores confinados á cierta región del sistema. Si estos planetas aumentaran mucho en número, y las órbitas de los que son irregulares se aplanaran y ajustasen de algún modo, tendríamos un anillo que rodearía el Sol, presentando una disposición análoga á la que ahora se atribuye á Saturno. En otra escala verdaderamente majestuosa, el cielo nos presenta el imponente espectáculo de un inmenso número de cuerpos celestes que forman un anillo: nos referimos á la Vía Lactea, vasta zona de estrellas de que nos ocuparemos en otro capítulo. Nadie supone que los puntos individuales que forman esa constelación son objetos pequeños: más razonable sería suponer que son soles magníficos, los cuales rivalizan por su brillantez con el que nos ilumina, si no le aventajan.

Con gusto nos extenderíamos más en el estudio de este magnífico sistema para determinar si el anillo debe considerarse como un carácter permanente, como lo es el que atribuimos á la Luna ó á los satélites de Júpiter. Desde todos los puntos de vista la cuestión ofrece el mayor interés, y debe tener especial atractivo para todos los astrónomos. Predecir las diferentes fases del anillo, anunciar cuándo pueden observarse mejor, dar á conocer de antemano los movimientos de los satélites de Saturno y todos los demás fenómenos de un sistema más complicado aún que el de Júpiter, será resolver problemas de los más interesantes para los que se dedican al estudio de la Astronomía. Las escasas observaciones hechas hasta aquí, aunque nos den á conocer la belleza del sistema, no son suficientes para formar la base de esa gran teoría matemática de Saturno que alguna vez debe escribirse.

Y no ha de creerse que el planeta interesa sólo á los astrónomos; también debe excitar la curiosidad de los admiradores de la Naturaleza. El amante de lo pintoresco no podrá contemplar la imagen de Saturno en el telescopio sin experimentar una impresión profunda, y, si tiene ya conocimiento de la colosal magnitud de ese cuerpo celeste, deberá reconocer que no hay espectáculo más notable en todo el reino de la Naturaleza.

Hemos ponderado tanto las fascinaciones del anillo de Saturno que sólo podremos hacer una breve reseña del sistema de satélites que le acompañan. Ya nos hemos referido más de una vez á esos cuerpos celestes, y ahora nos falta solamente enumerar algunas de sus particularidades.

El 25 de marzo de 1855 fué cuando Huyghens descubrió el primer satélite de Saturno, y gracias á la sagacidad de ese astrónomo conocemos la verdadera forma del anillo. En la noche de dicho día Huyghens contemplaba el planeta con un telescopio construido por el mismo, cuando de pronto observó cerca de Saturno un punto semejante á una estrella. A la noche siguiente continuó su examen, y entonces pudo ver que aquel punto luminoso acompañaba al planeta en su marcha por el cielo. Esto demostraba que el diminuto objeto era en realidad un satélite de Saturno, y pronto se averiguó que efectuaba su revolución en un período de 15 días, 22 horas y 41 minutos. Tal fué el principio de esa numerosa serie de descubrimien-

tos de satélites que acompañan al planeta, y que se reconocieron uno por uno: hoy día se cuentan ya ocho. Los siguientes descubrimientos no fueron debidos á Huyghens, porque éste renunció á proseguir sus investigaciones, fundándose en algún principio de simetría, según el cual creyó que el número de satélites ó planetas secundarios debía ser igual al de los primarios. Estos últimos, incluso la Tierra, contaban seis: Huyghens consideró que éste sería el número total de satélites, y en su consecuencia creyó que no habría más. La Tierra tenía uno, Júpiter cuatro, y Saturno uno, con lo cual se completaba el sistema en concepto de aquel astrónomo.

Pero la Naturaleza no se atiene á proporciones aritméticas como las que Huyghens le atribuía, y si éste lo hubiera comprendido así, sin dejarse llevar de preocupaciones, tal vez se hubiera anticipado á los trabajos de Cassini, quien, al descubrir otros satélites de Saturno, demostró cuán absurda es la doctrina de la igualdad numérica tratándose de cuerpos celestes. La cifra de satélites aumentaba á medida que se hacían nuevos descubrimientos, y al fin se contaron más que planetas; pero tantos de estos últimos se reconocieron en los tiempos modernos, que su número excedió pronto al de los satélites.

En 1671, unos diez y seis años después de haberse descubierto el primer satélite de Saturno, Cassini señaló otro. Al año siguiente reconocióse un tercero, y en 1684 dos más, obteniéndose así un total de cinco satélites para este planeta.

El sistema no tenía ya rival en el cielo por su complicación: Saturno contaba cinco satélites y Júpiter sólo cuatro, y uno de los del primero de estos planetas, llamado *Titán*, era más grande que cualquiera de los de Júpiter. Los descubrimientos de Cassini se hicieron con telescopios de enormes dimensiones, pues había instrumentos hasta de 100 pies ó más de longitud; pero no se tardó en reconocer que eran excesivamente pesados y difíciles de manejar para las observaciones, y al fin se introdujo la gran reforma en la construcción de telescopios astronómicos. En manos de Herschel fué posible hacer aparatos reflectores bastante manejables, pero más potentes y perfeccionados que los colosales instrumentos de Cassini. Herschel se sirvió de uno de 40 pies de longitud para examinar el planeta Saturno en 28 de agosto de 1789. Estaba familiarizado ya con los trabajos de sus predecesores, y había visto á menudo el planeta con sus cinco lunas, aunque con telescopios inferiores, y en la noche citada las reconoció de nuevo, juntamente con un punto luminoso semejante á una estrella, situado tan cerca del plano del anillo que el astrónomo lo consideró como un sexto satélite. Era necesario asegurarse de ello, y Herschel concentró toda su atención para ver si se confirmaban sus sospechas. Poco tiempo le bastó para cerciorarse: á las dos horas y media el planeta había recorrido una distancia bastante apreciable, llevando tras sí, no sólo al quinto satélite, ya conocido, sino también al punto luminoso. Si éste hubiese sido una estrella hubiera quedado detrás; pero como no sucedió así, no se podía ya du-

dar. Hé aquí cómo, después de trascurrir un siglo, volvió á comenzar de nuevo el descubrimiento telescópico de los satélites de Saturno. El célebre astrónomo notó que el que acababa de descubrir hallábase mucho más próximo al planeta que ninguno de los otros, y teniendo en cuenta la ley general de que, cuanto más cercano está el satélite, más corto es el período de revolución, Herschel pudo reconocer que aquella pequeña luna completaba su movimiento en 1 día, 8 horas y 53 minutos. Sirviéndose del mismo telescopio, y con su reconocida habilidad, el astrónomo descubrió poco después otro punto luminoso sumamente diminuto, que también resultó ser un satélite, tan próximo al planeta, que completaba su revolución en el muy breve período de 22 horas y 37 minutos.

Trascurrió un largo intervalo, y durante quince años el sistema saturniano se consideró como compuesto de una serie de anillos y de siete satélites. El siguiente descubrimiento ofrece un singular interés histórico, y fué hecho simultáneamente por dos observadores, el profesor Bond, de Cambridge (Mass.), y Mr. Lassell, de Liverpool, pues el 19 de setiembre de 1848 ambos astrónomos reconocieron que un pequeño punto visto por ellos algunas noches antes era realmente un satélite, que se halla á una distancia considerable del planeta, pues necesita para cada revolución 21 días, 7 horas y 28 minutos.

Tal es ahora el sistema de Saturno, según le conocemos. Parece indudable que, si hay más satélites que los ocho descubiertos, deben ser mucho más diminutos que los conocidos. Hábiles observadores, provistos de telescopios más poderosos aún que el de Bond y el de Lassell, han examinado repetidas veces el planeta y obtenido muchos detalles sobre el sistema saturniano, pero sin ver nunca ningún otro satélite.

El profesor Kirkwood ha descubierto una ley que relaciona entre sí los movimientos de cuatro satélites de Saturno, y esta ley se cumple de tal modo que nos conduce á suponer que resulta de la mutua atracción de aquéllos. Ya hemos citado una ley análoga referente á tres de los satélites de Júpiter; pero como los de Saturno comprende cuatro, es bastante complicada, pues supone una teoría de Perturbaciones de mayor grado que el que los matemáticos acostumbran en sus investigaciones sobre nuestro sistema. Para expresar esta ley es preciso recurrir á los movimientos diarios de los satélites, que son respectivamente:

SATÉLITE	MOVIMIENTO DIARIO
I. . . . .	382°2
II. . . . .	262°74
III. . . . .	190°7
IV. . . . .	131°4

La ley dice que, si añadimos á cinco veces el movimiento del primer satélite el del tercero, y cuatro veces el del cuarto, el total será igual á diez veces el movimiento del segundo satélite.

El cálculo se expresaría así:

Cinco veces	I	igual á	1911°0		
	III	"	á 190°7		H... 26274
Cuatro veces	IV	"	á 525°6		10
			2627°3		26274 próximamente.

Nada puede ser más sencillo que la comprobación de esta ley; pero aún no se ha demostrado la razón física de su cumplimiento.

Saturno era el planeta más distante que los antiguos conocían. Gira en una órbita muy lejana de los otros planetas primitivos, y hasta el descubrimiento de Urano, hace un siglo, la órbita de Saturno podía considerarse muy bien como la frontera del sistema solar. Este planeta era, sin duda, digno de ocupar tan distinguida posición; pero ahora sabemos que su poderosa órbita no se extiende hasta dicha frontera. Un magnífico descubrimiento, precursor de otro más notable aún, ha extendido mucho sus límites, dándonos á conocer dos poderosos planetas que efectúan su revolución lejos del paso de Saturno. No tienen la belleza de éste, no les acompaña tan brillante séquito; pero excitan el interés más particularmente por otro estilo. El descubrimiento de cada uno de esos planetas es un acontecimiento en la historia de la Astronomía, y algunos piensan, tal vez no sin razón, que el de Neptuno, el más lejano de los dos, es el paso más grande que se ha dado en la ciencia desde los tiempos de Newton. De este asunto vamos á ocuparnos en los siguientes capítulos.



---

## CAPITULO XIII

### URANO

Contraste entre Urano y los otros grandes planetas.—Guillermo Herschel.—Su carrera.—Sus primeros estudios astronómicos.—Construcción de telescopios.—El telescopio reflector.—Construcción de espejos.—El profesor de música se hace astrónomo.—Investigación metódica.—El 13 de marzo de 1781.—Descubrimiento de Urano.—Delicadeza de las observaciones.—Significación de este descubrimiento.—La fama de Herschel.—Jorge III y el músico.—El astrónomo del rey en Windsor.—El planeta Urano.—Sus cuatro satélites.—Sus órbitas circulares.—Primeras observaciones de Urano.—Observaciones de Flamsteed.—Lemonnier vió el planeta.—Utilidad de sus mediciones.—El paso elíptico.

**A**L autor del presente libro le pareció siempre que la historia de Urano y las circunstancias que concurrieron á su descubrimiento constituyen uno de los más agradables é interesantes episodios en los anales de la ciencia. Aquí ocupamos una nueva posición en el estudio del sistema solar. Todos los demás grandes planetas eran bien conocidos de los antiguos, por erróneas que fuesen sus ideas acerca de ellos; pues, siendo cuerpos celestes muy notables, sus movimientos no podían menos de llamar la atención de aquellos que se dedicaban á observar las estrellas; pero ahora vamos á tratar de un gran planeta cuya existencia no conocieron los antiguos, y, por lo tanto, vamos á decir cómo se hizo el descubrimiento, dando á conocer después cuanto se sabe sobre la naturaleza física de Urano.

En páginas anteriores hemos debido citar el nombre de Herschel, y expresamente reservamos para este capítulo varios detalles referentes á la carrera de ese hombre extraordinario. La historia de Urano en sus primeros períodos es la de la vida de Herschel en su principio, y apenas sería posible separar la una de la otra.

El ilustre astrónomo nació en Hannóver en 1738. Su padre era un humilde profesor de música, padre de diez hijos, y debe notarse que todos ellos, heredando el talento y las inclinaciones del autor de sus días, llegaron á ser buenos músicos. Guillermo se distinguía particularmente: aprendió pronto cuanto su maestro pudo enseñarle en los ramos del saber, y á

la edad de catorce años tocaba ya muy bien el oboé y el violín. Contratado para la orquesta de la corte de Hannover, ingresó casi al mismo tiempo en el Cuerpo de Guardias; pero su posición debía cambiar muy pronto. Llegaron malos tiempos para la familia Herschel: los franceses invadieron el país, derrotando á sus defensores en la batalla de Hastenbeck. El joven Guillermo, obligado á huir, aunque no herido, quedó muy disgustado de la guerra, y de la noche á la mañana resolvió cambiar de profesión. Sus biógrafos no podrían menos de censurarle en esta parte de su historia, pues la verdad es que desertó para escapar á Inglaterra. Dícese que en la primera visita de Herschel al rey Jorge III, más de veinte años después, el monarca le otorgó su perdón por un escrito en debida forma.

Á la edad de diez y nueve años el joven músico empezó á ejercer su profesión en Inglaterra para ganar el sustento, y al principio hallóse en una situación muy precaria; pero con su industria y talento venció todas las dificultades. En 1766 Herschel ocupaba bastante buena posición en el mundo musical: era organista de la Capilla Octágona de Bath, y además tenía numerosos discípulos.

Á pesar de sus muchas ocupaciones, Herschel conservaba aún la insaciable sed de aprender que le había distinguido ya cuando era muchacho, y aprovechaba cuantos momentos le quedaban libres para consagrarse al estudio. En su deseo de perfeccionar sus conocimientos en las partes más abstrusas de la teoría musical, tuvo ocasión de aprender las matemáticas. Desde éstas á la óptica el paso era natural, y así es como llegó á conocer el telescopio, y después la Astronomía.

Herschel observó por primera vez las bellezas celestes con un instrumento muy defectuoso. Sin duda había contemplado antes la azulada bóveda en una noche serena, admirando los miles de estrellas que la adornan; pero cuando miró con el telescopio, por malo que fuera, el espectáculo le fascinó, produciendo en su espíritu el mayor entusiasmo. Tanto es así que desde aquel momento cambió todo el curso de su vida: muy pronto olvidó sus triunfos como profesor de música, sus oratorios y sus discípulos, y consagró el resto de sus días al absorbente estudio de una de las más nobles ciencias.

Herschel no podía contentarse con el imperfecto telescopio de que primeramente se había servido: resolvió obtener uno mejor, y al efecto dirigióse por escrito á un célebre óptico de Londres para comprarle uno; pero el precio fijado pareció al astrónomo más subido de lo que él pensaba. Sin ápurarse por esto, resolvió construir un telescopio con sus propias manos; y no fué poca fortuna, así para él como para la ciencia, que las circunstancias le impelieran á tomar semejante determinación. ¡Qué aventurada parecía la empresa á primera vista! ¿Cómo podía esperar el maestro de música, ocupado día y noche, llevar á cabo una tarea en que eran necesarios los más profundos conocimientos en óptica y mecánica? El entusiasmo y el genio, sin embargo, debían vencer todas las dificultades. Al salir de un

concierto ó de una clase, Herschel corría á su casa y entregábase al trabajo con tanto afán como el químico que se propone convertir el plomo en oro. Érale indispensable poseer un buen telescopio, uno de los mejores, y como el mejor éxito coronaba sus esfuerzos, al fin construyó el gran instrumento que el mundo no había visto hasta entonces. Este triunfo le reportó no poca fama después, no sólo como astrónomo, sino como constructor de telescopios; y cuando comenzaron á tener resonancia en el mundo los descubrimientos de Herschel y se averiguó que el músico de Bath los había hecho con sus propios instrumentos, todos los observadores quisieron tener uno construído por Herschel. Asegúrase que hizo más de ochenta grandes y otros muchos pequeños, siendo comprados algunos por príncipes y potentados extranjeros (1). No hemos oído decir nunca que ninguno de esos ilustres personajes llegara á ser un astrónomo célebre; pero como quiera que sea, pagaron regiamente á Herschel su trabajo, y, gracias á esto y á la venta de los grandes telescopios, logró realizar lo que bien podía considerarse como una fortuna para un hombre de ciencia.

Los instrumentos construídos por Herschel eran de la clase de los que ya hemos descrito en un capítulo anterior con el nombre de *telescopios reflectores*. Conociáanse ya hacía mucho tiempo; pero el ilustre astrónomo descubrió el medio para construirlos de gran tamaño, perfeccionando el espejo y los cristales. Sabido es que en instrumentos de esta especie el éxito depende por mucho de la precisión con que se hacen llegar los rayos de luz al punto deseado. Los métodos de Herschel no se conocen del todo, porque no los explicó nunca con tantos detalles como lo hicieron después lord Rosse y Lassell; pero sabido es que el eminente astrónomo confiaba más en su habilidad para manejar el instrumento que en el perfecto mecanismo de éste.

Vemos, por lo dicho, que Herschel no era solamente un músico laborioso de gran renombre así en Bath como en todo Inglaterra, sino también un notable constructor de telescopios, cosa ignorada de los más, que le conocían únicamente por sus triunfos musicales. En 1774 fué cuando el sabio astrónomo pudo contemplar, al fin, el cielo con un instrumento construído con sus propias manos. Era muy pequeño en comparación de los que más tarde usó; pero bastábale para el pronto. Después introdujo los perfeccionamientos necesarios, corrigiendo todos los defectos que encontraba. Por

---

(1) En la obra *Tres ciudades de Rusia*, por C. Piazzí Smyth, se encuentra el siguiente párrafo: "En el año 1796 Jorge III de Inglaterra quiso enviar como regalo á la emperatriz Catalina de Rusia, la *Estrella del Norte*, un telescopio reflector construído por Herschel. La soberana experimentó deseos de observar al punto con aquel instrumento la luna, los planetas y las estrellas, y esto le hizo pensar en el estado de la Astronomía en sus dominios. Entonces fué cuando Roumovsky comunicó á la emperatriz la idea de trasladar á Tsarkoe Selo su observatorio, exponiendo las ventajas que de ello resultarían. La *Semiramis del Norte* escuchó con atención todos los detalles y aprobó el proyecto; pero la muerte cortó el hilo de sus días pocas semanas después, impidiendo que aquél se realizase.

su entusiasmo obtuvo la sincera amistad de varios hombres tan amantes como él de la ciencia, y así conoció á sir William Watson, que más tarde fué su fiel compañero. Hé aquí cómo comenzó su amistad. Cierta noche Herschel estaba observando las montañas de la Luna, y, habiéndole parecido oportuno llevar su telescopio á la calle, hizolo así y lo situó frente á su casa, donde continuó su trabajo. Poco después pasó por allí sir William Watson, y, como le extrañara el inusitado espectáculo de un astrónomo en medio de la calle á las altas horas de la noche, detúvose ante Herschel, porque también era muy aficionado á la Astronomía, y rogóle que le permitiera también mirar la Luna. Su deseo quedó satisfecho al punto, y desde aquella noche los dos hombres comenzaron á profesarse una sincera amistad.

Al fin llegó el año 1781, que debía presenciar uno de los mayores triunfos del astrónomo. Herschel contaba ya seis ó siete años de práctica, y había terminado la construcción de un telescopio muy perfecto, aunque inferior en tamaño á los que después empleó. Habíase propuesto examinar sistemáticamente todas las estrellas que se distinguían por su brillantez, y seguramente no podía esperar el extraordinario éxito con que fué coronada su obra.

No sabemos cuántas estrellas examinó entonces Herschel; pero ello es que en la memorable noche del 13 de marzo de 1781, cuando más absorto estaba contemplando la constelación de Géminis, el astrónomo observó en el campo de la visión de su telescopio un punto luminoso que difería de las demás estrellas. Este punto tenía un disco muy pequeño, aunque fácil de reconocer. Debemos añadir, sin embargo, que esta facilidad era sólo para Herschel, quien tenía la vista muy perspicaz. Otros astrónomos habían observado con frecuencia aquel mismo punto, que fué medido por lo menos setenta veces antes que el músico de Bath le examinara; pero nadie reconoció, como aquél, que no era una estrella, según suponían todos. Este hecho bastó para que desde allí en adelante se reconociera hasta qué punto llegaba la delicada percepción del eminente astrónomo, que á primera vista sabía distinguir entre un punto luminoso y una estrella.

¿Qué podía ser el cuerpo celeste que Herschel acababa de descubrir? Para contestar á esta pregunta necesitábase ante todo observar aquél algún tiempo, y así lo hizo el astrónomo. Noche tras noche examinó aquel objeto desconocido, y no tardó en descubrir otra diferencia fundamental que le distinguía de las estrellas ordinarias. Estas últimas se caracterizan por su fijeza; pero aquel punto luminoso no era fijo, pues cada noche ocupaba distinta posición, no quedando ya la menor duda de que aquel cuerpo formaba parte del sistema solar, y de que se había hecho un interesante descubrimiento, cuyo verdadero mérito no conoció Herschel hasta algunos meses después. Según parece, no se le ocurrió al principio que había encontrado un nuevo y poderoso planeta que efectuaba su revolución fuera de Saturno, y creyó haber descubierto sólo un cometa, por más que difriese mucho de

los demás por el hecho de no tener cola alguna. En su consecuencia anunció que aquel cuerpo celeste no era otra cosa, y fué necesario que trascurriese algún tiempo antes de que se llegara á conocer su verdadero carácter. Se debía observarle muchas veces en su paso, tomar medidas de su posición en diferentes épocas, y dar los resultados al matemático para que hiciera sus cálculos. Así se hizo, procediendo en todas esas operaciones con la mayor atención, y el resultado fué proclamar, al fin, que aquel nuevo cuerpo celeste no era un cometa, y que, al igual que todos los planetas, hacía su revolución en una órbita casi circular alrededor del Sol, hallándose dicho paso á millones de millas fuera del de Saturno, tan largo tiempo considerado como límite del sistema solar.

Apenas era posible apreciar en lo que valfa el magnífico descubrimiento de Herschel. Los cinco planetas eran conocidos desde la más remota antigüedad, y todos podían observarse á la simple vista en el tiempo oportuno; pero el astrónomo demostró que muy lejos de los más exteriores había otro magnífico, mayor que Mercurio ó Marte, mucho más grande que Venus y la Tierra, y al que sólo Júpiter y Saturno aventajaban en volumen. Este soberbio planeta se hallaba á tal profundidad en el espacio que, á pesar de sus grandiosas proporciones, parecía sólo una diminuta estrella, únicamente visible en raras ocasiones sin ayuda del telescopio. Herschel demostró también que aquel planeta necesitaba un período de ochenta y siete años para recorrer su órbita, y que el diámetro de ésta era de 3,600.000,000 de millas.

Aunque la historia de la Astronomía nos recuerda brillantes descubrimientos, como los de Copérnico y Kepler, sin contar los admirables trabajos de Galileo y la grandiosa teoría de Newton, así como otros triunfos imperecederos de la inteligencia, el que acababa de hacer el organista de la Capilla Octágona tenía un carácter muy distinto. Hasta entonces no había ningún recuerdo histórico del descubrimiento de alguno de los cuerpos del sistema particular á que la Tierra pertenece: los antiguos planetas fueron, sin duda, descubiertos por alguien, así como el Sol y la Luna; pero sabemos muy poco sobre el particular, porque el hecho data de los tiempos prehistóricos; mientras que, gracias á Herschel, se podía reconocer y recordar por primera vez el descubrimiento de un planeta que, lo mismo que el nuestro, gira alrededor del Sol y puede estar habitado como ella. El hecho llamó la atención de todo el mundo científico. El maestro de música de Bath, no conocido hasta entonces como astrónomo, figuró muy pronto en primera línea entre los que tenían derecho á este título, y en todas partes se manifestaba el mayor interés al descubridor. El nombre de Herschel, poco familiar hasta entonces, apareció en todos los diarios y periódicos de alguna importancia, y las diversas sociedades científicas se apresuraron á enviar sus felicitaciones al ya célebre astrónomo.

Pronto llegó á oídos del rey Jorge III la noticia del último descubrimiento del músico de Hannóver, y al punto envió á buscarle, deseoso de

oir de sus labios todos los detalles. Herschel llevó consigo uno de los telescopios y una carta del sistema solar para dar á conocer con más exactitud la significación de su descubrimiento. El rey se interesó mucho en la explicación del astrónomo, manifestando á éste último las mayores deferencias. Después se colocaron los telescopios en Windsor, y, bajo la dirección de Herschel, el monarca pudo ver Saturno y otros notables cuerpos celestes, quedando sumamente complacido con ello, así como también las damas y caballeros de la corte, que á su vez quisieron ver todas las cosas que tanto agradaron al rey.

Esta visita á Windsor tuvo inmediatas consecuencias, no sólo para Herschel, sino también para la Astronomía, pues el rey recibió tan favorable impresión que propuso crear el nuevo cargo de astrónomo real en Windsor, confiriéndoselo á Herschel en prueba de su satisfacción. El monarca se comprometió á suministrar los medios para la compra y colocación de grandes telescopios, señalando á su protegido un sueldo de 200 libras (5,000 pesetas) al año. Herschel no dió á conocer estos detalles á nadie más que á su constante y generoso amigo sir W. Watson, quien exclamó, después de escucharle atentamente: "—Jamás monarca alguno compró tan barata semejante honra." Al aceptar aquel nuevo cargo, el astrónomo sacrificó completamente su carrera musical, renunciando para siempre á ella, aunque muy lucrativa entonces, pues sin duda comprendió que era su deber seguir en la vida el camino que su genio le indicaba. Ya no era un joven: había llegado á la edad madura, y deseaba aprovechar bien los años que le quedasen de vida. Renunció á todas sus distracciones, á sus discípulos, á sus conciertos, y aceptó con alegría el ofrecimiento del rey y establecióse permanentemente en Windsor.

Con Herschel se reunió su hermana Carolina, que fué también objeto de las atenciones del rey. No nos corresponde seguir aquí á estos dos hermanos en su carrera para dar á conocer sus muchos y útiles trabajos. No diremos cómo el gran astrónomo pasaba todas las noches, incluso las de invierno, desde que anochecía hasta la hora de salir el Sol, observando con su telescopio los misterios celestes; cómo narraba las maravillas de que era intérprete; cómo su hermana trabajaba sin descanso para hacer los cálculos necesarios, y cómo Herschel y Carolina se entregaron á su tarea cerca de cuarenta años. Hablar de todo esto nos conduciría demasiado lejos, y, por lo tanto, recomendaremos la lectura de las *Memorias de Carolina Herschel* á los que deseen conocer todos los detalles.

Poco tenemos que decir de Urano como planeta, pues se halla á tan inmensa distancia que, ni aun haciendo uso de los mejores telescopios modernos, se podría hacer una descripción exacta. Es posible ver, como Herschel vió, que tiene un disco susceptible de medición, y, averiguadas sus dimensiones, dedúcese que el disco del planeta es de 31,700 millas, ó cuatro veces el de la Tierra; de modo que el volumen de Urano debe ser unas sesenta y cuatro veces mayor que el de nuestro globo. Se ha reconocido

también que, así como los otros planetas gigantes, Urano parece componerse de materiales mucho más ligeros, en su conjunto, que los que conocemos aquí; de modo que, aun teniendo sesenta y cuatro veces el volumen de la Tierra, sólo pesa quince veces más. Si hemos de creer en lo que vemos en todo nuestro sistema, apenas podemos dudar que Urano gira sobre su eje. Los medios ordinarios que tenemos para demostrar esa rotación no se pueden aplicar casi tratándose de un cuerpo cuya superficie aparece tan pequeña que no es posible determinar con seguridad la existencia de señales bastante marcadas para observarlas durante la rotación, por lo cual es desconocido el período de ésta.

Sin embargo, en ese planeta hay un detalle que ofrece muchos puntos de interés para aquellos astrónomos que disponen de telescopios muy perfectos y de grandes dimensiones. Urano va acompañado de un sistema de satélites, algunos de los cuales son tan diminutos que se requiere la mayor atención para reconocerlos. Su descubrimiento es uno de los triunfos de Herschel, quien, á pesar de su penetración, no pudo librarse de incurrir en algunos errores respecto á esos puntos luminosos, pues parece que tomó algunos de ellos por satélites, siendo sólo estrellas que se hallaban á una inmensa distancia. Por último, se averiguó que había cuatro satélites bien marcados, y sus movimientos han sido objeto de una prolongada é interesante investigación telescópica. Se distinguen con los nombres de *Ariel*, *Umbriel*, *Titania* y *Oberón*. Dispuestos por el orden de su distancia desde el cuerpo central, Ariel, el más próximo, recorre su circuito en 2<sup>52</sup> días, y Oberón, el más distante, en 13<sup>46</sup>.

La ley de Kepler dice que el paso de un satélite alrededor de su primario, así como el de este último alrededor del Sol, debe ser una elipse, y esta elipse podrá tener del todo ó en parte la forma de un circuito, ó desviarse algo de ella. Las órbitas recorridas por los planetas son casi circulares; pero no encontramos ningún círculo exacto entre las órbitas planetarias, y, por lo que ahora sabemos, los satélites de Urano son los que más se aproximan á un perfecto movimiento circular, aunque no podemos decir que esos pasos sean también circulares en absoluto. Lo único que podemos asegurar es que nuestros telescopios no nos permiten ver una desviación susceptible de medirse. Debe notarse también, como una circunstancia sin ejemplar, que las órbitas de los satélites del planeta de que hablamos se hallan todas en el mismo plano; pero no sucede lo mismo con las de los planetas que giran alrededor del Sol, ni tampoco con las de cualquiera otro sistema de satélites alrededor de su primario. Lo más singular en el sistema de Urano es la posición que su plano ocupa, presentándonos una anomalía tan notable como lo es la de los anillos de Saturno. Ya hemos tenido ocasión de advertir que el plano en que la Tierra efectúa su revolución alrededor del Sol coincide casi con aquellos en que todos los demás grandes planetas giran. Lo mismo se observa en gran parte respecto á las órbitas de los planetas menores, aunque hay algunos casos en que el plano de una

de ellas se inclina formando un ángulo muy apreciable con el plano en que la Tierra se mueve. Aquel en que la Luna gira se aproxima también mucho á este sistema de planos planetarios, y lo mismo sucede con las órbitas de los satélites de Saturno y Júpiter, sin que sean una excepción de la regla los satélites de Marte, más recientemente descubiertos. Los de Urano hacen su revolución en un plano que dista mucho de coincidir con aquel á que se aproximan todas las demás órbitas, ó, en una palabra, los pasos de esos satélites están en un plano casi en ángulos rectos con la órbita del planeta. No estamos en disposición de explicar satisfactoriamente esta circunstancia, pero es evidente que en el génesis del sistema uraniano, debe haber alguna influencia de carácter excepcional.

Poco después del descubrimiento del planeta que nos ocupa, en 1781, hicieron suficientes observaciones para determinar la órbita que sigue, y, una vez conocida ésta, redujose á una cuestión de mero cálculo matemático averiguar dónde el planeta estaba situado antes y dónde lo estará en lo futuro. Después se quiso hacer también una curiosa investigación que tenía por objeto conocer qué observaciones del planeta se habrían hecho antes del descubrimiento de Herschel. Urano parece una estrella de sexta magnitud. Pocos astrónomos poseían telescopios tan perfectos como el de Herschel, y, por otra parte, la delicadeza de percepción de este hombre extraordinario es también cosa rara; de modo que, si se habían hecho observaciones, seguramente sólo hablarían de Urano como de una estrella visible, sin duda brillante, pero sin que llamara excepcionalmente la atención entre miles y miles de otras. Muchos de los primeros astrónomos se habían consagrado á la útil y laboriosa tarea de formar catálogos de estrellas, para lo cual fué necesario observarlas largo tiempo, señalar sus posiciones cuidadosamente y apreciar sus diversos grados de brillantez. De este modo se inventariaron centenares y millares de estrellas en diversas épocas desde el tiempo en que la Astronomía comenzó á ser exacta. Por esto se supuso que, como Urano se asemejaba tanto á una estrella y tenía suficiente brillantez para llamar la atención de los astrónomos que tuviesen regulares instrumentos, era muy posible que se hubiera observado ya, haciéndose mención de ella en los antiguos catálogos. Esta indicación era muy digna de tomarse en cuenta y no dejaría de tener gran importancia en relación con el inmortal descubrimiento de que vamos á tratar en el capítulo siguiente; pero ¿cómo se haría semejante examen de los antiguos catálogos? Urano se mueve de continuo, y, por lo tanto, los elementos de una investigación de esta especie debían ser muy inseguros. Aquí debemos citar un hecho memorable relacionado con este asunto.

El gran observatorio de Greenwich se fundó en 1675, y el primer astrónomo real fué el ilustre Flamsteed, que en 1676 comenzó la serie de observaciones continuada hasta el día con incalculables beneficios para la ciencia. En un principio los instrumentos eran muy defectuosos, pero al cabo de algunos años Flamsteed obtuvo los más convenientes para formar un

catálogo de estrellas, y entregóse á su tarea con extraordinario celo. En su *Historia Cælestis*, obra que entonces compuso, se encuentra la primera observación de Urano. En primer lugar era sabido que la órbita de éste, así como la de todos los demás grandes planetas, se inclinaba á la eclíptica en un ángulo muy reducido, y seguíase de aquí que en todo tiempo no se encontraría á Urano sino á lo largo de la eclíptica, siendo posible calcular dónde estaría el planeta cada año. Así se reconoció que en 1690 se hallaba situado en aquella parte de la eclíptica donde Flamsteed hacia sus observaciones en la misma época. Natural era buscar en éstas y ver si alguna de las llamadas estrellas podría ser Urano. Entonces fijóse la atención en una de que se hablaba en la *Historia Cælestis*, y cuya posición era idéntica á la que el planeta debió ocupar en la misma fecha en que se describió aquélla. ¿Podría ser Urano? Apelóse acto continuo al telescopio para observar el punto del cielo en que Flamsteed vió una estrella de sexta magnitud, pues, si era efectivamente tal, aun estaría visible; pero no se encontró tal cosa, y entonces apenas se pudo ya dudar que aquel cuerpo celeste era realmente Urano. Muy pronto se obtuvieron otros datos que lo confirmaban, y demostróse que el planeta había sido observado ya inconscientemente por Bradley y Tobías Mayor, así como también por Flamsteed, quien midió cuatro ó cinco veces el punto que ocupaba desde los años 1690 á 1715, sin pensar que tenía á la mano tan importante descubrimiento. Otro caso más notable aún ocurrió con Lemonier. Después de haberse reconocido á Urano, aquel astrónomo examinó de nuevo sus primeras observaciones, y pudo convencerse de que había visto el planeta nada menos que tres veces, considerándolo siempre como una estrella. ¡Qué cerca estuvo Lemonier del descubrimiento que le hubiera inmortalizado! Si este astrónomo hubiese examinado más cuidadosamente su trabajo, advirtiéndolo, como pudo hacerlo, que la estrella observada una noche no ocupaba el mismo lugar á la siguiente, y que, visible hoy, se hallaba más lejos al otro día, es indudable que Urano habría sido descubierto, correspondiendo así á Lemonier la gloria que Herschel alcanzó; pero ¿hubiera hecho el primero de estos astrónomos tan buen uso de su fama como el segundo? Difícil es contestar á esta pregunta; más los que aprecian á Herschel tal vez convendrán en que fué una fortuna para la ciencia que Lemonier no comparase sus observaciones (1).

Las últimas observaciones accidentales sobre Urano no deben considerarse solamente como asunto de interés histórico, sino que tienen la mayor importancia respecto la ciencia misma, como haremos comprender en pocas palabras. Debe recordarse que Urano necesita ochenta y cuatro años por lo menos para verificar su revolución alrededor del Sol, y ahora aña-

---

(1) Arago dice que los apuntes de Lemonier eran la imagen del caos. Bouvard mostró á M. Arago una de las observaciones de Urano escrita en una especie de bolsa de papel que en su tiempo sirvió para guardar polvos.

diremos que ha completado una entera desde que se descubrió, efectuando casi una tercera parte de otra hasta la época presente (1885). Para el cuidadoso estudio de la naturaleza de la órbita convenía tener tantas observaciones como fuera posible, y esto se consiguió en gran parte por la comprobación de las últimas que se hicieron. Un conocimiento aproximado de la órbita bastaba para determinar las posiciones del planeta con suficiente exactitud para identificarle cuando se hallara en los catálogos, y, gracias á las últimas observaciones, sabemos ahora con exactitud cuál es el lugar de Urano; de modo que, en vez de limitarse nuestro conocimiento del planeta á una revolución, podremos estudiarlo más de dos.

Ahora es posible averiguar en qué elipse se mueve el planeta, calculándola por las observaciones hechas desde que se descubrió, así como por las que se practicaron antes. Si las leyes de Kepler fuesen rigurosamente exactas, la elipse trazada en la presente revolución no debe diferir en nada de la anterior, ó de cualquiera de ellas. Podemos comprobar este punto comparando la elipse resultante de las antiguas observaciones con la que se deduce de las modernas. Estas elipses se asemejan mucho entre sí: son casi iguales; pero importa mucho observar que no son *exactamente* las mismas aunque se busque alguna compensación por las causas perturbadoras, según los principios explicados en el capítulo siguiente. La ley de Kepler no parece una verdad absoluta en el caso de Urano, y aquí tenemos un punto que merece la más cuidadosa atención. ¿No hemos sentido repetidas veces como un hecho la universalidad de las leyes de Kepler respecto á los movimientos planetarios? ¿Cómo es posible, pues, conciliar esta ley con las irregularidades que, según se ha demostrado evidentemente, existen en los movimientos de Urano?

Examinemos un poco más de cerca el asunto. Sabemos que las leyes de Kepler son una consecuencia de las de la gravedad; sabemos que, en virtud de la atracción del Sol, se mueve el planeta en un paso elíptico alrededor de aquél, y que la elipse se conservará sin la menor alteración si el astro luminoso y el planeta quedan libres en sus mutuas atracciones sin que ninguna otra fuerza los perturbe. La deducción es evidente: Urano no se mueve sólo á consecuencia de la atracción del Sol y la de los planetas de nuestro sistema interior á Urano, y, de consiguiente, debe haber alguna otra influencia que obre sobre el planeta, además de la que ya conocemos. Al desarrollo de este punto consagraremos el capítulo siguiente.



---

## CAPITULO XIV

### NEPTUNO

Descubrimiento de Neptuno.—Un triunfo matemático.—La atracción del Sol.—Todos los cuerpos se atraen.—Júpiter y Saturno.—Las perturbaciones planetarias.—Tres cuerpos.—La Naturaleza ha simplificado el problema.—Solución aproximada.—Causas del éxito.—El problema planteado para la Tierra.—Descubrimientos de Lagrange.—La excentricidad.—Necesidad de que todos los planetas giren en la misma dirección.—Los descubrimientos de Lagrange no tienen el interés dramático de los más recientes.—Las irregularidades de Urano.—El planeta desconocido debe girar fuera del paso de Urano.—Datos para el problema.—Le Verrier y Adams estudian la cuestión.—Adams indica el lugar del planeta.—Le Verrier resuelve también el problema.—Descubrimiento telescópico del planeta.—Rivalidades.—Primera observación de Neptuno.—Dificultad en el estudio telescópico en este planeta.—Detalles numéricos sobre la órbita.—¿Hay algún otro planeta exterior?—Contraste entre Mercurio y Neptuno.

VAMOS á tratar ahora de un descubrimiento tan extraordinario que inútilmente registraríamos todos los anales de la ciencia para encontrar otro paralelo al mismo. La existencia de Neptuno no; fué revelada primeramente por una profunda investigación matemática más bien que por el estudio telescópico, y debemos dar á conocer esta notable época en la historia de la ciencia con todos los detalles que su importancia merece, para lo cual nos será preciso penetrar en una difícil aunque agradable región de la astronomía, á la cual nos hemos referido poco hasta ahora.

La fuerza suprema y predominante en el sistema solar es la atracción del Sol: cada planeta del sistema está sometido á ella, y, en virtud de la misma, el cuerpo celeste está obligado á girar alrededor del Sol en una órbita elíptica. La eficiencia del astro como agente de atracción es directamente proporcional á su volumen, y como este último es más de mil veces mayor que el de Júpiter, que á su vez excede al de todos los demás planetas juntos, la atracción del Sol es por necesidad la principal fuerza determinante de todos los movimientos en nuestro sistema. La ley de la gravedad, sin embargo, no dice meramente que el Sol atrae á cada planeta: la gravedad es una doctrina mucho más general, pues nos dice que cada

cuerpo en el universo atrae á cualquiera otro. En cumplimiento de esta ley, cada planeta debe ser atraído, no solamente por el Sol, sino por innumerables cuerpos, y el movimiento del planeta ha de ser la resultante de todas las atracciones unidas. En cuanto á la influencia de las estrellas sobre nuestro sistema solar, la dejaremos desde luego á un lado como inapreciable. Las estrellas son, sin duda, cuerpos enormes, que tal vez en muchos casos compiten con nuestro Sol en magnitud; pero la ley de la gravedad nos dice que la intensidad de la atracción decrece con el cuadrado de la distancia. Las más de las estrellas se hallan un millón de veces más lejos que el Sol, y de consiguiente su atracción es tan débil que no se ha de tener para nada en cuenta en este punto. Las únicas atracciones que debemos considerar son aquellas que nacen de la acción de un cuerpo del sistema sobre otro. Tomemos, por ejemplo, los dos planetas mayores, Júpiter y Saturno: cada uno de ellos se mueve principalmente por efecto de la atracción del Sol, pero se atraen también entre sí, y la consecuencia es que cada uno se desvía ligeramente de la posición que de otro modo ocuparía. En lenguaje astronómico diríamos que el paso de Júpiter se perturba por la atracción de Saturno, así como el paso de este planeta se perturba por la atracción de aquél.

Durante muchos años estas irregularidades de los movimientos planetarios presentaron problemas que los astrónomos no pudieron resolver; mas poco á poco vencióse una dificultad tras otra, y, aunque todavía quedan algunas pequeñas irregularidades sin explicar del todo, todos los más importantes fenómenos de esta especie se comprenden ahora muy bien. El asunto es uno de los más espinosos que el astrónomo encuentra en toda su ciencia, pues debe calcular qué efecto puede producir un planeta sobre otro, y semejantes cálculos presentan formidables dificultades, las cuales no se pueden vencer sin un consumado conocimiento de los más elevados ramos de las matemáticas. Veamos lo que el problema es en realidad.

Cuando dos cuerpos se mueven en virtud de su mutua atracción, cada uno de ellos gira en un paso que se puede calcular con exactitud, porque cada uno es, de hecho, una elipse, y el foco de cada elipse se halla en el centro de gravedad de los dos cuerpos. Tratándose del Sol y de un planeta en los que el volumen del primero prepondera tan enormemente sobre el del segundo, el centro de gravedad de ambos está muy cerca del centro del Sol. El actual paso del Sol es en tal caso muy pequeño en comparación con el del planeta, y, de consiguiente, se justifica en la mayoría de casos que consideremos al Sol como en reposo y el planeta girando á su alrededor. Todos estos puntos admiten un cálculo perfecto, de carácter algo elemental; pero añadamos un tercer cuerpo al sistema, cuerpo que atrae á los otros y es atraído por ellos. En virtud de esto, ese tercer cuerpo sufre una desviación, y, de consiguiente, se modifica su influencia sobre los demás, mientras que éstos obran sobre él, debiéndose á tales acciones y reacciones una interminable complicación en el sistema. Tal es el famoso *proble-*

*ma de los tres cuerpos* que ocupó la atención de casi todos los grandes matemáticos desde la época de Newton. Enunciado matemáticamente, sin circunstancia alguna que allane las dificultades, el problema parece insoluble. Nadie ha podido construir todavía un análisis cuyas dificultades compitan con las que se ofrecen para explicar las mutuas atracciones de tres cuerpos que se mueven libremente en el espacio. Si el número de éstos fuese mayor aún, como sucede ahora en el sistema solar, el problema parece imposible de resolver.

La Naturaleza, sin embargo, nos ha tratado en este punto con bondad. Ciertamente nos ha propuesto un problema que en rigor no se puede resolver, pero ha introducido en él, tocante al sistema solar, algunos caracteres especiales que disminuyen materialmente la dificultad. No podemos hallar una solución tan exacta como una suma aritmética, pero es posible hacer algo equivalente, resolver el problema por aproximación, hallando con corta diferencia el efecto que un planeta produce sobre otro, y por varias operaciones sucesivas reducir los límites de lo inseguro en cuanto es posible. De este modo tendremos una solución práctica del problema adecuada para todos los fines científicos. No importa mucho no conocer el lugar del planeta con absoluta exactitud matemática. Si podemos calcular el punto con el grado de aproximación suficiente para que ningún telescopio descubra la diferencia, se habrán alcanzado todos los fines prácticos. Si nos es dado saltar en este caso por encima de las dificultades que no se pueden vencer, débese esto al carácter excepcional del problema de los tres cuerpos, según se presenta en el sistema solar. Por lo pronto el Sol tiene un volumen tan preeminente que se puede prescindir de muchos puntos que serían indispensables si cualquiera de los planetas competiese por sus dimensiones con el astro-rey. La circunstancia de ser muy ligeras las inclinaciones de las órbitas planetarias entre sí es también muy favorable para el mejor éxito de la investigación, y el hecho de ser aquéllas casi circulares facilita mucho el trabajo.

Entre los sistemas siderales encuéntrase no pocos casos en que el problema de los tres cuerpos, y hasta de más, se debería resolver sin ninguna de las circunstancias favorables que concurren en nuestro sistema. En tales grupos, como el de la maravillosa estrella cuádruple de Orión, tenemos cuatro ó más cuerpos comparables por su volumen que deben efectuar movimientos sumamente complicados, tanto que no es probable que nuestros más profundos matemáticos consigan explicarlos satisfactoriamente en mucho tiempo. Semejante investigación se debe basar en las más exactas observaciones, y las que se han hecho hasta ahora de estos distantes sistemas están lejos de ser suficientes.

La revolución elíptica de un planeta alrededor del Sol, según las leyes de Kepler, aseguraría para aquél condiciones permanentes de clima. Si nuestra Tierra, por ejemplo, estuviese guiada únicamente por dichas leyes, en cada día del año volvería con exactitud á ocupar la misma posición que

tuvo el mismo día del año anterior. De siglo en siglo la cantidad de calorico recibida por nuestra Tierra se mantendría constante si el mismo Sol lo fuera, y de este modo nuestro clima se conservaría indefinidamente; pero, desde que se ha reconocido la existencia de las perturbaciones planetarias, se han suscitado cuestiones de la mayor trascendencia respecto á los efectos posibles que semejantes perturbaciones pueden producir. Ahora vemos que el paso de la Tierra no es exactamente fijo; que le perturban, no sólo Venus y Marte, sino también todos los planetas de nuestro sistema. Ciertamente que en un año, y hasta en un siglo, la desviación producida no es muy considerable. La elipse que representa muy próximamente el paso de nuestra Tierra este año no difiere mucho de la que representó dicho movimiento hace un siglo; pero aquí se suscita la importante cuestión de averiguar si la ligera diferencia que existe podrá aumentar de continuo, alcanzando al fin tales proporciones que modifique profundamente nuestros climas y hasta haga imposible la vida. Si se considerase el asunto sin madura reflexión y un atento cálculo, nada parecería tan probable como este fin para nuestro sistema. La Tierra gira en un paso situado dentro de la órbita en que se mueve el poderoso Júpiter, nuestro globo se halla constantemente atraído por aquél, y, cuando le alcance y se sitúe entre Júpiter y el Sol, los dos planetas estarán comparativamente juntos y la Tierra será impelida hacia afuera por Júpiter. Debe suponerse que la tendencia de este planeta será separar gradualmente á nuestro globo del Sol, haciéndole describir un paso que será cada vez más ancho; pero no es posible resolver una cuestión dinámica sólo con un razonamiento superficial de esta especie. El problema se ha de someter al tribunal del análisis matemático, donde se toman en cuenta hasta los más insignificantes elementos, y semejante investigación no es nada sencilla. En ella ejerció su talento, sin embargo, el célebre Lagrange, cuyos descubrimientos en la teoría de las perturbaciones planetarias representan una de las más notables contribuciones con que se enriqueció la astronomía teórica.

No podemos hacer aquí ni aun la más ligera reseña del razonamiento de que Lagrange se sirvió. Sólo se puede expresar por las fórmulas del matemático, y de este modo apenas sería inteligible sin haber hecho, durante algunos años, un estudio de la ciencia; mas, por fortuna, los resultados á que Lagrange llegó, ampliamente confirmados después por otros matemáticos, se pueden describir sencillamente.

Supongamos el caso del Sol y dos planetas que circulan á su alrededor: estos dos planetas se perturban mutuamente, pero en un grado ligero en comparación con el efecto del Sol sobre cada uno de ellos. Lagrange demostró que, aunque la elipse en que cada planeta se mueve se alteraba gradualmente en cierto modo por la atracción del otro, había un punto de la elipse que la perturbación no podía alterar de continuo: el eje más largo del elipse (es decir, una línea equivalente al doble de la distancia media del planeta desde el Sol) debe conservarse sin cambio alguno. Esto es, en rea-

lidad, un descubrimiento tan importante como inesperado, porque desvanece desde luego todo temor en cuanto al efecto que las perturbaciones pueden producir en la estabilidad del sistema, demostrándonos particularmente, en cuanto concierne á nuestro globo, que, á pesar de las atracciones de Marte y de Venus, de Júpiter y Saturno, nuestra Tierra seguirá siempre girando á la misma distancia media del Sol, conservándose para siempre sin cambio alguno la alternativa de las estaciones y la duración del año.

Lagrange fué más lejos aún en sus investigaciones, y vió que la distancia media no se alteraba; pero faltábale averiguar si la excentricidad de la elipse descrita por la Tierra no se afectaría por las perturbaciones. Este punto no era menos importante que el otro. Podía ser que, conservando la Tierra la misma distancia media desde el Sol, la máxima y la mínima cambiaran considerablemente; era posible que nuestro globo pasara muy cerca del Sol en una parte de su órbita y se retirara después á larga distancia por la parte opuesta, cuestión de la mayor importancia para el bienestar de esta Tierra y sus habitantes: demasiado calor en una mitad del año no compensaría que hubiera demasiado poco en la otra mitad. Lagrange sometió también esta cuestión á su poderoso análisis: de nuevo venció las dificultades matemáticas y otra vez pudo asegurar la permanencia de nuestro sistema. Cierto que esta vez no le fué posible decir que la excentricidad de cada paso se conservará constante, pero sí demostró suficientemente que la excentricidad de cada órbita será siempre pequeña. Vemos que la figura de la órbita de la Tierra se dilata poco á poco y se contrae. La longitud de la elipse es invariable; pero algunas veces aproximase más al círculo y otras es más elíptica. Estos cambios están comprendidos en estrechos límites; de modo que, aunque pueden corresponder probablemente con cambios climáticos variados, la seguridad del sistema no corre peligro, como sucedería si la excentricidad pudiera aumentar indefinidamente. Lagrange aplicó otra vez los recursos de sus cálculos para estudiar el efecto que las perturbaciones pueden producir en la inclinación del paso en que el planeta se mueve, y el resultado fué semejante al obtenido respecto á las excentricidades. Si comenzamos por suponer que las mutuas inclinaciones de los planetas son ligeras, entonces las fórmulas de Lagrange nos dicen que deben serlo siempre así, lo cual nos conduce á deducir, en resumen, que las perturbaciones planetarias no amenazan la estabilidad del sistema solar.

Por grande que fuera el éxito del eminente matemático francés que hizo tan magníficos descubrimientos, estaba reservado á nuestro siglo presenciar el último triunfo del admirable análisis aplicado á la ley de la gravedad. La obra de Lagrange carece del interés dramático que tuvo el descubrimiento hecho por Le Verrier y Adams, el cual dió mayor extensión al sistema solar cuando fué conocido el planeta Neptuno, que efectuaba su revolución fuera de Urano.

Ya nos hemos referido á las dificultades con que se tropezó cuando se

quiso conciliar las primeras observaciones de Urano con las que se hicieron desde su descubrimiento; y hemos dado á conocer que el paso en que Urano verifica su revolución sufrió un cambio, por lo cual ese planeta quedó sometido á la acción de otras varias fuerzas además de la atracción del Sol.

Ahora se trata de conocer cuál es la naturaleza de esas fuerzas perturbadoras. Por lo que ya sabemos en cuanto á la mutua influencia de un planeta sobre otro, parece natural averiguar si las irregularidades de Urano no pueden atribuirse á la atracción de otros planetas. Urano gira fuera de Saturno, y la masa de éste es mucho más considerable que la del otro. ¿No podría ser que Saturno atrajese á Urano á un lado, produciéndose así los cambios? El matemático debe resolver esta cuestión: ha de calcular lo que Saturno puede hacer, y hallará, sin duda, que este planeta es susceptible de producir alguna desviación de Urano. De una manera análoga Júpiter influye en Urano con su poderosa masa, produciendo alguna perturbación que el matemático aprecia. Cuando se hubieron hecho los cálculos para todos los planetas conocidos, aplicáronse á Urano, y podíamos esperar que explicarían las irregularidades observadas en su paso; pero no sucedió así, y, después de calcular cuidadosamente todos los orígenes conocidos de perturbación, vióse que en el planeta influía alguna otra, de lo cual se dedujo que algún cuerpo desconocido afectaba á Urano. ¿Cuál podría ser y dónde estaría situado? Solamente era posible guiarse por analogía en este punto, pues no conocemos más causa de perturbación en el movimiento de un planeta que la atracción de otro. ¿Sucedería esto con Urano? Muchos astrónomos lo indicaron así, y era fácil ver algunas de las condiciones que el cuerpo desconocido llenaría. En primer lugar su órbita debía de estar fuera de la de Urano, lo cual parecía obvio, porque el planeta desconocido debía ser grande y sólido para producir las perturbaciones observadas. En su consecuencia, si estaba más cerca que Urano, debía ser un objeto visible y haberse descubierto hacia mucho tiempo. Otros razonamientos demostraban, sin duda, que si las perturbaciones de Urano eran debidas á la atracción de un planeta, éste haría su revolución fuera de Urano. Las analogías generales del sistema planetario podían invocarse generalmente en apoyo de la hipótesis de que el paso del planeta desconocido, aunque en realidad elíptico, no difería mucho de un círculo, y de que el plano en que se movía debía coincidir también casi con el plano de la órbita de la Tierra.

Los únicos datos hábiles para el descubrimiento del planeta eran las desviaciones ya medidas de Urano en diversos puntos de su órbita. Tendríamos que adoptar, digámoslo así, la del planeta desconocido, así como la masa de este mismo, de tal manera que se explicaran las diversas perturbaciones. Supongamos, por ejemplo, cierta distancia para el cuerpo hipotético, procurando asignar una órbita y una masa al planeta, y, dada esa distancia, se explicarán las perturbaciones, aunque tal vez es aquélla dema-

siado considerable; pero si hacemos la prueba con otra más corta, se podrán representar las observaciones con mucha exactitud. Una tercera tentativa nos dará un resultado más próximo, y así determinaremos al fin la distancia del planeta desconocido. De un modo semejante se hallará el peso del cuerpo suponiendo éste y calculando todas las perturbaciones. Si los resultados parecen mayores que los obtenidos por la observación, el peso supuesto es demasiado considerable. Entonces se calcula uno menor, procediéndose así sucesivamente hasta obtener para el planeta una masa que armonice con los resultados de la medición actual. Los otros elementos de la órbita desconocida, la excentricidad y posición de un eje, se deben determinar de semejante manera. Al fin pareció que las perturbaciones de Urano se podían explicar completamente si el planeta desconocido tuviera cierta masa definida y se moviera en una órbita que tuviese cierta posición determinada, mientras que también era evidente que ninguna otra órbita ó masa muy distinta explicaría los efectos observados.

Estos cálculos notables se emprendieron por dos astrónomos independientemente, uno en Inglaterra y otro en Francia, y los dos consiguieron resolver el gran problema. Sin embargo, en los cuarenta y pico de años transcurridos desde que se hicieron esas memorables investigaciones, la cuestión se ha determinado poco á poco. Los honores del magnífico triunfo alcanzado en la ciencia se deben repartir por igual entre el distinguido profesor J. C. Adams, de Cambridge, y el difunto U. J. J. Le Verrier, director del Observatorio de París.

En 1843, poco tiempo después de haberse graduado en Cambridge, Mr. Adams fijó su atención en las perturbaciones de Urano, y, guiándose solamente por ellas, comenzó su investigación para el planeta desconocido. Larga y penosa fué la tarea, porque exigía enormes cálculos aritméticos y matemáticos; pero Mr. Adams venció poco á poco las dificultades, y á medida que su estudio se desarrollaba vió cómo las perturbaciones de Urano se podían explicar bien por la existencia de un planeta exterior. Al fin averiguó cuál era su órbita, y hasta pudo indicar la parte del cielo en que el planeta estaba. En octubre de 1845, Mr. Adams fué á ver al astrónomo real de Greenwich, sir Jorge Airy, y puso en sus manos los cálculos que indicaban con maravillosa exactitud el lugar del planeta desconocido. Resulta de aquí que, siete meses antes de haber resuelto nadie este problema, Mr. Adams halló la solución, señalando, para el punto en que se hallaba, una posición que difería más de un grado del punto en que se sabe que ahora existe. Para completar el descubrimiento, concediendo la gloria al profesor Adams, no se necesitaba más que practicar una detenida investigación telescópica del cielo cerca del sitio indicado.

Esta investigación no se emprendió desde luego, porque hace cuarenta años los observatorios carecían de las cartas astronómicas perfeccionadas que ahora poseen, y, á falta de ellas, el trabajo debía ser muy laborioso. Habíase indicado que se podría reconocer el planeta porque tiene un disco

visible; pero debe recordarse que el mismo Urano, mucho más próximo á nosotros, tenía un disco tan pequeño que se observó cerca de veinte veces sin fijarse en el particular, aunque no escapó á la mirada de águila de Herschel. No quedaba, pues, sino un método para encontrar á Neptuno, y era trazar una carta astronómica del cielo correspondiente á la inmediación indicada, comparándola después, noche tras noche, con las estrellas del cielo. Antes de comenzar tan arduo trabajo, el astrónomo real sometió las investigaciones de Mr. Adams á una prueba crucial preliminar, y preguntó á aquél si su teoría daría igualmente clara explicación de las notables variaciones en la distancia de Urano. Es indudable que esta teoría habría explicado satisfactoriamente las variaciones; pero Mr. Adams, por desgracia, no juzgó el asunto de suficiente importancia para contestar desde luego, y pasaron nueve meses antes de que comunicara los resultados al astrónomo real. Hasta entonces no se había publicado ninguna nota sobre las investigaciones de Mr. Adams, y sus trabajos no eran apenas conocidos más que del astrónomo real y del profesor Challis, de Cambridge.

Entretanto, el gran matemático y astrónomo francés Le Verrier, invitado por Arago, fijaba especialmente su atención en el problema de las perturbaciones de Urano, y con el más detenido examen investigó todos los orígenes posibles de perturbación. Las influencias de los planetas más antiguos se apreciaron en los más mínimos detalles, pero solamente para confirmar la deducción ya obtenida antes en cuanto á su defectuosidad para explicar las perturbaciones. Le Verrier, sin conocer los trabajos de Adams, comenzó á estudiar el planeta desconocido con auxilio de la investigación matemática. El 1.º de junio de 1846 publicáronse los resultados de Le Verrier, y entonces el astrónomo real vió que coincidían prácticamente con los de Adams, puesto que los puntos designados para el planeta desconocido por los dos astrónomos no distaban más de un grado. Esto era un hecho notable: tenía un planeta desconocido para la vista humana, y cuya existencia demostrábase, sin embargo, por el análisis matemático, con tal seguridad que dos astrónomos, sin conocer sus respectivos trabajos, señalaban el lugar del planeta casi en el mismo punto del cielo. Esto bastó para que los astrónomos prácticos comenzaran desde luego sus investigaciones. En junio de 1846 el astrónomo real anunciaba á los visitantes del Observatorio de Greenwich la última coincidencia de los cálculos de Le Verrier y de Adams, encareciendo la importancia de proceder desde luego á la confirmación de lo que se había comenzado.

El profesor Challis, que tenía á su disposición el gran telescopio ecuatorial de Northumberland, en Cambridge, fué invitado á emprender la obra, y en 29 de julio de 1846 comenzó sus trabajos.

El plan adoptado por el profesor Challis fué muy árido. Aceptó en teoría el lugar del planeta, según lo indicado por Mr. Adams, y, dejando un lugar para las inseguridades del cálculo, marcó cierta región del cielo, cerca de la eclíptica, en la que podía suponerse que se hallaba el planeta

desconocido. Después resolvió observar todas las estrellas en esta región y medir sus distancias relativas. Hecho este trabajo, era necesario repetirlo por segunda vez. No puede dudarse que este procedimiento determinaría el planeta, si tenía bastante brillo para entrar en los límites de la magnitud estelar que el profesor Challis adoptó. El trabajo se organizó tan bien que debía conducir al descubrimiento del planeta, y, en efecto, después resultó que el profesor Challis le había observado más de una vez; y la subsiguiente comparación de sus lugares debía conducir infaliblemente á su descubrimiento.

Entretanto, Le Verrier profundizaba sus investigaciones en el mismo sentido, y llegó no solamente á demostrar el lugar del planeta, sino á predecir el punto que debería aparecer actualmente. En su concepto era bastante grande (aunque objeto telescópico) para que se le distinguiera de las estrellas por tener un disco. Estas predicciones confirmaron la creencia de que se estaba en vísperas de hacer otro gran descubrimiento en el sistema solar, y hé aquí por qué sir John Herschel, hablando ante la Asociación Británica, el 10 de setiembre de 1846, dijo estas palabras: "El año pasado nos dió el nuevo planeta Astrea: el actual probablemente nos proporcionará otro. Le vemos como Colón vió la América desde las playas de España, y sus movimientos se han sentido temblorosos en la extensa línea de nuestros análisis, con una seguridad apenas inferior á la demostración ocular."

La época del descubrimiento se acercaba. El 18 de setiembre de 1846 Le Verrier escribió á los astrónomos del Observatorio de Berlín describiendo con precisión el lugar del planeta, según lo indicaban sus cálculos, y pidiéndoles su auxilio para hacer el descubrimiento telescópico; petición semejante á la que se dirigió al profesor Challis. Así en Berlín como en Cambridge, el estudio telescópico se debía hacer en la misma región del cielo. Los astrónomos de Berlín, por fortuna, poseían para su investigación un auxilio de gran valor, con el que no contaba el profesor Challis, que era una buena carta astronómica de las estrellas, en la cual estaba indicado el sitio de todas hasta la décima magnitud. Este trabajo era muy útil, y apenas sus autores hubieran podido presumir el brillante descubrimiento que resultaría de sus trabajos hercúleos. Antes de que los trabajos de Le Verrier llegaran á Berlín, la carta astronómica que representaba esa parte de los cielos estaba ya grabada é impresa, aunque sin publicar.

La epístola de Le Verrier fué recibida por los astrónomos de Berlín el 23 de setiembre. En la noche de aquel día el cielo estaba sereno, y fácil es comprender con qué ansiedad el doctor Galle corrió á su telescopio para examinar el cielo. El instrumento se situó según las instrucciones de Le Verrier, y en el campo de la visión aparecieron, como en todos los demás puntos, una infinidad de estrellas, una de las cuales era realmente el planeta. La nueva carta astronómica fué examinada al instante, hicieronse las comparaciones, y, según se adelantaba en este trabajo, reconocíanse en la

carta todos los cuerpos celestes que se iban viendo. Al fin se fijó la atención en una estrella de octava magnitud, muy brillante: buscóse en el mapa y no se la encontró. Aquel cuerpo celeste no podía haber estado en el sitio que entonces ocupaba cuando se formó la carta, y, por lo tanto, debía ser una estrella errante (un planeta); pero era necesario proceder muy cuidadosamente en la observación, pues podía ser muy bien que aquel punto luminoso fuese en realidad una estrella que por un descuido del astrónomo pasaría, sin duda, inadvertida. De todos modos necesitábase demostrar que aquel cuerpo se movía con la especial velocidad y siguiendo la dirección que Le Verrier indicaba en su teoría. Un solo día bastó para desvanecer todas las dudas. A la noche siguiente se volvió á observar aquel punto luminoso: notóse que se había movido, y cuando se midió la distancia recorrida reconocióse que convenía perfectamente con la anunciada de antemano por Le Verrier. Como para que no faltara ningún dato en la confirmación, averiguóse que el diámetro del planeta, según las mediciones tomadas con los micrómetros en Berlín, coincidían prácticamente con las que Le Verrier anticipó.

Muy pronto circuló la noticia de aquel notable descubrimiento, y al punto el nombre de Le Verrier alcanzó una fama á que apenas ha llegado la de astrónomo alguno de ninguna época ó país. Podemos representarnos al ilustre Le Verrier sumido en profunda meditación durante muchos meses. Sus ojos están fijos, no en las estrellas, sino en sus cálculos y fórmulas; no tiene entre sus manos el telescopio, sino que el solo instrumento que emplea es la inteligencia humana. Con paciente labor, guiado por los más consumados artificios matemáticos, hace maniobrar sus columnas de cifras, obteniendo una solución tras otra. Cada una de ellas arroja alguna luz para guiarle en sus futuros trabajos, y al fin comienza á ver la armonía en los resultados que antes parecían tan discordes. Poco á poco las nubes se desvanecen, y el astrónomo ve casi con tanta seguridad como si mirara al cielo el planeta que brilla en las profundidades del espacio. Entonces da por terminada su tarea, invoca el auxilio del astrónomo práctico, y encuéntrase el planeta en el punto indicado. Los anales de la ciencia no registran un triunfo semejante que fuera más relevante prueba de la ley de la gravedad universal. La teoría de Newton había alcanzado mucho antes una posición inexpugnable, pero como para iluminarla con más radiante luz vino á realizarse el descubrimiento de Neptuno.

Por un momento pareció que toda la gloria del descubrimiento debía corresponder á Francia, y, á la verdad, no hubiera sido injusto que la nación que dió nacimiento á Lagrange y á Laplace, y que desarrolló la gran teoría de Newton con sus inmortales trabajos, obtuviese tal distinción. Hasta la época del descubrimiento telescópico del planeta por el doctor Galle, en Berlín, no se habían dado á conocer públicamente los trabajos de Challis para buscarle, ni tampoco las investigaciones teóricas de Adams en que se basaban aquéllas; pero de pronto, cuando más entusiasmados es-

taban los franceses con el descubrimiento de Le Verrier, apareció en el *The Athenæum* del 3 de octubre de 1846 una carta de Herschel en que se hacía mención de las investigaciones de Adams, proclamándose para éste una participación en la gloria del descubrimiento. Por los informes tomados se reconoció que la pretensión era justa, y así se reconoció por todos los autores independientes; pero los franceses, celosos de la fama de su compatriota, no se avenían á reconocerlo así, por lo cual se suscitó una controversia algo enojosa. Los astrónomos ingleses, sin embargo, demostraron punto por punto la justicia de su reclamación. Ciertamente que Adams no había publicado sus investigaciones; pero, en cambio, las comunicó al astrónomo real, jefe oficial de la astronomía en su país, y también eran conocidas de Challis, sin contar que, una vez examinado el trabajo de Adams, hallóse que convenía perfectamente con los resultados de Le Verrier. Por otra parte, los trabajos de Challis en el procedimiento de investigación habían sido coronados del mejor éxito. Cuando se hubo realizado el descubrimiento telescópico del planeta, dicho astrónomo examinó, naturalmente, sus observaciones, para ver si le había observado ó no. En 1.º de octubre oyó hablar del triunfo del doctor Galle, y por entonces Challis había acumulado observaciones de 3,150 estrellas, entre las cuales notó muy pronto que un cuerpo celeste visto el 12 de agosto no estaba en el mismo lugar en 30 de julio. Aquel era verdaderamente el planeta, y su descubrimiento se hubiera asegurado si Challis hubiese tenido tiempo de comparar sus mediciones.

Aunque no hubiera hecho más que poner á discusión sus observaciones desde luego, es indudable que toda la gloria del descubrimiento habría recaído en Adams. Debe advertirse, por otra parte, que Challis estuvo á punto de ser el primero en hallar el planeta Neptuno. Le Verrier le había indicado la probabilidad de reconocerle por su disco. Challis lo intentó, y antes de tener noticia del descubrimiento hecho en Berlín había examinado la región señalada por aquel astrónomo. Unas 300 estrellas pasaron por el campo de la visión, y entre ellas eligió una á causa de su disco, resultando después que era el planeta.

Aunque Le Verrier y Adams no hubieran practicado sus investigaciones, el planeta Neptuno habría sido descubierto, pero de un modo que todo amante de la ciencia deploraría ahora. Lo que debía temerse por la tardanza era que Neptuno se hallara por una simple observación, como sucedió con Urano y con los numerosos planetas menores que ahora se descubren. En este caso la ciencia de la astronomía teórica, la gran ciencia formada por Newton y erigida en un maravilloso y admirable sistema por Lagrange y Laplace, se hubiera visto privada de su más brillante ilustración.

Á decir verdad, se estuvo muy á punto de descubrir antes dicho planeta de la manera más sencilla, según se reconoció cuando hubo suficiente número de observaciones para calcular cuál era el paso de Neptuno. En-

tonces fué posible seguir sus movimientos entre las estrellas y emprender una investigación revisando los catálogos de los primeros astrónomos para ver si recordaban algo de este planeta. Pronto se halló que el lugar ocupado por Neptuno en 10 de mayo de 1795 debía haber coincidido con el de una estrella de que se hizo mención en dicho día en la *Historia Celeste* de Lalande; y además se notó, observando el cielo, que no había estrella alguna en el sitio indicado por aquel astrónomo; de modo que no quedó ya la menor duda de que aquel cuerpo celeste era Neptuno. Cuando se revisaron las primeras observaciones de Lalande, reconocióse que el astrónomo había observado la misma estrella (pues la consideraba como tal) el 8 y 10 de mayo, en cada uno de cuyos días determinó la posición, anotándola debidamente; pero cuando, al comenzar la preparación de su catálogo, vió que la posición había cambiado en ambas ocasiones, prescindió del primer resultado, apuntando solamente el último. Si Lalande hubiera tenido fe en sus propias observaciones, habría alcanzado mucha gloria con el descubrimiento; pero con esto habría perdido la ciencia, porque este descubrimiento habría sido entonces una recompensa accidental para un astrónomo laborioso, en vez de ser uno de los más gloriosos triunfos en la más elevada región del razonamiento humano.

Al terminar este breve bosquejo sobre el descubrimiento de Neptuno, hemos dado á conocer casi todo lo que del planeta podría decirse. Si no vemos en Urano ninguno de esos caracteres que tanto atractivo comunican á Marte ó Venus, á Júpiter ó Saturno, ¿qué puede esperarse ver en Neptuno, que se halla una mitad más lejos que el primero de dichos planetas? Con un buen telescopio podemos ver que tiene un disco, mas no es posible identificar sus detalles, y, por lo tanto, no podemos averiguar el período en que Neptuno gira alrededor de su eje, aunque por la analogía general del sistema debemos estar seguros que efectúa realmente un movimiento de rotación. Más afortunadas han sido las tentativas para medir el diámetro del planeta, que resulta ser de cerca 35,000 millas, ó más de cuatro veces el de la Tierra.

También parece que, á igual que Júpiter y Saturno, ese planeta debe estar rodeado de una inmensa atmósfera nebulosa, pues la densidad del globo sólo es de una quinta parte la de la Tierra. Este grandioso orbe hace su revolución alrededor del Sol á una distancia media que no baja de 2,780 millones de millas, es decir, unas treinta veces tan considerable como la que hay de la Tierra al Sol. Aunque el movimiento se verifica á razón de más de 3 millas por segundo, el viaje es tan largo que Neptuno necesita cerca de 150 años para completar una revolución. Desde que se descubrió, hace 40 años, el cometa ha recorrido sólo una cuarta parte de su órbita, poco más ó menos; de modo que, desde el tiempo en que Lalande le vió casualmente por primera vez, en 1795, sólo ha tenido tiempo para franquear la mitad de su inmenso circuito.

Neptuno, así como la Tierra, va seguido de un solo satélite, descubierto

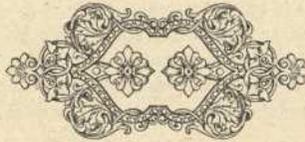
por Mr. Lassell con su colosal telescopio reflector poco después de haberse conocido el planeta mismo. Este satélite completa su revolución alrededor de Neptuno en un período poco menos de seis días, y observando sus movimientos podemos determinar el volumen de Neptuno, que parece ser la veinte milésima parte del peso del Sol.

Con Neptuno damos por terminada nuestra revista del sistema planetario, sin que nos sea posible decir si otros planetas giran alrededor del Sol en órbitas situadas más allá de la de aquél. Lo único que podemos asegurar es que no se han visto, y que no hay tampoco motivos para creer en su existencia. La evidencia negativa en esta cuestión es muy poderosa. Por una detenida y minuciosa comparación del cielo con buenas cartas astronómicas se llega á descubrir los planetas, y esta especie de investigación sería eficaz para buscar uno transneptuniano, siendo el mejor método el que ahora se practica de continuo en muchos observatorios. Los trabajos de aquellos que se esfuerzan para descubrir pequeños planetas han sido muy bien recompensados hasta aquí por los centenares de los mismos que nos han dado á conocer; y es muy digno de advertirse que todos ellos se limitan á una región del sistema solar, siendo casi una verdad que todas sus órbitas se hallan comprendidas entre las de Júpiter y Marte. En uno ó dos casos alcanzan más allá del paso de Júpiter por una parte, ó dentro del de Marte por otra; pero nunca se encontró un planeta que llegue hasta Saturno, y, por supuesto, menos hasta Neptuno. Algunas veces se ha conjeturado que el tiempo puede revelarnos perturbaciones en la órbita de este último planeta que acaso conduzcan al descubrimiento de otro cuerpo celeste más lejano, tan distante de nosotros ahora que la investigación telescópica no basta para distinguirle. Sin embargo, han de pasar algunas generaciones antes de que sea posible que semejante investigación sea factible en la astronomía práctica. Neptuno no ha recorrido todavía más que una cuarta parte de su paso desde que Le Verrier y Adams le descubrieron, y, aunque sus movimientos se han observado, sin duda, detenidamente desde entonces, debe completar toda una revolución antes de que sea posible deducir de las perturbaciones de su paso cuál es la órbita de un planeta desconocido más remoto aún.

Hemos visto, pues, que el sistema planetario está limitado en una parte por Mercurio y en otra por Neptuno. El descubrimiento del primero de estos planetas fué un verdadero triunfo en los tiempos prehistóricos, y el primitivo astrónomo á quien se debió, desprovisto de aparatos que le auxiliasen, y sin poseer tampoco nuestros conocimientos teóricos, es, en verdad, digno de admiración. Por otra parte, el descubrimiento del límite exterior del sistema planetario es muy digno de tenerse en cuenta por el hecho de haberse fundado en profundos conocimientos teóricos, comprobados después por una consumada práctica telescópica.

Aunque terminamos nuestra reseña sobre los planetas y sus satélites, deben agregarse dos capítulos más para completar lo que debemos decir

respecto al sistema solar. Otra notable clase de cuerpos celestes que no son planetas ni satélites giran alrededor del Sol según las leyes de la gravedad universal. Nos referimos á los cometas, y á sus más humildes asociadas las estrellas fugaces, cuyo estudio ofrece muchos puntos de interés, y será asunto de los siguientes capítulos.



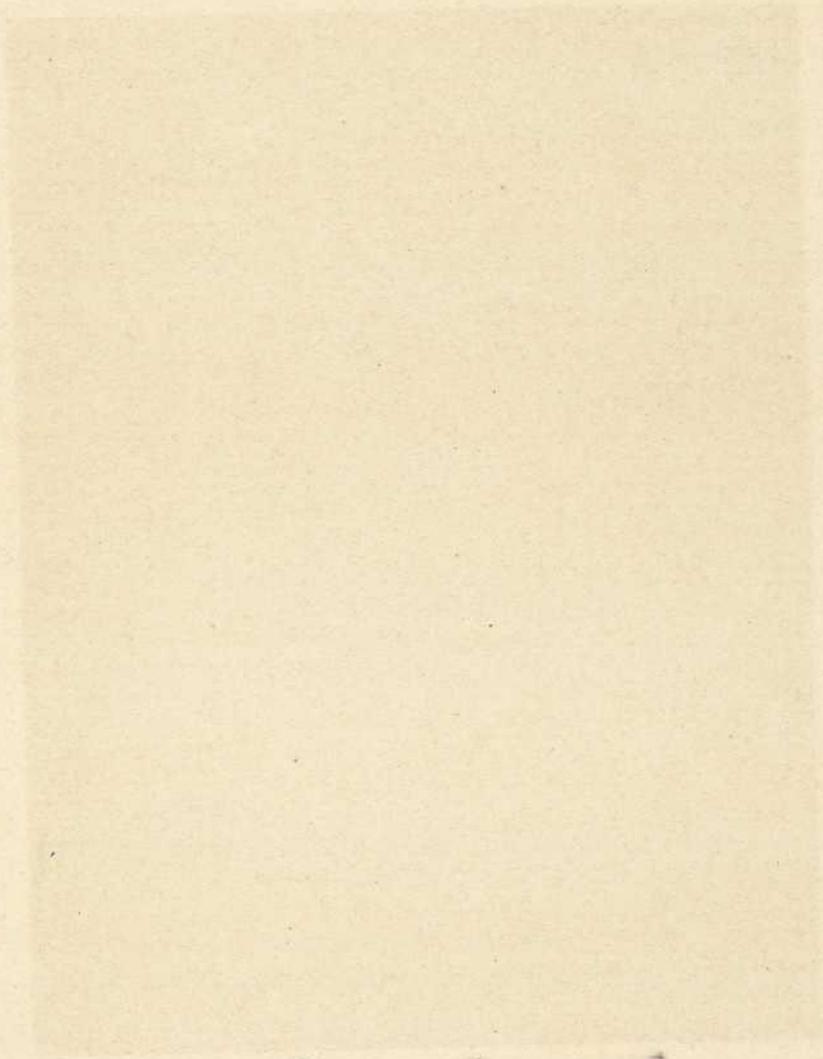
---

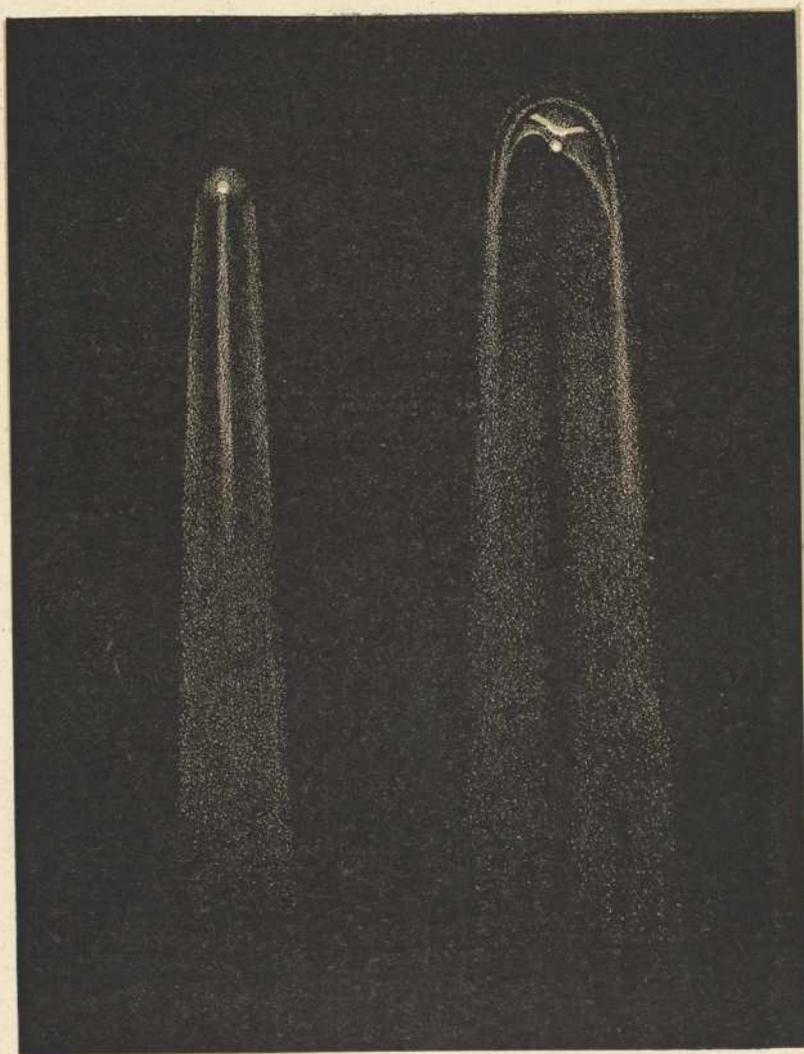
## CAPITULO XV

### COMETAS

Los cometas contrastan con los planetas en la naturaleza así como en sus [movimientos.—El cometa de Coggia.—Retornos periódicos.—La ley de la gravedad.—Órbitas parabólicas y elípticas.—Las más de las órbitas cometarias son sensiblemente parabólicas.—Trabajos de Halley.—El cometa de 1682.—Memorable predicción de Halley.—Retardo producido por la perturbación.—Apariciones sucesivas del cometa de Halley.—El cometa de Encke.—Efecto de las perturbaciones.—Órbita del cometa de Encke.—Atracción de Mercurio y de Júpiter.—Cómo se prueba la identidad del cometa.—Cómo se pesa Mercurio.—La distancia de la Tierra al Sol hallada por el cometa de Encke.—Los cometas de 1843 y 1858.—Paso del cometa entre la Tierra y las estrellas.—Los cometas no se componen de un gas de densidad apreciable.—¿Se puede pesar un cometa?—La ligera masa del cometa reconocida por la teoría de las perturbaciones.—La cola del cometa.—Sus cambios.—Opiniones sobre su naturaleza.—Existencia de carbono en los cometas.

EN nuestros capítulos anteriores hemos tratado del Sol y de la Luna, de los planetas y sus satélites, y visto en todos los casos que los cuerpos celestes de que hablábamos eran casi de forma globular, y muchos de ellos indudablemente sólidos. Todos tienen una densidad que, si bien á veces resulta ser mucho menor que la de la Tierra, es considerablemente mayor que la de las sustancias puramente gaseosas. Ahora vamos á tratar de unos cuerpos celestes cuyo carácter es completamente distinto, que no son globulares ni tienen considerable masa. Los cometas se caracterizan por su forma sumamente irregular, y en gran parte se componen de materiales sumamente tenues, siendo sus dimensiones tan pequeñas que los medios de que disponemos no bastan para medirlos. No solamente difieren por su constitución de los planetas ó de otros cuerpos más sólidos de nuestro sistema, sino que sus movimientos son del todo diferentes. Los cometas aparecen algunas veces de la manera más imprevista, aumentan de volumen rápidamente de un modo que en las edades supersticiosas infundía terror, después desaparecen, y con frecuencia no se les vuelve á ver más. Sin duda que la ciencia moderna ha hecho desaparecer una gran parte del misterio que en otra época rodeaba á los cometas: sus movimientos se ex-





EL COMETA DE COGGIA

(SEGÚN SE VIÓ EL 10 DE JUNIO Y EL 9 DE JULIO, 1874)

plican ahora en gran parte, y se ha llegado á conocer algo sobre su naturaleza, aunque debemos confesar que lo que ahora se sabe es poca cosa en proporción de lo que se ignora.

Describamos ante todo, en términos generales, la naturaleza de un cometa, según resulta del reconocimiento de su estructura con el auxilio de un poderoso telescopio refractor. En nuestra lámina XII representáanse dos curiosos dibujos sacados en el Colegio Harvard del gran cometa de 1874, distinguido con el nombre de su descubridor Coggia.

Vese en ella la cabeza del cometa, cuyo punto más brillante es el núcleo, pareciendo ser el material de éste mucho más denso que en las otras partes. Rodeando el núcleo se verán varias capas de material luminoso, de las cuales parece partir la cola. Este cuerpo puede considerarse como el de un cometa típico; pero las variedades de estructura que todos presentan son casi innumerables. En algunos casos falta el núcleo, y en otros la cola, que seguramente es un carácter muy marcado en esos grandes cometas que llaman la atención universal, mientras que en los pequeños esa falta es casi un carácter ordinario. No solamente presentan los cometas una gran variedad por su aspecto, sino que este último sufre notables cambios. Algunas veces el volumen del cuerpo aumenta de una manera enorme, y en otros casos disminuye, y, en cuanto á la cola, puede ser muy grande ó no existir. Inútil es casi esforzarse para efectuar mediciones, porque pueden dejar de ser verdad durante las pocas horas en que el cometa se observa durante la noche; y no es tampoco posible identificarle por una descripción de su aspecto, aunque esto es á menudo muy importante. Es preciso buscar medios para establecer la identidad, prescindiendo de lo que el cometa puede parecer.

Bien sabido es que varios planetas vuelven periódicamente. Después de permanecer invisible cierto número de años, uno de ellos se deja ver otra vez, y retirarse por el espacio para efectuar otra revolución. La cuestión está en asegurarse de cuándo volverá á aparecer el cometa. ¿Cómo lo alcanzaremos? Los caracteres de ese cuerpo, por lo que hace á su volumen ó brillantez, la presencia ó falta de una cola, grande ó pequeña, son distintivos inseguros y de poco valor para semejante objeto; mas, por fortuna, la ley del movimiento elíptico establecido por Kepler ha indicado los medios para determinar la identidad de un cometa con absoluta precisión.

Después de haber hecho Newton su inmortal descubrimiento de la ley de la gravedad, consiguiendo demostrar que las órbitas elípticas de los planetas alrededor del Sol eran consecuencia necesaria de esa ley, trató naturalmente de aplicar el mismo principio para explicar los movimientos de los cometas. También en esto obtuvo el mejor éxito, é ilustró su teoría completamente explicando los movimientos del memorable cometa que apareció en 1680.

Hay cierta magnífica curva conocida de los geómetras con el nombre de *parábola*: es una línea curva que se dobla en dirección y alrededor de

un punto llamado *foco*. No vamos á explicar aquí las propiedades geométricas de esta curva, y bastará que indiquemos la relación que existe entre la parábola y la elipse. En otro capítulo hemos dado á conocer la construcción de esta última, demostrando que tiene dos focos. Supongamos ahora que se traza una serie de elipses, cada una de las cuales tiene mayor distancia entre sus focos que la precedente, imagínese que se continúa la operación, hasta que, al fin, la distancia entre aquéllos llega á ser enorme-

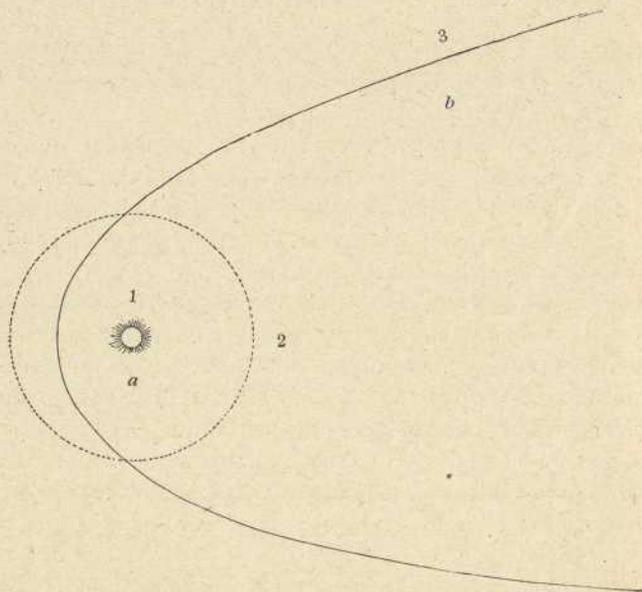


FIG. 54.—ÓRBITA PARABÓLICA DE UN COMETA

1. El Sol.—2. Paso de la Tierra.—3. El paso de un cometa.—a. Foco.—b. Parábola

mente considerable en comparación con la que hay en cada foco hasta la curva. Entonces cada extremidad de esa larga elipse tendrá prácticamente la misma forma de una parábola. La que representamos en la fig. 54 puede considerarse como una extremidad de la elipse, hallándose la otra á una inmensa distancia indefinida. Newton demostró que la ley de la gravedad permitiría á un cuerpo moverse en una elipse de este tipo extremado, no menos que en una de las más ordinarias proporciones. Si un objeto gira en una órbita parabólica cerca del Sol en el foco, se moverá gradualmente en dirección al astro luminoso, dará la vuelta por este último y comenzará á retirarse; pero hay una considerable diferencia entre el movimiento parabólico y el elíptico. En este último caso, el cuerpo, después de retirarse á cierta distancia, girará alrededor del Sol, avanzando después hacia él, ó, en una palabra, volverá periódicamente, según se observó en el caso de

los planetas. Sin embargo, tratándose de la verdadera parábola, el cuerpo no puede volver nunca: para esto debería doblar el foco distante, y, como éste se halla á una distancia infinita, no podría ser alcanzado sino en el trascurso de un tiempo indefinido.

El carácter distintivo del movimiento en una parábola se enuncia así: el cuerpo avanza gradualmente hacia el foco desde una remotísima distancia por un lado, y, después de pasar alrededor de aquél, se retira á un punto inmensamente lejano por el otro, para no volver nunca. Cuando Newton echó de ver que el movimiento parabólico de este tipo podía resultar de la ley de la gravedad, ocurrióle que por medio de él podrían explicarse los movimientos de los cometas. Sabía que éstos debían ser atraídos por el Sol, y vió que la marcha acostumbrada de estos cuerpos consistía en aparecer de improviso, girar alrededor del Sol y retirarse para no volver jamás. ¿Sería esto realmente un caso de movimiento parabólico? Por fortuna no faltaban materiales para resolver tan importante teoría. Newton se aprovechó de las mediciones tomadas del gran cometa de 1680 y de las observaciones de otros varios cuerpos de la misma especie coleccionados por celosos astrónomos, y con su acostumbrada perspicacia ideó un método por el cual podía determinarse, gracias á los hechos conocidos, el paso que el cometa recorre. De este modo calculó el paso, reconociendo que era una parábola, y que la velocidad del cometa estaba regida por la ley según la cual se describen áreas iguales en tiempos iguales. Aquí se tenía otra demostración convincente de la ley de la gravedad universal, y en este caso podía decirse realmente que la teoría se adelantaba al cálculo. Kepler había determinado sólo por la observación que los pasos de los planetas eran elipses, y Newton demostró cómo éstas eran consecuencia de la ley de la gravedad; pero en el caso de los cometas, sus órbitas erráticas no se habían reducido nunca á la forma geométrica, hasta que la teoría de Newton le hizo ver que eran parabólicas, y entonces apeló á las observaciones para comprobar lo que su teoría anticipaba.

La gran mayoría de los cometas muévense en órbitas que no se pueden diferenciar marcadamente de las parábolas, y cualquiera de esos cuerpos cuya órbita tenga este carácter sólo puede verse en una sola aparición. La teoría de la gravedad, aunque admite la parábola como órbita posible para un cometa, no indica que esta órbita ha de ser necesariamente una parábola. Ya hemos dicho que esta curva representa únicamente un tipo muy extremado de la elipse; pero aun estaría de acuerdo con la ley de la gravedad que el cometa recorriese un paso de cualquiera forma elíptica con tal que el Sol se hallase en el foco y el cometa obedeciera á la ley en virtud de la cual se describen áreas iguales en tiempos iguales. Si un cometa se mueve en un paso elíptico, volverá al Sol de nuevo, y en su consecuencia tendremos visitas periódicas regulares del mismo cuerpo.

Ancho campo se presentaba para las investigaciones del astrónomo, y no pasó largo tiempo sin que se descubriera un cometa periódico que debía

confirmar admirablemente la verdad de las leyes de la gravedad universal. El nombre del célebre astrónomo Halley se conoce principalmente por su asociación con el gran cometa, cuya periodicidad fué el primero en descubrir por sus cálculos.

Cuando Halley supo por la teoría newtoniana la posibilidad de que un cometa se moviese en una órbita elíptica, emprendió una laboriosa investigación. Reunió todas las notas de los cometas observados, y así pudo averiguar con bastante exactitud cuál era el carácter de los pasos recorridos por unosveinticuatro grandes cometas. Uno de ellos es el de 1682, que el mismo Halley observó, y cuya marcha pudo comprobar según los principios de Newton. Después entregóse á sus investigaciones para ver si dicho cometa podría haber visitado nuestro sistema en cualquiera época anterior. Para esto consultó todas las observaciones pasadas, y vino en conocimiento de que su cometa se asemejaba mucho, así por el aspecto como por la órbita, al que vió en 1607, y á otro observado en 1531. ¿Serían estos tres cuerpos idénticos? Para creerlo así bastaba suponer que el cometa, en vez de girar en una órbita parabólica, lo hacía realmente en una elipse sumamente prolongada, y que completaba cada revolución en un período de 75 á 76 años. Halley sometió esta hipótesis á todas las comprobaciones posibles, y vió que las órbitas determinadas en cada una de las tres ocasiones eran tan semejantes que no podía suponerse de ningún modo que la coincidencia fuera accidental. En su consecuencia resolvió someter esta teoría á la prueba suprema para los astrónomos: aventuróse á hacer una predicción, cuyo cumplimiento debía ser reconocido por la posteridad. Si el período del cometa era de 75 á 76 años, como las primeras observaciones parecían demostrarlo, aquel cuerpo, según Halley, debía volver en 1757 ó 1758, suponiendo que nada entorpecía su marcha. Había, sin embargo, ciertas causas de perturbación que el astrónomo indicó, y que serían bastante poderosas para retardar materialmente el tiempo de la vuelta. En su largo viaje, el cometa avanza por la inmediación del paso de Júpiter y sufre considerables perturbaciones por ese poderoso planeta. Halley dedujo que el regreso podría retrasarse hasta fines de 1758 ó principios de 1759.

Esta predicción fué un acontecimiento memorable en la historia de la Astronomía, tanto más cuanto que era la primera vez que se trataba de predecir la aparición de uno de estos misteriosos cuerpos cuyas visitas no parecían regirse por ninguna ley fija, y que se consideraban antiguamente como un presagio fatal. Halley reconoció la importancia de su predicción. No olvidaba que la carrera de su vida debía terminar mucho antes que el cometa completara su revolución, y, en un estilo casi conmovedor, el gran astrónomo escribió: "En su consecuencia, si el cometa volviese, conforme á mi predicción, hacia el año 1758, la posteridad imparcial no se negará á reconocer que esto lo descubrió por vez primera un inglés."

A medida que se aproximaba el tiempo en que se debía comprobar la

exactitud del pronóstico, despertábase mayor interés entre los astrónomos. El distinguido matemático Clairaut quiso hacer nuevos cálculos sobre el efecto que produciría en el cometa la atracción de los planetas, y su análisis sobre las perturbaciones fué suficiente para demostrar que aquel cuerpo sufriría un retraso de 100 días por Saturno y de 518 por Júpiter, con lo cual comunicó mayor exactitud á la predicción de Halley, deduciendo, por último, que el cometa alcanzaría el punto de su paso más próximo al Sol hacia mediados de abril de 1759. El sagaz astrónomo añadió que, como aquel cometa se retira á tan inmensa distancia, podría estar sujeto á influencias desconocidas, y aun á la perturbación de algún planeta, demasiado lejana para ser reconocida, por lo cual su predicción podría realizarse un mes antes ó más tarde. Clairaut presentó con este motivo una memorable comunicación á la Academia de Ciencias en 14 de noviembre de 1758, y desde aquel momento avivóse la curiosidad de los astrónomos para ver si el cometa que apareció veintiséis años antes volvería ó no. Las observaciones se hicieron una y otra noche sin descanso, y al fin, llegado el día de Navidad de 1759, descubrióse el cometa cuando pasaba cerca del Sol, el 12 de marzo, un mes antes de lo que Clairaut anunció, pero dentro de los límites del error indicado por el célebre matemático.

La realización del pronóstico fué una nueva confirmación de la teoría de la gravedad. Desde entonces el cometa de Halley apareció otra vez en 1835, bajo circunstancias algo semejantes á las que acabamos de indicar; y otras investigaciones históricas han bastado para identificar el cometa de Halley con numerosas apariciones de esos cuerpos en épocas pasadas. Hasta se ha demostrado que un soberbio cometa visto once años antes de comenzar la era cristiana, era el mismo de Halley en una de sus primeras vueltas.

Conócense ahora varios cometas que giran en órbitas elípticas, y, por lo tanto, deben llamarse periódicos. Son principalmente telescópicos, y, por lo tanto, contrastan marcadamente con el espléndido cometa de Halley. Los más de los otros cometas de esta especie tienen también períodos más cortos, y entre ellos el más notable es el conocido con el nombre de *cometa de Encke*, que merece especial atención.

Este cometa siguió un curioso curso, durante el cual estuvo muy sujeto á la ley de la gravedad. Aquí no se trata de la prosaica rutina de una mera órbita planetaria, pues un planeta está principalmente subordinado al dominio de la gravedad del Sol, afectándole también hasta cierto punto las atracciones de los otros planetas. Los matemáticos han tenido siempre la costumbre de someter al cálculo los movimientos de los planetas, y saben que el lugar de uno de éstos se puede reconocer aproximadamente por la atracción solar. La aptitud de los planetas para producir perturbación aumenta considerablemente cuando el cuerpo perturbado sigue el paso excéntrico de un cometa. Obsérvase á menudo que el poro de éste se aproxima bastante al del planeta; de modo que el del cometa puede pasar por aquél, aunque los dos cuerpos no choquen. Entonces el efecto perturbador

aumenta considerablemente, y por esto apelamos á los cometas cuando se desea ilustrar la gran teoría de las perturbaciones planetarias con algún notable ejemplo.

Si se trata de elegir un cometa para el estudio, la cuestión es saber *¿qué cometa es?* En este punto no debemos vacilar, puesto que por lo pronto se han de excluir esos magníficos cuerpos que tan caprichosamente aparecen: son visitantes que al parecer llegan por primera vez, y se retiran sin que la humanidad tenga esperanzas de volverlos á ver nunca. Un cometa de esta especie se mueve en un paso parabólico, gira alrededor del Sol, y retírase al espacio de donde vino. No es posible estudiar del todo el efecto de las perturbaciones en un cometa hasta que se ha observado en sus vueltas sucesivas. Nuestra elección queda limitada, por lo tanto á esos cuerpos comparativamente pequeños conocidos como cometas periódicos, y sólo uno de ellos llena todas las condiciones necesarias: es el llamado *cometa de Encke*, pues, aunque este astrónomo no fué el descubridor, á sus cálculos debe aquél su fama.

En el año 1818, el astrónomo Pons, de Marsella, descubrió un cometa. No debemos suponer que fuese un magnífico espectáculo, pues tratábase solamente de un pequeño cuerpo telescópico, algo semejante á una de esas opacas nebulosas deseminadas á miles en el cielo. Sin embargo, el cometa se distingue muy pronto de una nebulosa por su rápido movimiento relativamente á las estrellas. El descubridor determinó su posición, como lo hicieron otros astrónomos, y Encke notó por las observaciones que el cometa volvía al Sol una vez cada tres años y algunos meses. Este descubrimiento causó verdadera admiración, pues en aquella época no se conocía ningún otro cometa de período corto, y esta nueva adición al sistema solar despertó el mayor interés. Inmediatamente se promovió la cuestión de saber si aquel cometa, cuyas revoluciones eran tan frecuentes, se habría observado durante alguna de sus vueltas anteriores.

No puede contarse con la posibilidad de identificar un cometa por medio de algún dibujo; pero dichos objetos poseen, afortunadamente, cierto carácter que podemos reconocer, y que no se modifica ni disfraza por la estructura del cuerpo. El paso que un cometa recorre en el espacio es independiente de los cambios de aquél, dependiendo completamente su forma y posición de los otros cuerpos del sistema solar especialmente comprendidos en la teoría del cometa de Encke. En nuestra figura 55 representamos las órbitas de tres de los planetas, en tales proporciones que la más interior figura la de Mercurio, la siguiente la de nuestro globo, y la más exterior la de Júpiter. Además de estas tres, vemos un paso mucho más elíptico que representa la órbita del cometa de Encke, proyectada en el plano del movimiento de la Tierra, y hallándose el Sol situado en el foco de la elipse. El cometa está obligado á girar en esa curva por la atracción del Sol, y necesita poco más de tres años para efectuar su revolución completa. Pasa cerca del Sol en su perihelio por un punto que hay dentro

del paso de Mercurio, mientras que á su mayor distancia el paso se aproxima al de Júpiter. Este paso elíptico se determina principalmente por la atracción del Sol. Bien pese el cometa una onza, una arroba, mil quintales ó un millón de toneladas, bien tenga un diámetro de pocas millas ó de miles de leguas, su órbita sería siempre la misma. Por la forma de esta elip-

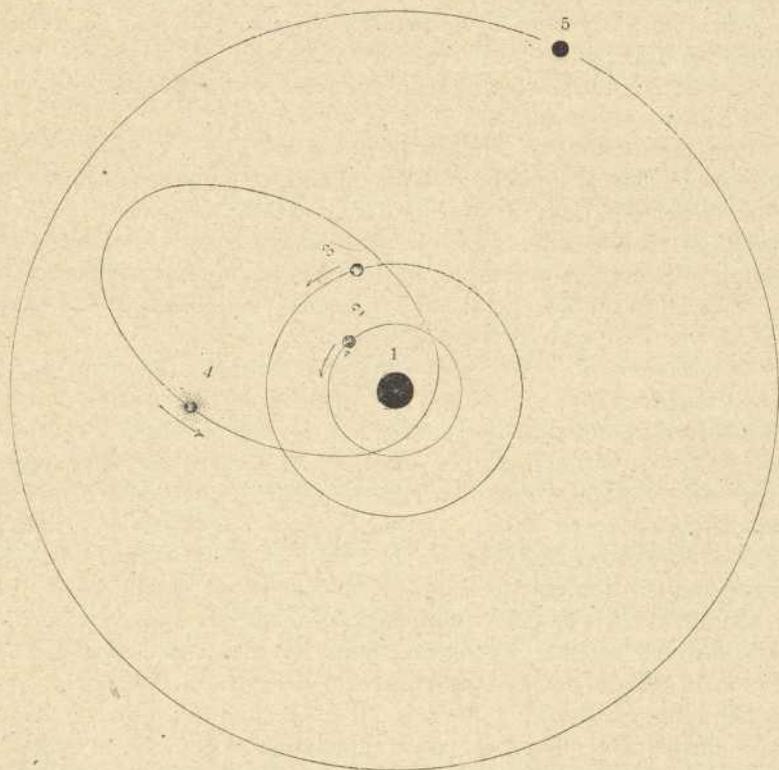


FIG. 55.—LA ÓRBITA DEL COMETA DE ENCKE

1. El Sol.—2. Mercurio.—3. La Tierra.—4. El cometa.—5. Júpiter

se, por sus dimensiones y por la posición en que se halla, es por lo que identificamos el cometa.

El cometa de Encke suele ser invisible, y ni aun los más poderosos telescopios del mundo nos permitirían ver señales de él. Después de su visita periódica se retira hasta la parte más exterior de su paso, luego vuelve y se aproxima otra vez al Sol, pareciendo que se vigoriza con sus rayos y que comienza á dilatarse bajo su influencia. Mientras se mueve en esta parte de su paso, el planeta se aproxima más á la Tierra, su fulgor aumenta cada día, y al fin, tanto por su mayor brillo como por estar más cerca de la Tierra, se pone al alcance de nuestros telescopios. Por lo regular puede

preverse cuándo sucederá esto, y sabemos qué punto del cielo se ha de examinar cuando el cometa debe volver. Este cuerpo escapa de la mano del artista, pero no de los cálculos del matemático, quien dirá dónde y cuándo se ha de encontrar, aunque no cuál será su forma.

Una vez reconocido como cuerpo regular de nuestro sistema, el cometa de Encke puede enseñarnos mucho. En sus viajes periódicos, unas veces se acerca mucho al Sol y al paso del planeta Mercurio, y otras aproximase á la órbita de Júpiter, pudiéndose entonces verle con los telescopios y observar muchos detalles curiosos. Estos movimientos nos prueban cómo los fenómenos celestes se fundan en la ley de la gravedad.

Si se retirasen todos los demás cuerpos del sistema, el paso del cometa de Encke se efectuaría siempre en la misma elipse y con la misma regularidad; pero el principal interés no se halla en esta última, sino en las *irregularidades* que producen en su paso la presencia de los otros cuerpos del sistema solar. Sigamos, por ejemplo, la marcha del cometa en el punto en que su paso está cerca de Mercurio: por lo general sucederá que el planeta se halla en un punto distante de su trayecto en el momento en que el cometa pasa, y la influencia de aquél será entonces comparativamente pequeña; pero puede suceder á veces que los dos cuerpos se junten. Uno de los más memorables casos de una aproximación á Mercurio ocurrió en 22 de noviembre de 1848. En aquel día el cometa y el planeta estaban separados solamente por el intervalo de una trigésima parte, poco más ó menos, de la distancia de la Tierra al Sol, es decir, unos 3.000,000 de millas; y en otras dos ocasiones, el 23 de agosto de 1835 y el 25 de octubre de 1858, la distancia entre el cometa de Encke y Mercurio fué de menos de 10 millones de millas, cifra de poca importancia en comparación con las dimensiones de nuestro sistema. Aproximaciones de esta especie pueden ser de graves consecuencias para los movimientos del cometa. Mercurio, aunque cuerpo pequeño, es sólido, y siempre atrae al cometa; pero la atracción aumenta considerablemente si éste se aproxima al planeta, el cual obliga al otro cuerpo á desviarse de su paso, produciendo ciertos cambios en su velocidad. A medida que el cometa se aleja, la influencia perturbadora de Mercurio disminuye, hasta que llega á ser insensible; pero el tiempo no puede borrar de su órbita el efecto que la perturbación produjo. Podemos calcular los movimientos del cometa según los determina el Sol, y también los efectos resultantes de la perturbación ocasionada por Mercurio, con tal que conozcamos la masa ó volumen de éste.

Aunque Mercurio es uno de los planetas más pequeños, tal vez debemos considerarle como uno de los más molestos para el astrónomo, pues hállase tan cerca del Sol que rara vez se le ve como á los otros grandes planetas. Su órbita, muy excéntrica, sufre perturbaciones por la atracción de otros cuerpos de una manera no bien comprendida aún; y, por otra parte, se ha tropezado con una especial dificultad en las tentativas hechas para conocer su peso. Se puede averiguar el de toda la Tierra, el del Sol, el de

la Luna, y hasta de Júpiter y otros planetas; pero Mercurio ofrece por este concepto dificultades particulares. Le Verrier, sin embargo, ideó un método para pesar á Mercurio: demostró que nuestra Tierra es atraída por ese planeta, é hízonos ver cómo puede conocerse el grado de atracción por las observaciones del Sol, determinando después aproximadamente el volumen de Mercurio. El resultado indicaba que el peso del planeta era una décima-quinta parte del de la Tierra; pero se debía recibir este dato con mucha reserva, pues dependía de una delicada interpretación de las medidas calculadas y sólo podía considerarse como provisional.

La aproximación del cometa de Encke á Mercurio, y las minuciosas investigaciones de Von Asten, han arrojado mucha luz sobre el asunto. Von Asten consideró en primer lugar que Mercurio tenía realmente el volumen que Le Verrier le atribuí, y pudo calcular de este modo dónde se hallaría el cometa; mas éste no se encontró en el sitio indicado por los cálculos; de modo que éstos debían contener algún error, el cual se relacionaría seguramente con la masa de Mercurio. Entonces Von Asten las supuso diferente valor, repitió sus cálculos, y halló que, atribuyendo un volumen conveniente á Mercurio, los lugares supuestos del cometa podían conciliarse con los que se habían observado. Von Asten demostró así que el peso de Mercurio era mucho menor que el supuesto por Le Verrier. Si nuestro globo se dividiere en veinticinco partes de igual volumen, cada una de éstas pesaría tanto como el planeta.

¿Podemos dudar de la exactitud de esa delicada operación, que tuvo por objeto determinar el peso de un cuerpo celeste? Mírese á la órbita de Júpiter, á la que el cometa se acerca tanto cuando se retira del Sol. Algunas veces se da el caso de que Júpiter y el cometa se hallan muy próximos, y entonces el primero perturba gravemente la órbita del segundo, cuyo paso presenta señales indelebles de esa perturbación, así como de las de Mercurio. Podrá parecer imposible reconocer en qué se distinguen las influencias de ambos planetas; pero el análisis matemático basta para resolver el problema. Las excursiones del cometa de Encke pueden servirnos para averiguar cuál es el volumen de Júpiter y el de Mercurio. El del primero se puede medir exactamente por sus satélites, según se ha dicho ya en otro lugar, y, como aquéllos giran alrededor del planeta, nos ofrecen el medio de averiguar su peso por la rapidez de su movimiento. Apenas puede haber inseguridad en la resolución del problema, y, por lo tanto, es de mucho interés comprender la teoría del cometa de Encke para ver si da un resultado que concuerde con los otros. Von Asten ha hecho ya la comparación: el cometa de Encke nos dice que el Sol es mil cincuenta veces más pesado que Júpiter, y así tenemos resultados prácticamente idénticos, confirmándose la exactitud de las indicaciones del cometa.

Por sus frecuentes visitas, dicho cometa nos permite obtener datos sobre otros varios puntos relativos al sistema solar, y es muy curioso ver con qué habilidad Von Asten descubre los más recónditos secretos por la ob-

servación de aquél. La distancia de la Tierra al Sol tiene una importante relación con el cometa de Encke. Nuestro globo contribuye también á la perturbación de aquel cuerpo, y su capacidad para hacerlo depende hasta cierto punto de la distancia que hay de la Tierra al Sol. Esta investigación es muy complicada, y, á menos de hacerse con mucha exactitud los cálculos, los puntos observados no corresponderán con los que de aquéllos resultan. Es un hecho curioso que Von Asten haya encontrado en sus cálculos sobre la distancia del Sol una cifra *muy apreciablemente menor* que la obtenida por otros métodos. Cada uno de estos resultados se puede considerar como bastante exacto, y será un problema interesante para los astrónomos hallar el medio de conciliar las diferencias.

Hasta aquí nos hemos referido á las aventuras del cometa de Encke, principalmente en los casos en que arroja alguna luz sobre puntos más ó menos conocidos de nosotros, y ahora vamos á tocar un célebre problema en que aquel cuerpo será para nosotros la más principal autoridad. Cada 1,210 días ese cometa efectúa su revolución alrededor de su órbita y vuelve otra vez á la inmediación del Sol, aunque su regreso está sometido á ciertas regularidades, como sucede con Mercurio y Júpiter. También resultan otras de la atracción de la Tierra y de todos los demás planetas; pero podemos prescindir de éstas, y hay motivos para esperar, si la ley de la gravedad es universalmente verdadera, que el cometa responderá á los cálculos matemáticos. Sin embargo, el cometa de Encke no lo ha justificado así, pues en cada revolución el período disminuye siempre. Cada vez vuelve al perihelio en dos horas y media menos que en su excursión anterior; y, aunque este tiempo es, sin duda, un período muy corto si se compara con el de una revolución completa, como en la región de su paso visible para nosotros el cometa se mueve con tal rapidez, su movimiento, en dos y media horas, es muy considerable. Esta irregularidad no debe despreciarse, tanto más cuanto que ha sido confirmada en las vueltas sucesivas en unas veinte revoluciones. Algunas veces se ha creído que las diferencias podrían atribuirse á alguna perturbación planetaria omitida ó no bien explicada.

Hace mucho tiempo que Encke, después de repetidas investigaciones, trató de explicar estas irregularidades. Trataremos de reseñar meramente su memorable hipótesis. Cuando decimos que un cuerpo se moverá en un paso elíptico alrededor del Sol en virtud de la gravedad, siempre se considera que ese cuerpo sigue libremente su curso á través del espacio, suponiéndose, además, que no hay fricción alguna, ni aire, ni otra causa de perturbación; pero imaginémonos que esto no es exacto y que hay algún agente que opone resistencia al cometa, así como nuestro aire la presenta al paso de la bala de una carabina. ¿Qué efecto debe producir tal agente?

En nuestro dibujo (fig. 56) representase la teoría que el célebre astrónomo expuso, y en apoyo de la cual tenemos las más recientes investigaciones de Von Asten. Aunque la mayor parte del espacio fuese un vacío

completo, de modo que el paso del casi espiritual cometa no hallara resistencia alguna, parecería que en la inmediación del Sol debe haber algún medio sumamente tenue pero capaz de afectar al cometa. Se podría demostrar que el efecto de un agente de resistencia tal como el que suponemos es disminuir las dimensiones del paso de aquel cuerpo, y también el tiempo periódico. La existencia de la corona solar y los extraños fenómenos de la luz zodiacal nos han demostrado ya en otros terrenos que hay una considerable extensión de materia de alguna especie difundida alrededor del Sol.

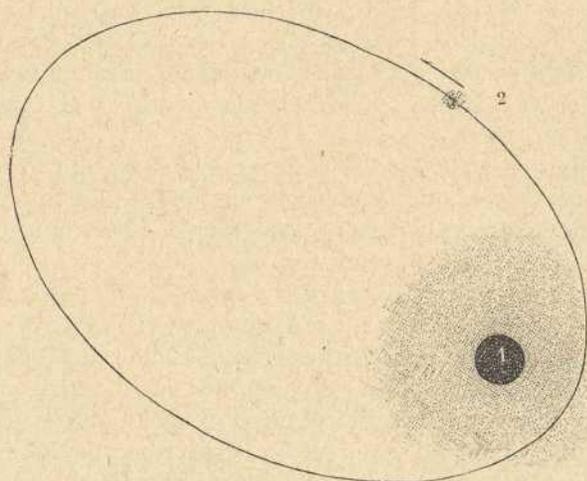


FIG. 56.—EL MEDIO RESISTENTE ALREDEDOR DEL SOL

1. El Sol.—2. El cometa

Hemos elegido los cometas de Halley y Encke como los más propios para dar á conocer la clase de cometas periódicos, entre los cuales figuran como los más notables. Podrían citarse otros muchos que no son periódicos, pero nos referimos solamente á varios de los que aparecieron en el presente siglo. En primer lugar debe citarse el magnífico cometa de 1843, que se dejó ver de improviso en febrero de dicho año, siendo tan brillante que fué posible verle á la luz del Sol. Este cometa recorrió un paso que, á decir verdad, no se diferenciaba de una parábola, aunque no dudamos que podía ser una elipse muy prolongada. El cometa de 1843 fué especialmente notable por la rapidez con que se movía y por lo mucho que se aproximó al Sol, debiéndose hallar expuesto por esta circunstancia, durante su paso, á un calor inmensamente más considerable que el de nuestros más poderosos hornos. Si los materiales hubieran sido ágata ó cornelina, ó cualquiera de las sustancias más infusibles que conocemos, se habrían derretido y reducido á vapor por la tremenda intensidad de los rayos del Sol.

El gran cometa de 1858 fué uno de los más espléndidos de las épocas modernas. Fué observado en 2 de junio de dicho año por Donati, que le dió su nombre. Entonces era solamente una ligera mancha nebulosa, y durante tres meses prosiguió su curso á través del cielo sin dar señales del esplendor que más tarde debía alcanzar. Hasta fines de agosto apenas llegó á ser visible sin ayuda del telescopio, y tenía una cola muy corta; pero acercábase gradualmente más y más al Sol, y en setiembre presentaba un aspecto magnífico: la cola adquirió majestuosas proporciones; y á mediados de octubre, cuando el cuerpo alcanzó su mayor brillantez, la cola se extendía sobre un arco de  $40^{\circ}$ . La belleza del planeta realizábase por su posición en el cielo en una estación en que las noches eran bastante oscuras. Otros cometas más recientes y menos afortunados presentáronse á mediados del verano, cuando las noches son más claras, y no ocupaban en el cielo tan buena posición.

El 22 de mayo de 1881, Mr. Tebbutt, de Windsor, descubrió en Nueva Gales del Sur un cometa que fué muy pronto uno de los más interesantes cuerpos celestes vistos por la presente generación. Hacia el 22 de junio llegó á ser visible desde aquellas latitudes en el cielo del N. á media noche: ascendió poco á poco cada vez á mayor altura, y al fin pasó alrededor del polo. El núcleo del cometa era tan brillante como una estrella de primera magnitud, y su cola medía unos  $20^{\circ}$  de largo. El 2 de setiembre dejó de ser visible sin el telescopio, pero divisóse muy bien con el instrumento hasta el mes de febrero siguiente. Este fué el primer cometa que se pudo fotografiar con exactitud, y también se le aplicó el espectroscopo. En otro capítulo daremos á conocer el uso de este notable instrumento, limitándonos á observar aquí que con su auxilio se descubrió la existencia del elemento carbón en el cometa.

Otro de estos cuerpos, que llamó mucho la atención, fué descubierto en setiembre de 1882 en el hemisferio S. Adquirió tanta brillantez que Mr. Common pudo verlo en pleno día el 17 de dicho mes, mientras que los astrónomos del Cabo de Buena Esperanza tuvieron la suerte de observarlo el 18, cuando se aproximaba al limbo del Sol, donde dejó de ser visible. El mismo día se examinó el aspecto del cometa, y demostróse que contenía los elementos sodio y hierro.

Como los cometas se hallan mucho más cerca de la Tierra que las estrellas, á veces sucede que uno de aquéllos debe llegar á situarse directamente entre nuestro globo y la estrella; y en el movimiento de la Luna nótese un movimiento muy semejante. De este modo ocúltase á menudo una estrella, hecho muy familiar para los astrónomos; pero cuando un cometa pasa por frente de aquélla, las circunstancias varían mucho. La estrella se ve casi también á través del cometa, como si éste estuviera lejos, lo cual se ha reconocido muchas veces. Una de las más notables observaciones de este género fué hecha por el difunto sir John Herschel en el cometa de Biela, que es uno de los periódicos, y del que hablaremos en otro lugar.

El ilustre astrónomo vió una vez que aquel cuerpo pasaba sobre un grupo de estrellas, tan sumamente diminutas que sólo se hubieran podido distinguir por un telescopio tan poderoso como el de Herschel. El cometa de Biela invadió el grupo de estrellas gradualmente, de tal modo que, si hubiera tenido una solidez apreciable, aquellos puntos luminosos se habrían eclipsado del todo. No sucedió así: desde la más diminuta estrella del grupo hasta el más pequeño punto luminoso visible con el gran telescopio, todos los cuerpos se distinguieron perfectamente á través de la masa del cometa de Biela.

Esta fué una observación importante, pues debemos recordar que la especie de velo interpuesto entre el grupo de estrellas y el telescopio no era sencillamente una ligera cortina, sino una masa de sustancia cometaria de muchos miles de millas de espesor. Compárese ahora la casi inconcebible tenuidad de un cometa con las nubes en que estamos acostumbrados; una masa de estas últimas, de pocos centenares de pies de espesor, ocultará, no solamente las estrellas, sino el mismo Sol. La más ligera niebla que jamás flotara en el cielo durante el verano ocultaría mejor las estrellas á nuestra vista que cien mil millas del material cometario que aquella vez se interpuso.

El gran cometa de Donati pasó sobre muchas estrellas, que fueron distintamente visibles á través de su masa. Entre ellas había una muy brillante, la conocida con el nombre de *Arcturo*, y sobre ésta pasó el cometa; pero aunque su parte más densa se interpuso entre nuestro globo y la estrella, *Arcturo* siguió brillando con el mismo esplendor á través de la inmensa cortina. Recientes observaciones, sin embargo, demuestran que alguna vez las estrellas sufren alteración en su brillo cuando sobre ellas pasa la parte más densa del cometa. Difícil es imaginar que una estrella se mantenga visible cuando el núcleo de un gran cometa la invade; mas no se ha presentado oportunidad de hacer las suficientes observaciones sobre este punto.

Si el cometa se compusiese de material gaseoso trasparente, como por ejemplo nuestra atmósfera, el lugar de la estrella se alteraría cuando aquél se acercara, pues la facultad refractiva del aire es muy considerable. Cuando observamos la puesta del Sol vemos que el astro parece pasar bajo el horizonte, y, sin embargo, ya lo ha hecho del todo antes de que creamos que su descenso ha comenzado.

Tal es la facultad refractiva del aire, que dobla los rayos luminosos y nos deja ver el astro aunque esté directamente oculto por los obstáculos que se interponen. Si el cometa se compusiese de material gaseoso debería obrar en los sitios de las estrellas por refracción, aunque no alterara su brillantéz. Sobre esto se han hecho observaciones muy curiosas: se ha visto á un cometa acercarse á dos estrellas, una de las cuales se distinguió á través del cuerpo de aquél, mientras que la otra se divisaba directamente. Si el cometa tuviese alguna cantidad de gas apreciable en su composi-

ción, los lugares relativos de ambas estrellas se alterarían. Esto se ha comprobado más de una vez por las medidas tomadas. En algunos casos se ha reconocido que no se producía, al parecer, ningún cambio apreciable de posición, deduciéndose, por lo tanto, que el cometa no tenía entonces una densidad perceptible; pero varias cuidadosas mediciones tomadas en el gran cometa de 1881 demostraron que en la inmediación de su núcleo parecía tener alguna fuerza refractiva, aunque muchísimo menos considerable que la de nuestra atmósfera.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, sin duda se admitirá desde luego que la masa de un cometa es insignificante cuando se compara con un cuerpo como la Tierra.

El escaso peso de los cometas demuéstrase también de una manera muy notable cuando se recuerda lo que hemos dicho sobre el importante asunto de las perturbaciones planetarias, haciendo ver la permanencia de nuestro sistema, la cual depende de ciertas leyes que los movimientos planetarios deben cumplir. Los planetas se mueven casi en círculos, y sus órbitas se hallan casi todas en el mismo plano, moviéndose en el mismo sentido; de modo que la permanencia del sistema se alteraría si no se llenase cualquiera de esas condiciones. Al tratar de este asunto no nos referimos á los cometas; pero son individuos de nuestro sistema, y en mucho mayor número que los planetas. Los primeros no obedecen á las reglas que los segundos observan tan rigurosamente: sus órbitas no se asemejan nunca á los círculos: son más bien parabólicas por lo regular, y así difieren cuanto es posible del paso circular. Los planos de las órbitas de los cometas no se atienen tampoco á ninguna localidad particular: inclínanse á toda especie de ángulos, y las direcciones en que los cometas se mueven parecen ser mera cuestión de capricho. Cada artículo del convenio planetario se infringe por los cometas, pero nuestro sistema persiste: ha durado inmensurables siglos, y parece destinado á conservarse en las edades futuras. Los cometas son atraídos por los planetas, é inversamente aquéllos deben atraer á éstos, perturbando las órbitas de los planetas en cierta extensión. ¿En cuál? Si todos los cometas se movieran en órbitas regidas por las tres leyes generales que caracterizan el movimiento planetario, entonces nuestro argumento no tendría valor ninguno. Los planetas pueden sufrir considerables perturbaciones por la atracción cometaria, y, sin embargo, en el trascurso del tiempo se anularían entre sí, no afectándose la permanencia del sistema; pero el caso es muy distinto cuando tratamos de las órbitas cometarias actuales. Si los cometas pudieran perturbar apreciablemente á los planetas, estas perturbaciones no se neutralizarían entre sí, y á fuerza de tiempo el sistema se perdería por las continuas acumulaciones de irregularidades. Los hechos demuestran, no obstante, que el sistema ha existido, y aun existe, á pesar de los cometas, y por lo tanto debemos deducir que las masas cometarias son de todo punto insignificantes en comparación con las planetarias de nuestro sistema.

Estas consideraciones nos presentan las leyes de la gravitación universal y sus relaciones con la permanencia de nuestro sistema bajo un punto de vista muy notable. Si se incluyen los cometas, podremos decir que el sistema solar comprende muchos miles de cuerpos en órbitas de todos tamaños, formas y posiciones, los cuales convienen por el hecho de que el Sol es para todos un foco común. Los más de esos cuerpos son imponderables, y sus órbitas están dispuestas de cualquier modo; de manera que, aunque puedan resentirse mucho de las perturbaciones de los otros cuerpos, en ningún caso les será dado ocasionar ninguna perturbación apreciable; pero hay algunos grandes planetas capaces de producir inmensas alteraciones, y, si sus órbitas estuviesen situadas de cualquier modo, resultaría el caos más pronto ó más tarde. Por la mutua adaptación de sus órbitas á una forma casi circular, á un plano que casi coincide y á una dirección uniforme, se ha producido como una tregua permanente entre los grandes planetas, que no pueden ahora perturbarse mutuamente; mientras que la ligera mole de los cometas no les permite hacerlo á ellos. La estabilidad de los grandes planetas queda asegurada así; pero ha de observarse que no hay garantía de estabilidad para los cometas. Sus pasos excéntricos é irregulares pueden sufrir las más enormes perturbaciones, y, á decir verdad, en la historia de la Astronomía hay muchos ejemplos de las vicisitudes á que la carrera cometaria está expuesta.

Los grandes cometas aparecen en el cielo bajo circunstancias que ofrecen pocas analogías. No hay parte alguna del cielo en el hemisferio N. ó S., ni constelación ó región, que no pueda ser visitada por esos cuerpos misteriosos; no hay estación del año, ni hora del día ó de la noche, en que los cometas no puedan estar sobre el horizonte; y del mismo modo su tamaño y aspecto presentan todos los caracteres, desde el punto opaco apenas visible para los ojos con auxilio del poderoso telescopio, hasta el cuerpo gigantesco y brillante con una cola que se extiende á larga distancia. Así también la dirección de la cola del cometa induce al principio á creer en todas las posiciones variables: puede estar derecha, como si el cometa estuviese á punto de hundirse bajo el horizonte; es posible que se incline hacia abajo desde la cabeza del cuerpo, como si éste estuviera separado del horizonte; y puede correrse á la derecha, descendiendo ó elevándose. ¿Es posible descubrir alguna ley común de los diversos fenómenos entre toda esa variedad, al parecer caprichosa? Si hemos de conseguir dar alguna explicación sobre las colas de los cometas, es preciso averiguar antes qué caracteres, si existen, presentan aquéllas en común, y veremos que hay una ley muy notable á que todos obedecen; ley tan verdadera y satisfactoria que, conocido el lugar de un cometa en el cielo, es posible indicar en qué dirección se hallará la cola.

En el cielo del N. aparece en verano un cometa magnífico: es cerca de media noche. Contemplamos la cola, débilmente luminosa, que está derecha y apunta hacia el zenit. Tal vez se encorve poco ó mucho, pero en su

conjunto dirigese desde el horizonte al zenit. No nos referimos aquí á ningún cometa en particular: grandes ó pequeños, todos los que aparecen en el N. deben tener á media noche su cola en dirección casi vertical; y este hecho, que se ha comprobado en numerosas ocasiones, demuestra notablemente la ley que rige en la dirección de la cola de los cometas. Reflexiónese un momento sobre las condiciones del caso: es verano: el crepúsculo en el N. demuestra la posición del Sol, y la cola del cometa apunta directamente fuera del crepúsculo y del Sol. Tómese otro ejemplo: es de noche: el Sol se ha puesto ya, las estrellas comienzan á brillar, y se ve un cometa de larga cola. Bien esté alto ó bajo, al N. ó al S., al E. ó al O., su cola apunta invariablemente desde aquel punto del O. en que desaparece ya la luz del Sol. Supongamos ahora que se observa un cometa á primera hora de la mañana: si la vista se aparta del sitio en que aparece la primera luz del alba á la cabeza del cometa, su cola se hallará á lo largo de aquella dirección, alejándose del Sol. Esta ley es de aplicación más general aún. En cualquiera estación, y á cualquiera hora de la noche, la cola del cometa debe dirigirse fuera del Sol. Este se halla, por supuesto, en algún punto del hemisferio bajo nuestros pies. Trácese un gran círculo desde el astro, pasando más arriba del horizonte hasta la cabeza del cometa, y entonces la dirección de la cola de éste seguirá la continuación de ese círculo.

Desde los primeros tiempos debió llamar la atención de los que estudiaban los movimientos de los cuerpos celestes esa circunstancia en el de los cometas, tanto más cuanto que es un hecho patente para la observación ordinaria, sin depender de la investigación telescópica ni ser tampoco resultado de ninguna laboriosa discusión matemática. Es el hecho que comunica cierto grado de consistencia á los infinitos fenómenos de los cometas, y debe servir de base de nuestras investigaciones en la estructura de las colas.

En el diagrama que se acompaña (fig. 57) se representa la porción de la órbita parabólica de un cometa, y también la posición de la cola del mismo en varios puntos de su paso. Sería tal vez aventurarse demasiado si asegurásemos que en todo el inmenso viaje del cometa su cola debe dirigirse desde el Sol. En primer lugar debe recordarse que sólo podemos ver aquél durante la pequeña parte de su viaje en que se aproxima al Sol ó se aleja de él

A primera vista podría creerse que, como el cometa se precipita con tan enorme velocidad, la cola es arrastrada, á manera de la lluvia de chispas que van cayendo de un cohete á medida que cruza los aires; pero esta analogía sería errónea. El cometa no se mueve á través de una atmósfera, sino en el espacio abierto, donde no hay bastante medio ambiente para hacer seguir á la cola la dirección del movimiento. Otro detalle muy curioso es el gradual desarrollo de dicho apéndice á medida que el cometa se aproxima al Sol. Mientras que el cuerpo se halla todavía á gran distancia, por lo regular no tiene cola perceptible; pero cuando se acerca, la cola

se extiende poco á poco, y en algunos casos alcanza las más estupendas dimensiones. No se debe suponer que este aumento sea una mera consecuencia óptica resultante del hecho de acercarse más el cuerpo á la Tierra, pues se podría demostrar que ese aumento es enormemente mayor de lo que es posible explicar solamente por la proximación del cometa. Hé aquí por qué debe relacionarse la formación de la cola con la circunstancia de acercarse el cuerpo al Sol, hallándonos, de consiguiente, ante un enigma que tiene poca analogía entre los demás cuerpos de nuestro sistema.

No se puede dudar que el cometa, en su conjunto, es atraído por el Sol. La circunstancia de moverse en un elipse ó en una parábola, demuestra

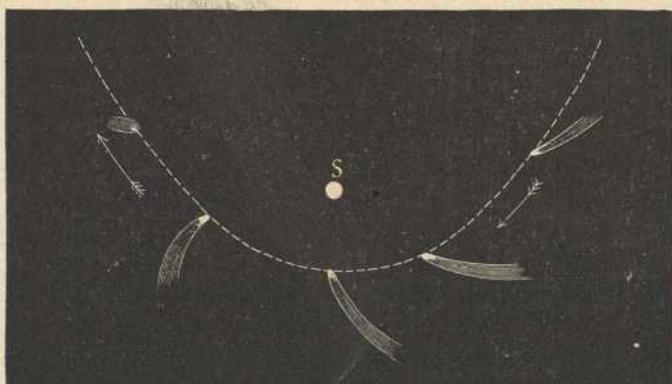


FIG. 57.—LA COLA DE UN COMETA DIRIGIDA DESDE EL SOL.

que ambos cuerpos obran y reaccionan uno sobre otro, obedeciendo á la ley de la gravedad universal; pero siendo esto verdad en cuanto al cometa en su conjunto, no es menos cierto que su cola es *repelida* por el Sol. No podemos decir con seguridad cómo sucede así; pero los hechos parecen indicar la siguiente explicación.

En los materiales que componen un cometa tenemos uno ó más ingredientes que dan lugar á la formación de la cola, y á medida que este cuerpo se acerca al Sol y experimenta el poderoso efecto de un calor cada vez más fuerte, esos ingredientes se funden y diseminan convertidos en vapor. Parecería que, si bien esas sustancias son atraídas en su estado sólido por el astro luminoso, al reducirse á un vapor muy rarificado, el calórico del Sol ejerce sobre él una fuerza repelente que, venciendo del todo la atracción, rechaza el vapor lejos del astro. De este modo debemos considerar la cola como una corriente de humo ó de vapor que se desvanece muy pronto y se renueva de continuo por la evaporación de nuevos materiales mientras el cometa se mantiene bastante cerca del Sol. Así se explicaría de una manera verosímil la dirección de la cola; y, á decir verdad,

parece imposible creer que aquélla pudiese girar alrededor del Sol con suficiente rapidez si fuera realmente un objeto continuo.

En cuanto á la naturaleza de la fuerza repulsiva de que hemos hablado, no podemos decir nada con toda seguridad; pero es imposible no citar aquí algunas notables investigaciones del profesor Bredichin, que, juntamente con las de Mr. Osborne Reynolds y otros autores, nos ofrecen una explicación probable del fenómeno. Mr. Bredichin hizo su estudio filosóficamente, de ese modo que ha conducido ya á todos los grandes descubrimientos

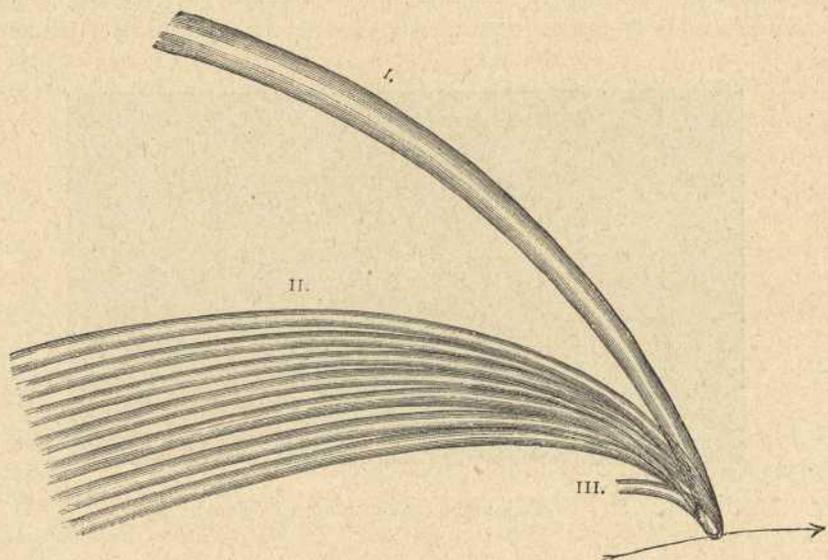


FIG. 58.—TEORÍA DE BREDICHIN SOBRE LAS COLAS DE LOS COMETAS

I. Cola de hidrógeno.—II. Cola hidrocarburada

científicos. Después de tomar cuidadosamente sus medidas y de sacar los necesarios dibujos de las colas de varios cometas, obtuvo de esta primera parte de su investigación un resultado cuyo valor no podía disminuir por las observaciones ulteriores. En el examen de las colas de los diversos cometas se nota que las formas curvilíneas de los contornos vienen á corresponder á uno ú otro de tres tipos especiales. En el primero tenemos las colas más rectas; en el siguiente se comprenden aquéllas que, alejándose del Sol, se encurvan por atrás en la dirección en que el cometa se mueve; y al tercer tipo corresponde la cola encorvada más aún hacia el paso del cometa. Se podría demostrar que estas colas se identifican casi invariablemente con uno ú otro de estos tres grupos; y en los casos en que el cometa presente dos colas, como ha sucedido algunas veces, se verá que ambas corresponden también á cualquiera de estos tipos.

En nuestro diagrama (fig. 58) se representa un cometa imaginario pro-

visto de colas de las tres especies. La más recta de las tres (tipo I) se debe probablemente al elemento hidrógeno, las del segundo tipo son producidas por la presencia de algunos de los hidrocarburos contenidos en el cuerpo del cometa, y las del tercer tipo resultan tal vez del hierro ó del cloro, ó de algún otro elemento que tenga un elevado peso atómico.

El célebre cometa de 1858, del que ya hemos hablado (fig. 59), nos ofreció una magnífica confirmación de esta teoría. Aquí vemos, además de la



FIG. 59.—COLA DEL COMETA DE 1858

gran cola, que es el carácter distintivo del cometa, otras dos líneas de luz más ligeras, que son realmente los bordes del cono hueco que forma una cola del tipo I. Y cuando miramos á través de las regiones centrales, se comprenderá sin dificultad que la luz no es bastante intensa para que pueda verse; pero en los bordes se mira á través de un regular espesor de materia cometaria, y así se produce el aspecto representado en la figura. Diríase que en el cometa de Donati tenía una cola debida al hidrógeno, y otra resultante de algunos de los compuestos de carbono, los cuales parecen ofrecer mucha variedad, por lo cual hay en las colas del segundo tipo una tendencia á presentar un contorno más indefinido que el de las de hidrógeno. Recuérdanse casos en que se vieron varias colas simultáneamente en el mismo cometa, como, por ejemplo, el que apareció en 1744, uno de los más célebres, conocido ahora con el nombre de *cometa de Cheseaux*. El profesor Bredichin fijó una atención especial en la teoría de este mara-

villosos objetos, y ha demostrado con muchos visos de probabilidad cómo podría explicarse la cola multiforme.

Posible es someter algunas de estas cuestiones á la comprobación del cálculo, haciendo ver que la fuerza repulsiva necesaria para producir la cola muy recta del tipo I no necesita ser más de dos veces mayor que la atracción de la gravedad.

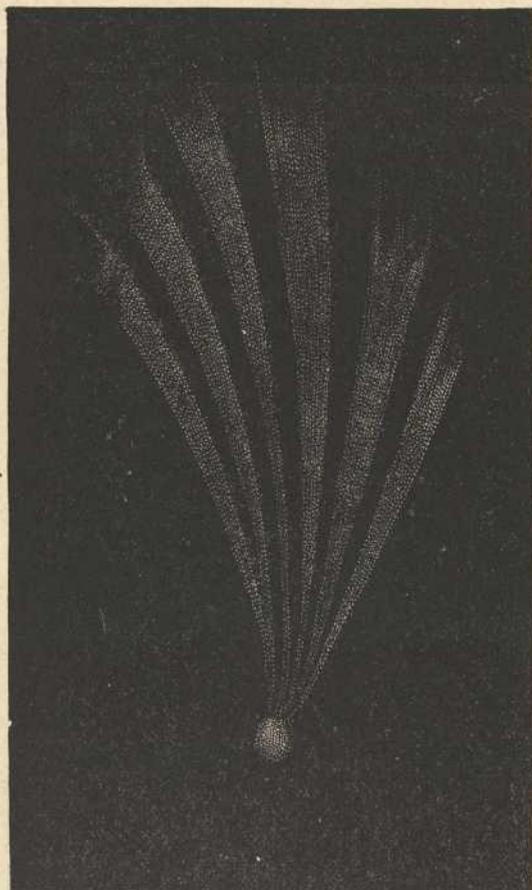


FIG. 60.—COMETA DE CHESEAUX DE 1774

Las colas del segundo tipo podrían producirse por una fuerza repulsiva que fuera igual á la gravedad, mientras que las del tercero requieren sólo una fuerza repulsiva equivalente á una cuarta parte de la de la gravedad. La mayor fuerza de esta especie que en la Naturaleza conocemos derivase de la electricidad, y naturalmente se ha supuesto que los fenómenos de las colas de los cometas son debidos á la condición eléctrica del Sol y de aquéllos. No es difícil demostrar que, cuando las sustancias cometarias son reducidas á vapor por el calor del Sol, la repulsión eléctrica puede igualar y hasta exceder por mucho á la gravedad, resultando de aquí los fenómenos que se observan. Sería prematuro consignar que el carácter eléctrico de la cola del cometa está del todo demostrado, pues

sólo podemos decir que parecen explicarlo así los hechos reconocidos hasta ahora. Se debe recordar, aunque en otro terreno, que el Sol es centro de ciertos fenómenos eléctricos.

A medida que el cometa se separa gradualmente del Sol, el calor disminuye, la evaporación cesa, la repulsión no tiene ya objeto para ejercer su fuerza, y, por lo tanto, la cola del cometa comienza á desvanecerse, pudiendo producirse la misma serie de cambios cuando vuelva al perihe-

lio, si el cometa es periódico. La nueva cola que se forma desaparece también poco á poco á medida que el cometa vuelve á las profundidades del espacio. Si invocamos la analogía de los vapores terrestres para guiarnos en nuestro razonamiento, parecería que, cuando el cometa se retira, su cola debería condensarse en miles y miles de pequeñas partículas, sobre las cuales ejercería su influencia la ley de la gravedad, no sometida ya á la influencia superior de la repulsión que el calor produce sobre el vapor.

La masa del cometa, sin embargo, es tan sumamente pequeña que no podría reunir de nuevo estas partículas por la mera fuerza de la atracción, de lo cual se sigue que, como el cometa forma una cola en cada paso del perihelio, ha de sacrificar cada vez una cantidad correspondiente del material con que aquélla se forma. Supongamos que el cometa tuviera desde el principio cierto depósito de esos materiales particulares propios para producir las colas: en cada paso del perihelio se produciría una, gastándose la correspondiente proporción de aquéllos. Y es evidente que esta operación no podría repetirse de una manera indefinida para la mayoría de los cometas. Las visitas al perihelio son tan raras que los resultados de la extravagancia no son muy aparentes; pero, tratándose de los cometas periódicos que vuelven muy á menudo, las consecuencias son las que se debían esperar: los materiales para formar la cola se han gastado poco á poco, y hé aquí por qué presenciamos con frecuencia el espectáculo de un cometa sin cola.

No deja de ser muy curioso que algunos de los materiales contenidos en un cometa sean idénticos á las sustancias con que estamos familiarizados en la Tierra.

El más notable ejemplo es el elemento carbono, muy interesante si se reflexiona en la significación de esa sustancia en la Tierra, pues sabemos que es uno de los elementos más abundantes y de mayor importancia. Vémosle como principal constituyente de toda la vida vegetal, y le encontramos siempre en la vida animal, ó, mejor dicho, en todas las sustancias orgánicas. Curioso es que ese elemento de tan trascendental importancia en la Tierra exista, según se ha demostrado, en esos cuerpos errantes, y, aunque nadie dice que un cometa puede ser centro de vida, no deja de tener mucha significación el descubrimiento de que el más importante factor en el substrato material de la vida no se limita á la superficie de la Tierra y se halla tan diseminado como los mismos cometas.

Decir que el carbono es un constituyente de los cometas es suponer la presencia de este elemento en todo el universo material, en toda su longitud y anchura, en toda su profundidad y elevación.

No hay punto del cielo en que no aparezcan los cometas. Existen con tal profusión que Kepler llegó á decir que podría haber tantos en el cielo como peces en el oceano. Y en cuanto á las distancias á que pueden retirarse en sus excursiones ó aproximarse á nuestro sistema, inútil sería

tratar de calcularlas por medio de las medidas astronómicas. Estamos acostumbrados á considerar las órbitas de los más de los cometas bajo la forma parabólica, y, considerando que estamos en lo cierto, debemos esperar que la ley de la gravedad nos describa la historia de uno de esos cuerpos errabundos.

Muy lejos de nosotros, en las profundidades del espacio, á tan remota distancia que desde ella serían invisibles la Tierra y los demás planetas, y desde la cual hasta el Sol parecería sólo una estrella, hállase el cometa futuro. A través del inmenso abismo que media entre ese cuerpo y el astro luminoso, la ley de la gravedad predomina, y bajo su influencia el cometa se aproxima al sol; pero la fuerza se debilita tanto por efecto de la distancia que los primeros movimientos del cometa se efectúan con mucha lentitud. Trascurren siglos, miles y miles de años, y el cometa, que ha continuado siempre su movimiento, aunque con mucha lentitud, aproxímase rápidamente y se deja ver. La distancia disminuye y la celeridad aumenta. La atracción del Sol es mucho más enérgica á causa de haberse acortado la distancia, y el cometa se precipita con espantosa rapidez, recorriendo centenares de millas por segundo, gira alrededor del Sol, y pocas horas después comienza á retirarse. La atracción solar se gasta en el esfuerzo para atraer al fugitivo, y el cometa, si su órbita es tal como la suponemos, se aleja cada vez más, retirándose precisamente lo mismo que se acercó. Al cabo de un año de haber abandonado el Sol se hallará tan lejos como un año antes de aproximarse al mismo, y tanta verdad será esto tratándose de cien años como de mil. Moviéndose cada vez más lentamente, el cometa se hunde poco á poco en las profundidades del espacio; pero nunca puede escapar del todo á la atracción solar, lo cual no impide que se retire más y más para no volver nunca á nuestro sistema.

Tal es la breve reseña de los principales hechos conocidos sobre esos interesantes y misteriosos cuerpos. En cuanto á su origen, sólo podemos hacer conjeturas. Se ha supuesto que habrán sido atraídos á nuestro sistema desde las profundidades del espacio infinito, y también se ha indicado la probabilidad de que los cometas se originasen en el sistema mismo, siendo fragmentos separados del Sol. Debemos contentarnos con decir cuanto sabemos sobre el asunto, sin hacer suposiciones aventuradas sobre aquello que no está á nuestro alcance. Basta saber la importancia que tienen esos cuerpos en nuestro sistema solar, y por lo pronto ya sabemos que los cometas obedecen á la gran ley de la gravedad, demostrándonos una vez más que es verdadera. También vemos que la ciencia moderna ha desvanecido el temor y la superstición que infundía en las remotas edades la aparición de un cometa. Este último no es ya para nadie la señal de una calamidad, ni tampoco el pronóstico de futuras desgracias: más bien debemos considerarle como un agradable espectáculo que nos admira é ilustra, sin amenazarnos jamás con un próximo cataclismo.

---

## CAPÍTULO XVI

### ESTRELLAS FUGACES

Pequeños cuerpos de nuestro sistema.—Su número.—Cómo se observan.—Las estrellas fugaces.—Teoría del calor.—Los meteoros de noviembre.—Su antigua historia.—Camino que siguieron.—Cómo se diseminan.—Absorción de los meteoros por la Tierra.—Descubrimiento de la relación entre los meteoros y los cometas.—Notables investigaciones sobre los meteoros.—Lluvias de estrellas.—Piedras meteóricas.—Investigaciones de Chiadni.—Piedras caídas del cielo.—Un meteorito.—Colecciones de meteoritos.—La siderita de Rowton.—Frecuencia relativa de los meteoritos de hierro y de piedra.—Carácter fragmentario de los meteoritos.—No hay razón para relacionarlos con los cometas.—Teoría de Tschermak.—Efectos de la gravedad sobre un cuerpo arrojado desde Vulcano.—¿Pueden haber venido de la Luna?—Relación de los planetas menores con los meteoritos.—Origen terrestre.—El meteorito de Ovifak.

EN los capítulos anteriores se ha tratado de los cuerpos gigantescos que figuran en primer término en lo que conocemos como sistema solar. Hemos hecho el estudio de poderosos planetas de varios miles de millas de diámetro, y después se han dado á conocer sus movimientos en un curso que cuenta millones de millas. Descendiendo después en la escala de la magnitud, hemos examinado esa numerosa clase de cuerpos pequeños á que se da el nombre de planetas menores, y ahora es preciso bajar aún más en dicha escala, pues hasta los citados planetas se han de considerar como cuerpos colosales cuando se comparan con los de que vamos á tratar, y cuya presencia se nos revela de un modo tan curioso como notable algunas veces.

Si esos cuerpos son tan diminutos, en cambio su número es infinito, tanto que inútilmente trataríamos de calcular la cifra de los miles y miles que pueblan el espacio. Probablemente son de muy diferentes dimensiones, pesando algunos tal vez muchas libras ó toneladas, mientras que otros son como piedrecillas y hasta granos de arena; mas, por insignificantes que esos cuerpos parezcan, el gran Sol no tiene á menos regirlos. Cada partícula, bien sea tan pequeña como un grano ó tan poderosa como el planeta

Júpiter, recorrerá su paso alrededor del astro luminoso en conformidad con las leyes de Kepler.

¿Quién no ha observado el magnífico espectáculo que nos ofrece lo que se llama una estrella fugaz, y que en sus más espléndidas formas recibe á veces el nombre de bólido ó bola de fuego? En esta especie de objetos vamos á fijar ahora nuestra atención.

Un diminuto cuerpo, tal vez de las dimensiones de una piedra regular, ó más á menudo no mayor que una bolita de mármol, gira alrededor del Sol en una elipse, lo mismo que un poderoso planeta; y hoy por hoy cuéntase un número inconcebible de tales meteoros que se mueven de igual manera. Por desgracia están demasiado lejos para nuestros telescopios, y nunca los podemos ver sino en circunstancias extraordinarias.

Cuando divisamos el meteoro, generalmente se mueve con enorme velocidad, tanto que á menudo cruza una distancia de más de 20 millas en un segundo.

Esta rapidez es casi imposible cerca de la superficie de la Tierra, pues la resistencia del aire la impediría, mientras que en las altas regiones, en el espacio vacío, el meteoro no encuentra semejante obstáculo. Puede haberse movido alrededor del Sol miles ó millones de años sin la menor dificultad; pero llega el momento supremo y el bólido se desvanece con su último esplendor.

En sus largas excursiones el cuerpo se aproxima á la Tierra, y á pocos centenares de millas de su superficie comienza á encontrar la capa superior del aire que la envuelve. Para un cuerpo que se mueve con la espantosa velocidad de un bólido, la entrada en nuestra atmósfera suele serle fatal; pues, aunque las capas superiores de aire sean sumamente tenues, entorpecen de pronto la velocidad, como sucede con la bala de una carabina que se dispara contra el agua. Cuando el meteoro se precipita á través de la atmósfera, el rozamiento calienta su superficie, poco á poco se enrojece, después toma un color blanco y redúcese á vapor, produciendo una luz brillante; mientras que en la Tierra, á 100 ó 200 millas más abajo, todos exclaman: —¡Mirad: una estrella fugaz!

Tenemos aquí un ejemplo notable para ilustrar la teoría mecánica del calor. Podrá parecer increíble que el mero rozamiento sea suficiente para producirle en tal grado que se ostente con tanta brillantez; pero deben recordarse dos hechos: primeramente que la velocidad del meteoro es tal vez cien veces mayor que la de la bala de una carabina, y en segundo lugar que la eficacia del rozamiento para desarrollar el calórico es proporcionada al cuadrado de la velocidad. El meteoro, al atravesar el espacio, debe calentarse por la fricción del aire unas diez mil veces más que la bala disparada, y no exageramos al suponer que cuando el proyectil de un rifle cruza el aire se calienta 10°.

Consideremos ahora las circunstancias bajo las cuales se nos manifiestan esos cuerpos externos, y como ejemplo tomaremos un notable bólido

que se vió en 6 de noviembre de 1869. Se pudo divisar muy bien desde diferentes puntos de Inglaterra, y, combinando y comparando las observaciones, obtúvose un conocimiento exacto en cuanto á la altura del objeto y la velocidad con que caminaba.

Parece que este meteoro comenzó á ser visible en un punto situado á



FIG. 61.—PASO DEL BÓLIDO DE 6 DE NOVIEMBRE DE 1869

90 millas más arriba de Frome (Inglaterra) y que desapareció por la región que se halla á 27 millas sobre el mar, cerca de Ives, en Cornualles.

Representamos en nuestro mapa (fig. 61) el paso, la altura y las principales localidades desde donde se observó el meteoro. La longitud de su curso fué de unas 170 millas, que el cuerpo recorrió en un periodo de 5 se-

gundos, lo cual supone una velocidad media de 34 millas por segundo. Uno de los detalles más notables del meteoro fué la prolongada línea de vapor luminoso persistente, de unas 50 millas de largo por 4 de anchura, que se vió por espacio de 50 minutos. Tenemos aquí un ejemplo de los principales caracteres del fenómeno que nos ofrece uno de esos meteoros; pero debe observarse que la línea luminosa persistente no es general, ni tampoco un carácter muy común.

Los pequeños objetos que algunas veces cruzan por el campo del telescopio nos demuestran que hay innumerables estrellas fugaces, demasiado diminutas y débiles para que se puedan distinguir á la simple vista: sólo en el momento de desvanecerse conocemos su existencia; mas, por pequeñas que sean, su velocidad es tan prodigiosa que no se podría habitar la Tierra si nada se opusiese á que cayeran sobre la superficie en forma de lluvia. Por eso no debemos olvidar que nuestra atmósfera, además de tener otras buenas cualidades, constituye una especie de escudo que nos preserva de proyectiles á cuya velocidad no llegan ni con mucho los de ninguna artillería; pero la misma furia con que se precipitan es causa de su destrucción y de que se disuelvan en vapor inofensivo.

No es la presencia de un bólido lo que nos ofrece el más bello espectáculo: aun hay otra cosa más notable, y es lo que llaman *lluvia de estrellas*. Este fenómeno ha llamado mucho la atención en el último siglo, y los trabajos hechos para estudiarle han conducido á varios de los más interesantes descubrimientos astronómicos de los tiempos modernos.

Las lluvias de estrellas no se observan con mucha frecuencia. Sin duda la rápida percepción de aquellos que se dedican á estudiar los meteoros reconocerá uno de esos fenómenos allí donde otros sólo ven algunas estrellas fugaces; pero, hablando en general, podemos decir que la presente generación apenas las habrá presenciado dos ó tres veces. Yo he visto dos lluvias de estrellas, una de las cuales, ocurrida en noviembre de 1866, fué el más magnífico espectáculo astronómico que imaginarse pueda.

Para referir la historia de los meteoros de noviembre es necesario retroceder mil años atrás. En 902 ocurrió la muerte de un rey moro, y, coincidiendo con este acontecimiento, según dice un antiguo cronista, "aquella noche se vieron numerosas estrellas que se diseminaban como gotas de lluvia á derecha é izquierda, por lo cual se dió al citado año el nombre de *año de las estrellas*."

Sin duda nadie creará que el cielo quiso conmemorar la muerte de aquel rey con semejante fenómeno; pero el hecho tiene mucha importancia, porque indica que en el año 902 hubo una lluvia de estrellas. Con el mayor interés los astrónomos notaron que aquel era el primer ejemplo recordado de la bien conocida lluvia periódica cuya vuelta regular se vió en 1866. Diversas y diligentes investigaciones literarias han revelado, en distintas épocas, la aparición de cuerpos celestes que conviene con los retornos sucesivos de los meteoros de noviembre. Desde el primer caso en el

año 902 hasta el presente día se han contado 29 lluvias, y no sería improbable que todas se vieran más ó menos en diversas partes de la Tierra. Al principio no se comprendió su naturaleza, pero se anotó el hecho, y en varios casos se han conservado los apuntes ó notas que ahora han servido para ilustrar el asunto. Tenemos noticias históricas de 12 de esas lluvias, principalmente coleccionadas por los desvelos del profesor Newton, cuyos trabajos contribuyeron tanto á la adquisición de nuestros conocimientos sobre las estrellas fugaces.

Imaginémonos un enorme enjambre de estrellas fugaces moviéndose en el espacio, á manera de un banco de arenques en el océano: extiéndose sobre infinidad de millas cuadradas y conteniendo miriadas de individuos, ó á manera de esas enormes bandadas de palomas silvestres que Audubon ha visto en los Estados Unidos. El enjambre de estrellas fugaces, sin embargo, es mucho más numeroso que el de los arenques ó el de las palomas. Las estrellas fugaces, con todo, no están muy juntas: probablemente distan algunas millas una de otra. La actual masa del enjambre de estrellas fugaces es prodigiosa, y sus dimensiones deben medirse por centenares de miles de millas.

Los meteoros no pueden elegir su camino como los bancos de arenques, pues deben seguir el que el Sol les prescribe. Cada uno recorre su propia elipse independientemente de la de su vecino, y efectúa su gran viaje de varios miles de millones de millas cada treinta y tres años. No podemos ver los meteoros en la mayor parte de su órbita; pero es infinito el número de los que ahora recorren su paso. Actualmente (1885) están fuera del Sol; pero no ignoramos dónde se hallan aunque no se vean, y esto con tanta seguridad como sabemos que hay arenques en el mar. Estos no suelen divisarse á menudo hasta que se pescan, y lo mismo sucede con los meteoros, los cuales no se ven hasta que la Tierra los absorbe. Cada treinta y tres años nuestro globo se apodera de esos cuerpos, tan seguramente como el pescador de los arenques, y de una manera muy semejante; pues, mientras el hombre tiende la red en que las víctimas hallarán sus tumbas, del mismo modo nuestra Tierra presenta la atmósfera, donde los bólidos perecen. Dícese que no hay temor de que los arenques se agoten, pues los que se pescan no son nada en comparación de los que existen, y lo mismo podría decirse, y sería verdad, respecto á los bólidos. Hay tantos miles y miles de esos cuerpos que, aunque la Tierra absorbe millones cada treinta y tres años, todavía quedan muchos para las futuras lluvias. Nuestro diagrama (fig. 62) explica de qué modo la Tierra tiende su red: aquí vemos la órbita en que aquélla se mueve alrededor del Sol, así como el paso elíptico de los meteoros; pero ya se comprenderá que el paso de esos cuerpos es relativamente mucho más ancho de lo que se representa. Una vez al año la Tierra efectúa su revolución, y entre el 12 y 14 de noviembre cruza el trayecto en que los meteoros se mueven. Sucederá, por lo regular, que el grueso de éstos no se halle en el punto por donde la Tie-

rra pasa, pero siempre quedan algunos aislados; de modo que aquélla recoge, por lo regular, varios de ellos todos los años en la misma fecha. Precipítanse en nuestra atmósfera como estrellas fugaces, y forman lo que suelen llamar *meteoros de noviembre*. Sin embargo, en alguna ocasión se dará el caso de que cuando la Tierra esté á punto de cruzar el trayecto se encuentre con la legión de esos cuerpos. Entonces penetra á través de los mismos, rodeada de su capa de aire, y en esa red los meteoros se precipitan á millares para no volver á salir nunca. A las pocas horas la Tierra, moviéndose con la velocidad de 18 millas por segundo, ha cruzado el trayecto y sale por el otro lado, llevando consigo los despojos del encuentro. Los otros meteoros libres continúan su marcha sin la menor interrupción. Tal vez hayan desaparecido millones; pero probablemente quedan muchos más.

Esto es lo que sucedió con admiración del mundo en la noche del 13 al 14 de noviembre de 1866. La noche estaba hermosa, no había Luna, y los meteoros se reconocieron, no solamente por su inmenso número, sino también por su magnificencia intrínseca. Jamás olvidaré aquella noche: yo me ocupaba en hacer varias observaciones con el telescopio reflector de lord Rosse, y ya sabía que se había anunciado una lluvia de meteoros; pero no pensaba presenciar tan maravilloso espectáculo. Serían las diez de la noche cuando una exclamación de mi ayudante me hizo separar la vista del telescopio precisamente á tiempo para ver un meteoro magnífico que cruzaba el cielo. Fué seguido muy en breve por otro y otros que iban en grupos de dos ó tres, lo cual indicaba que la predicción del fenómeno estaba á punto de realizarse. En aquel momento se reunió conmigo lord Rosse, y, dejando á un lado nuestras observaciones, comenzamos á examinar el punto del cielo donde se manifestaba el fenómeno. Durante dos ó tres horas presenciábamos un espectáculo que nunca se borrará de mi memoria: las estrellas fugaces aumentaban en número, viéndose á veces varias á un tiempo. Tan pronto se inclinaban á la derecha como á la izquierda, pero todas divergían del E. A medida que la noche avanzaba, la constelación del León ascendía sobre el horizonte, y entonces se pudo observar bien el

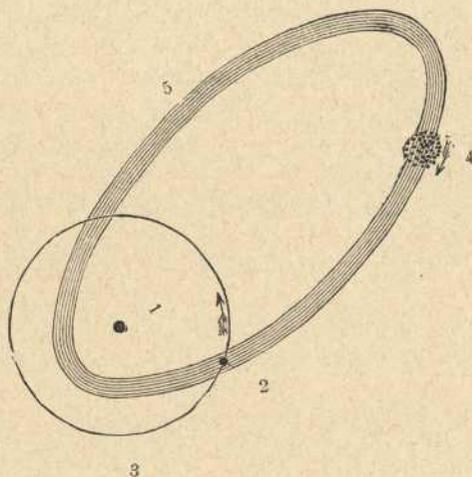


FIG. 62

1. El Sol.—2. La Tierra.—3. Órbita de la Tierra.  
4. Bólidos.—5. Órbita de los bólidos

notable carácter del fenómeno. Todas las trayectorias de los meteoros irradiaban del León (véase fig. 63). A veces se presentaba uno que parecía dirigirse hacia nosotros, y entonces su paso se acertaba de tal manera que apenas tenía una longitud apreciable, ofreciendo el carácter de una estrella fija ordinaria, cuya brillantez iba en aumento para desvanecerse después rápidamente. Sería imposible decir cuántos miles de meteoros vimos, todos ellos tan resplandecientes que hubieran causado admiración á cualquiera.

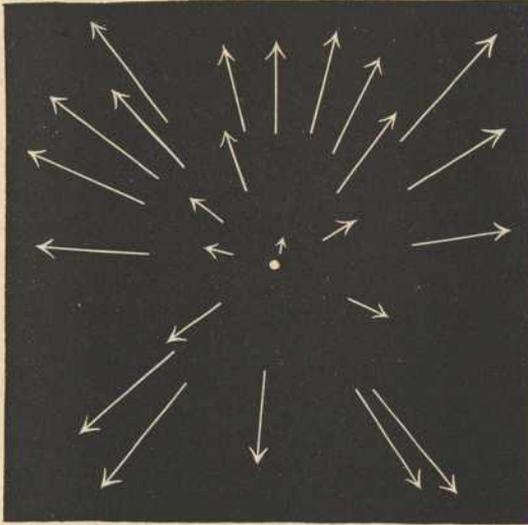


FIG. 63.—PUNTO RADIANTE DE LAS ESTRELLAS FUGACES

En el diagrama adjunto (fig. 63) representase de qué modo las estrellas fugaces de aquella lluvia divergían desde un punto; pero no debe suponerse que todas se vieran á la vez. El observador de este espectáculo debe tener un mapa de la parte del cielo en que las estrellas aparecen. Lo primero que hace es fijar su atención en una, y entonces observa cuidadosamente la línea que sigue respecto á las estrellas fijas inmediatas. Hecho esto, traza una línea en su mapa en la dirección en que el cuerpo se mueve, y, repitiendo la misma observación con las demás estrellas de la lluvia, raro será que su mapa no le muestre que las diversas trayectorias de casi todos estos cuerpos parten de un punto ó región de la figura. Cierto que hay algunas erráticas, pero la mayoría se someten á esta ley.

A primera vista diríase que las estrellas salen de este punto; pero un poco de atención bastará para reconocer que este es un caso en que el movimiento verdadero difiere del aparente.

Si hubiese un punto desde el cual divergiesen esos meteoros, este punto

se vería en distintas posiciones desde las diversas partes de la Tierra respecto á las estrellas fijas; pero no sucede así. El radiante, según se llama á este punto, se ve en la misma parte del cielo, sea cual fuere la estación en que la lluvia es visible.

En su consecuencia debemos aceptar la sencilla explicación que nos da la teoría de la perspectiva. Los que conocen los principios de esta ciencia saben que cuando se debe representar en un cuadro cierto número de líneas paralelas se las debe hacer pasar todas á través del mismo punto en el plano de la pintura, á no ser en el caso excepcional en que también son líneas paralelas á la pintura misma. Cuando miramos las estrellas fugaces, lo que realmente vemos no es otra cosa sino las proyecciones de sus pasos sobre la superficie del cielo. Por el hecho de que todos esos pasos atraviesan por el mismo punto debemos inferir que las estrellas pertenecientes á la misma lluvia se mueven todas en líneas paralelas.

El grande enjambre meteórico de los Leónidos, pues así se llama, ha recorrido ahora, poco más ó menos, la mitad de su inmenso viaje. En 1885 alcanzó su mayor distancia desde el Sol, y después comenzó á volver. Cada año la Tierra cruza la órbita de los meteoros, pero no se encuentra con su ejército, y, de consiguiente, no se ve ninguna lluvia de estrellas; pero, á medida que avanza el tiempo, aquéllas se aproximan al punto crítico, y así es que en el año 1899 se producirá el encuentro en el paso de la Tierra, pudiéndose ver entonces otra brillante lluvia meteórica. El enjambre que forman esos cuerpos tiene tan enorme longitud que se necesita más de un año para que la inmensa procesión pase por el punto crítico de su órbita, que se halla á través de la trayectoria de la Tierra, y así vemos que los meteoros no pueden escapar. Algunos, sin embargo, los que tengan la fortuna de hallarse distantes del paso de la Tierra, podrán escapar de la red, porque es dable suceder que, cuando la legión se acerque á nosotros, la Tierra haya dejado libre una parte de su paso; pero algunos de los que van detrás, menos felices, serán absorbidos. Si la Tierra acertase á pasar en un año por la parte anterior del enjambre, éste es tan largo que aquélla se habría movido alrededor de su órbita de 600.000,000 de millas y se precipitaría de nuevo á través del punto crítico antes que todos los meteoros hubieran acabado de pasar. La historia recuerda casos en que hubo brillantes lluvias de Leónidos en dos meses de noviembre consecutivos.

Como la Tierra consume tantos miles de meteoros cada treinta y tres años, síguese de aquí que su número total debe disminuir, y no cabe duda que el esplendor de las lluvias en las futuras edades se resentirá de esta circunstancia.

No pueden ser siempre tan magníficas como lo han sido, y debe notarse que la forma del enjambre cambia gradualmente. Cada uno de sus meteoros se mueve en su propia elipse alrededor del Sol y es del todo independiente de los demás cuerpos; de modo que cada uno tiene un período espe-

cial de revolución que depende de la longitud de la elipse en que puede girar. Dos meteoros se moverán alrededor del Sol al mismo tiempo si las longitudes de sus elipses son exactamente iguales, pero no de otro modo. La longitud de estas elipses mide muchos centenares de millones de millas, y es imposible que puedan resultar del todo iguales, reconociéndose por esto el origen de un cambio gradual en el carácter de la lluvia de estrellas. Supongamos dos meteoros, A y B, de los cuales el primero da la vuelta completa en treinta y tres años, mientras que el segundo emplea treinta y cuatro. Si los dos parten juntos, cuando haya terminado la primera vuelta B se habrá atrasado un año, y á la vez al año siguiente se retardará en dos, siguiéndose esta progresión sucesiva. Este caso es del todo paralelo al de cierto número de niños que emprenden una larga carrera y deben franquear la distancia varias veces para recorrer el trayecto prefijado. Al principio salen todos en grupo, y tal vez en la primera vuelta y en la siguiente se conserven bastante próximos; mas poco á poco el más corredor se pone á la cabeza de los demás y el más lento se queda en el último término, prolongándose así el grupo. Si la carrera continúa, los chicos se dispersan en el trayecto, y tal vez el primer muchacho alcanzará el último. Tal parece ser el destino de los meteoros de noviembre en las futuras edades: el grupo se diseminará en un tiempo venidero en la inmensa distancia que aquéllos deben recorrer, y ya no se ofrecerá el magnífico espectáculo cada treinta y tres años.

La lluvia de meteoros en noviembre de 1866 condujo á un magnífico é interesante descubrimiento en la astronomía matemática, debido al profesor Adams. Ya hemos visto que los Leónidos deben moverse en un paso elíptico y que vuelven cada treinta y tres años; pero el telescopio no puede seguirles durante sus excursiones. Todo lo que sabemos por la observación es la fecha en que se presentan, el punto del cielo de donde irradian y su vuelta cada treinta y tres años. Reunidos estos datos, es posible determinar, aunque no exactamente, la elipse en que los meteoros se mueven, pues los hechos nos dicen solamente que aquélla puede tener cinco órbitas, á saber: primero el inmenso elipse en que sabemos que los meteoritos efectúan su revolución, para la cual necesitan treinta y tres años completos; después una órbita casi circular, muy poco mayor que el paso de la Tierra, y que los meteoros atravesarían en pocos días más de un año; otra órbita semejante en que el tiempo sería algunos días menos de un año, y otras dos órbitas elípticas situadas dentro de la órbita de la Tierra. El profesor Newton demostró claramente que los hechos observados explicarían si los meteoros se movían en cualquiera de estos pasos, pero no con ninguna otra hipótesis. Faltaba saber cuál de estas órbitas sería la verdadera, y el mismo Newton indicó el método posible para resolver el problema, aunque era muy difícil y estaba sometido á los más complicados cálculos. Por fortuna el profesor Adams emprendió la investigación, y gracias á sus trabajos se ha reconocido completamente el paso de los Leónidos.

Examinando los antiguos datos que se conservan sobre su aparición, obsérvese que las fechas en que se presentan cambian de un modo gradual y continuo, y síguese de aquí, como consecuencia necesaria, que el punto en que el paso de los bólidos cruza el trayecto de la Tierra no es fijo, sino que á cada vuelta sucesiva aquéllos pasan por un punto que se halla medio grado más allá, poco más ó menos, en la dirección en que la Tierra viaja. De aquí se deduce que la órbita en que los meteoros giran sufre un cambio; de modo que el paso seguido en un viaje difiere poco del que se recorrerá después. Sin embargo, como esos cambios se producen en la misma dirección, pueden alcanzar gradualmente dimensiones considerables, que al cabo de algunos siglos se apreciarán por las dos elipses representadas en nuestro diagrama (fig. 64). La línea continuada figura la órbita en 126 d. de J., y la de puntos la representa en la actualidad.

El muy marcado cambio en la órbita se atribuye por los astrónomos á lo que hemos llamado perturbación. Cierto es que el movimiento elíptico de esos cuerpos se debe al Sol, y que, si sólo influyera en ellos el astro, la elipse no se alteraría en lo más mínimo, por lo cual vemos en los cambios graduales de aquélla la influencia de las atracciones de los planetas. Se ha demostrado que, si los meteoros se movieran en la órbita grande, la desviación del paso se debería atribuir á la atracción de Júpiter, Saturno, Urano y la Tierra; mientras que, si recorriesen una de las órbitas más pequeñas, los planetas que estarían más próximos para influir sensiblemente en ellos serían la Tierra, Venus y Júpiter. Hé aquí, pues, cómo puede resolverse la cuestión. Sería difícil, pero no imposible, calcular qué efecto sería capaz de producir la atracción de los planetas según las diversas suposiciones respecto á la órbita, y esto es lo que Adams ha hecho. Obtuvo por resultado que, si los meteoros se movían en la órbita grande, la atracción de Júpiter influiría por dos terceras partes en el cambio observado, y la otra se debería á la influencia de Saturno y un poco á la de Urano. De este modo el cálculo demostró que la órbita grande era posible, y el profesor Adams computó también el grado de desviación que podría producirse en el paso si los meteoros girasen en cualquiera de las cuatro elipses menores. La investigación fué muy laboriosa, pero los resultados compensaron ampliamente el trabajo, habiéndose demostrado que en este caso sería imposible obtener por medio de las perturbaciones una desviación que fuese ni aun la mitad de la que se observaba.

Estas cuatro órbitas, por lo tanto, eran imposibles, y la demostración fué completa en cuanto al carácter del paso en que los meteoros efectúan su revolución.

En esta última los movimientos están sometidos á las leyes de Kepler. Cuando se halle la parte de su paso más distante del Sol, la velocidad de un meteoro es la menor, pues sólo recorre poco más de una milla por segundo; pero, á medida que avanza hacia el astro, la rapidez aumenta gradualmente, hasta que, cuando el meteoro cruza el paso de la Tierra, su

velocidad no baja de 26 millas por segundo. Nuestro globo se mueve en opuesta dirección casi, recorriendo 18 millas en dicho tiempo; de manera que, si el meteoro llega á tocar la atmósfera de la Tierra, lo hace con una velocidad de casi 44 millas por segundo. Si el meteoro escapa del contacto prosigue su marcha con una rapidez que disminuye gradualmente, y cuando

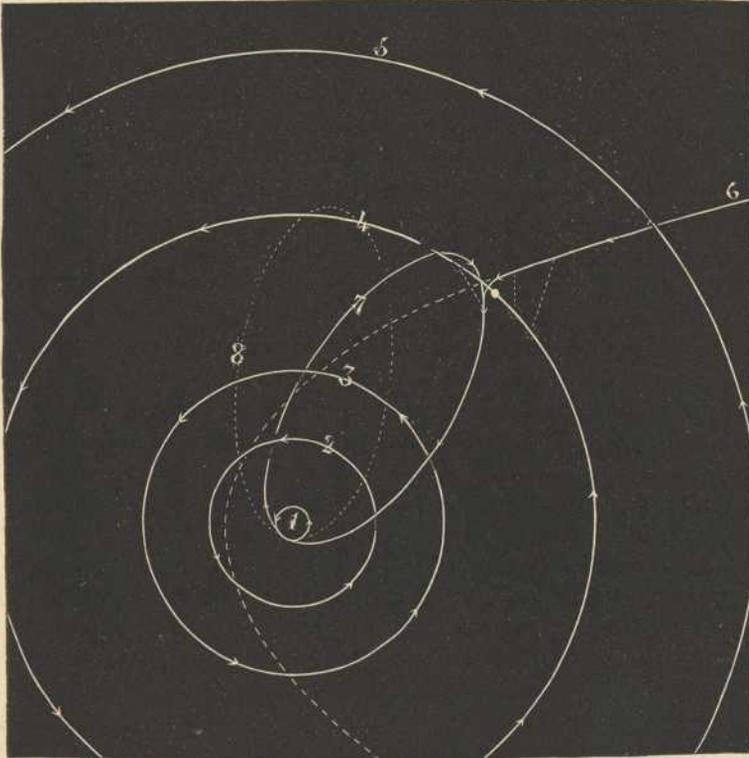


FIG. 64.—LA HISTORIA DE LOS LEONIDOS

1. Órbita de la Tierra.—2. Íd. de Júpiter.—3. Íd. de Saturno.—4. Íd. de Urano.—5. Íd. de Neptuno.—6. Paso de los meteoros antes del año 126.—7. Órbita de los meteoros después de 126.—8. Posición de la órbita al presente.

haya completado su viaje habrá trascurrido un período de treinta y tres años y un cuarto.

Los innumerables meteoros que constituyen el grupo de los Leónidos están dispuestos en una corriente enorme de una anchura muy escasa en comparación con la longitud. Si representamos la órbita por una elipse de 7 pies de largo, se habrá de figurar la corriente meteórica por un hilo de pie y medio ó 2 de longitud que se extiende á lo largo de la órbita. Las dimensiones de esta corriente se pueden apreciar considerando que ni aun su

anchura puede ser de menos de 100,000 millas, y será posible calcular su longitud por la circunstancia de que, aunque recorre unas 26 millas por segundo, la corriente necesita unos dos años para traspasar el punto en que su órbita cruza el trayecto de la Tierra.

En la memorable noche del 13 al 14 de noviembre de 1866, la Tierra se sumergió en esa corriente por su parte anterior, y no salió por el otro lado hasta cinco horas después. Durante ese tiempo el hemisferio de nuestro globo que estaba delante comprendía la Europa, Asia y África, y, por lo tanto, en el antiguo mundo fué donde se vió la gran lluvia. Cuando la Tierra volvió al mismo lugar, la corriente no había pasado del todo, y el globo penetró otra vez; pero entonces el continente americano estaba delante, y en consecuencia allí fué donde se vió la lluvia de 1867.

Nuestro diagrama tiene también por objeto indicar, bajo la autoridad de Le Verrier, cómo la gran corriente de meteoros llegó á introducirse en el sistema solar. La órbita en que aquéllos giran no interesa los pasos de Júpiter, de Saturno ó de Marte, pero sí toca la órbita de Urano; de modo que algunas veces debe darse el caso de que ese planeta cruce á través de este punto de su paso precisamente cuando los meteoros han llegado allí. Le Verrier ha demostrado que semejante hecho ocurrió en el año 126, pero que no se ha repetido desde entonces. Así tenemos, al parecer, la clave de una maravillosa historia del pasado. Hé aquí cómo se expresa sobre el particular Mr. G. Stoney :

“Todo se explicaría si supiéramos que antes del año 126 los meteoros habían estado moviéndose más allá del sistema solar, y que en dicho año cruzaron casualmente el paso del planeta Urano, recorriendo un trayecto como el que se presenta en el diagrama. A no ser por el planeta, hubieran seguido el curso marcado con la línea de puntos, y, después de pasar por el Sol, se habrían retirado por el otro lado á las profundidades del espacio, á la misma inconmensurable distancia á que se halla el punto de que partieron; pero el contacto con el planeta cambió su destino. Por grande que aquél fuera, no les afectaría sensiblemente hasta que se hallaran á cierta distancia, que en nuestro diagrama parecería muy corta; pero, sin duda, rasaron la superficie, y cuando estuvieron muy próximos al planeta éste pudo arrastrarlos fuera de su primitivo curso. Así lo haría Urano. Y cuando, prosiguiendo su propia marcha, estuvo otra vez demasiado lejos para influir en los meteoros sensiblemente, éstos retrocedieron lentamente, comenzando á recorrer después la nueva órbita alrededor del Sol, correspondiente á la posición en que fueron colocados.

“Al parecer pasaron por Urano cuando no eran aún más que un pequeño grupo; pero los meteoros que estaban próximos al planeta fueron atraídos con alguna más fuerza que los demás, y el resultado de esto debió ser inevitablemente que, cuando el grupo se halló libre, sus diversos cuerpos no estuvieron ya tan compactos como antes, ni se movían exactamente del mismo modo. Hé aquí por qué sus órbitas debían diferir ligeramente alre-

dedor del Sol, que, como hemos visto, les obligaría con el tiempo á formar la prolongada corriente en que ahora vemos los meteoros al cabo de diez y siete siglos.

“Lo cierto es que hubo un tiempo en que esos cuerpos penetraron en el paso que ahora siguen, y esto debió suceder á fines de febrero ó principios de marzo del año 126, aunque esto no pasa de ser una probabilidad. Sin embargo, es *muy* posible, porque explica todos los fenómenos hasta ahora conocidos; pero los astrónomos no pueden decir, por lo tanto, que sea cosa averiguada, puesto que falta un eslabón para completar la cadena de las pruebas. Los que vivimos hoy la tendríamos seguramente si nuestros antecesores hubiesen hecho bastantes observaciones, y nuestra posteridad la obtendrá cuando compare sus trabajos con los que ahora hacemos nosotros tan cuidadosamente. Entonces se sabrá si el grado en que se acorta la corriente de meteoros es tal que pueda indicar que en el año 126 fué cuando comenzó el procedimiento. En tal caso la hipótesis de Le Verrier quedaría completamente confirmada.”

La determinación del verdadero paso elíptico de los Leónidos condujo al profesor Schiaparelli á hacer un descubrimiento inesperado, que reveló una relación misteriosa entre las lluvias de estrellas y los cometas periódicos.

En 1866 apareció uno de estos últimos, y por las observaciones que se practicaron pudo calcularse el paso en que el cometa se movía; pero ¡cuál no sería la admiración de los astrónomos cuando se reconoció que ese paso era el mismo que recorrían los Leónidos! Para hacerse cargo de esta coincidencia se deben considerar por separado los diversos puntos que implica. Tómese, por ejemplo, el plano en que el cometa se mueve, que podrá tener cualquiera posición con tal que pase á través del centro del Sol, y del mismo modo la órbita de los meteoros podrá hallarse en cualquiera de los planos que cruzan por el centro del astro. Que los dos planos pueden coincidir en un todo es cosa que se debe considerar casi improbable si se tratara de una mera casualidad.

La coincidencia no se limita solamente á esto: no solamente coinciden los planos, sino que la dirección de los ejes de las órbitas en aquéllos es casi idéntica, y esto también sería muy improbable si fuera sólo cuestión de mera casualidad; pero aun no hemos apurado el asunto, pues también aparece que la distancia más corta desde el Sol á la órbita es en cada caso idéntica. Tenemos aquí una concentración de hechos que prueban claramente que debe haber alguna profunda relación física entre los cometas y los meteoros. Los hechos observados se explicarían si supusiéramos que el cometa debe ir precedido ó seguido por una corriente meteórica; pero esto implica, por supuesto, una muy íntima conexión entre el cometa y los meteoros, aunque hasta ahora no podemos decir cuál será su verdadera naturaleza.

La notable asociación entre los cometas y los meteoros ha sido obser-

vada en otras varias corrientes meteóricas además de la de los Leónidos. Así, por ejemplo, podemos citar uno de los enjambres más constantes en su aparición anual, al cual se ha dado el nombre de los *Perseidos*, por la circunstancia de que el punto radiante se halla en la constelación de Perseo. Este enjambre es el que llaman también de los *meteoros de agosto*, y que se produce desde el 9 al 11 de este mes todos los años. Su órbita, cuidadosamente determinada, resulta ser el paso de un cometa. Hay otras lluvias de estrellas de las que podría decirse lo mismo, y citaremos en particular una que ha llamado mucho la atención.

En la noche del 27 de noviembre de 1872 observóse perfectamente uno de esos fenómenos, siendo de notar que las estrellas divergían de un punto radiante en la constelación de Andrómeda. Yo calculé que se contaban trescientos meteoros por hora; pero no eran brillantes ni dejaban rastros muy largos; de modo que el espectáculo fué, en mi concepto, muy inferior al que se vió en 1866. Sin embargo, si bajo el punto de vista pintoresco la lluvia de 1872 es inferior á la de 1866, difícil sería decir cuál de ellas tiene mayor importancia científica.

Seguramente es una coincidencia singular que la Tierra se encuentre con los Andrómedos (así se llama esta lluvia) en el mismo instante en que cruza el trayecto del cometa de Biela. Hemos observado la dirección que siguen los Andrómedos cuando se acercan para penetrar en la atmósfera. También se puede averiguar la que sigue dicho cometa cuando cruza por el paso de la Tierra, y vemos que es idéntica la dirección en que se mueven el cometa y los meteoros. Así, hemos reconocido que las órbitas recorridas por los Andrómedos y el cometa de Biela coinciden entre sí, lo cual es un poderoso motivo para creer en la relación de los primeros con el segundo; pero no se reduce todo á esto. Dicho cometa se observó en 1772, y otra vez desde 1805 á 1806, antes de que se conociera su vuelta periódica en siete años. En 1846 el mundo astronómico quedó admirado al ver que se presentaban entonces dos cometas en vez de uno, y los dos fragmentos se reconocieron de nuevo al efectuarse la vuelta en 1852. En 1859 no se observó la menor señal del cometa de Biela, ni tampoco desde 1865 á 1866, que era cuando debía aparecer; pero á fines de 1872 era llegado el tiempo de que regresase el cometa de Biela, y así es que la gran lluvia de los Andrómedos tuvo lugar hacia el mismo tiempo en que el cometa debía verse. De aquí se deduce evidentemente que si esas estrellas no forman parte del cometa mismo, por lo menos están íntimamente relacionadas con él.

Sólo hemos hecho mención de tres de las lluvias periódicas, que son las que ofrecen verdaderamente un espectáculo digno de admirarse bajo el punto de vista pintoresco; pero hay otras muchas bien conocidas de aquellos que han estudiado el asunto.

Es una circunstancia curiosa que las lluvias meteóricas no hayan lanzado, al parecer hasta ahora, ningún cuerpo que llegara á la superficie de la Tierra. De los miles y miles de Leónidos, de Perseidos y de Andróme-

dos no se ha obtenido ni identificado una sola partícula. Esos cuerpos que caen del cielo á la Tierra, y que llamamos *meteoritos*, nunca proceden de las grandes lluvias de estrellas, por lo que ahora sabemos. Parecen ser fenómenos de muy distinto carácter que los meteoros periódicos.

Es bastante singular que sea moderna la creencia en el origen celeste de los meteoritos. En la antigüedad se consideraban, sin duda, como piedras maravillosas caídas del cielo, y hace un siglo creíanse aún fabulosas, aunque había suficientes pruebas de lo contrario. Por lo demás, no se asemejaban á ninguna de las ya conocidas, y hasta citábanse casos de hombres muertos por el golpe recibido de esos cuerpos celestes.

Esas piedras fueron vistas generalmente por personas ignorantes, y dieron sobre ellas tantos detalles imaginarios que la ciencia rehusó creer que tales objetos cayeran del cielo. Y aun hoy es á menudo muy difícil obtener datos seguros sobre las circunstancias que acompañan á la caída de un meteorito.

En 1794, Chladni publicó un informe sobre la notable masa de hierro que el viajero Pallas había encontrado en Siberia, y este fué el primer paso de importancia que se dió para reconocer que así este objeto como otros análogos eran, en realidad, de origen celeste; pero los argumentos que presentó Chladni no convencieron á todos, según parece. Poco después, en 1795, exhibióse en Londres una piedra de 56 libras de peso, que varios testigos aseguraban haber visto caer en el Yorkshire, y que fué depositada en la colección del Museo Británico. Entonces comenzaron á llegar pruebas de otros puntos. Varios fragmentos de piedras procedentes de Italia y de Benarés resultaron ser idénticos á la del Yorkshire, y con esto se desvaneció la incredulidad de aquellos que dudaban del origen celeste de dichos objetos. En 1802 publicóse una bien redactada memoria sobre la piedra de Benarés en las *Transacciones filosóficas*, y, para completar la demostración, en el año siguiente acaeció una lluvia de piedras en L'Aigle, Normandía. La Academia Francesa comisionó al físico Biot para que practicara un detenido examen en el sitio donde ocurrió el hecho, y su investigación disipó la última duda, pasando, por lo tanto, las piedras meteóricas desde el dominio de la geología hasta el de la astronomía. Debe notarse, como singular coincidencia, que el hecho de reconocerse el origen celeste de los meteoritos fué simultáneo con el descubrimiento de la primera serie de planetas menores. Una vez admitida la realidad de esas caídas de piedras, los fenómenos de esta especie ocurridos en la antigüedad debían excitar el mayor interés, y por lo tanto se les dió el crédito que merecían. Uno de los más remotos que se recuerdan es el de la lluvia de piedras que Livio describe, y que tuvo lugar, según dice el autor, hacia el año 654 a. J. en el monte Albano, cerca de Roma. Entre los más modernos casos podemos citar uno que se pudo comprobar debidamente, y que se produjo en 1492 en Ensisheim (Alsacia). El emperador Maximiliano mandó que se hiciera un informe detallando todas las circunstancias y que se depositase en la iglesia con la piedra.

Esta última fué suspendida en un arco del templo, y allí estuvo tres siglos, hasta que al estallar la Revolución francesa fué conducida á Colmar, habiéndose desprendido entonces algunos pedazos, de los cuales se conserva uno en el Museo Británico. Afortunadamente este objeto volvió á ocupar su antigua posición en la iglesia de Ensisheim, donde es un atractivo para muchas personas. El informe que se redactó sobre la piedra decía lo siguiente: "En el año del Señor de 1492, el miércoles antes de la fiesta de San Martín, prodújose un singular milagro, pues de once á doce de la noche oyóse un estrépito semejante á un trueno y un ruido confuso que se percibió á gran distancia, cayendo en el mismo instante, de los aires, en la jurisdicción de Ensisheim, una piedra que pesaba 260 libras. Un niño vió cómo caía en un terreno arado, en el campo que hay hacia el Rhin, cerca del distrito de Gisingang. La piedra no dañó á nadie, pero sí hizo un agujero profundo, de donde se extrajo para colocarla en la iglesia para recordar el milagro. Y allí fué mucha gente para ver la piedra, y se habló largo tiempo sobre el hecho. Los más sabios dijeron que ignoraban lo que aquello podría ser, porque no estaba en el orden natural de las cosas que semejante mole cayera de los aires, y que, por lo tanto, se debía considerar aquello realmente como un milagro de Dios, pues nunca se había visto ni oído nada por el estilo.

"En el hecho de que la piedra hubiese penetrado sólo en el terreno una mitad de la estatura de un hombre, se explicó diciendo que había sido la voluntad de Dios que se encontrara. El ruido que produjo oyóse en Lucerna y en Villingen y en otros muchos puntos, y fué tan estrepitoso que el pueblo creyó que se habían hundido varias casas. El rey Maximiliano, que estaba allí, dispuso que la piedra fuese conducida al castillo, y, después de hablar largo rato sobre el hecho con los notables, ordenó que la llevaran á la iglesia, sin permitir que nadie tomara el menor pedazo; pero el monarca conservó dos para sí, enviando después uno de ellos al duque Segismundo de Austria. La piedra fué suspendida en el coro, donde aun está, y mucha gente va al templo para verla."

Una vez reconocido el origen celeste de los meteoritos, merecen éstos nuestra especial atención, porque con ellos se puede obtener directamente conocimiento de los materiales de los cuerpos exteriores á nuestro planeta, analizarlos y ver de qué se componen. No entraremos aquí en un minucioso detalle sobre la estructura de los meteoritos, porque esto corresponde más bien á los químicos y á los mineralogistas que á los astrónomos. Bastará, pues, examinar algunos de sus principales caracteres, como preliminar al estudio sobre el origen probable de esos cuerpos.

En el Museo Británico se puede examinar una magnífica colección de meteoritos procedentes de todas las partes del mundo y muy variables por sus dimensiones, pues los hay desde el tamaño de la cabeza de un alfiler hasta el de moles de varios centenares de libras. También hay vaciados de célebres meteoritos cuyos originales están diseminados en otros varios museos.

Muchos de ellos no tienen nada muy notable por su aspecto exterior. Si se encontraran á la orilla del mar pasarían desapercibidos; y, sin embargo, ¡qué historia podría referirnos semejante piedra si tuviese la facultad de hablar! Se la vió caer del cielo; pero ¿cuál fué su movimiento antes de esto? ¿Cayó hace cien años ó mil? ¿Por qué regiones del espacio anduvo errante? ¿Por qué no cayó en alguna época anterior? Tales son las preguntas que nos dirigimos al examinar uno de esos cuerpos tan interesantes. Varios de ellos se componen de materiales muy característicos, como por ejemplo uno de los más recientes, conocido con el nombre de *siderita de Rowton*. Este cuerpo difiere mucho de la especie más común de meteoritos pétreos, y seguramente que cualquiera lo vería sin fijar en él la atención. Sólo por su peso excitaría la curiosidad, y si raspara un poco con una lima veríase que no es en nada una piedra, sino una masa casi de hierro puro. Conocidas son las circunstancias que concurrieron en la caída de este meteorito: el 20 de abril de 1876, á las tres y cuarenta minutos de la tarde, oyóse un ruido extraño seguido de una fuerte explosión, que se percibió en el espacio de 8 ó 10 millas á la redonda al N. del Wreckin. Una hora después un labrador observó en el terreno de uno de sus campos algún trastorno, vió un agujero, y halló en su interior el meteorito, aun caliente, á 18 pulgadas bajo la superficie del suelo. Varios hombres que trabajaban cerca de allí oyeron también el ruido del descenso, pero sin poder indicar á punto fijo dónde había caído. Aquel cuerpo de 7 libras de peso era una masa de hierro de forma irregular, aunque los bordes parecían redondeados por la fusión en su tránsito á través de los aires, hallándose cubierto todo él de una película negra y espesa de óxido de hierro magnético, excepto en el punto que chocó contra el suelo. El duque de Cleveland, en cuyas posesiones cayó el meteorito, lo presentó al Museo Británico, donde, así como la siderita de Rowton, llama la atención de todos cuantos se interesan en el estudio de esos cuerpos.

La siderita es interesante en particular á causa de su marcado carácter metálico. La caída de las sideritas, según las llaman, no es tan común como la de los meteoritos pétreos, y, á decir verdad, conócense pocos ejemplares de hierros meteóricos, mientras que los de piedra abundan mucho. No se creería así, sin embargo, al visitar el Museo Británico, porque allí hay una numerosa colección de hierros meteóricos que son realmente los objetos más notables. La explicación no es difícil. En las llanuras de Siberia ó de la América Central los meteoritos de piedra han caído seguramente á centenares y á miles; pero la piedra se desmenuza, y en ningún caso llamarían la atención del hombre tanto como los de hierro, resultando de aquí que, aunque los primeros caen con mucha mayor frecuencia, á menos de verse en el instante del descenso, es muy fácil que pasen desapercibidos mucho más que los otros.

Hemos dicho que al caer la siderita de Rowton se produjo un gran estrépito, como sucedió con el meteorito de Ensisheim, en lo cual tenemos un

carácter distintivo del fenómeno. Parece que en casi todas las caídas de meteoritos observadas hubo una fuerte explosión; pero no podemos decir que esto sea una condición invariable, y también sucede que los meteoros truenan á menudo sin arrojar piedras que se vean. La violencia asociada con el fenómeno se pudo reconocer muy bien en el meteorito de Butsura, caído en la India hace unos veinte años. Oyóse una fuerte explosión, y poco después recogieronse varios fragmentos de piedra en puntos separados por una distancia de varias millas; pero, reunidos aquéllos, vióse que se ajustaban tan bien que se pudo reconstruir.

Hay otros tipos de meteoritos, como el hierro de Breitenbach, que forman una clase intermedia entre los de hierro y los de piedra. Consisten en una grosera estructura celular petrosa, con las cavidades llenas de sustancias minerales.

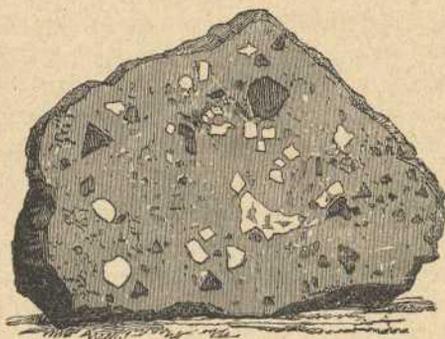


FIG. 65. — SECCIÓN DEL METEORITO DEL CHACO

Examinado un meteorito, vese que está compuesto de pequeños fragmentos unidos entre sí á la manera de ciertas rocas volcánicas bien conocidas. Otros hay que están formados por diminutísimas partículas análogas á las que forman las tobas volcánicas. La estructura de los meteoritos puede ser ilustrada por el corte de un meteorito hallado en la Sierra de

Chaco, el cual pesaba 30 libras (fig. 65), perteneciendo á la clase de los meteoritos pétreos. Su forma demuestra que es un fragmento de bordes angulosos, no cabiendo duda que primeramente se hizo pedazos en la atmósfera. En este meteorito hay numerosos granitos de hierro mezclados con sustancias minerales. El hierro de muchos meteoritos presenta caracteres semejantes á los que se observan en la rajadura del hierro por la dinamita.

De muy diferente tipo es el meteorito carbonoso de Orgueil, que cayó en Francia el 14 de mayo de 1864, y rivalizaba en tamaño con la luna llena. Su diámetro tenía algunos centenares de metros, pero se deshizo en millares de fragmentos, que se esparcieron en una extensión de más de 15 millas de largo. No contenía la menor partícula de hierro, pero sí muchos minerales de los que se hallan en los otros meteoritos, *asociados con carbono* y con sustancias de un material blanco ó amarillento cristalizabile, soluble en el éter y semejante á los hidrocarburos. Como las sustancias de igual carácter que tenemos en la Tierra, debía de ser probablemente un producto resultante de la vida animal ó vegetal.

Hemos dicho que un cuerpo moviéndose con gran velocidad y pe-

netrando en el aire alcanzará la temperatura del color rojo y del color blanco ó se convertirá en vapor. ¿Cómo pueden caer, pues, aerolitos en estado sólido? Sólo puede explicarse teniendo en cuenta que, moviéndose también nuestra Tierra con la velocidad de cerca de 80 millas por segundo, la velocidad relativa de ambos cuerpos es comparativamente ligera. No entrando, pues, en directa colisión con la Tierra, y no debiendo componerse la velocidad de la suma de las dos, concíbese la posibilidad.

Respecto al origen de los meteoritos no podremos hablar con seguridad. Según el mineralogista austriaco Tschermak, *los meteoritos tienen un origen volcánico en algún cuerpo celeste*. La dificultad, sin embargo, está en la tremenda velocidad inicial que se requiere. Otra teoría supone que los meteoritos proceden de los volcanes de la Luna, evidentemente pasivos hoy; no falta quien les hace viajar desde los planetas menores, verbigracia Ceres; y, por último, gran número de astrónomos les dan un origen *terrestre*, suponiendo que, expelidos por nuestros volcanes en los primeros tiempos de la historia del planeta, y lanzados á grandes distancias, vuelven á caer ahora después de haber experimentado grandes perturbaciones en los espacios siderales.

En apoyo de esta teoría de un antiguo origen terrestre está el hecho de ser los principales constituyentes de los meteoritos el hierro y el níquel. Cuando Nordenskiöld descubrió en la Groenlandia una masa de hierro nativo conteniendo níquel, creyóse que se trataba de un viajero celeste, y, sin embargo, resultó que el hierro de Ovífak fué encontrado sobre un lecho de basalto vomitado del interior de la Tierra.

Además de los meteoritos sólidos, caen en la Tierra residuos de las estrellas fugaces ordinarias, de origen celeste. En esta parte la evidencia es irrecusable. La nieve de las regiones árticas está sembrada de partículas de hierro, y semejantes partículas se hallan también en las torres de las catedrales y en otras circunstancias. Muchas partículas de esta clase son realmente de origen cósmico. En el famoso crucero del *Challenger* las dragas sacaban de las profundidades del Atlántico numerosas partículas magnéticas que no había ninguna razón para suponer se hubiesen depositado desde la superficie. La arena de los desiertos del Africa, examinada al microscopio, ofrece también vestigios de diminutas partículas de hierro que presentan señales de haber estado sometidas á elevadísimas temperaturas.

La Tierra arrastra partículas cósmicas en su curso continuamente, pero no cede jamás una partícula suya. La consecuencia es inevitable: la masa de la Tierra aumenta. Es muy probable que una parte apreciable de la sustancia sólida de la Tierra derive de la sustancia meteórica que en perenne lluvia descende sobre su superficie.





## CAPITULO XVII

### LOS CIELOS ESTELARES

Importancia del sistema solar.—Vista en el espacio —Otros sistemas estelares.—El Sol es una estrella.—Las estrellas son luminosas de por sí.—Vemos los puntos de luz, pero no otra cosa.—Las constelaciones.—La Osa Mayor y los Canes.—La estrella Polar.—Andrómeda, Pegaso y Perseo.—Las Pléyades: el Cochero, la Cabrilla y Aldebarán.—El Toro, Orión y Sirio.—Cástor y Pólux.—El León.—La Corona y Hércules.—Virgo y la Espiga.—Vega y la Lira.—El Cisne.

**E**N los anteriores capítulos de esta obra hemos estudiado el Sol y su sistema planetario y otros cuerpos, dando á conocer hechos que maravillan, los más propios para despertar la idea de la estupenda escala sobre que están contruídos los cielos. Sin embargo, no debemos olvidar las circunstancias que nos inducen á atribuir al sistema solar tanta importancia en el esquema del universo. Dicha importancia se debe al hecho de tener nosotros por residencia un planeta perteneciente al sistema expresado. Los otros planetas, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, son vecinos nuestros. Es la Luna nuestra inseparable compañera, y el Sol la inmensa lámpara que nos da luz y calor. De ahí que á nuestros ojos tenga el interés y se nos ofrezca con la familiaridad de una casa. Estamos rodeados por él, y su bienestar es el nuestro. Vivimos sin pensar si habrá otros sistemas además del que conocemos, y sin ocuparnos de si se contarán en el universo algunos ó muchos muy superiores en extensión y en esplendor al nuestro.

Y al reflexionar sobre esto se nos ocurren una infinidad de preguntas, deseamos saber muchos detalles: conocer las dimensiones de esos grandes soles y de los planetas que circulan á su alrededor, la configuración de estos últimos y su superficie, y saber, en fin, si es posible que estén habitados. Quisiéramos comparar tales sistemas con el nuestro, para saber si tienen también satélites y planetas, si esos soles presentan los notables caracteres que distinguen al que nos ilumina, y si hay allí igualmente innumerables cometas.

Se pueden hacer todas estas preguntas, pero en gran parte no se puede contestar á ellas. Esos otros sistemas se hallan alejados en el espacio á tan inmensa distancia que no nos es dado obtener los detalles apetecidos; y de los planetas que los rodean nada es posible decir tampoco, aunque acá y allá se adivina su existencia en cierto modo, considerándose, por lo tanto,

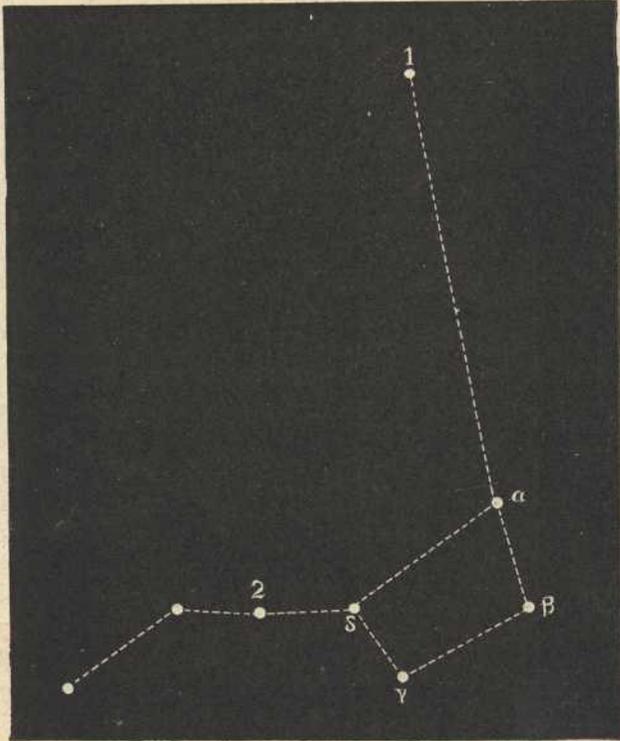


FIG. 66.—LA OSA MAYOR Y LA ESTRELLA POLAR

1. La estrella Polar.—2. La Osa Mayor

muy probable. Todo lo que podemos ver de esos sistemas es lo que llamamos las estrellas, esas perlas de luz que tachonan el cielo á media noche. Esas estrellas son los soles de los sistemas lejanos; pero el hecho de hallarse á inconmensurable distancia les hace perder para nosotros la gloria que atribuimos al Sol.

El sistema solar está aislado de sus circunvecinos como un islote de algunas varas cuadradas está aislado en medio del Atlántico de las costas de Europa y América.

Es muy esencial observar que las estrellas que vemos son cuerpos luminosos que fulguran por su propia luz. Aldebarán tiene un brillo análogo

al de Marte, y, á decir verdad, no dejan de confundirse á menudo los planetas con las estrellas, tomándose éstas por aquéllos, por más que sea grandísima la diferencia que hay entre los cuerpos de esas dos clases. Si Aldebarán se parece á Marte, la semejanza es del todo fortuita. Esa estrella es probablemente miles de veces mayor que Marte, y está sin duda centenares de miles de veces más lejos; pero no se reduce á esto toda la diferencia. Aldebarán es un sol: tiene su propia luz, calor y brillo como nuestro Sol, mientras que Marte, no luminoso de por sí, es opaco como una piedra ordinaria, y sólo visible por el hecho de iluminarle los rayos de luz de nuestro Sol.

Así debemos comprender que, aunque los puntos de luz que vemos en el espacio estelar son todos soles en sí, no distinguimos ninguno de los cuerpos oscuros inmediatos que reciben su luz. Si reflexionamos sobre este punto, no se podrá menos de formar una alta idea de la importancia y extensión de las regiones estelares. El viajero que durante la noche contempla la lejana ciudad desde una altura, no ve las casas ó monumentos, ni tampoco las iglesias ó grandes edificios: sólo divisa los brillantes puntos de luz diseminados acá y allá en las tinieblas; y lo mismo sucede cuando se mira el estrellado cielo. Vemos los puntos brillantes y luminosos, pero nada más: de todos los objetos oscuros iluminados por aquéllos no se distingue absolutamente nada. Sin embargo, no podemos menos de conjeturar que ese universo invisible ofrece gran interés y mucha complicación.

Aunque nuestro conocimiento del mundo sideral sea tan limitado que sólo se puedan reconocer con nuestros mayores telescopios los cuerpos de dimensiones colosales, el campo que se halla á nuestro alcance nos inspira el mayor interés. Pasaremos ahora revista al cielo sideral, desarrollando después nuestro asunto bajo sus diferentes aspectos.

El estudiante de astronomía debe conocer bien las principales constelaciones celestes, y, por lo tanto, comenzaremos nuestro examen del sistema sideral con una breve reseña de las principales de aquéllas visibles en el hemisferio boreal, acompañando nuestra descripción con algunos mapas estelares para dar más clara idea del asunto.

En un capítulo anterior hemos hablado ya de la notable constelación conocida con el nombre de *Osa Mayor*: es el grupo más notable en el cielo y en las latitudes del N., pues jamás se oculta. Después de las once de la noche, en el mes de abril, esa constelación está directamente sobre nosotros: á la misma hora, en el mes de setiembre, hállase muy baja en el N. En junio se ve en el O., y por Navidad al E. Desde la más remota antigüedad ese grupo de estrellas llamó la atención, y por eso se comprendieron en el gran catálogo formado hace dos mil años; de modo que por las posiciones dadas en aquél es posible reconstruir la Osa Mayor tal como se vió en aquella remotísima época. Así se hizo, y del resultado apareció que las siete principales estrellas han cambiado muy poco en ese largo tiempo; de modo que la configuración de la Osa Mayor viene á ser prácticamente

la misma ahora que antes. Es verdaderamente un grupo magnífico, que sólo tiene su rival en Orión, porque en éste hay estrellas más brillantes, aunque no ocupa tan espaciosa región en el cielo.

En primer lugar observamos que la Osa Mayor nos permite descubrir muy pronto la estrella Polar, la más importante en el cielo del N., y que está muy convenientemente indicada por la dirección de otras dos,  $\beta$  y  $\alpha$  de la Osa, conocidas generalmente por *los Perros* ó *los Canes*. El uso de esta constelación se indica en el diagrama (fig. 66), en el que la línea  $\beta \alpha$ , prolongada hacia arriba y ligeramente oblicua, conduce á la estrella Polar, la

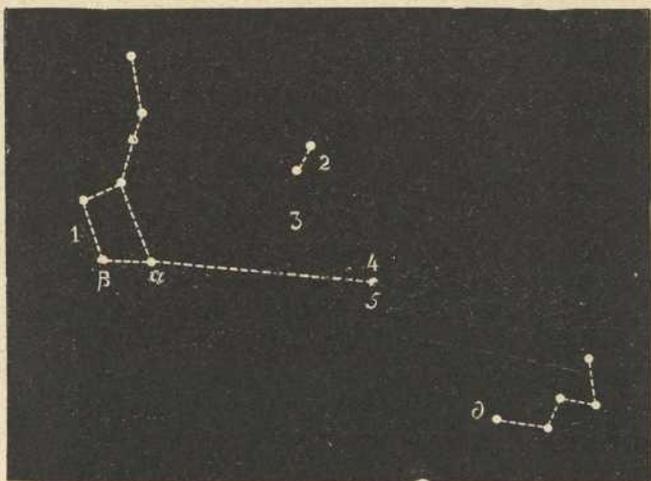


FIG. 67.—LA OSA MAYOR Y CASIOPEA

1. La Osa Mayor.—2. Los Guardias.—3. La Osa Menor.—4. El Polo.—5. La estrella Polar  
6. Casiopea

cual no se puede equivocar con otra, porque es la única brillante que hay en la inmediación. Una vez vista, se reconocerá pronto después, y el observador no dejará de notar cuán constante es la posición que conserva en el cielo. Las otras estrellas se elevan ó se ponen, ó, como la Osa Mayor, bajan en el N.; mas la Polar no presenta cambios de magnitud. En verano ó en invierno, de noche ó de día, siempre se la encontrará en el mismo punto, al menos por lo que se refiere á la observación ordinaria. Sin embargo, si nos servimos de los instrumentos más perfeccionados, se desvanecerá la idea sobre la fijeza de la estrella Polar, pues entonces veremos que se mueve con mucha lentitud, describiendo un círculo cada veinticuatro horas alrededor del verdadero polo del cielo, que no coincide con la estrella Polar, aunque está muy próxima. Esta distancia es ahora algo menos de grado y medio, y poco á poco disminuye; de modo que en el año 2095 dicha distancia será menor de medio grado.

La estrella Polar pertenece á otro grupo de estrellas que no deja de ser notable, y que los astrónomos llaman *Osa Menor*. Las dos principales estrellas que se distinguen por su brillo designanse á veces con el nombre de *Guardias*. La Osa Mayor y la Menor, con la estrella Polar, constituyen en el cielo del N. un grupo que no tiene paralelo en todo el cielo S. por su belleza ni por su utilidad. En el polo sur no hay ninguna estrella notable para indicar su posición aproximadamente, circunstancia desventajosa para los astrónomos y navegantes en aquel hemisferio.

Debemos citar aquí una tercera constelación que se halla al otro lado de la estrella Polar: es un gracioso grupo de cinco estrellas que forman una W, y son las más notables de la constelación de Casiopea, que cuenta entre todas unas veinticinco. Cuando la Osa Mayor está baja en el N., aquélla, por el contrario, hállase muy alta, y viceversa. La configuración de las estrellas principales es tan notable que, una vez reconocida, será fácil identificarla en lo sucesivo, tanto más si se tiene en cuenta que la estrella Polar está á una distancia media entre Casiopea y la Osa Mayor (fig. 67). Estas importantes constelaciones servirán de guía para todas las demás.

La siguiente que debemos reconocer es el imponente grupo que contiene el gran cuadrado de Pegaso, el cual no tiene el carácter de *circumpolar*, como la Osa Mayor ó Casiopea. El gran cuadrado de Pegaso sale y se pone diariamente. No se puede ver bien durante la primavera y el verano, pero en otoño y en invierno las cuatro estrellas que señalan los ángulos del cuadrado se distinguen perfectamente. Dentro del cuadrado hay algunas estrellas pequeñas, tal vez en número de treinta, que se pueden contar á la simple vista en esas latitudes. En el S. de Europa, donde el cielo es más puro y más brillante, la cifra de esas estrellas parece aumentar mucho: un hábil observador de Atenas contó 102 en la misma región.

El gran cuadrado de Pegaso se puede identificar muy pronto imaginando una línea desde la estrella Polar sobre la extremidad de Casiopea; línea que, prolongada, conducirá la vista al centro del cuadrado de Pegaso (fig. 68).

La línea á través de  $\beta$  y  $\alpha$  en Pegaso, formando un ángulo de  $45^\circ$  al S., señala la importante estrella Fomalhaut en la boca del Pez del S. A la derecha de esta línea, casi á medio camino, está la constelación algo vaga de Aquario, en la que se puede ver en el centro un pequeño triángulo equilátero con una estrella.

El cuadrado de Pegaso nos demuestra de qué manera tan absurda se han definido los límites de las constelaciones. No puede haber grupo más completamente asociado que las cuatro estrellas de Pegaso, y todas pertenecen seguramente á la misma constelación. Tres de los ángulos señalados,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , corresponden á Pegaso; pero el más distante, marcado también  $\alpha$ , hállase algunas veces situado en una constelación distante llamada *Andrómeda*. El resto de esta última, ó por lo menos sus estrellas más brillantes, se pueden hallar muy pronto: son  $\beta$  y  $\gamma$ , y se identifica desde luego

prolongando un lado del cuadrado de Pegaso en dirección oblicua. Después tenemos un notable grupo de siete estrellas fáciles de reconocer é identificar, aunque se componen de partes pertenecientes á tres distintas constelaciones: son respectivamente  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , de Pegaso;  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  de Andrómeda, y  $\alpha$  de Perseo. Las tres forman una especie de mango, como si dijéramos, que se extiende á considerable longitud por un lado del cuadrado, constituyendo un grupo de admirable aspecto, muy útil para la identifica-

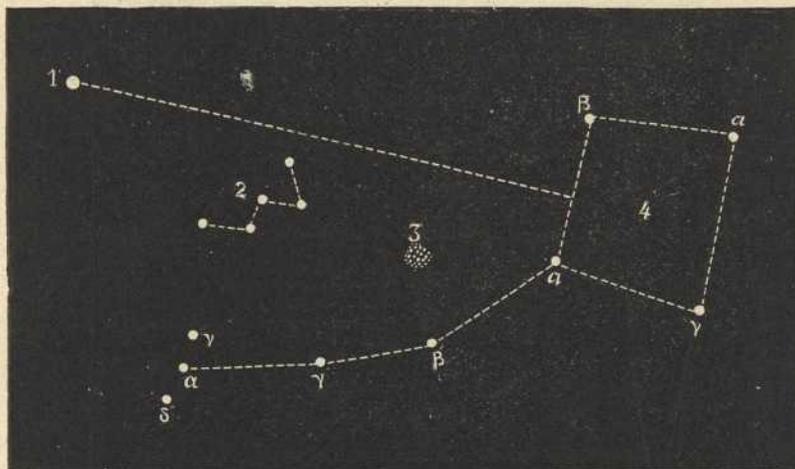


FIG. 68 —EL GRAN CUADRADO DE PEGASO

1. Estrella Polar.—2. Casiopea —3. Gran Nebulosa.—Gran cuadrado de Pegaso.— $\gamma$  de Andrómeda es una exquisita estrella doble de color

ción de los cuerpos celestes.  $\beta$  de Andrómeda, con dos estrellas más pequeñas, forman el cinturón de la desgraciada heroína.

$\alpha$  de Perseo está entre otras dos estrellas ( $\gamma$  y  $\delta$ ) de la misma constelación. Las tres forman una curva, y si prolongamos ésta nos conducirá á una de las perlas del cielo del N., á la magnífica estrella de la Cabrilla en la constelación del Cochero (fig. 69), cerca de la cual hay otras tres pequeñas que forman un triángulo isósceles: son los Cabritos. La Cabrilla y Vega son las dos estrellas más brillantes del N., y aunque la segunda se considera generalmente como la más brillante de las dos, hay muchos que opinan lo contrario. La dificultad de hacer una comparación satisfactoria entre Vega y la Cabrilla se debe por mucho á la inmensa distancia que las separa, así como á una ligera diferencia en el color, pues la primera es marcadamente más blanca que la segunda. Este contraste en el color de las estrellas es á menudo otra dificultad cuando se trata de comparar su brillantez relativa; de modo que, cuando se han de hacer mediciones por los medios acostumbra-

dos, se deben comparar las dos estrellas alternativamente con algún objeto de color intermedio.

En el opuesto lado del polo de la Cabrilla, pero no tan distante, se verán cuatro estrellas en un cuadrilátero: constituyen la cabeza del Dragón, cuyas restantes formas circuyen el polo.

Si continuamos la curva formada por las tres estrellas  $\gamma$ ,  $\alpha$  y  $\delta$  en Perseo,

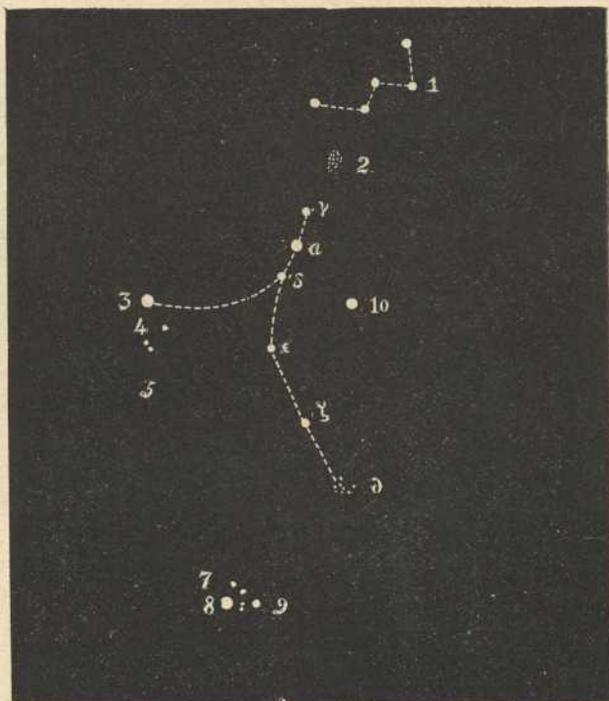


FIG. 69.—PERSEO Y SUS ESTRELLAS VECINAS

1. Casiopea.—2. Brillante racimo de estrellas.—3. La Cabrilla, 1.<sup>a</sup> magnitud.—4. Los Cabritos.—5. El Cochero.—6. Las Pléyades.—7. El Toro.—8. Aldebarán, 1.<sup>a</sup> magnitud.—9. Las Hyadas.—10. Algol, variable.—11. Perseo.

y la doblamos ligeramente en otra de opuesta flexión, de la manera indicada en el diagrama (fig. 69), llegaremos á otras dos estrellas principales de Perseo, señaladas  $\varepsilon$  y  $\zeta$ . Perseo es una de las más ricas regiones del cielo, pues en ella tenemos la porción más espléndida de la Vía Láctea, pudiéndose ver en el campo del telescopio infinito número de estrellas, de las cuales daremos á conocer algunas más adelante. Prosiguiendo en el mismo diagrama la línea  $\varepsilon$  y  $\zeta$ , se llegará al notable grupito conocido con el nombre de *las Pléyades*, que ofrece alguna semejanza con la Osa Mayor, aunque en mucha menor escala. A decir verdad, la designación de Osa Menor

se podría aplicar con mucha más propiedad á las Pléyades que á la constelación así llamada ahora.

Las Pléyades forman un grupo tan universalmente conocido que apenas parece necesario entrar en detalles sobre su descubrimiento; pero si observaremos que en ciertas latitudes no se pueden ver durante el verano. El 1.º de enero se hallarán á grande altura en el cielo del SO., y el 1.º de marzo, á la misma hora se las divisará poniéndose por el O. En 1.º de mayo no son visibles, ni tampoco en 1.º de julio. El 1.º de setiembre se verán bajas en el E., y en 1.º de noviembre se encontrarán á grande altura en el cielo del SO. El siguiente 1.º de enero las Pléyades se podrán ver en la misma posición que tenían en igual fecha que en el año anterior, y así sucesivamente en todo el cielo. No necesitamos explicar aquí que esos cambios no se deben realmente al movimiento de las constelaciones, sino al aparente movimiento anual del Sol entre las estrellas.

En el diagrama anterior se representan las Pléyades, siendo un grupo de diez el más visible

sin ayuda de antejo á los que tienen bien desarrollado el órgano de la visión; pero si se emplea un telescopio, aunque sea de poca potencia, el número de estrellas aumentará hasta treinta ó cuarenta. Galileo vió más con su propio instrumento, y si se hace uso de los de gran potencia divisarse muchas más, habiéndose contado ya hasta 625.

Si trazamos una línea desde la estrella Polar á la Cabrilla, punto determinado ya, y se prolonga lo suficiente, según se indica en la figura 71, nos encontraremos con la espléndida constelación del cielo del N., la sin igual Orión. La brillantez de las estrellas que contiene su notable cinturón, y sus varios cuerpos, contribuyen á que ese grupo sea tan magnífico, debiendo tal vez colocarse á la cabeza de las constelaciones. La estrella principal de Orión se llama  $\alpha$  de Orión, ó Betelgosa, con cuyo nombre la señalamos en la figura, hallándose sobre las tres estrellas  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\zeta$  que forman el cinturón. Betelgosa es una estrella de primera magnitud, y también Rigel, en el opuesto lado de aquélla; de modo que Orión tiene dos de esa clase en su grupo, mientras que las otras cinco indicadas son de segunda magnitud.

Cerca de Orión se hallan algunas de las más importantes estrellas. Si prolongamos la línea del cinturón hacia arriba, á la derecha, encontraremos una también de primera magnitud, Aldebarán, muy semejante á Betelgosa por su color rojizo, y que es, además, la más brillante en la constelación del Toro. Esta última es la que contiene las Pléyades, de que ya

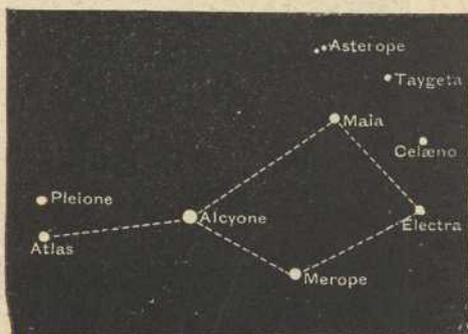


FIG. 70.—LAS PLÉYADES

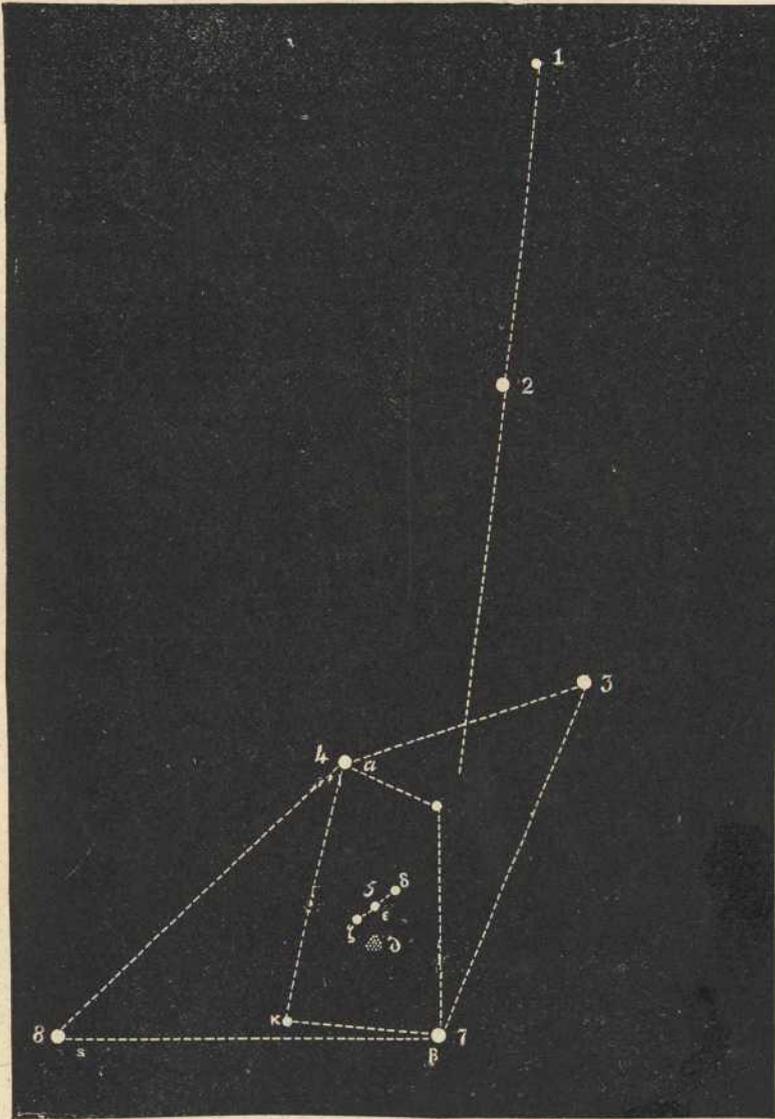


FIG. 71.—ORIÓN, SIRIO Y LAS ESTRELLAS VECINAS

1. La estrella Polar.—2. La Cabrilla, 1.<sup>a</sup> magnitud.—3. Aldebarán, 1.<sup>a</sup> magnitud.—4. Betelgosa.—5. El cinturón de Orión.—6. La gran nebulosa de Orión.—7. Rigel, primera magnitud.—8. Sirio, 1.<sup>a</sup> magnitud.

hemos hecho mención, y otro grupo más diseminado á que se da el nombre de *Hyadas*, el cual se verá fácilmente cerca de Aldebarán.

La línea del cinturón ó tahalí de Orión, continuada hacia abajo por la

izquierda, conducirá la vista á un verdadero diamante del cielo, á la soberbia estrella Sirio, que es sin duda la que más brilla de todas, tanto que ha

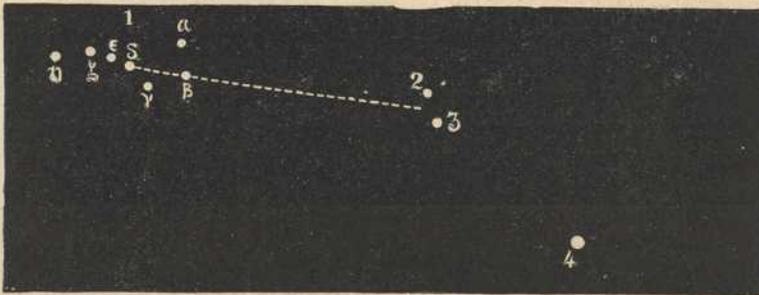


FIG. 72.—CASTOR Y PÓLUX

1. La Osa Mayor.—2. Cástor.—3. Pólux (los Gemelos).—4. Procyon, de 1.<sup>a</sup> magnitud (el Perro menor)

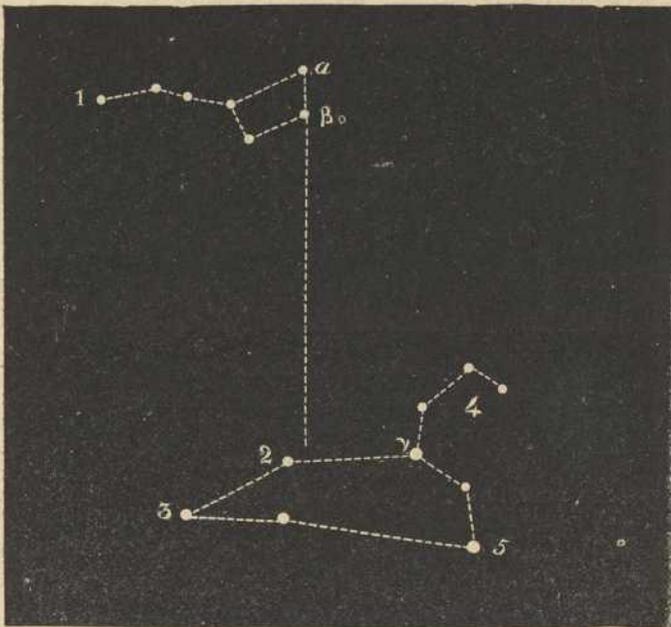


FIG. 73.—LA OSA MAYOR Y EL LEÓN

1. La Osa Mayor.—2. El León.—3. Denebola.—4. Radiante de los Leónidos.— $\gamma$ . Hermosa estrella doble.—5. Régulo, de 1.<sup>a</sup> magnitud

sido necesario crear un orden especial de magnitud para clasificarla, pues todas las demás de primera magnitud, como Vega, la Cabrilla, Betelgosa y Aldebarán, se quedan muy atrás. Sirio, con algunas otras estrellas menos lucientes, forman la constelación del Perro, ó *Canis Major*.

Debe notarse la gran configuración de una figura de rombo irregular, cuyos cuatro ángulos son las estrellas de primera magnitud Aldebarán, Betelgosa, Sirio y Rigel (fig. 71). El tahalí de Orión está colocado simétricamente en el centro del grupo, y toda la figura es tan notable que, una vez vista, no es fácil que se olvide.

A una tercera parte de la línea desde el cuadrado de Pegaso hasta Aldebarán hay una brillante estrella de segunda magnitud, que es la principal del Carnero. Con otras dos forma una curva, en cuya extremidad opuesta

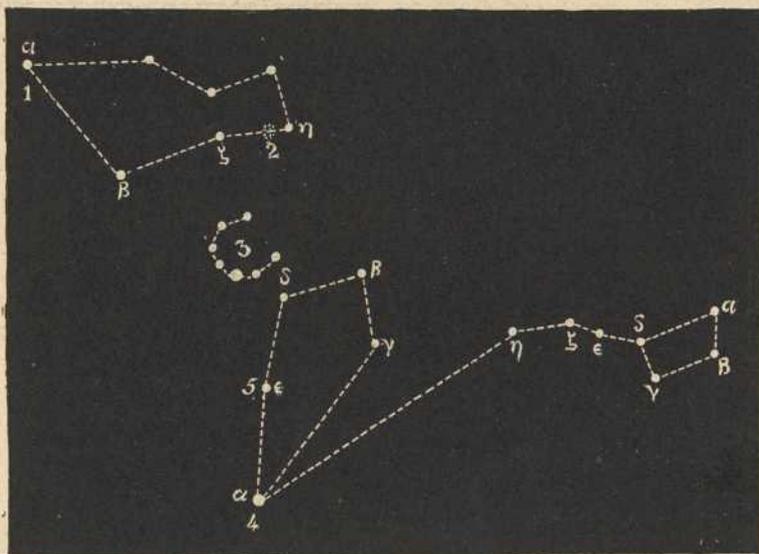


FIG. 74.—LA BARCA Y LA CORONA

1. Hércules.— $\alpha$ . Estrella doble de color.—2. Gran Racimo.—3. La Corona.—4. Arcturo  
5. El Vaquero.—6. La Osa Mayor

se hallará  $\gamma$  de la misma constelación, que fué la primera estrella doble observada.

También podemos invocar el auxilio de la Osa Mayor para encontrar las estrellas en la constelación de los Gemelos (fig. 72). Si se prolonga la diagonal que une las  $\delta$  y  $\beta$  del cuerpo de la Osa, en opuesta dirección á la cola, nos conducirá á Cástor y Pólux, dos notables estrellas de segunda magnitud. Esta misma línea, corrida un poco más, pasa cerca de la estrella Procyon, de primera magnitud, que es la que más se distingue en la constelación del Perro menor.

Los Perros de la Osa Mayor  $\alpha$  y  $\beta$  servirán también para indicar la constelación del León: si se prolonga en opuesta dirección la línea que los une, desde aquella que empleamos para buscar el polo, se llegará al cuerpo del León, grupo fácil de reconocer por la estrella de primera magnitud

á que se da el nombre de *Régulo*. Corresponde á una serie de estrellas que forman una figura algo semejante á una hoz, y tres de las cuales son de segunda magnitud. Este grupo es particularmente famoso en Astronomía porque contiene el punto radiante de que parte la lluvia periódica de estrellas conocidas con el nombre de *Leónidos*. Entre Géminis y el León

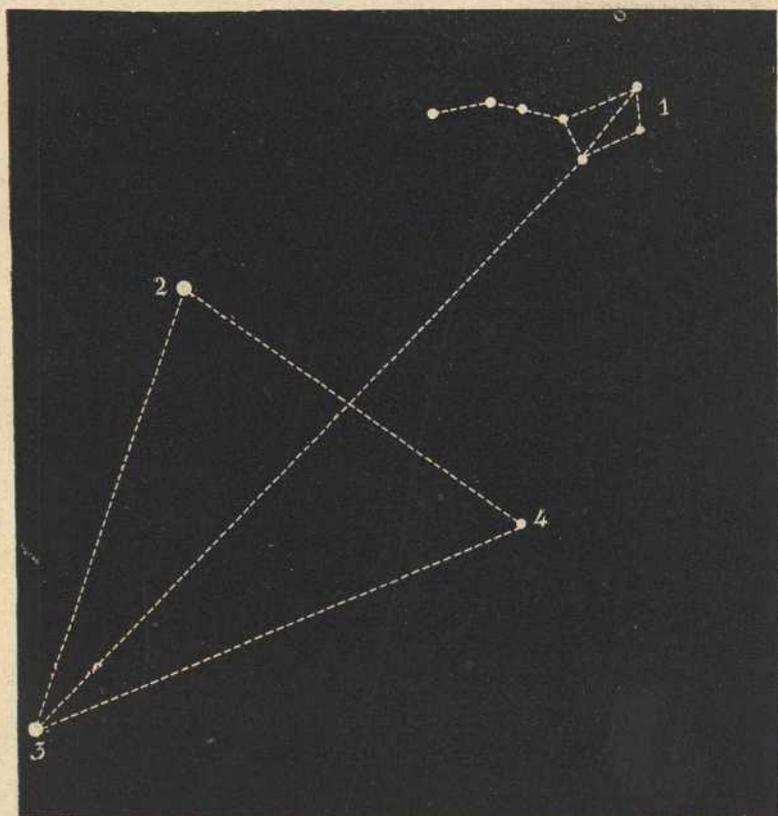


FIG. 75.—LA CONSTELACIÓN DE LA VIRGEN

1. La Osa Mayor.—2. El Vaquero, *Arcturo*, 1.<sup>a</sup> magnitud.—3. La Virgen, *La Espiga*  
4. El León, *Denebola*

hállase la poca marcada constelación del Cangrejo, de la cual lo más notable es la mancha nebulosa llamada *Præsepe*, ó la Colmena, cuyas estrellas componentes se pueden ver con unos simples gemelos de teatro.

Cuando la cola de la Osa Mayor se continúa con una prolongación de la curva que afecta, encuéntrase una brillante estrella de primera magnitud llamada *Arcturo*, principal estrella en la constelación del Vaquero (fig. 74), en la cual se ven otras estrellas:  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  y  $\epsilon$ . Hay controversia sobre si entre las que son visibles en esas latitudes deberá *Arcturo* figurar después de

Sirio por su brillantez, y luego Vega y la Cabrilla. Cuéntanse dos más en el hemisferio S., invisibles en estas latitudes, y llamadas  $\alpha$  del *Centaurus* y *Canopo*, ambas más brillantes que aquellas dos, y también más que Arcturo, Vega y la Cabrilla.

Muy cerca del Vaquero hay un grupo semicircular muy curioso conocido con el nombre de *la Corona* (*Corona borealis*), y que se hallará pronto

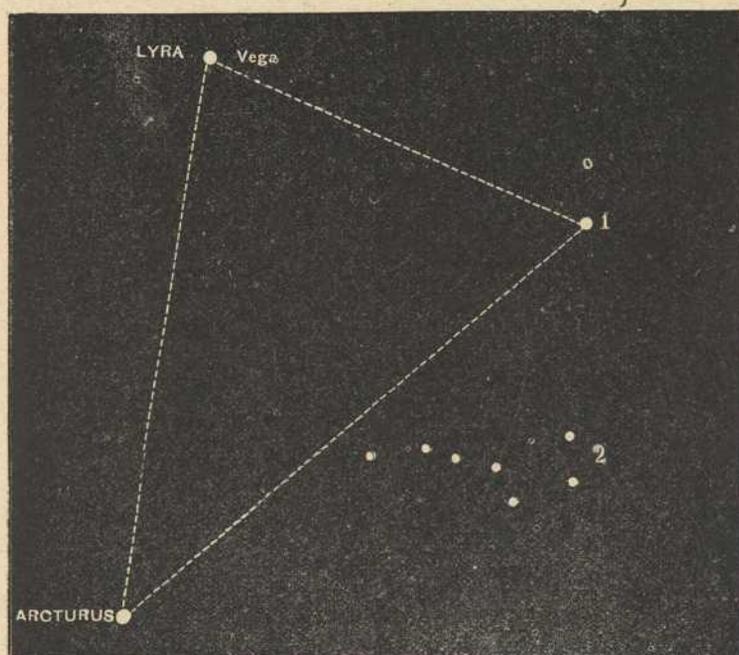


FIG. 76.—LA CONSTELACIÓN DE LA LIRA

1. La estrella Polar.—2. La Osa Mayor

desde la posición indicada en la figura, ó siguiendo la línea curva que señalan  $\beta$ ,  $\delta$  y  $\zeta$  en la Osa Mayor.

La constelación de la Virgen se caracteriza principalmente por la estrella de primera magnitud llamada *Espiga*, ó  $\alpha$  de la Virgen, que se puede encontrar partiendo de la Osa Mayor, pues si la línea que une las dos estrellas  $\alpha$  y  $\gamma$  en esa constelación se prolonga con una ligera curva, la vista se fijará al cabo en la Espiga. Debemos hacer mención de otra de esas grandes configuraciones que facilitan mucho el estudio de las estrellas: es un ligero triángulo equilátero, del que Arcturo y la Espiga forman dos de los ángulos, mientras que el tercero está indicado por Denebola, la brillante estrella que hay cerca de la cola del León (fig. 75).

En las noches de verano, cuando la Corona está alta, una línea tirada desde la estrella Polar, y que se prolongue cerca del horizonte S., irá á

dar en la brillante estrella roja Corazón del Escorpión (Antares), la primera que se observó con el telescopio á la luz del día.

La estrella de primera magnitud Vega, en la constelación de la Lira, se hallaría tal vez más pronto en el vértice de un triángulo del que la estrella Polar y Arcturo forman la base (fig. 76). La brillante blancura de Vega no puede menos de llamar la atención, mientras que el pequeño grupo de las estrellas inmediatas que constituyen la Lira produce una de las mejor marcadas constelaciones.

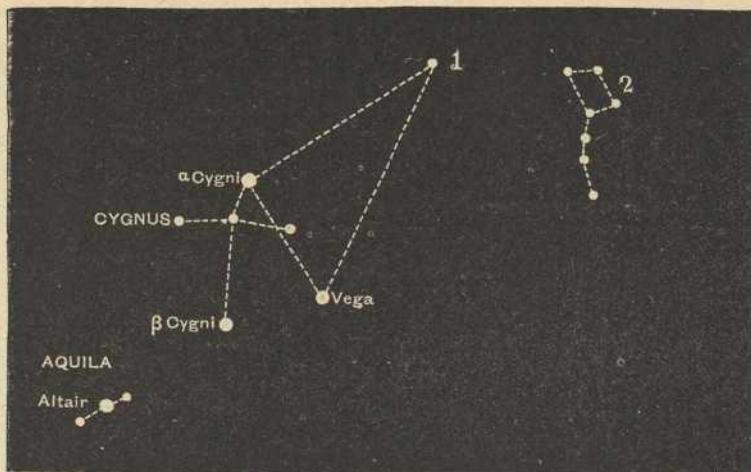


FIG. 77.—VEGA, EL CISNE Y EL ÁGUILA

1. La estrella Polar.—2. La Osa Mayor

Cerca de Vega hay otro grupo importante llamado *el Cisne*. Su estrella más brillante se reconocerá como el vértice de un triángulo rectángulo, cuya base forma la línea trazada desde Vega á la estrella Polar, según se indica en el diagrama (fig. 71). En el Cisne hay cinco estrellas principales que constituyen una constelación de forma bastante notable.

La última constelación de que hablaremos es la del Águila, que contiene una estrella de primera magnitud designada á menudo con el nombre de *Altair*. Este grupo se puede encontrar muy pronto por una línea trazada desde Vega sobre β del Cisne, que pasa cerca de otra de tres estrellas, formando la parte más característica del Águila.

Hemos aprovechado la oportunidad de indicar en este bosquejo de las constelaciones la posición de algunos otros cuerpos telescópicos notables, cuya descripción será asunto de los siguientes capítulos.



---

## CAPÍTULO XVIII

### LOS SOLES DISTANTES

Comparación entre el Sol y las estrellas.—Sirio comparado con el Sol.—Las estrellas se pueden pesar, pero no medir.—El compañero de Sirio.—Determinación de su peso.—Estrellas oscuras.—Estrellas variables.—Enorme número de las estrellas.

**N**OTABLE es el contraste que nos ofrece el esplendor del Sol de mediodía con la débil luminosidad de las estrellas, aun las más brillantes. Este contraste, que nos admira, se puede apreciar y medir; y si tomamos la estrella Sirio, por ejemplo, para hacer la investigación, nos será dado determinar por un experimento cuántas veces la luz del Sol es superior á la de Sirio. No es posible hacer la comparación directamente, pues á la luz del día no se ve esa estrella, ni menos hay medio de medir su luz; pero podemos tomar la Luna en su lleno como intermediaria entre la brillantez del Sol y la débil luz de Sirio. Se ha demostrado que la del Sol es unas seiscientas mil veces mayor que la del astro de la noche. Este último y Sirio se pueden comparar, y, haciendo uso de fotómetros convenientes, también es posible medir la cantidad de luz de ambos cuerpos. Así, se ha reconocido que la luz de unas 33,000 estrellas iguales á Sirio producirían una semejante á la de la Luna, y con esto tenemos las cifras necesarias para comparar la brillantez del Sol con la de Sirio: la luz del Sol es unos veinte mil millones de veces mayor que la dicha estrella.

Pero ¿representan estas cifras realmente la importancia relativa del Sol y de Sirio? Recordemos dónde estamos. Nuestra Tierra se halla cerca del Sol y muy lejos de Sirio, y no está debidamente situada para hacer una comparación imparcial entre el esplendor de ambos cuerpos: sería necesario para esto que la Tierra estuviese situada á medio camino entre los dos, de modo que pudiéramos mirar la estrella por un lado y el Sol por el otro, bajo circunstancias precisamente análogas, lo cual no sucederá nunca. ¿Cómo hacer, pues, la comparación? Así en este caso como en otros muchos

podemos determinar por el cálculo, ya que no es posible por el experimento. Se ha reconocido por la observación que Sirio está un millón de veces más lejos de nosotros que el Sol; de manera que, si tomáramos la distancia de la estrella desde la Tierra, subdividiéndola en un millón de partes iguales, cada una de éstas sería bastante larga para recorrer la distancia de 92.700,000 millas que hay desde la Tierra al astro; y en su consecuencia, si nuestro globo se colocase á medio camino entre Sirio y el Sol, la Tierra estaría quinientas mil veces tan lejos del Sol como ahora. ¿Cuál sería el efecto de este cambio en la luz vertida desde el astro luminoso? Tómese como unidad la luz de una vela á un pie de distancia, y después á dos, y se verá que se ha reducido una cuarta parte, á tres pies una novena, y así sucesivamente. La luz recibida de un centro luminoso varía en razón inversa del cuadrado de la distancia. Trasladada á una distancia de quinientas mil veces mayor que la que hay desde el Sol, ¿en qué inmensa proporción disminuiría la luz! Nuestro Sol es ahora tan brillante como 20,000.000,000 de estrellas iguales á Sirio; pero, visto desde este punto central, la luz se reduce en una proporción casi increíble: nuestro Sol habría perdido completamente su preeminencia y sólo nos enviaría la duodécima parte de luz que ahora recibimos de Sirio. Por otra parte, si nos trasladamos desde la inmediación del Sol á un punto situado á medio camino de Sirio, la luz de esta estrella se intensificará en la proporción de cuatro á uno; y, por lo tanto, si suponemos que la Tierra estuviese colocada en la debida posición para reconocer el esplendor comparativo de Sirio y del Sol, veríamos por lo pronto que el de la estrella aumentaría cuatro veces, mientras que el del Sol se reduciría de una manera tan enorme que parecería tener sólo una duodécima parte de la primitiva brillantez de la estrella. La deducción es irresistible y fatal para la preeminencia del Sol. Sirio emite á su alrededor cuarenta y ocho veces tanta luz como el Sol. No diremos que la estrella sea ese número de veces mayor que el astro luminoso, pero sí que es cuarenta y ocho veces más brillante. Debemos advertir que en este cálculo hemos supuesto para la estrella menor brillo que el que se le atribuye por otras cuidadosas observaciones.

¿Se deberá el esplendor de Sirio á su excesiva brillantez tan sólo, ó será esa estrella realmente un cuerpo que aventaja por mucho al Sol en cuanto á su valor intrínseco y á su irradiación? A esta pregunta se puede contestar únicamente midiendo la circunferencia de Sirio y averiguando después su peso. A primera vista parece más difícil lo segundo que lo primero; pero la verdad es que podemos pesar la estrella y no medirla. Ignoramos cuál puede ser su volumen; pero como resulta que es seguramente más pesada que el del Sol, debemos deducir que también es más grande, aunque no podamos asegurarle positivamente.

Es un hecho notable que entre los miles de estrellas que adornan el cielo no se haya encontrado ninguna que presente un disco apreciable visto al telescopio. Algunos hábiles observadores han pensado que ciertas

estrellas pequeñas tienen disco; pero, aunque se miren con los mejores telescopios las más brillantes estrellas, no se distinguen sino puntos luminosos, tan diminutos que escapan á nuestros más delicados micrómetros. El telescopio astronómico ideal es, sin duda, el que nos permitirá ver á Sirio, ó á cualquiera otra estrella brillante, tal como Euclides define *el punto*, diciendo que no tiene partes ni magnitud. Se haría alguna luz en esta cuestión considerando el aspecto telescópico que el Sol presentaría si se mirase desde Sirio. Conocemos el diámetro del Sol y es posible calcular lo grande que parecería si se viese desde aquella estrella. Las dimensiones del astro desde semejante distancia corresponderían á las de una moneda de cinco céntimos vista á 1,600 millas, y no es posible esperar que se pudiera distinguir con ningún telescopio. Cuando tengamos instrumentos bastante poderosos para permitirnos ver animales en la Luna ó edificios en el planeta Marte, podremos tener la esperanza de distinguir los discos de las estrellas; pero esto no se halla á nuestro alcance. La falta no está solamente en la poca fuerza de nuestros telescopios, sino que es inherente á todas las circunstancias del problema. La estabilidad de nuestro globo no basta para asegurar las observaciones con aparatos de semejante potencia, pues hasta el cielo más sereno parecería demasiado turbido, y por lo tanto no debe sorprendernos que no se pueda descubrir el disco de Sirio. Si su diámetro fuera diez veces mayor que el del Sol, y su volumen mil veces más considerable, tampoco nos sería dado conseguir el objeto.

Renunciando, pues, á la idea de medir la estrella Sirio, tratemos de pesarla, lo cual es muy posible, según vamos á demostrar, advirtiendo que el asunto no deja de tener mucho interés en la historia de los descubrimientos astronómicos.

La magnificencia de Sirio fué lo suficiente para que se observase con el mayor cuidado desde los primeros tiempos de la ciencia. Cada generación de astrónomos consagró su tiempo y sus trabajos para determinar con exactitud la posición de la estrella más brillante del cielo. Así, se acumularon las observaciones sobre esa estrella, y hallóse que, como otras muchas, Sirio tenía lo que los astrónomos llaman movimiento propio. Comparando el lugar que ahora ocupa en el cielo con el que ocupaba hace cien años, resulta la diferencia de unos 2 minutos (131") en su posición; diferencia tan pequeña que á la simple vista no se reconocería. Si retrocediéramos cien años veríamos á Sirio ocupando su conocido lugar á la izquierda de Orión, y apenas sería posible reconocer lo que se mueve en uno, dos y hasta tres siglos; pero la exactitud del círculo meridiano revela esas mínimas cantidades, dándoles su verdadera significación. Sin embargo, para el ojo del astrónomo, Sirio, en vez de avanzar lentamente con un movimiento que los siglos no nos dan á conocer, prosigue su curso majestuoso con una velocidad apropiada á sus dimensiones. Fácil es calcular que la hermosa estrella recorre en su pasó 1,000 millas por minuto.

Es muy importante observar que esta velocidad de 1,000 millas por minuto algunas veces excede de este tipo y otras disminuye en su término medio, lo cual tiene para el astrónomo mucha significación. Si la estrella Sirio fuese aislada y soamente la acompañasen planetas de comparativa insignificancia, no podría haber irregularidad alguna en su movimiento; de modo que si una vez partiese con la velocidad de 1,000 millas por minuto, la conservaría siempre, sin que el trascurso de los siglos ni la inmensidad del viaje pudiesen alterarla. El paso de Sirio sería inflexible en su dirección, y la estrella le recorrería con una velocidad inalterable.

El hecho de que Sirio no se movía con uniformidad era tan interesante que llamó la atención de Bessel cuando descubrió las irregularidades en 1844. Persuadido este astrónomo de que debía haber alguna causa para explicar esas perturbaciones, apenas pudo dudar cuál sería aquélla. Para que el movimiento se perturbe debe haber alguna fuerza en acción, y la única que reconocemos en tales casos es la de la gravedad; pero esa última no puede obrar sino desde un cuerpo á otro; de modo que cuando buscamos en la gravedad la causa de la perturbación de Sirio debemos suponer que cerca de la estrella habrá algún cuerpo macizo y poderoso. Peters y Auwers, que habían observado por las irregularidades la naturaleza del paso del cuerpo perturbador, pudieron demostrar que éste debía efectuar su revolución alrededor de Sirio en un período de cincuenta años poco más ó menos, y, aunque no les fué posible decir la distancia que le separaría de la estrella, indicaron la dirección en que debía hallarse.

Este problema era, por muchos conceptos, análogo al del memorable descubrimiento del planeta Neptuno. En cada caso el cuerpo desconocido se había manifestado por las perturbaciones que producía, y siempre se descubrió por los cálculos del matemático antes que se revelara á la penetración del astrónomo. Cerca de veinte años trascurrieron desde que Bessel anunció la presencia del cuerpo perturbador hasta que se hizo el descubrimiento telescópico, debido á una casualidad. En febrero de 1862 los Sres. Alvan Clark é hijos, célebres fabricantes de telescopios, terminaban la construcción de uno destinado al Observatorio de Chicago, y, como quisieran ensayar el instrumento, colocáronle en dirección á Sirio para hacer una observación, cuando de pronto el ojo experto del joven Clark distinguió alguna cosa inusitada. “—¡Padre!—exclamó.—Sirio tiene una compañera.” El padre miró, y pudo ver, en efecto, una estrella situada al E. de Sirio, á la distancia de diez segundos, poco más ó menos. Aquella era la dirección indicada por Bessel, y muy pronto circuló la noticia de este descubrimiento. Muchos grandes telescopios se fijaron en Sirio, y los observadores no tardaron en reconocer el hecho. A los cuatro años no podía quedar ya la menor duda de que se había hecho el descubrimiento telescópico de la estrella que ocasionaba la desigualdad en el movimiento de Sirio. Sin embargo, reconocióse que éste no correspondía con el que se había calculado, y que la estrella observada se movía con una rapidez de medio grado más al

año. Esta diferencia podía deberse en parte á errores inevitables en observaciones muy difíciles.

Las investigaciones más recientes sobre los movimientos de Sirio dieron resultados muy singulares. Mr. Huggins demostró con su espectroscopio, en 1868, que esa estrella se retiraba del Sol, mientras que los observadores de Greenwich reconocieron que desde 1881 se aproximaba al astro.

El descubrimiento de la compañera de Sirio y las medidas que se tomaron después nos permitirían contestar si se nos preguntase cuál es el peso de esa estrella. Trataremos de ilustrar el asunto admitiendo que los cálculos numéricos de que nos servimos deben aceptarse con cierto grado de reserva; atendido á que á la compañera de Sirio es difícil observarla. No podemos determinar aún con exactitud el tiempo periódico en que aquélla completa su revolución; pero, teniendo en cuenta las más cuidadosas observaciones, supondremos que ese tiempo es de cuarenta y nueve años. También conocemos la distancia desde Sirio á su compañera, y consideramos que es unas treinta y siete veces la que hay de la Tierra al Sol. En primer lugar conviene comparar la revolución de la compañera de Sirio alrededor de esta última con la del planeta más externo, Neptuno, alrededor del Sol. Tomando la distancia de la Tierra como unidad, el radio de la órbita de aquel planeta viene á ser de treinta, y Neptuno necesita 165 años para completar su revolución. En el sistema solar no tenemos ningún planeta á la distancia de treinta y siete; pero, atendida la tercera ley de Kepler, es muy fácil calcular que si hubiese semejante planeta su tiempo periódico sería de unos 225 años. Ahora tenemos los materiales necesarios para establecer la comparación entre el volumen de Sirio y el del Sol. Un cuerpo que gira alrededor de esa estrella á cierta distancia completa su viaje en 40 años, y el que hace su revolución en torno del Sol á la misma distancia completa su viaje en 225 días. Cuanto mayor sea la velocidad con que el cuerpo se mueve, más considerable debe ser la fuerza centrífuga, y, de consiguiente, más poderosa la fuerza de atracción del cuerpo central. Se podría demostrar fácilmente por los principios de dinámica que esa fuerza de atracción varía en razón inversa al cuadrado del tiempo periódico, y, por lo tanto, la de Sirio debe estar respecto á la del Sol en la proporción que el cuadrado de 225 guarda con el de 49. Atendido que en cada caso se suponen las distancias iguales, las fuerzas de atracción serán proporcionales á las masas, y de aquí deducimos que la de Sirio, juntamente con la de su compañera, está con la del Sol en la proporción de 20 á 1. Ya sabíamos que esa estrella era mucho más brillante que el Sol, y ahora averiguamos que es mucho más maciza.

Antes de terminar nuestra descripción de esa estrella debemos tomar en consideración un punto de mucho interés. Curioso es observar el contraste que nos ofrece el brillo de esa estrella, muy superior al de todas las de primera magnitud, comparado con el de su compañera, tan poco marcada que, aunque estuviese lejos de Sirio, sólo sería una diminuta estrella

de octava ó de novena magnitud, invisible sin el telescopio. Para mayor claridad diremos que Sirio es cinco mil veces más brillante que su compañera, pero sólo dos veces más pesado. Esto es un notable contraste, y lo parecerá más aún si comparamos la compañera de Sirio con nuestro Sol, pues resultará que la primera *es siete veces más pesada que el segundo*. Siete soles iguales al nuestro, colocados en el platillo de una balanza, darían un peso análogo al de la compañera de Sirio puesta en el otro; mas, á pesar de su volumen inferior, nuestro astro es mucho más poderoso como fuente de luz. Este es un resultado de mucha significación, pues nos enseña que, además de los grandes cuerpos del Universo que admiran por su brillantez, hay también otros de enorme volumen que brillan poco, y probablemente nada algunos de ellos, lo cual basta para formar más clara idea de la majestuosidad del Universo. En la vasta extensión del mundo material tenemos acá y allá alguna estrella ó masa de materia gaseosa suficientemente calentada para que brille, llegando á ser visible desde la Tierra; pero nuestra observación de esos puntos luminosos nos dirá poca cosa de los demás contenidos del Universo.

Para los fines de la astronomía práctica se ha juzgado conveniente dividir las estrellas en grupos según sus relativos grados de brillantez, y de este modo indicamos la de cualquiera de ellas por la palabra magnitud, aplicando la cifra más baja á la estrella de mayor brillo. De las de primera magnitud, en las que se comprenden las más brillantes, cuéntanse unas veinte, de las que Sirio figura en primer término, aunque para esa estrella debería crearse una clase distinta por su fulgor excepcional.

Las estrellas de segunda magnitud, como ya se comprenderá, tienen menos brillo que las de primera. Las más lucientes de las constelaciones de la Osa Mayor pueden tomarse como ejemplos. En todo el cielo hay unas 65 estrellas de segunda magnitud, las de tercera ascienden á 190, las de cuarta á 425, las de quinta á 1,100, y las de sexta á 3,200, lo cual completa el número de las que son visibles sin ayuda del telescopio. En las estrellas de magnitud telescópica tenemos las de séptimo orden, cuya cifra asciende á 13,000, mientras que en el del octavo hay 40,000, y en las del noveno 142,000.

Así se verá que el número de estrellas aumenta en las de menor magnitud, y, cuando llegamos á una más baja aún que la novena, la cifra pasa de miles á millones. Las más diminutas estrellas visibles con la ayuda del telescopio suelen considerarse como de décimacuarta y décimaquinta magnitud, mientras que con los más poderosos instrumentos distingüense otras de un orden más inferior.

Argelander ha publicado un bien conocido catálogo de las estrellas del hemisferio norte, acompañado de una serie de cartas astronómicas en que están señaladas, comprendiéndose todas las de las nueve magnitudes, así como un considerable número de las que figuran entre las magnitudes novena y décima. Su número total es de 324,188, y todas están al alcance de un telescopio de 3 pulgadas de abertura.

Entre la infinidad de estrellas hay un considerable número que llaman particularmente la atención por los cambios particulares que en su brillantez se producen. Se conocen con el nombre de *estrellas variables*, y algunas aparecen una vez y no se vuelven á ver ya nunca. Varias de ellas se distinguen á la simple vista, y otras no se reconocen con el telescopio sino como puntos muy diminutos. Aunque el número de estrellas variables es muy crecido, comparado con el de las estrellas fijas ordinarias no debe considerarse muy importante.

La más célebre de todas es la conocida con el nombre de *Algol*, cuyo lugar en la constelación de Perseo se indica en el diagrama (fig. 69). Esta estrella está muy bien situada para la observación, siendo visible todas las noches en el hemisferio norte, donde se pueden estudiar sin el telescopio sus admirables cambios regulares. Algol suele ser una estrella de segunda magnitud; pero en un período de dos á tres días, ó, más exactamente, en un intervalo de dos días, veinte horas, cuarenta y ocho minutos y cincuenta y cinco segundos, su brillantez pasa por la más notable serie de variaciones. Su fulgor comienza á disminuir de pronto, y en el trascurso de tres ó cuatro horas la estrella pasa de la segunda magnitud á la cuarta. Durante unos veinte minutos conserva su grado de brillantez inferior, después aumenta ésta, y á las tres ó cuatro horas Algol vuelve á ser de segunda magnitud, continuando en tal estado dos días y trece horas, comenzando después de nuevo la misma serie de cambios. Parece que el período en que éstos se verifican está sujeto también á cierta variación.

Admitido que el Sol puede considerarse como estrella, faltaría saber si debe clasificarse entre las variables ó en la más numerosa clase que emite su luz con uniformidad. No creo que deba vacilarse en resolver la cuestión: es evidente que la luz de nuestro Sol es del todo constante. Sin duda las manchas y otros objetos del astro pueden sufrir cambios; mas no por esto nos sería permitido hablar del Sol como de una estrella variable. Sin duda lo es para los que le examinan atentamente desde la Tierra; pero no en el sentido de Algol ó cualquiera otra de las estrellas variables que diversifican la brillantez del cielo.

Es doctrina cardinal en la Astronomía que el Sol no es sino una estrella, y que las estrellas no son menos que soles; pero la imponente magnificencia de esta verdad sólo se reconoce cuando tratamos de apreciar los innumerables miles de esos cuerpos celestes, problema que inútilmente nos propondríamos resolver.



---

## CAPÍTULO XIX

### ESTRELLAS DOBLES

Interés de estos cuerpos estelares.—¿Qué es una doble estrella?—Estrellas ópticamente dobles.—El gran descubrimiento de las estrellas binarias, por Herschel.—Éstas estrellas describen órbitas elípticas.—Ley de la gravedad.—Estrellas dobles especiales.—Cástor.—Mizar.—La estrella Polar.—Las estrellas dobles de color.— $\beta$  del Cisne y  $\gamma$  de Andrómeda.

Pocos objetos contienen los cielos siderales más interesantes para el telescopio que la numerosa clase de las estrellas dobles, que se cuentan ahora por miles, como se puede ver por los catálogos relativos á este ramo especial de la Astronomía. Muchos de esos objetos son, sin duda, muy diminutos y carecen de interés comparativamente. Elegiremos para nuestro estudio algunas de las estrellas dobles más notables, fijándonos, sobre todo, en las que se pueden observar aunque sea con un telescopio pequeño, y que hemos indicado ya en los bosquejos de las constelaciones.

En 1678, unos cien años antes de haber comenzado Herschel sus observaciones, Cassini había demostrado que algunas estrellas que á la simple vista parecían únicamente puntos luminosos componíanse de dos ó más estrellas, tan unidas entre sí, que se necesitaba el telescopio para reconocerlas aisladamente. El número de esos cuerpos aumentaba gradualmente con los que se iban descubriendo, hasta que en 1781 (el mismo año en que Herschel reconoció el planeta Urano) el astrónomo Bode publicó una lista de ochenta estrellas dobles, las cuales llamaron la atención de Herschel en sus memorables investigaciones. Este astrónomo comenzó á tomar medidas sistemáticas de la distancia que separaba á esas estrellas, para buscar después la dirección de la línea que las unía. Estas medidas dieron lugar á que Herschel hiciera el más importante é instructivo de todos sus descubrimientos, pues al cabo de algunos años de repetir sus observaciones reconoció que en algunos casos había cambiado la posición relativa de las estrellas, y esto le condujo á descubrir que en muchas de las estre-

llas dobles las componentes se relacionan de tal modo que giran una alrededor de otra. Nótese la importancia de este resultado. Debemos recordar que las estrellas son soles, tal vez comparables con el nuestro por su magnitud, y así tenemos el admirable espectáculo de dos soles gemelos que efectúan su revolución; pero no es esto lo que ofrece mayor interés en el gran descubrimiento. Nada tiene de extraño que se observen los movimientos, pues, según todas las probabilidades, no hay en el Universo cuerpo alguno que no se mueva. Lo más particular y curioso es el carácter de aquéllos.

Habíase supuesto primeramente que la proximidad de las dos estrellas que formaban una estrella doble era realmente accidental, creyéndose que entre las innumerables del cielo podía suceder á menudo que una siguiese tan de cerca á otra que cuando se miraban las dos con el telescopio producían el efecto de una estrella doble. Sin duda que muchas de ellas se forman así; pero el descubrimiento de Herschel demuestra que esta explicación no es siempre satisfactoria, puesto que en muchos casos hay en realidad dos estrellas físicamente conexas.

Quando se hubieron reunido gran número de medidas de las distancias y posiciones, gracias á los trabajos de muchos astrónomos durante largos años, entregáronse al matemático; y aquí debemos advertir que esas observaciones no tienen ni pueden tener la exactitud que se alcanza al determinar la posición de los planetas. No sucede así en cuanto se refiere á las estrellas binarias: si la distancia entre dos es de cuatro segundos, la órbita que debemos examinar no es mayor que el aparente tamaño de una pieza de diez céntimos á la distancia de una milla. Se necesitarían mediciones muy cuidadosas para reconocer la forma de semejante moneda desde tan lejos, aunque se tuvieran muy buenos telescopios. Se requiere un trabajo muy delicado, y aunque los errores podrán no ser de mucha importancia bajo el punto de vista intrínseco, considerados en su conjunto serán, sin duda, muy apreciables. En semejantes observaciones dichos errores son siempre más marcados que en los cálculos del matemático.

La interpretación del descubrimiento de Herschel no se debió á este astrónomo, sino á Savary, que aclaró las observaciones de aquél á la luz de las matemáticas. Gracias á las investigaciones de esos dos hombres disipáronse los errores que aquéllas pudieran contener, y gracias á los correctos métodos adoptados se pudo deducir con bastante precisión la forma de la órbita de las estrellas binarias y la posición del plano en que aquélla se halla. El resultado no es poco notable: se ha demostrado que el movimiento de cada una de las estrellas se efectúa en una elipse que encierra el centro de gravedad de las dos en su foco. Este es un hecho reconocido en muchas estrellas binarias, y se cree que lo será en todas; pero ¿por qué es tan importante? ¿No es bastante común el movimiento en una elipse? ¿No efectúa la Tierra su revolución en una elipse alrededor del Sol? ¿No giran los planetas también en elipses?

El mero hecho de que el movimiento elíptico sea tan común en los planetas del sistema solar contribuye á que tenga tanta importancia el haberle descubierto en las estrellas binarias. ¿De qué proviene el movimiento elíptico en el sistema solar? ¿No se debe á la ley de atracción descubierta por Newton, según la cual todas las masas se atraen entre sí con una fuerza que varía en razón inversa del cuadrado de la distancia? Esa ley de atracción, según se reconoció, predomina en todo el sistema solar, y por ella se explicaron el movimiento de los cuerpos de nuestro sistema con maravillosa fidelidad; pero el sistema solar, compuesto del Sol y los planetas, con sus satélites, cometas y una infinidad de cuerpos pequeños, formaba tan sólo un reducido grupo de islas en el Universo, y en él debía regir la ley de la gravedad como suprema soberana. Antes del descubrimiento de Herschel no pudimos saber nunca si esa ley se extendería fuera del grupo y si se ejercía especialmente para satisfacer las exigencias de nuestro sistema particular; pero el descubrimiento de que hablamos nos hizo conocer lo que no hubiéramos averiguado por otro conducto. Las estrellas binarias nos lo han revelado á través del espacio: nos han dicho que la ley de la gravedad no era peculiar á nuestro sistema, sino que se extendía hasta las más lejanas regiones de la inmensidad en que se halla situada la isla, y esto nos da motivo para creer que esa ley rige por doquiera en todo el Universo visible.

Una de las más hermosas estrellas binarias es la conocida con el nombre de *Cástor*, la más brillante de las dos principales en la constelación de los Gemelos, y cuya posición se indica en la figura 72. A la simple vista Cástor parece una sola estrella; pero con un telescopio regular reconócese que hay realmente dos separadas, siendo una de ellas de tercera magnitud y la otra algo inferior. La distancia angular de ambas en el cielo no es tan considerable como el ángulo subtendido por una línea de una pulgada de longitud vista á la distancia de media milla. Cástor es una de las estrellas dobles cuyos componentes, según se ha observado, tienen el movimiento de revolución, aunque sumamente lento, tanto que se necesita el trascurso de siglos para que recorran su órbita.

En la constelación de la Osa Mayor se puede ver otra magnífica estrella doble (fig. 74): se llama *Mizar*, y es la del centro ( $\zeta$ ) de las tres que forman la cola. Muy cerca de Mizar hállase la estrella Alcor, que se puede distinguir á la simple vista; pero debe advertirse que ésta no es una de las componentes de la doble. Con el telescopio se puede reconocer que Alcor está muy lejos de Mizar, mientras que esta última se divide en dos que se tocan. Estos componentes son de la segunda y cuarta magnitud respectivamente, y, como la distancia aparente es casi tres veces tan grande como en Cástor, obsérvanse con la mayor facilidad hasta con un telescopio pequeño. Sin embargo, no podemos decir que Mizar es una estrella binaria, tanto más cuanto que las observaciones no han determinado la existencia de un movimiento de revolución. Tampoco podemos asegurar si Alcor es igual-

mente un individuo del mismo grupo ó meramente una estrella que casualmente viene á estar próxima á otra en la línea de la visión.

Otra estrella doble notable y de mucho interés es la que se encuentra en la constelación de la Lira, y á la cual se suele llamar  $\epsilon$  de aquel nombre (fig. 76). A la simple vista reconócense dos estrellas tan próximas que apenas se pueden distinguir. Cuando se hace uso del telescopio se puede observar bien su separación, y se ve que cada una de ellas se compone de dos muy próximas; de modo que el conjunto consta de cuatro estrellas, divididas en dos pares binarios, teniendo cada uno su movimiento de revolución. Difícil sería no deducir aquí que los dos pares están unidos, y que cada uno gira en algún período de inmensa duración alrededor del centro común de gravedad de ambos.

La estrella Polar es también doble y muy notable; pero difiere mucho de las anteriores y se debe considerar como representante de esa clase de dobles en que los dos componentes tienen un brillo bastante desigual. Dicha estrella figura entre las de segunda y tercera magnitud, pero su compañera pertenece á la novena. Para observar este cuerpo celeste necesitase un telescopio mejor que para los anteriores.

Muy curiosas son las estrellas dobles en que se observa el notable fenómeno de los colores, que difieren singularmente de los de las estrellas ordinarias. En estas últimas vemos en la mayoría de casos que no hay un tinte muy característico, aunque algunas presentan un matiz más ó menos rojizo. Las estrellas azuladas ó verdosas son mucho más raras (1), y cuando se presenta alguna de este carácter, é invariablemente una del par que forma la doble, la otra tiene á veces el mismo tinte, pero más á menudo es amarilla ó rojiza.

Una de las más bonitas de esas estrellas, y que por fortuna se puede observar con un telescopio de regulares dimensiones, es la que se encuentra en la constelación del Cisne,  $\beta$  del Cisne (fig. 77). Se compone de dos estrellas: la más grande, de tercera magnitud, tiene un color amarillo de oro ó de topacio, y la más pequeña, de quinta, es de un azul claro. Estos colores son casi complementarios; mas no se puede dudar que el efecto no es puramente de contraste, pues se ha reconocido que estas dos estrellas presentan dichos matices, habiéndose demostrado así de una manera admirable por el análisis espectroscópico. Mr. Huggins nos ha hecho ver que la estrella azul ha sufrido una absorción especial de los rayos rojos, mientras que la luz más rojiza de la otra proviene de la absorción de los rayos azules. El contraste de los colores en este caso se puede ver á menudo muy bien separando del foco el ocular. Los discos que así se forman permiten

---

(1) Si pudiéramos ver las estrellas sin la interposición de la atmósfera, tal vez las azules serían más comunes. La absorción de aquella afecta especialmente á los colores verdosos y azulados. El profesor Langley da buenas razones para creer que el mismo Sol sería azul si no fuese por el efecto del aire.

ver el contraste de colores mejor que cuando el objeto presenta sólo dos puntos estelares.

Más complicada es la estrella doble de color  $\gamma$  de Andrómeda (fig. 68): la estrella más grande, de tercera magnitud, tiene un color amarillo oscuro, y la otra, de quinta, verdoso. El interés que este cuerpo ofrece aumenta por el hecho de haberse reconocido que la estrella azul, la más pequeña de ambas, se compone á su vez de dos muy diminutas, tan unidas que su separación no se puede reconocer sin los telescopios de grandes dimensiones. En su consecuencia  $\gamma$  de Andrómeda se debe describir como estrella triple más bien que doble. Una de las más curiosas de estas estrellas se encuentra en la constelación del Cangrejo, y es conocida con el nombre de  $\zeta$  del Cangrejo. Se podrá reconocer muy pronto á una sexta parte de la distancia que media desde la Colmena á Betelgosa. La estrella más brillante es de quinta magnitud, y la que está próxima fluctúa entre la quinta y la sexta. Se han observado durante el curso de una revolución completa, efectuada en un período de poco más de sesenta años. Las últimas investigaciones de Mr. Seeliger han aumentado la complicación de este sistema, pues ese astrónomo ha demostrado con muchos visos de probabilidad la existencia de un oscuro acompañante que circula alrededor de la tercera estrella en un período de diez y ocho años, poco más ó menos.

Tal son algunas de esas estrellas dobles y múltiples, cuyo número aumenta diariamente. Un atento observador, Mr. Burnham, de Chicago, ha descubierto, en los últimos diez ó doce años, nada menos que mil nuevas estrellas dobles, las cuales se han de agregar á la lista de las ya conocidas.

El interés que inspiran esos cuerpos debe crecer de punto necesariamente cuando reflexionamos que, por diminutas que esas estrellas parezcan vistas con nuestros telescopios, son, en realidad, soles de grandes dimensiones y esplendorosos, que en muchos casos rivalizan con el nuestro si no le aventajan. No podemos decir si esos soles tienen también planetas; pero si éstos existen y giran alrededor de aquéllos, en vez de hallarse iluminados por un sol único lo estarán por dos, ó tal vez muchos más. ¡Qué prodigiosos efectos de luz deben resultar de aquí! Algunas veces los dos soles estarán juntos sobre el horizonte, y otras no habrá más que uno, ó los dos estarán ausentes. Especialmente notable sería la condición del planeta cuyos soles fueran de color. Hoy tendríamos uno rojo iluminando el cielo, mañana uno azul, y tal vez al día siguiente los dos se hallarían juntos en el firmamento. ¡Qué infinita variedad presentaría entonces tan grandioso espectáculo! Tenemos, sin embargo, poderosas razones dinámicas para dudar que las condiciones en que existiría semejante planeta pudiesen ser compatibles con la vida tal como nosotros la conocemos. El problema del movimiento de un planeta bajo la influencia de dos soles es uno de los más difíciles que hasta ahora se han propuesto á los matemáticos, y en el estado actual de nuestros conocimientos parece imposible resolver con exactitud

todas las cuestiones que implica. No es inverosímil que las perturbaciones de la órbita del planeta puedan ser tan considerables que se hallaría expuesto á unas vicisitudes de luz y temperatura mucho más trascendentales que las experimentadas por un planeta que se mueve, como la Tierra, bajo el supremo dominio de un sol único.



---

## CAPÍTULO XX

### DISTANCIAS DE LAS ESTRELLAS

El sondaje del espacio.—Los trabajos de W. Herschel.—Sus razonamientos ilustrados por Vega.—Algunas estrellas están diez, cien ó mil veces más lejos que otras.—El método de Herschel es incompleto.—Los trabajos de Bessel.—Significación del paralaje anual.—Pequeñez de la elipse paraláctica ilustrada.—El caso de la 61 del Cisne.—Estrellas de comparación.—Dificultades que opone la refracción.—Cómo puede evitarse.—El movimiento propio de la estrella.—Preparativos de Bessel.—El heliómetro.—Investigaciones de Struve.—Investigaciones de Dunsink.—Conclusiones.—Exactitud que pueden tener tales observaciones.—Cómo se pueden discutir los resultados.—Movimiento propio de la 61 del Cisne.—Permanencia del cielo sideral.—Cambios en la oscilación de la Osa Mayor, desde el tiempo de Ptolomeo.—La estrella de Groombridge, 1830.—Amplio movimiento propio.—Su paralaje.—Velocidad de 200 millas por minuto.—La nueva estrella del Cisne.—Su historia.—Paralaje no apreciable.—Un poderoso torrente de luz.—Movimiento del sistema solar en el espacio.—Descubrimiento de Herschel.—Viaje hacia Hércules.—Probabilidades.—Conclusión.

**H**ACE mucho tiempo que son conocidas las dimensiones del sistema solar, con más ó menos exactitud; sabemos cuáles son las distancias de los planetas y cometas desde el Sol, así como sus movimientos, y hemos averiguado también mucho sobre los diámetros y volúmenes de una gran parte de los diferentes cuerpos que pertenecen á nuestro sistema. En el presente capítulo nos proponemos sondear el vastísimo espacio que separa el grupo de los cuerpos que rodean al Sol de las demás estrellas diseminadas en las altas regiones. Durante siglos el gran problema sobre la distancia de las estrellas llamó la atención de los astrónomos; pero sería imposible reseñar ni siquiera ligeramente las diversas investigaciones hechas sobre el asunto. En el limitado espacio de que disponemos, solamente nos será dado hacer un rápido bosquejo sobre los esfuerzos encaminados á resolver el problema. Entre todos los que se dedican á su estudio, Herschel fué el primero que trató de explicar científicamente la extensión y magnitud del sistema sideral; pero debió hacerlo por analogía y probabilidades, á falta de datos que le guiasen con toda seguridad.

Conocemos con más ó menos exactitud la distancia de algunas estrellas, tal vez de unas veinte ó treinta, pero ignoramos las de la mayoría; al paso que, tratándose de los miles de nebulosas, no sabemos cuál es la distancia ni de una sola. Sin embargo, lo poco que ha llegado á nuestro conocimiento es mucho más de lo que Herschel supo, y habían trascurrido ya muchos años desde la muerte de ese astrónomo cuando Bessel resolvió por primera vez el gran problema de hallar la distancia de una estrella.

En sus investigaciones, Herschel pudo ver centenares y miles, ó acaso millones, de esos cuerpos luminosos diseminados en el cielo sideral, y seguramente los examinó con más ó menos atención; pero no conocía la distancia de uno solo de ellos.

Herschel era un astrónomo demasiado celoso para que no tratara de averiguarlo; pero, habiendo agotado todos los medios que imaginó para hallar la contestación á las preguntas que se hacía sobre el volumen y distancia de las estrellas, hubo de apelar al razonamiento, como debemos hacerlo nosotros para formarnos la idea más clara posible sobre la vasta escala en que está construído el Universo. Sería inútil que tratásemos de entrar en detalles sobre este punto, y, por lo tanto, preciso es limitarnos á razonar como Herschel.

Tómese, por ejemplo, la magnífica estrella Vega,  $\alpha$  de la Lira, la más brillante en la constelación de este nombre, y apliquémosle los argumentos del eminente astrónomo. Comenzaremos por sondear las profundidades del espacio en que el telescopio puede penetrar, tomando por unidad de medida la distancia de Vega. Herschel nos ha demostrado cómo podemos apreciar las distancias de las más diminutas estrellas, no sólo de las que son visibles sin el telescopio, sino de las que están más lejanas.

Si Vegã se alejase de la Tierra, á medida que se retirara, su brillo disminuiría gradualmente, hasta que al fin no sería ya una de las estrellas más luminosas del cielo, pareciendo entonces sólo de sexta magnitud, y apenas visible sin el telescopio.

Si Vega continuase su retirada, llegaría á ser invisible sin el telescopio; pero éste la puede seguir aún por más que se aleje rápidamente. Supongamos ahora que, continuando su retirada, llega á estar á una distancia mil veces mayor de la que había recorrido antes: ya no se podría ver con los telescopios ordinarios, pero aún se alcanzaría á distinguirle sirviéndonos de los colosales instrumentos que tanto abundan hoy día, y que tanto se han perfeccionado desde los tiempos de Herschel. Ese astrónomo dijo que sus telescopios podían seguir la estrella aunque se retirase novecientas veces más lejos de lo que estaba al principio, y no exageramos al decir que podemos tomar el tipo de mil como límite de la visibilidad. No hay duda de que si Vega se moviese diez veces más lejos de lo que se halla, aun se podría distinguirle á la simple vista. Si se alejara cien veces más, se la reconocería con un telescopio pequeño, siendo preciso apelar á los grandes instrumentos si la distancia era mil veces mayor.

En sus investigaciones, Herschel adoptó una especie de razonamiento estadístico, considerando las estrellas, no en unidades ni en decenas, sino en miles y millones. Nadie supondrá ni por un momento que todos esos cuerpos luminosos tienen el mismo volumen, pues sabemos muy bien que hay una gran diferencia en las dimensiones de algunas; pero si consideramos las estrellas por miles, nos regimos por varios principios bastante inteligibles. Hé aquí por qué los resultados deben aceptarse con cierta reserva, pues no se demostraron por la observación, ni tampoco se pueden demostrar por el cálculo: son plausibles y nada más.

A falta de datos que probaran lo contrario, Herschel juzgó razonable suponer que las dimensiones de las estrellas distribuidas en toda la inmensidad del espacio serían, por término medio, las mismas que las de aquellas que conocemos bien. El sabio astrónomo vió claramente que las estrellas más brillantes parecerían las menos luminosas si se alejasen á una distancia mil veces mayor; pero no hay razón para suponer que las más confusas que vemos son intrínsecamente más pequeñas que las que distinguimos como más brillantes alrededor de nosotros. Todo se explicaría perfectamente si supiéramos que, por término medio, la dimensión de las estrellas en diversas regiones del espacio son las mismas, é imaginando que las menos luminosas se hallan, por regla general, á una distancia mil veces mayor que la de las más brillantes.

Tal era el principio del método de Herschel para resolver el problema, pero pecaba de incompleto. Vió que las distancias relativas de las estrellas opacas y de las brillantes debía ser la que hemos indicado; pero ignorábase cuál era el valor absoluto de esas distancias, y este fué el problema que burió todos los esfuerzos de Herschel, tanto que nunca encontró la distancia actual de una de las estrellas desde la Tierra. Y cuando así estaba ocupado descubrió á Urano. Ensayó otros medios, y tampoco obtuvo el objeto inmediato, aunque las observaciones condujeron al magnífico descubrimiento de las estrellas binarias. El problema se ha resuelto desde la época de Herschel, y ahora podemos comprender por qué no alcanzó el resultado apetecido. Las distancias son tan considerables que se han de hacer las observaciones más delicadas, y los grandes instrumentos de Herschel carecían de refinamiento necesario para las mediciones; pero, conocidas ahora las distancias de algunas estrellas, podemos servirnos del razonamiento de aquel astrónomo para determinar las de otras con algún grado de probabilidad.

Ninguna tentativa para resolver el problema de las distancias absolutas dió resultado favorable hasta muchos años después de cesar los trabajos de Herschel. Las nuevas generaciones de astrónomos prosiguieron largo tiempo la tarea con el mayor celo; mas sus esfuerzos parecían inútiles. No se podían reconocer las distancias de las estrellas sin la más refinada habilidad técnica y los más laboriosos métodos de cálculo matemático necesarios para vencer la dificultad. Al fin se observó que el problema comen-

zaba á ceder, descubriéndose el secreto de las distancias de algunas estrellas; de modo que ahora podemos contestar, cuando se nos pregunte, cuánto distan de nosotros, aunque debe confesarse que la contestación es, por ahora, imperfecta. Como sucede á menudo en casos análogos, el descubrimiento de la distancia de una estrella se hizo independientemente hacia la misma época por dos ó tres astrónomos; pero el nombre de Bessel se realza más en este memorable capítulo de la Astronomía. Bessel demostró (1840) que la distancia de la estrella conocida por la 61 del Cisne era una cantidad mensurable, é hizolo con tan incontestable lógica que no se pudo menos de admitirlo universalmente. Casi al mismo tiempo se dió la medida de Struve de la distancia de Vega, mientras que Henderson determinaba la distancia de la estrella del sur  $\alpha$  del Centauro. Estos descubrimientos excitaron mucho interés en el mundo astronómico, y la Sociedad Real otorgó su medalla de oro á Bessel. A Herschel correspondió presentar el informe con motivo del premio otorgado, y como este escrito es un elocuente tributo para el trabajo de los tres astrónomos, no podemos menos de reproducir algunas líneas.

“Señores de la Real Sociedad Astronómica: Me congratulo y os felicito por haber vivido lo bastante para ver, al fin, levantada por tres puntos diferentes la barrera que hasta aquí había sido infranqueable para todos en nuestras excursiones por el universo sideral, y contra la cual habíamos luchado en vano, *æstuantes angusto limile mundi*. Es el mayor y más glorioso triunfo que la astronomía práctica obtuvo jamás. Tal vez debería mostrarme algo reservado, admitiendo la posibilidad de que todo sea una ilusión, y de que las futuras investigaciones no confirmen el gran resultado; mas confieso que no me es posible ser prudente en mi excitación. Aceptemos más bien los felices pronósticos, confiando en que, habiéndose comenzado á levantar la barrera, desaparecerá al fin del todo.”

Antes de seguir adelante convendrá explicar cómo es posible medir la distancia de una estrella. El problema difiere mucho del que se refiere á la distancia del Sol. Las observaciones para determinar el paralaje estelar se fundan en la reconocida verdad de que la Tierra gira alrededor del Sol. Para nuestro propósito supondremos ahora que la Tierra hace su revolución en un paso circular: el centro de éste se halla en el del Sol, y su radio es de 92.700,000. A causa de nuestra posición en la Tierra, observamos las estrellas desde un punto de vista que cambia continuamente. En verano la Tierra está 185,400.000 millas distante de la posición que ocupaba en invierno, y de aquí se sigue que las posiciones aparentes de las estrellas, según se proyectan en el fondo del cielo, deben presentar cambios correspondientes. No entendemos por esto que las actuales posiciones de las estrellas hayan variado en realidad: los cambios son tan sólo aparentes y los atribuimos á las estrellas.

Nuestro diagrama (fig. 78) es una elipse con ciertos meses (enero, abril, julio y octubre) marcados en su circunferencia. Esta elipse puede conside-

rarse como un diseño en miniatura de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. En enero la Tierra se halla en el punto así marcado, en abril ha recorrido la cuarta parte de toda la distancia, y así alrededor del círculo entero, volviendo á su primitiva posición en el trascurso de un año. Cuando miramos desde la posición de la Tierra en enero, vemos la estrella *A* proyectada contra el punto del cielo marcado *1*. Tres meses después, el observador sigue con su telescopio alrededor de abril; pero ahora ve la estrella proyectada en la posición que indica el n.º 2. De este modo, á medida que el observador se mueve alrededor de toda la órbita en la revolución anual de toda la Tierra, la estrella parece moverse en torno de una elipse sobre el

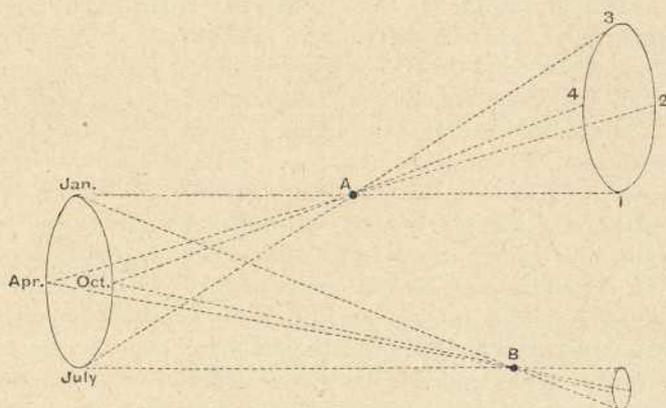


FIG. 78.—LA ELIPSE PARALÁCTICA

fondo del cielo. En el lenguaje técnico de los astrónomos decimos que esto es la elipse paraláctica, y midiendo su eje mayor se determina la distancia que hay entre la estrella y el Sol.

La figura presenta otra estrella, *B*, más distante de la Tierra y del sistema solar generalmente que la que hemos considerado antes, y ésta describe también un paso elíptico; pero no dejaremos de observar que la elipse paraláctica perteneciente á *B* es mucho más pequeña que la de *A*. La diferencia de dimensiones de las elipses proviene de las diferentes distancias que hay desde las estrellas á la Tierra: cuanto más próximas se hallan á esta última, mayor es la elipse; de modo que la estrella más próxima en el cielo describirá la elipse más considerable, mientras que la más distante trazará otra más pequeña. Así vemos que la distancia de la estrella es universalmente proporcional al circuito de la elipse, y si medimos el valor angular de su eje mayor se podrá expresar por un cálculo, que todos los matemáticos entienden, la distancia de la estrella, como múltiplo de un radio de la órbita de la Tierra. Suponiendo que este radio es de 92.700,000 millas, la distancia de la estrella se obtiene por simple aritméti-

ca. La dificultad del procedimiento resulta de la circunstancia de que las elipses son tan pequeñas que nuestros micrómetros no las descubren á menudo. Tómese, por ejemplo, la Osa Mayor. Cada una de las estrellas de ésta describe una elipse en el trascurso de un año; pero sería una exageración suponer que la forma actual y la posición de la Osa Mayor están apreciablemente desfiguradas por el paralaje. A decir verdad, las dimensiones de las elipses tienen una proporción casi inconmensurable respecto á la de la constelación.

¿Cómo describiremos propiamente la extremada pequeñez de las elipses paralácticas, hasta de las más próximas? En el lenguaje técnico de los astrónomos podemos decir que el diámetro más largo de la elipse no puede subentender nunca un ángulo de más de dos segundos. Más popularmente diríamos que mil veces el eje mayor de la más grande elipse paraláctica no excedería en mucho del diámetro de la luna llena.

La estrella del Cisne conocida con el nombre de *61 Cigni* no es notable por su dimensión ó brillantez: apenas es visible sin ayuda del instrumento, y hay unas mil estrellas, al parecer, más grandes y brillantes; pero es un curioso ejemplo de lo que llamamos estrellas dobles. Se compone de dos casi iguales, casi unidas, que se enlazan como por mutua atracción. Los astrónomos se fijan en la estrella también por su propio y extenso movimiento, en virtud del cual las dos componentes recorren el cielo juntas á razón de cinco segundos anualmente. El movimiento propio de esta magnitud es sumamente raro; pero no podemos decir que no tenga paralelo, pues hay algunas pocas estrellas con movimiento propio, aun más rápido; pero el notable carácter doble de la *61 Cigni*, combinado con aquél, le hacen objeto único, por lo menos en el hemisferio del norte.

Cuando Bessel propuso emprender la gran investigación que recordará siempre su nombre, resolvió consagrar dos ó tres años á la observación continua de una estrella, con objeto de medir cuidadosamente la elipse paraláctica. ¿Cómo debía elegir el objeto á que dedicaría tanto trabajo? Era importante escoger una estrella que estuviese bastante cerca para recompensar sus esfuerzos y presentar un paralaje susceptible de medirse. Entonces le ocurrió que los caracteres excepcionales de la *61 Cigni* ofrecían las condiciones necesarias, y propúsose aplicar el procedimiento de observación á esta estrella. Consagró la mayor parte de los tres años á este trabajo, y pudo descubrir su distancia desde la Tierra.

Desde que Herschel escribió su informe, la *61 Cigni* ha sido observada casi de continuo por los astrónomos; y, en una palabra, podemos decir que cada una de las generaciones sucesivas entabla nueva discusión sobre la distancia de esa estrella, con objeto de confirmar ó criticar el primitivo descubrimiento de Bessel. Nuestro diagrama (fig. 79) servirá para ilustrar la reciente historia de la *61 Cigni*.

Cuando Bessel emprendió sus trabajos, las dos estrellas que formaban la doble hallábanse en el punto indicado por la fecha 1838. Quince años

más tarde, Struve emprendió sus investigaciones, y entonces el par de estrellas había tomado la posición marcada 1853. Finalmente, cuando se practicaron las observaciones más recientes en el observatorio de Dunsink, dichas estrellas habían avanzado hasta la posición indicada por la fecha 1878; de modo que el espacio recorrido por la estrella doble era de más de tres minutos en longitud. Las dos estrellas que forman la doble tienen cierta velocidad relativa á causa de su mutua atracción; pero no es necesario tomar esto en cuenta, porque la desviación en el trascurso de un solo

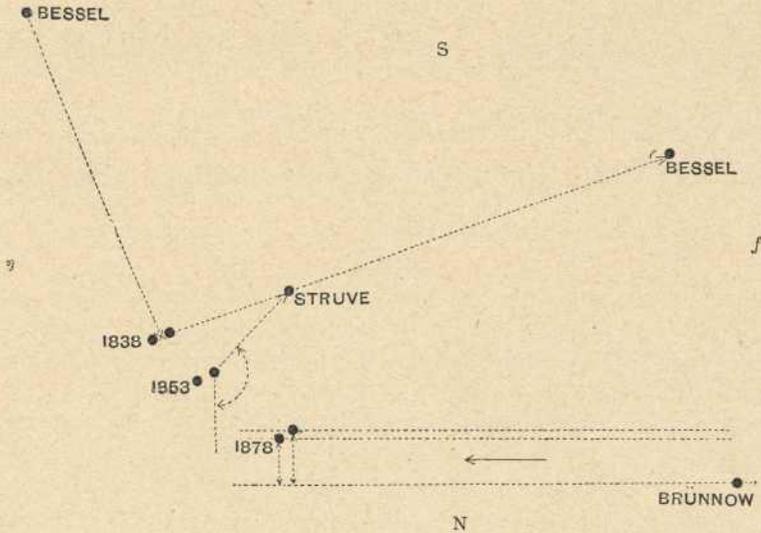


FIG. 79.—LA 61 DEL CISNE Y LAS ESTRELLAS DE COMPARACIÓN  
N, norte.—S, sur

año es demasiado pequeña para producir ningún efecto inconveniente en la elipse paraláctica.

Los que buscan el paralaje han de luchar siempre contra un enemigo, la atmósfera, que aun estando libre de nubes y nieblas es origen de incertidumbre y error. En la más clara noche, y en el mejor clima, la refracción de la atmósfera desvía cada estrella de su verdadero lugar; pero la mayor parte de esta desviación se puede apreciar, sin duda, por el cálculo, reconociéndose aproximadamente el verdadero punto de la estrella. El grado de refracción en circunstancias especiales, en cuanto á la altura del objeto más arriba del horizonte, la temperatura del aire y la elevación del barómetro, se pueden calcular con la suficiente exactitud para muchos fines astronómicos; pero el resultado no es más que una aproximación á la verdad, pues hay diminutas irregularidades en la refracción que influyen tanto que no podemos eliminar del todo sus efectos, pudiendo á veces ser errónea la corrección que se hace sobre los sitios ocupados por las estre-

llas. En el punto de que se trata, los errores de esta magnitud son fatales. La elipse paraláctica que deseamos medir no tiene tal vez en sí un segundo de diámetro, y, si nuestras observaciones son equivocadas por alguna considerable fracción de segundo, resultarían errores tan grandes respecto á la cantidad total que no se podría resolver el problema.

Sin embargo, hay un medio de evitar la dificultad, y se funda en el hecho que se ilustra por las dos estrellas representadas en la fig. 78. La estrella que está muy lejos tiene la elipse paraláctica pequeña, y comparativamente grande la que se halla cerca. En su consecuencia, si se pueden observar dos en el mismo campo del telescopio, y si una dista mucho más que la otra, las dimensiones de las elipses paralácticas serán muy diferentes. En la fig. 79 indícanse cuatro estrellas además de 61 Cigni. Dos llevan el nombre de *Bessel*, una el de *Struve*, y la cuarta el de *Brunnow*. Estas estrellas son meramente unidades de la inmensa legión que recorre el cielo. Muy inferiores á 61 Cigni por su brillo, no tienen su duplicidad ni su notable movimiento propio, y están más distantes de la Tierra que 61 Cigni. La elipse paraláctica de esta estrella es, de consiguiente, mayor que la descrita por las otras. Bessel propuso medir la aparente distancia angular desde 61 Cigni á las estrellas marcadas con su nombre; pero esta distancia debe cambiar de continuo por el efecto del paralaje. Si el lector tiene instinto geométrico comprenderá cómo por estas medidas se puede averiguar fácilmente la forma y posición de la elipse paraláctica.

Se puede argüir que la refracción debe alterar estas medidas también. Seguramente cada una de las estrellas se desvía mucho por refracción; mas, por fortuna, las dos lo hacen en el mismo grado; de modo que la distancia entre las dos estrellas es así casi la misma que sería si la refracción faltara del todo, pudiendo apreciarse con bastante exactitud la pequeña diferencia que resulta. Hé aquí cómo, teniendo el medio de eliminar el efecto de la refracción, se puede buscar el paralaje anual en la astronomía práctica. Las medidas de la distancia angular, aunque así purgadas de la refracción, se complican, sin embargo, por el movimiento propio de 61 Cigni. El movimiento de la estrella en su elipse paraláctica se amalgama con el movimiento rectilíneo debido á su propia moción; pero esta circunstancia no entorpecerá al astrónomo experto, que podrá determinar con exactitud los componentes elípticos y rectilíneos.

Bessel comenzó los preparativos para su obra de una manera algo extraña: encargó á los ópticos cortaran el objetivo de su telescopio en dos mitades. La una se fijó rígidamente en el tubo en su debida posición, y la otra se montó en una plancha movable, de modo que su movimiento fuese rectilíneo y en ángulos rectos con el eje del telescopio. Esto es lo que se llama un heliómetro. Cuando se enfila hacia la estrella, cada mitad del objetivo forma una imagen distinta. Si las mitades se hallan en su posición ordinaria, las dos imágenes coinciden y el telescopio funciona como el del tipo común; pero cuando el cristal objetivo cambia de posición

sepáranse las dos imágenes, y la distancia entre éstas es igual á la en que se movió el objetivo. Gracias á un delicado tornillo, esta distancia se podrá determinar con exactitud.

La aplicación del heliómetro en el presente problema se comprenderá fácilmente: el telescopio se dirige hacia 61 Cigni de modo que la estrella de comparación se halle en el campo también, y después, al separarse las dos mitades del objetivo, también lo hacen las dos imágenes de la estrella de comparación. El tornillo se gira gradualmente hasta que una de estas dos imágenes ocupa el punto central, entre los dos componentes de 61 Cigni; después se lee la distancia en que se ha desviado el objetivo de cristal, y esto representará la distancia aparente desde el centro de 61 Cigni hasta la estrella de comparación. Bessel consagró tres años á buscar estas medidas, y el resultado de sus observaciones fué el descubrimiento y medición de la elipse paraláctica.

Quince años más tarde (1853) el célebre astrónomo ruso Otto Struve emprendió el trabajo de una nueva determinación de la distancia de 61 Cigni, variando el método empleado por Bessel en todos los detalles posibles. Este último había medido la distancia del punto central entre los componentes de 61 Cigni por sus estrellas de comparación. Struve eligió un solo componente de 61 Cigni y una estrella de comparación señalada en la figura con su nombre, difiriendo uno y otro de los que usó Bessel. En vez del objetivo dividido sirvióse del instrumento llamado *micrómetro paralelo de alambre*, anteriormente descrito en esta obra, con el cual midió la distancia y el ángulo de la estrella de comparación desde el componente superior de 61 Cigni, durante un año. Los trabajos de Struve tuvieron también buen éxito, y averiguó la elipse paraláctica, obteniendo la determinación independiente por sus medidas del ángulo de posición. Las dos investigaciones dieron idéntico resultado.

Struve y Bessel demostraron así que la elipse paraláctica, y por lo tanto la distancia de 61 Cigni, era una cantidad comensurable; pero resultó una diferencia sustancial entre sus observaciones. Según las de Struve, la estrella estaba mucho más próxima de lo que se deducía por el estudio de Bessel: este último dedujo que la distancia era de unos 60 billones de millas, y, según Struve, no podía pasar de 40; de modo que entre estos dos astrónomos resultó una discrepancia de 20 billones; diferencia enorme si se considera por nuestros tipos terrestres. Se necesitarían unos trescientos mil años hasta para contar 20 billones; pero la discrepancia no es tan importante cuando se produce en esas magnitudes colosales que se llaman distancias estelares. No conocemos el paralaje, ni aun de una docena de estrellas, bastante bien para especificar su distancia con exactitud á una de 20 billones de millas. Los que buscan el paralaje quedarían satisfechos de su trabajo si pudieran asegurar que su error se halla dentro de este límite.

Sin embargo, el caso de 61 del Cisne es excepcional. Aunque se considere como uno de nuestros más próximos vecinos en el cielo, no podemos

encontrar nunca una distancia con exactitud á 1 ó 2 billones de millas, y, sin embargo, comprendemos que la duda, cuando llega á 20 billones, es demasiado considerable. Demostraremos que, en nuestra opinión, Struve estuvo acertado; mas no se sigue de aquí que Bessel no tuviera razón. La aparente paradoja se puede explicar muy bien: no sería posible si Struve hubiera usado la *misma estrella de comparación* de Bessel; pero la de Struve era distinta, y en esto consiste probablemente la diferencia. Para que el método dé en todo buen resultado, la estrella de comparación debe estar, al menos, ocho veces más distante que la principal; y, teniendo esto en cuenta, es muy posible conciliar las medidas de Bessel con las de Struve. Añadiremos que las estrellas de comparación de Bessel se hallan tan sólo unas tres veces más lejos que 61 Cigni, mientras que la de Struve está, al menos, ocho ó diez.

Tenemos aquí un carácter distintivo de este método para determinar el paralaje. Aunque todas las observaciones y reducciones de una serie de paralajes fuese materialmente correcta, no podríamos describir con la debida propiedad el resultado final como paralaje de una estrella: no es más que la diferencia entre el paralaje de la estrella y el de la estrella de comparación, y, de consiguiente, tan sólo podemos afirmar que el paralaje buscado no será menos que la cantidad determinada. Bajo este punto de vista, la discrepancia entre Struve y Bessel se desvanece del todo. Un cuarto de siglo ha trascurrido desde que Struve practicó sus observaciones: nadie las ha refutado, y, muy lejos de ello, otros estudios las confirman; y en una revista crítica sobre el asunto, Auwers demostró, hace algunos años, que la determinación de Struve es más digna de confianza que la de ningún otro astrónomo. A pesar de esto, el asunto se ha vuelto á discutir y estudiar últimamente. El doctor Brunnow había medido con buen éxito el paralaje de varias estrellas, y comenzó una serie de observaciones sobre el de 61 Cigni, las cuales fueron continuadas y completadas por su sucesor. Brunnow eligió una cuarta estrella de comparación, diferente de las usadas por sus antecesores, y su método de observación fué diferente del de Struve, aunque también hizo uso del micrómetro. Procuró determinar la elipse paraláctica midiendo la diferencia de declinación entre la 61 Cigni y la estrella de comparación. En el transcurso de un año obsérvase que la diferencia en la declinación sufre un cambio periódico, y por éste se puede computar la elipse paraláctica. Yo medí la diferencia de la declinación en la primera serie de observaciones entre la estrella de 61 Cigni y la de comparación. En la segunda serie tomamos el otro componente de 61 Cigni y la misma estrella de comparación, por cuyo medio tuvimos dos determinaciones del todo independientes del paralaje resultante de dos años de trabajo. La primera de ellas da la distancia de 40 billones de millas, y la segunda casi igual cifra, no pudiendo dudarse que este trabajo confirma la determinación de Struve como corrección de la de Bessel; y, de consiguiente, en el estado actual de nuestros conoci-

mientos sobre esta cuestión, podemos decir que la distancia de 61 Cigni se aproxima mucho más á los 40 billones de millas que á los 60 de Bessel (1).

Convenia proporcionar al lector el medio de que formase su opinión propia sobre la evidencia que resulta de dichas observaciones, y con este objeto damos un diagrama (fig. 80). Es para ilustrar la segunda serie de observaciones practicadas en Dunsink respecto á la diferencia de la de-

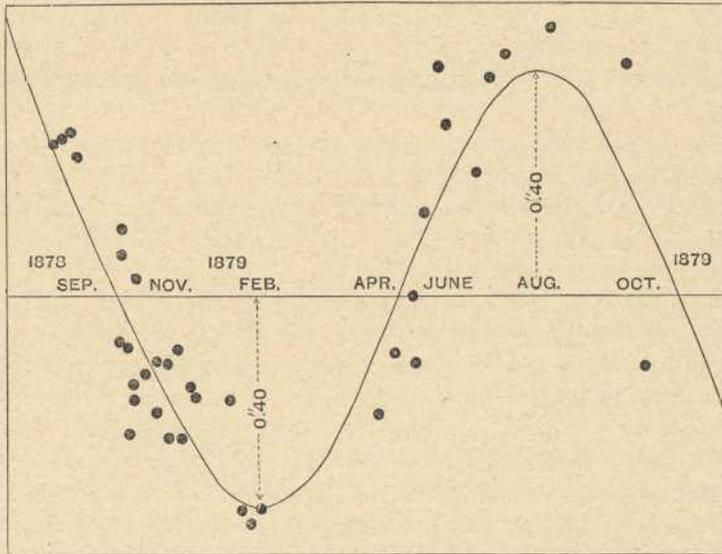


FIG. 80.—PARALAJE EN LA DECLINACIÓN DE LA 61 DEL CISNE

clinación. Cada uno de los puntos representa las observaciones de una noche: su altura es la diferencia observada en la declinación entre 61 (B) Cigni y la estrella de comparación. La distancia á lo largo de la línea horizontal representa la fecha. Estas observaciones se agrupan más ó menos regularmente en la inmediación de cierta curva, la cual indica dónde debían haber estado las observaciones si hubiesen sido del todo exactas. Las distancias entre los puntos y las curvas se pueden considerar como los errores cometidos al hacer las observaciones.

Tal vez se crea que en muchos casos estos errores son demasiado considerables; pero apresurémonos á decir que precisamente para evidenciarlos se hizo el diagrama. Los errores de las observaciones, sin embargo, no son intrínsecamente tan grandes como pudiera creerse á primera vista:

(1) La distancia de la 61 del Cisne ha sido recientemente investigada por el profesor Asaf Hall, de Washington, que ha obtenido un resultado que coincide prácticamente con el hallado en Dunsink.

para reconocerlo basta interpretar la escala en que el diagrama se dibujó por comparación con los tipos familiares. La distancia desde la extremidad de la curva á la línea horizontal denota un ángulo de solamente cuatro décimas partes de segundo, lo cual viene á ser el diámetro aparente de una moneda de 10 céntimos á la distancia de 10 millas. Ahora podremos apreciar la verdadera magnitud de los errores cometidos: se notará que ninguno de los puntos dista de la curva mucho más que la mitad de la altura de la misma, y así parece que el error más grande en toda la serie de observaciones solamente llega á dos ó tres décimos de segundo, lo cual equivale á haber apuntado el telescopio al borde superior de una moneda de 10 céntimos á 15 ó 20 millas de distancia en vez de elegir el borde inferior.

Esto no es una gran equivocación. La elipse paraláctica, no obstante, es tan pequeña que los errores, por pequeños que sean, tienen mucha proporción en la cantidad total que se considera. Esto es lo que constituye la flojedad de las observaciones del paralaje; mas, á pesar de las dificultades, los resultados merecen, al parecer, confianza. Para asegurar la neutralización de los errores, la estrella debe observarse tantas noches como sea posible, tomando en cada una considerable número de datos.

Después de hacer esto, el astrónomo verá ante sí una infinidad de cifras, tal vez quince mil; pero el paralaje que busca se puede expresar suficientemente por dos dígitos, y en rigor hasta por uno. Con estas observaciones la misión del *observador* ha terminado, y entonces corresponde al *matemático* buscar la una ó dos cifras que representan el resultado final. Y no solamente puede dar el valor más probable del paralaje, sino hacer una apreciación del de su resultado, expresando numéricamente la confianza que merece.

Hemos hecho la historia de la 61 Cigni con alguna extensión porque es la estrella cuya distancia se ha estudiado más. No diremos que es la más próxima de todas, pues sería muy aventurado asegurarlo, ni de ésta ni de ninguna, ni de los muchos millones que hay en el cielo. Á decir verdad, conocemos una que parece estar más cercana que la 61 Cigni, y llámase *a Centauri*. Esa estrella tiene un interés memorable en la historia del asunto. Su paralaje se determinó primero en el Cabo de Buena Esperanza por Henderson. Los estudios siguientes confirmaron sus observaciones, y, por fin, las de Mr. Gill demostraron que el paralaje de esa estrella es de unos tres cuartos de segundo; de modo que se halla solamente á dos tercios de la distancia de la 61 Cigni. ¿Qué sagaz intuición indujo á Henderson á observar una estrella comparativamente próxima en el hemisferio del sur, y á Bessel á estudiar una en el norte?

La 61 Cigni nos llamó la atención en primer lugar por la circunstancia de tener el considerable movimiento propio de cinco segundos anualmente, y también hemos averiguado que el paralaje anual viene á ser de medio segundo, siendo de gran interés la combinación de estos dos datos, pues

nos enseña que la 61 Cigni debe atravesar cada año una distancia nada menos que de diez veces el radio de la órbita de la Tierra. En cifras ordinarias resulta que esa estrella debe viajar 920.000,000 de millas al año, es decir, de dos á tres millones cada día; pero esto no puede verificarse si no se mantiene la prodigiosa velocidad de 30 millas por segundo. Parece que esta conclusión es inevitable: los hechos que hemos descrito, harto determinados ahora, son inconsistentes con la suposición de que la velocidad de la 61 Cigni es menor de 30 millas por segundo. Tal vez sea más, pero no puede ser menos.

Sabemos que la 61 Cigni se ha movido en la misma dirección é igual velocidad durante cien años. Antes de la existencia del telescopio no tenemos observación para guiarnos, y, por lo tanto, no puede haber seguridad sobre la primitiva historia de esa estrella, si bien es razonable suponer que desde los tiempos más remotos se ha movido con igual celeridad que ahora. Si faltasen del todo las influencias perturbadoras no habría duda sobre este punto; pero deben existir *varias*, y solamente resta saber si la influencia basta para modificar seriamente nuestra suposición. Una poderosa acción perturbadora podría alterar mucho la velocidad de la estrella, desviarla de su curso rectilinear, y hasta obligarla á moverse alrededor de una órbita cerrada; pero no creemos que exista influencia de tal magnitud, y no hay duda de que la 61 Cigni se mueve ahora en un paso casi recto y con una velocidad muy uniforme.

Hallándose la 61 Cigni á la distancia de 40 billones de millas, y siendo la velocidad de 30 por segundo, fácil es averiguar cuánto tiempo necesitaría la estrella para efectuar un viaje igual á su distancia desde el Sol. El tiempo requerido sería un periodo de 40,000 años, y en los últimos 400,000 la 61 Cigni habria recorrido una distancia diez veces mayor que la que le separa del Sol, sea cual fuere la dirección del movimiento. Esta estrella debe haber estado, de consiguiente, hace 400,000 años, diez veces más lejos que la Tierra. Aunque esta época es increíblemente más remota que ningún recuerdo histórico, tal vez puede compararse con la duración de la raza humana; mientras que, si se compara con la inmensidad del tiempo geológico, semejantes periodos parecen insignificantes. Los geólogos sostienen ahora que se han necesitado muchos millones de años para que se produzcan los fenómenos geológicos; y si la Tierra ha existido millones de años, como aquellos dicen, es razonable que los astrónomos supongan que para los fenómenos del cielo ha sucedido lo mismo. Con la ayuda de nuestro conocimiento de las estrellas, combinada con la supuesta velocidad de 30 millas por segundo, podemos atrevernos á penetrar en el remoto pasado, demostrando cuán considerables son los cambios que nuestro universo parece haber sufrido.

En un millón de años la 61 Cigni habrá recorrido, aparentemente, una distancia veinticinco veces mayor que la que ahora le separa del Sol, y, sea cual fuere la dirección en que se mueva, debe haberse hallado unas veinti-

cinco veces más distante que ahora hace un millón de años; pero aun á su actual distancia la 61 Cigni es una estrella pequeña, y si estuviera diez veces más lejos no se podría ver sino con un telescopio muy bueno.

Las deducciones á que nos conduce la 61 Cigni se pueden aplicar en diversos grados á otras estrellas, y así llegamos á la conclusión que muchas de éstas se mueven, al parecer, lentamente; mas el movimiento puede ser, en realidad, muy rápido. Cuando, desde la orilla del mar, miramos un vapor que se halla en el lejano horizonte, apenas se nota su marcha; pero si se vuelve á mirar á los pocos minutos, reconócese un cambio de sitio, aunque el movimiento del vapor parece ser muy lento. No obstante, si estuviéramos cerca de él veríamos que avanza con la velocidad de muchas millas por hora; de modo que la distancia es lo que produce la ilusión. Lo mismo sucede con las estrellas: parece que se mueven muy lentamente, porque están muy distantes; pero si nos halláramos cerca observaríamos que en la mayoría de casos sus movimientos son normalmente rápidos, y sin duda mil veces más que el más ligero vapor que jamás surcó el océano.

Parece resultar de aquí que la fijeza de las constelaciones, cada una en su relativa posición, es efímera. Cuando consideramos tan vastos períodos de tiempo como los que las investigaciones geológicas nos descubren, la duración de las constelaciones se desvanece. En el trascurso de esas estupendas edades las estrellas se pierden, generalmente, de vista, para ser reemplazadas por otras que no son más permanentes.

Para dar idea sobre la magnitud de las cantidades de que hemos de tratar cuando se habla del movimiento propio de las estrellas, estudiemos los efectos de éste en las principales de la Osa Mayor. Una noche tras otra vemos esas estrellas en las mismas posiciones relativas, y el contorno general de la constelación se ha conservado el mismo durante siglos.

Sin embargo, es muy curioso inquirir si pueden haberse producido algunos cambios en las estrellas de la Osa Mayor desde los primitivos tiempos, y por fortuna podemos contestar con bastante exactitud. Hará cerca de dos mil años, Ptolomeo formó un catálogo en el cual recordaba la posición de un considerable número de estrellas fijas. No tenía telescopio, pero había construído varios instrumentos para medir las posiciones. Esos aparatos eran muy toscos é imperfectos comparados con los que usan los modernos astrólogos; pero la antigüedad de las observaciones de Ptolomeo les daba un valor positivo que compensa por mucho su inexactitud. Entre las estrellas que Ptolomeo observó contábanse las de la Osa Mayor, y por sus observaciones podemos formar el mapa de aquélla según se le apareció, comparándole con el actual aspecto de la misma constelación. De esto resulta que la forma de la Osa Mayor no ha cambiado mucho en los últimos dos mil años, aunque haya *alguna* diferencia entre la posición pasada y actual de las estrellas, lo cual puede explicarse en parte por los inevitables errores de medición usados por Ptolomeo; pero compensándo-

los debidamente, no hay duda de que las posiciones de las estrellas han cambiado de una manera visible en dos mil años.

Pasamos á la historia de una estrella muy notable que ha dado lugar á muchas investigaciones é ingeniosos cálculos. La estrella se encontrará en la Osa Mayor; pero es de sexta ó séptima magnitud, y, por lo tanto, invisible sin ayuda de instrumento: pertenece á una de esas miriadas que aun no tienen nombre. De modo que los astrónomos se refieren á ella por el lugar que ocupa, ó citando el catálogo de estrellas de Groombridge, en el cual tiene el número 1,830. Aunque diminuta, es por un concepto la más notable que se conoce entre las miles del hemisferio norte, y distínguese por su movimiento propio, excepcionalmente considerable. En virtud de éste, recorre nada menos que siete segundos de arco al año. También hemos de recordar que nuestros telescopios nos dan tan sólo el componente del movimiento propio que se proyecta en la superficie del cielo; de modo que el segundo debe resultar, por regla general, mayor que este simple componente. Por el método espectrópico de Mr. Huggins sería posible medir la velocidad de la estrella á lo largo de la línea visual, y si esto pudiese averiguarse nos sería dado determinar el valor numérico del verdadero movimiento propio. A falta de tales medidas, solamente nos es posible consignar que ese movimiento de la estrella no puede ser menos de siete segundos por año, pero sí más. Hemos calculado su valor más probable por la teoría de las probabilidades, y vemos que tanto puede exceder de nueve segundos al año como ser menor. Sin embargo, supondremos dicha cifra para la velocidad, lo cual es suficiente para nuestro propósito.

Imagínese una estrella situada en el polo, que se mueve con la velocidad de siete segundos al año á través del cielo hacia Orión: esta es una distancia de casi  $99^\circ$ , y para recorrerla del todo se necesitaría 46,000 años. Aunque sólo fuera de algunos meses, el movimiento tendría suficiente importancia para reconocerlo muy pronto por la observación telescópica; mientras que en un período de 250 años la estrella recorrería una distancia igual al diámetro aparente de la luna llena.

Cuando decimos *considerable* movimiento propio debe entenderse que nos referimos por comparación á los de las estrellas ordinarias, y que, comparados con los objetos pertenecientes al sistema solar, los de las estrellas son sumamente pequeños. El más lento y remoto planeta, Neptuno, recorre al año una distancia de ochocientas veces mayor que la estrella que se mueve con más rapidez.

Se han hecho varias tentativas para medir la distancia de la estrella 1,830 de Groombridge: los astrónomos se fijaron particularmente en ese estudio por su movimiento propio excepcional, pues parecía indicar que debía esperarse una medida conmensurable; pero no resultó así, no hallándose la estrella entre las más próximas del Sol. Las mejores determinaciones eran, sin duda, las obtenidas por Struve y Brünnow: estos observadores demostraron que la estrella 1,830 se halla al menos cuatro ó cinco veces más

distante de la Tierra que la 61 del Cisne, y por la combinación de la distancia medida y el movimiento propio ya conocido obtenemos un resultado muy sorprendente. Si un observador se situara en la estrella y mirase el sistema solar, vería que el radio de la órbita de la Tierra subtiende un ángulo de un décimo de segundo, mientras que por otra parte vemos que la estrella se mueve en más de siete segundos al año. De aquí se sigue que la estrella 1,830 no debe recorrer menos de setenta veces el radio de la órbita de la Tierra, ó, en otros términos, su velocidad es tan enorme que iría desde la Tierra al Sol en cinco días. No parece posible que pueda haber ningún error en esta deducción, y, á decir verdad, los hechos conocidos confirman el supuesto de que la estrella recorría más de una distancia igual á un centenar de radios de la órbita de la Tierra al año, y hacemos el cálculo más bajo que pueda conciliarse con las observaciones.

De este modo llegamos, por fin, al extraordinario resultado de que la actual velocidad de esa estrella no es menos de 200 millas por segundo. En diez minutos, 1,830 ha recorrido 120,000 millas, y en un minuto efectuaría el viaje desde Londres á Pekín. Si nuestro planeta se moviese con igual velocidad, el viaje alrededor del Sol se efectuaría en un mes, poco más ó menos, en vez del año que requiere. En la mayor rapidez de su carrera, el cometa, al pasar cerca del Sol, puede alcanzar semejante velocidad, y hasta excederla. Sin embargo, esto es un arranque de vigor del cometa: la gran velocidad disminuye pronto, prodúcese la reacción, y el movimiento es muy lento en las partes lejanas de su órbita. La velocidad de la estrella 1,830 no es un mero esfuerzo espasmódico: con una uniformidad continua, y con la majestad del Sol, sigue su curso inflexible en la dirección de su movimiento y con la velocidad que desarrolla en su viaje.

Mas con frecuencia sucede que la investigación sobre su paralaje resulta infructuosa: el trabajo se ha concluido y las observaciones se discuten, sin que por eso se pueda obtener el valor del paralaje. La distancia de la estrella es tan considerable que nuestra línea de base, aunque represente cerca de 200 millones de millas de longitud, es demasiado corta para que tenga ninguna proporción apreciable con la distancia de la estrella; pero hasta de este defecto se pueden obtener datos á menudo.

Ilustraré lo que digo por un informe tomado de nuestra experiencia en Dunsink. El 24 de noviembre de 1876, el conocido astrónomo doctor Schmidt, de Atenas, observó una nueva estrella brillante de tercera magnitud en la constelación del Cisne, en un lugar en que estaba seguro de no haber visto estrella correspondiente cuatro días antes; y, aunque muy esplendorosa al parecer, no se había fijado todavía en ella la atención. Revisáronse los catálogos, y no se encontró ninguna señalada en tal posición; de modo que si Nova Cigni, no era, en realidad, sino una repentina brillantéz en una estrella pequeña, ésta debería ser tan diminuta que hubiera escapado al examen de los astrónomos que habían examinado ya aquella región. El brillo repentino de Nova Cigni no duró mucho, pues al

cabo de una semana dejó de ser un objeto marcado, á los quince días no era visible sino en el instrumento, y al fin redujose á un diminuto punto telescópico.

Esto es, de todos modos, una cosa muy notable. No decimos que no tenga paralelo, pues recuérdanse otros casos análogos; mas puede considerarse como cierto que jamás hubo una nueva estrella en que se fijara la atención tanto como en Nova Cigni. Desde su repentino esplendor hasta su aparente extinción, esa maravillosa estrella fué perseguida por meridianos, círculos, micrómetros y todos cuantos instrumentos posee el observatorio moderno, habiéndose obtenido muchos curiosos datos por el espectroscopio. Se ha demostrado que la constitución de esa estrella es del todo distinta de las ordinarias: el espectroscopio prueba que el brillante esplendor de Nova Cigni se debió á la presencia de gases incandescentes, y el mismo sutil instrumento demostró que, cuando la estrella comenzó á ser invisible, los últimos rayos que llegaron á la Tierra se emitieron, no de un cuerpo sólido, sino gaseoso. Es imposible resistir á la deducción de que los esplendores efímeros de la estrella se relacionaban con alguna prodigiosa explosión de vapores luminosos, sobre cuya causa apenas se puede menos de aventurar una especulación. Los más de los astrónomos opinan que el hecho se debió muy probablemente al choque entre dos cuerpos que se tocaron con una considerable velocidad relativa, y sabido es que semejante colisión sería una causa propia de incandescencia brillante. Si dos cuerpos, por ejemplo, cada uno igual á la Tierra, y moviéndose, como ésta, con la velocidad de 18 millas por segundo, llegasen á chocar, la consecuencia sería un desprendimiento prodigioso de luz, mientras que el calor desarrollado no sería propio para disipar la masa de ambos en brillante vapor.

El día 20 de noviembre Nova Cigni era invisible, pero el 24 se descubrió, y aun parecía aumentar su brillantez; de modo que tal vez lució más en algún momento entre el 20 y el 24 de noviembre. El fulgor que produjo debió ser comparativamente repentino, y no podía atribuirse sino á una gigantesca colisión la causa de semejante fenómeno. El brillo disminuyó con mucha más lentitud que había aumentado, tanto que trascurrieron más de quince días antes de que la estrella comenzara á ser insignificante. Sin embargo, dos ó tres semanas eran un período bien corto para extinguir tan poderosa conflagración. Es comparativamente fácil explicar el repentino fulgor; pero no tanto comprender cómo pudo desvanecerse en pocas semanas. Una regular masa de hierro en nuestras fundiciones necesita para enfriarse casi tanto tiempo como el que bastó para apagar los fuegos celestes de Nova Cigni. No hubiera sido aventurado suponer que tal vez Nova Cigni no fué una conflagración muy extensa; pero, en tal caso, la estrella debió estar comparativamente cerca de la Tierra, puesto que presentó tan brillante espectáculo. Como había llamado mucho la atención, hicieronse repetidas observaciones en Dunsink, y se tomaron suficientes

medidas micrométricas para reconocer si existía un *considerable* paralaje. Ya hemos indicado cómo cada estrella parece describir una pequeña elipse paraláctica á consecuencia del movimiento anual de la Tierra; elipse cuya medición nos permite determinar la distancia de la estrella. En las circunstancias ordinarias, una vez averiguado el paralaje, es necesario medir la posición de la estrella en su elipse repetidas veces durante un año; pero en aquella ocasión se adoptó un método mucho menos laborioso. Bastaba reconocer si Nova Cigni tenía ó no un *considerable* paralaje. A cierta fecha, que se puede computar muy pronto, la estrella está en una extremidad de la elipse paraláctica, y seis meses después hállase en la otra. Elijiendo los tiempos convenientes en el año para la observación, se puede medir la estrella en esas dos posiciones, y de este modo se trató de reconocer el paralaje de Nova Cigni. Se midió cuidadosamente su distancia hasta una estrella inmediata, empleándose el micrómetro en las dos estaciones en que, si el paralaje existía, las distancias revelarían la mayor diferencia; pero no se descubrió esta última, y, por lo tanto, las observaciones no demostraron la existencia de una elipse paraláctica, ó, en otros términos, la distancia de Nova Cigni era demasiado considerable para medirla por los medios empleados.

Estoy seguro de que si la estrella hubiera sido una de las más próximas, las observaciones habrían tenido mejor resultado; y, de consiguiente, tenemos motivo para creer que Nova Cigni debía hallarse por lo menos á 20 billones de millas del sistema solar, no debiendo creerse, por lo tanto, que la brillante llama era de escasas dimensiones. La brillantez intrínseca de la estrella no debió ser inferior á la del Sol; pues, si éste se retirara de nosotros á tan enorme distancia, no nos hubiera parecido, seguramente, más brillante que la estrella variable. Sin embargo, es un misterio nada fácil de explicar cómo se desvaneció tan rápidamente el fulgor de ese cuerpo celeste.

En relación con el asunto del presente capítulo debemos referirnos á un gran problema enunciado por Herschel. Este astrónomo vió que las estrellas tienen el movimiento propio, y, considerando que el Sol es también una estrella, abordó la grandiosa cuestión que tenía por objeto determinar si el astro luminoso, así como aquéllas, se movía también.

Considérese ahora todo lo que comprende esta importante cuestión. El Sol tiene á su alrededor una serie de planetas con sus satélites, cometas y una infinidad de otros cuerpos menores. El asunto es saber si todo ese magnífico sistema gira alrededor del Sol *en reposo* en el centro, ó si aquél, el Sol, los planetas y demás cuerpos, se mueven juntamente á través del espacio.

Herschel fué el primero en resolver este grandioso problema, descubriendo que el Sol y todo su brillante séquito se mueven en el espacio; y no sólo descubrió esto, sino que pudo averiguar qué dirección seguían, así como su velocidad. El sabio astrónomo demostró que el Sol y su sis-

tema avanzan rápidamente hacia ciertos puntos de la constelación de Hércules, correspondiendo la velocidad del movimiento á la magnitud del sistema: con más celeridad que la bala disparada de una carabina, el Sol, llevando consigo á la Tierra y todos los demás planetas, se aproxima cada vez más á dicho punto, y nosotros, los que habitamos este globo, tenemos participación en ese movimiento. A cada media hora estamos unas 10,000 millas más cerca de la constelación de Hércules de lo que estaríamos si el sistema solar no se hallase animado de ese movimiento. Avanzando á semejante paso podría suponerse á primera vista que pronto debemos llegar allí; pero las distancias de las estrellas en Hércules son enormemente considerables, lo mismo que las de otras, y podemos estar seguros de que el Sol y su sistema deben vagar con dicha velocidad más de un millón de años antes de que hayamos cruzado el abismo que media entre nuestra presente posición y las fronteras de Hércules.

Falta explicar el método de razonamiento adoptado por Herschel, y en virtud del cual hizo un notable descubrimiento. Podrá parecer extraño que éste no se debiera á detenido examen del mismo Sol. Todas las observaciones en éste con los mejores telescopios del mundo no nos revelarían jamás ese movimiento, por la sencilla razón que la Tierra, desde la cual debemos observar, participa de aquél. El pasajero que ocupa el camarote de un buque reconoce que éste se mueve á causa de la tormenta del mar; pero si el agua estuviera tranquila, aunque las mesas y sillas se moviesen tan rápidamente como la embarcación, no se notaría, porque el viajero va en el buque. Y si no se saliese del camarote ni se mirara por la ventanilla, no se sabría si el barco estaba en movimiento ó en reposo, ni tampoco sería dado formar idea de la dirección que se sigue, ni de la velocidad con que el buque se mueve.

El Sol, con su séquito de planetas y satélites, se puede comparar con aquél: los planetas giran alrededor del astro como los pasajeros se mueven en su camarote; pero así como éstos, mirando las cosas que hay á bordo, no pueden decir nunca dónde va el buque, así nosotros, mirando simplemente al Sol ó á los otros planetas ó cuerpos del sistema solar, no podemos decir si éste se mueve en su conjunto.

No se llenan á menudo las condiciones de la uniformidad del movimiento en un mar del todo sereno, en las aguas que nos son conocidas; pero nada perturba el curso del Sol y su sistema; de modo que su majestuosa marcha se efectúa con la mayor uniformidad.

Si los pasajeros del buque suben á cubierta y miran el mar que les rodea, echan de ver al punto el movimiento. Supongamos ahora que su viaje está casi terminado, que se divisa la tierra distante, y que á la hora del crepúsculo se reconoce el puerto en que se ha de entrar. Imaginemos también que éste tiene una estrecha entrada, la cual se indica por un faro á cada lado. Cuando el puerto está todavía lejano, cerca del horizonte, las dos luces parecen estar juntas, y al cerrar la noche estas dos luces son la

única cosa visible; pero á medida que el buque se acerca reconoce la distancia que hay entre ellas, hasta que, llegados los viajeros al puerto, en vez de ver las dos luces de frente, como al principio, pasan junto á una por la derecha y encuentran la otra á la izquierda. Hé aquí por qué, para descubrir el movimiento del sistema solar, debemos mirar, así como el pasajero, los objetos no relacionados con nuestro sistema, y reconocer nuestro movimiento por el que es aparente en aquéllos. Pero ¿hay en el cielo objeto alguno no relacionado con nuestro sistema? Si todas las estrellas fuesen meramente, como nuestro globo, apéndice del Sol, nunca podríamos descubrir si estábamos en reposo ó movimiento; pero las estrellas no pertenecen al sistema de nuestro Sol, pues son más bien soles de por sí, y no reconocen el dominio del astro, como nuestra Tierra debe hacerlo forzosamente. En su consecuencia obrarán como los objetos externos por los cuales podemos reconocer á nuestro sistema viajar por el espacio.

¿Qué debemos esperar si nuestro sistema está realmente en movimiento? Recuérdese que, cuando el buque se acercaba al puerto, el espacio que separaba las luces ensanchábase gradualmente, y añadimos ahora también que el astrónomo tiene sus luces para observar la navegación de ese inmenso número de cuerpos celestes que constituyen nuestro sistema. Si este último estuviese en movimiento, debemos esperar que las estrellas estarían diseminándose gradualmente fuera de ese punto del cielo hacia el cual tiende nuestro movimiento, y así sucede. Las estrellas de las constelaciones se esparcen poco á poco fuera de un punto central que hay en la de Hércules, y por lo tanto inferimos que hacia esta constelación se dirige el movimiento del sistema solar.

La discusión de este punto nos ofrece una gran dificultad. Ya hemos tenido ocasión de observar que las estrellas mismas están en movimiento, y parece positivo que todas, incluso el mismo Sol, tienen el suyo propio, en parte aparente, según vemos, y en parte verdadero. ¿Cómo hemos de distinguirlos? Nuestros telescopios y observaciones no bastan para ello; de modo que, para hacer el análisis, Herschel apeló á ciertos métodos geométricos. Sus datos entonces eran escasos, pero bastáronle al sabio astrónomo, quien anunció atrevidamente que había descubierto el movimiento del sistema solar.

El hecho era de gran importancia, y, para confirmarle, el astrónomo debía valerse de todos los recursos que la ciencia pudiera proporcionarle. Hay cierto método muy sutil usado por los astrónomos en sus esfuerzos para interpretar la Naturaleza. El obispo Butler ha dicho que la probabilidad es la guía de la vida, y, si deseamos ver esta máxima aplicada con lógica perfección, debemos visitar el gabinete de un matemático cuando se ocupa en la resolución de un problema como el de que ahora se trata. El movimiento propio de una estrella debe descomponerse en dos partes: una verdadera y otra aparente, y, si tomamos varias, podemos imaginar que los movimientos de cada una son susceptibles de descomponerse de dife-

rentes maneras. Cada una de estas divisiones concebibles tendrá algún elemento de probabilidad en su favor, y al matemático es á quien corresponde averiguar cuál es. La cuestión, pues, se enunciará así: entre los diversos sistemas, uno debe ser verdadero. No es posible determinar con seguridad cuál de ellos, pero, sí, nos es dado elegir aquel que tenga más visos de certeza y atenernos á la máxima de Butler. No queremos decir que Herschel se valiese de estos medios, pues no era un matemático en la verdadera acepción de la palabra, y, por lo tanto, debió servirse de métodos que no serían suficientes para los abundantes materiales ahora reunidos. Desde el descubrimiento de Herschel, cien años hace, muchos matemáticos abordaron el mismo problema: las estrellas del hemisferio norte se estudiaron muy bien, y también las del hemisferio sur que Herschel no conocía. Interrogóse á las estrellas que se mueven rápidamente, así como á las que apenas tienen movimiento, y apuráronse, en fin, todos los medios que la teoría de las probabilidades puede ofrecernos; pero sólo para deducir, en conclusión, la verdad hallada por Herschel, que fué como una chispa de su ingenio.

Así sabemos que todo nuestro sistema, comprendiendo el Sol en el centro, con los planetas que circulan á su alrededor, los cometas y el increíble número de otros diminutos cuerpos, viaja por las regiones del espacio. El progreso de nuestro Sol se indica con una solemnidad propia de tan majestuoso cuerpo, pues necesita casi dos días para recorrer un espacio igual al de su propio diámetro. El sistema solar franquea cada dos días un millón de millas, poco más ó menos, en su viaje hacia la constelación de Hércules.



---

## CAPÍTULO XXI

### EL ESPECTROSCOPIO

Nueva rama de la ciencia.—Materiales de los cuerpos celestes.—Significación de los cuerpos elementales.—Análisis químico y análisis espectroscópico.—Naturaleza compuesta de la luz.—Los colores.—El arco iris.—El prisma.—Paso de la luz por un prisma.—Identificación de los metales por los rayos que emiten cuando están incandescentes.—El gran descubrimiento de la identidad de la línea  $D$  con el sodio.—Las líneas oscuras del espectro solar.—Metales existentes en el Sol.—Examen de la luz de la luna ó de los planetas.—Prominencias que rodean el Sol.—Fotografía del espectro.—Medida del movimiento de las estrellas á lo largo de la línea visual.

**L**AS revelaciones del espectroscopio constituyen un importante capítulo en la ciencia moderna, y con su ayuda hemos dado un inmenso paso para comprender ese complicado sistema de soles y otros cuerpos que adornan el firmamento.

El asunto es muy distinto del de las ramas de la Astronomía cultivadas antes. Los descubrimientos de los primeros astrónomos nos enseñaron cómo la Tierra gira alrededor del Sol, diciéndonos también de qué modo debían medirse las distancias de los diversos cuerpos, y cómo se hallaban sus dimensiones. Ya sabíamos que la sustancia de que el Sol se compone brillaba con intenso calor, pero no podíamos decir cuál era la naturaleza de esa sustancia. La antigua Astronomía carecía de medios suficientes para averiguarlo, y, á decir verdad, hace medio siglo que se hubiera juzgado increíble contestar con seguridad á esta pregunta. Si es así respecto al Sol, ¿qué diremos de los demás cuerpos celestes menos conocidos? ¿Cuál es la naturaleza física de los otros planetas? ¿Cuál es la sustancia presente en las estrellas y en esas pálidas nebulosas situadas en los confines del universo visible? Para la moderna Astronomía ha sido un triunfo resolver estas cuestiones, aunque no lo haya hecho tan completamente como se pudiera desear. De todos modos, ha podido contestar á las preguntas, y los resultados son del mayor interés.

Enunciemos primeramente el problema en una forma determinada, para

lo cual es necesario invocar el auxilio de la química, á fin de considerar el asunto bajo distintos puntos de vista. ¿Qué debemos comprender por las sustancias de que el Sol y la Tierra se compone? A primera vista podría creerse que nuestro globo se compone de rocas y arcilla, de aire y agua; pero el químico procurará comunicarnos ideas más exactas. Nos demuestra cómo las rocas se componen de ciertas sustancias, que llama *elementos*, los cuales constan de otras que no se pueden descomponer en nada más. También nos dirá cómo el aire se compone de dos sustancias elementales, oxígeno y nitrógeno mezclados, y cómo el agua es un compuesto de oxígeno é hidrógeno en combinación. Prosiguiendo su análisis de todos los sólidos y gases del globo, el químico descompone las sustancias animales y vegetales en sus elementos y el resultado de sus trabajos es demostrar que todas las partículas de materia en nuestro globo ó de la atmósfera que le rodea se compone de uno ó más cuerpos elementales, cuyo número total es de sesenta ó algo más. Estos elementos pueden ser sólidos, como el hierro, el oro ó el carbón, ó consistir en gases, como el oxígeno, el hidrógeno ó el nitrógeno. Muchos de los elementos son sumamente raros; pero sólo nos importan unos veinte de los más comunes.

Ahora podemos enunciar un problema especial de la Astronomía moderna. ¿Son peculiares de la Tierra los elementos de que se compone, ó se encuentran también en los otros cuerpos que pueblan el espacio? Tomemos, por ejemplo, el más común de todos los metales, el hierro, que con tanta abundancia existe cerca de la superficie de la Tierra, y que, sin duda, se halla con no menos profusión en el interior de la misma. ¿Es el hierro un producto limitado á nuestro globo, ó entra en la composición de otros cuerpos en el Universo? Esta es una de las preguntas que la moderna ciencia ha contestado, y en el presente capítulo vamos á decir cómo.

Aquí tenemos una fase de la Astronomía completamente nueva. Los grandes telescopios nos revelan la existencia de los cuerpos celestes más diminutos; pero ni aun el instrumento de mayores dimensiones nos permitiría reconocer si hay hierro en el Sol. Para averiguarlo era preciso valerse de otro medio, que al fin se encontró, y que se designa con el nombre de *análisis espectral*. Ahora bien: el Sol es un inmenso globo brillante, cuyo calor excede por mucho al de un horno de Siemens. Si en el suelo hay hierro, no sólo debe estar fundido, sino que se disolverá en vapor, el cual no se puede distinguir. ¿Cómo se reconocería, sobre todo, mezclado con el vapor de otros muchos metales ú otras sustancias? Seguramente se necesita un análisis muy delicado para descubrir el hierro en la brillante atmósfera del Sol; pero el espectroscopio es el aparato más propio para esto, y su análisis es convincente hasta la evidencia.

Grande es la distancia que separa este ramo del análisis de aquellos á que los químicos debían limitarse en otro tiempo. Para ver de qué se compone un cuerpo, el químico necesitaba una muestra del mismo, y después, sirviéndose de sus reactivos y de sus tubos, podía determinar el con-

tenido; pero, tratándose del Sol ó de cualquier cuerpo celeste, esto no es posible. Cuando cae algún meteorito en la Tierra, cabe seguramente someterle á un análisis químico, y añadiremos de paso que siempre que se practicó tal operación no se halló elemento alguno con que no estuviéramos familiarizados, habiendo llamado la atención el hecho notable de que casi todos los meteoritos contienen hierro, contándose algunos que se componen casi enteramente de este metal. Sin embargo, del examen de esos cuerpos no podemos deducir con seguridad cuáles son los constituyentes de los que adornan el cielo. Tratándose de análisis del Sol, la Luna, los planetas ó las estrellas, no podemos servirnos de los recursos comunes de la química, y para resolver el problema se ha creado un nuevo ramo de la ciencia.

Lo que recibimos del Sol es calor y luz. La masa del astro, intensamente calentada, envía sus rayos en todas direcciones con limitada prodigalidad. Sentimos que cada uno de esos rayos da calor, y vemos que todos son blancos y brillantes; pero necesitase un análisis más sutil. Cada rayo lleva en sí señales indelebles de su origen, que no son visibles hasta que se aplica un procedimiento especial que nos revela la naturaleza de la constitución del Sol.

Decimos que la luz del astro es incolora y que el agua no tiene sabor; pero ambas frases se refieren más bien á nuestras propias impresiones que á nada verdaderamente característico del agua ó de la luz del Sol. Consideramos esta última como incolora porque constituye, como si dijéramos, el fondo en que todos los demás colores se destacan. La verdad es que el blanco dista tanto de ser incoloro que contiene todos los colores conocidos, aunque mezclados en ciertas proporciones. La luz del Sol es realmente muy compuesta, y la Naturaleza nos lo dirá si queremos fijar en ella la más ligera atención. ¿De dónde provienen los magníficos matices tan familiares para nosotros? Mirad los delicados colores de un jardín: el rojo de la rosa no está en la flor misma, porque ésta recoge los rayos de Sol que la hieren y extrae de ellos el rojo, irradiando la luz de este color á nuestra vista. Si no existieran sus rayos mezclados con otros de los que el Sol envía, no veríamos rosas encarnadas á la luz del Sol.

En el arco iris es donde se ve la más admirable indicación de la naturaleza de la luz del Sol. Aquí los rayos solares se refractan y reflejan desde diminutos globos líquidos que caen de las nubes bajo la forma de gotas de agua. Estas nos acarrearán la luz del Sol, y al hacerlo así descomponen los rayos blancos en los siete colores primarios: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta.

Los globos líquidos descomponen los rayos solares: seguimos el curso indicado por el arco y analizamos la luz del Sol en sus constituyentes, lo cual se puede hacer con la mayor exactitud científica si se emplea el espectroscopio, uno de los inventos más admirables. Los rayos de la luz blanca del Sol se componen realmente de otros innumerables de todos matices mezclados entre sí. En el rayo solar se encuentran todas las gradaciones

de rojo, amarillo, azul y verde. El sencillo objeto que llamamos *prisma de cristal* es la varilla mágica con que herimos el rayo para que nos presente en el más perfecto orden los distintos colores. En nuestro grabado (fig. 81) hemos representado un prisma bajo su más sencilla forma: es un pedazo de cristal puro, homogéneo, y muy bien pulimentado, en figura de cuña. Cuando un rayo de Sol hiera el prisma, pasa á través del cristal transparente y sale por el otro lado; pero no sin sufrir un cambio notable por la influencia del cristal. Se dobla por refracción desde el paso que al principio seguía, y debe tomar otra dirección. Si el prisma doblara todos los rayos de luz igualmente, ya no serviría para el análisis de aquélla; mas, afortunadamente, el prisma obra con distinta fuerza en los rayos de diferentes colores: el rojo no se refracta tanto como el amarillo, y éste se refracta menos que el azul, de lo cual resulta que, cuando el rayo

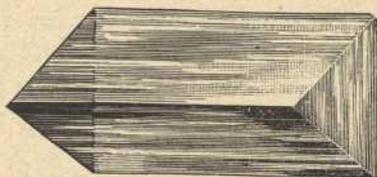


FIG. 81.—EL PRISMA

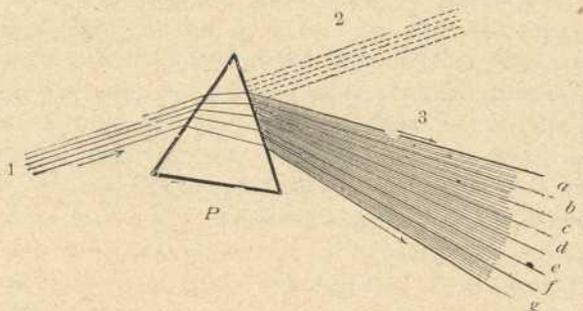


FIG. 82.—DISPERSIÓN DE LA LUZ POR EL PRISMA

*P.* El prisma.—1. Rayo solar.—2. Dirección del rayo original.—3. Dirección del rayo refractado.—*a.* Rojo.—*b.* Anaranjado.—*c.* Amarillo.—*d.* Verde.—*e.* Azul.—*f.* Añil.—*g.* Violeta

solar con que se mezclan todos los demás, pasa á través del prisma, salen de la manera indicada en la figura 82. Aquí tenemos el origen de la fuerza analítica del prisma: dobla los diferentes matices desigualmente, y, en su consecuencia, el rayo de luz compuesta, después de pasar á través del prisma, no presenta ya mera luz blanca, sino que se dispersa en una faja de luz de color con tintes semejantes á los del arco iris, que pasan desde el rojo intenso, en una extremidad, por todos los grados intermedios hasta el violeta.

Tenemos en el prisma un medio para descomponer la luz del Sol, ó la de cualquier otro origen, en sus partes componentes. El examen de la cua-

lidad de la luz, cuando se analiza, nos permitirá á menudo averiguar alguna cosa sobre la constitución del cuerpo de que aquélla emana, y en algunos simples casos sólo el color de la luz será suficiente para indicar su origen. En los fuegos artificiales, por ejemplo, vemos una magnífica luz roja debida al metal estroncio, y al punto podemos reconocer el elemento sin más que fijarnos en el color de la llama. También hay una luz amarilla muy característica, producida por la llama de la sal común que arde en espíritu de vino. El sodio es el constituyente importante de la sal, y así podemos reconocer aquí otra sustancia meramente por el color que toma cuando se quema. También podemos citar una tercera sustancia, el magnesio, que al quemarle produce una luz de color blanco brillante muy característica del metal.

Los tres metales estroncio, sodio y magnesio se pueden identificar así por los colores que producen cuando están incandescentes, y en esta simple observación está el germen del método conocido con el nombre de *análisis espectral*. Examinamos con el prisma los colores del Sol y de las estrellas, y así se puede averiguar algo sobre los materiales que entran en su composición. Cuando se estudia la luz del Sol por el prisma, obsérvase que la faja de color, ó espectro, según se llama, no se extiende continuamente desde una extremidad á otra, sino que la sombrean muchas líneas oscuras, algunas de las cuales se indican en nuestra lámina, siendo estas líneas un carácter permanente distintivo de la luz del Sol, como los mismos colores prismáticos, y del mayor interés, porque esas líneas nos dan á conocer la historia y naturaleza del Sol. Vistas con un buen instrumento, obsérvase que las que son oscuras cruzan el espectro solar á centenares, y aun á miles. Las hay de todas las variedades de tonos, y su distribución no parece sometida á una ley muy sencilla. En algunas partes del espectro no se ven más que unas pocas líneas, mientras que en otras se acumulan de tal modo que es difícil reconocer la separación. Algunas son tan exquisitamente finas y delicadas que siempre admiran á todos los que observan tan interesante espectáculo con un buen instrumento.

Para que se forme más clara idea sobre el difícil estudio del análisis espectral, nada podemos hacer mejor que seguir los pasos del primitivo descubrimiento que dió una demostración inteligible sobre la significación de las líneas. Fijémonos especialmente en la línea del espectro solar señalada con la línea *D*. Vista con el espectroscopio, se ve que esta línea se compone de otras dos, muy delicadamente separadas por un diminuto intervalo, siendo una de ellas ligeramente más oscura que la otra. Supongamos que, mientras se concentra la atención en estas líneas, se mantiene frente al instrumento la llama de una lámpara de espíritu de vino coloreada con sal común, de modo que el rayo de la brillante luz solar cruce la llama antes de entrar en el instrumento: el observador ve desde luego las dos líneas *D* brotar cada vez más negras y con creciente fulgor, sin que se produzca ningún otro efecto perceptible en el espectro, y al-

gunos ensayos han demostrado que la mayor intensidad de las líneas *D* se debe al vapor de sodio resultante de la sal que se quema en la lámpara por la cual ha pasado la luz del Sol.

Es de todo punto imposible que esta maravillosa relación entre el sodio y las líneas *D* del espectro pueda ser puramente casual. Aunque se relacionase una línea sola, no sería nada probable que la coincidencia fuese accidental; pero cuando vemos que el sodio afecta las dos líneas que forman *D*, nuestra suposición de que deben estar relacionadas con el sodio se convierte en certeza. Supongamos ahora que se intercepta la luz del Sol, excluyendo también cualquiera otra, excepto la que emana del vapor brillante del sodio en la llama de espíritu de vino: entonces veremos, al mirar por el espectroscopio, que ya no existen los colores del arco iris. La luz del sodio se concentra ahora en dos líneas amarillas brillantes que ocupan precisamente la posición que antes tenían las líneas *D* en el espectro solar, y cuya oscuridad parecía hacer más intensa la llama de sodio. Aquí debemos descartar una aparente paradoja. ¿Cómo es que, aunque la llama de sodio produce dos líneas *brillantes* cuando se ven sin otra luz, parece intensificar las dos líneas oscuras del espectro solar? La explicación de esto nos conduce desde luego á la doctrina cardinal del análisis del espectro. Las llamadas líneas oscuras en aquél solamente lo son *por contraste* con la brillante iluminación del resto del espectro. Una buena parte de la luz solar está realmente en las líneas oscuras, aunque no lo suficiente para ser vista cuando el ojo queda deslumbrado por la brillantez que hay alrededor; y, cuando interviene la llama de la lámpara cargada de sodio, envía cierta cantidad de luz que se localiza enteramente en esas dos líneas. Parecería que la influencia de la llama de sodio debería manifestarse disminuyendo la oscuridad de las líneas y haciéndolas menos marcadas. A decir verdad, lo son mucho más con la llama de sodio que sin ella, lo cual se debe á la circunstancia de que esta llama tiene la notable propiedad de cortar la luz del Sol que se dirigía á esas líneas particulares. Y, así, aunque el sodio comunique alguna luz á las líneas por una parte, en cambio por otra intercepta mayor cantidad de aquélla que la que de otro modo hubiera iluminado esas líneas, por lo cual se oscurecen más con la llama de sodio que sin ella.

Esto nos lleva á un notable principio que condujo á la interpretación de las líneas oscuras en el espectro solar. Vemos que el vapor de sodio, cuando se calienta, da una luz de tipo muy particular, que observada á través del prisma se localiza en dos líneas; pero el vapor de sodio tiene también la propiedad de que la luz del Sol pueda pasar á través de él sin ninguna absorción perceptible, excepto esas líneas particulares, cuya refrangibilidad es la misma que las dos líneas en cuestión. En otros términos, queremos decir que si el vapor calentado de una sustancia da un espectro de líneas brillantes, correspondiente á luces de diversas refrangibilidades, este mismo vapor hará las veces de una pantalla opaca para esas luces de refrangibilidad particular, manteniéndose trasparente para la de otra cualquier especie.

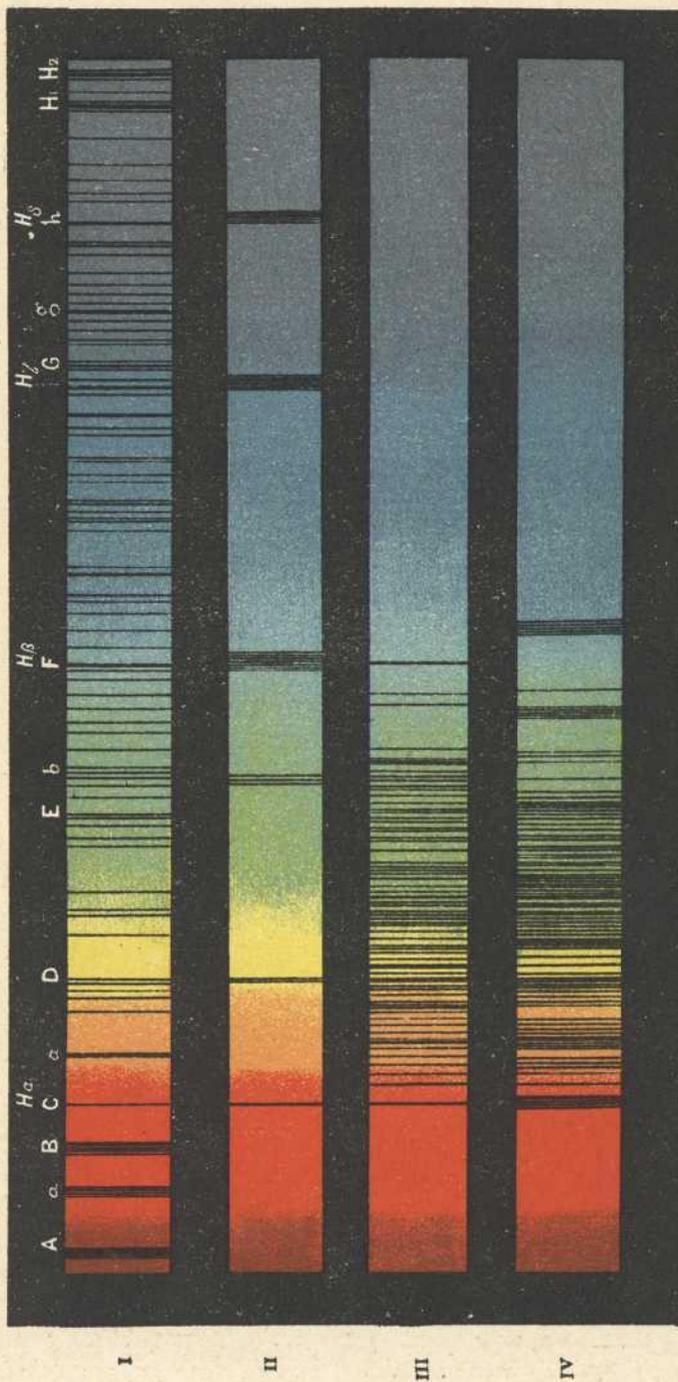
Esta materia es algo complicada; pero tiene tanta importancia en la teoría del análisis espectral que no podemos menos de dar otro ejemplo. Tomemos por elemento el hierro, que en grado muy notable aclara la ley de que se trata. En el espectro solar se conocen algunos centenares de líneas oscuras que corresponden al del hierro, lo cual se ve marcadamente cuando, por una combinación propia del caso, se examina con el espectroscopio la luz de una chispa eléctrica desde los polos de hierro simultáneamente con el espectro solar. Podría demostrarse que centenares de líneas del Sol son idénticas por su posición á las del espectro de hierro; pero este último, según se describe aquí, compónese de líneas brillantes, mientras que aquellas con que se comparan en el Sol consisten en líneas oscuras. Estas se pueden comprender muy bien si suponemos que el vapor resultante del hierro muy calentado se halla presente en la atmósfera que rodea los estratos luminosos en el Sol. Por la citada ley, este vapor detendría precisamente los mismos rayos que emite cuando está incandescente, y, por lo tanto, averiguamos el importante hecho de que el hierro, no menos que el sodio, debe ser un constituyente del Sol bajo una forma ú otra.

Tal es, rápidamente bosquejado, el célebre descubrimiento moderno que ha permitido la interpretación de las líneas oscuras del espectro solar. Por éste se han examinado muchas sustancias terrestres, llegándose á determinar así que varios de los elementos conocidos en nuestro globo se hallan en el Sol. Estos elementos son: hidrógeno, sodio, bario, calcio, magnesio, aluminio, hierro, manganeso, cromo, cobalto, níquel, zinc, cobre, titanio, cadmio, estroncio, cerio, uranio, plomo y potasio.

Sería preciso extendernos demasiado si tratásemos de entrar en detalles sobre las interesantes investigaciones hechas en la aplicación del análisis del espectro á la Astronomía; pero justo será decir algo sobre un descubrimiento de tanto interés, y, por lo tanto, haremos una muy breve reseña de algunos de los puntos principales.

Cuando aplicamos el espectroscopio á la luna ó los planetas, reconocemos en la luz que nos envían los caracteres distintivos de la luz solar, que cuando es reflejada, aunque sea desde la luna, no tiene suficiente brillo para revelar todas las líneas que se pueden ver cuando se examina el Sol directamente. Si se observa Venus con cuidado, probablemente permitirá ver en el espectro solar más líneas negras que la luna. Tratándose de planetas, vemos también que á menudo se agregan al espectro ciertas líneas adicionales ó fajas de líneas, producidas por la mayor absorción especial de la luz del Sol que se verifica en la atmósfera del planeta. Debemos añadir que algunas de las líneas del espectro solar se deben atribuir á la absorción en nuestra propia atmósfera. Este hecho se reconoce claramente cuando se observa el Sol poco antes de ponerse, porque entonces los rayos deben atravesar una vasta profundidad de aire, y, en su consecuencia, vemos las tajadas atmosféricas definidas con creciente viveza.

Hasta aquí hemos hablado de la luz del Sol, sin tratar de distinguir en-



ESPECTROS DEL SOL Y DE ALGUNAS ESTRELLAS

- I. EL SOL
- II. SIRIO
- III. ALDEBARAN
- IV. BETELGEUZE



tre sus diferentes partes; pero se puede aplicar el espectroscopio á cada una separadamente, y así ha sido posible determinar notables diferencias entre los espectros de las diversas partes. El más notable descubrimiento relacionado con este estudio fué el que hicieron casi simultáneamente Jansen y Lockyer, pues amplió mucho las posibilidades de la observación solar, revelándonos un método para examinar en cualquier tiempo las prominencias del Sol con ayuda del espectroscopio.

Dichas prominencias se componen de un gas brillante, sobre todo hidrógeno, y la luz, en vez de diseminarse en todo el espectro, como la solar ordinaria, concéntrase principalmente en las pocas líneas que constituyen el espectro de hidrógeno. Cuando se dirige el espectroscopio al borde del Sol, los rayos ordinarios de la luz difundida se distribuyen en toda la longitud del espectro, y, como es natural, debilitanse correspondientemente; mientras que la luz de las prominencias, hallándose toda concentrada en las líneas, aumenta en intensidad de tal modo que se hace visible.

La primera línea de la lámina XIII representa el espectro solar, al que se han agregado algunas de las principales líneas para la comparación; pero debe advertirse que aquél presenta, en realidad, miles de líneas cuando se examina con un espectroscopio de suficientes potencias. Entre los diferentes espectros de las estrellas se han reconocido tipos cuyos caracteres distintivos se representan también. El primero de aquéllos es el de las estrellas intensamente blancas, de las cuales podemos tomar como ejemplo Sirio y Vega. En sus espectros hay comparativamente pocas líneas: las de hidrógeno son muy fuertes, pero las metálicas de sodio y magnesio apenas son perceptibles. La presencia del hidrógeno en la atmósfera de esas estrellas ha sido confirmada por las fotografías de los espectros obtenidas por el doctor Huggins.

El segundo tipo de estrellas presenta un espectro muy semejante al del Sol, y el mejor ejemplo que podemos citar es la Cabra. Aldebarán tiene también un espectro perteneciente al segundo tipo, aunque se inclina al tercero. Las principales líneas de hidrógeno son aún bien visibles; pero muchas de las metálicas se destacan marcadamente.

El espectro de  $\alpha$  de Orión presenta un espectro típico de la tercera clase, que contiene muchas líneas metálicas y fajas sombreadas; pero el carácter más distintivo es la falta de líneas de hidrógeno.

El doctor Huggins ha conseguido también, con su admirable descubrimiento del método espectroscópico, medir el movimiento de las estrellas á lo largo de la línea visible. El lugar de una línea de hidrógeno, por ejemplo, se desviará ligeramente á un lado ú otro, según que la estrella se aproxime á la Tierra ó se retire de ella. El grado de desviación es muy ligero, mas en algunas grandes estrellas bastante apreciable para poder calcular aproximadamente la velocidad con que se acercan á la Tierra ó se alejan.

La teoría de este método se ha confirmado admirablemente por las ob-

servaciones del Sol. Como su borde oriental se aproxima y el occidental se aleja, hay una diferencia correspondiente en el espectro de los dos, y el total resultante da una velocidad de rotación que coincide en la práctica con la que se conoce por otro método.



---

## CAPÍTULO XXII

### GRUPOS DE ESTRELLAS Y NEBULOSAS

Cuerpos siderales interesantes.—Las estrellas no están diseminadas con uniformidad.—Grupos de estrellas.—Sus variedades.—El grupo de Perseo.—El grupo globular de Hércules.—La Vía Láctea.—Las nebulosas son distintas de las nubes.—Número de nebulosas conocidas.—La constelación de Orión.—Posición de la gran nebulosa.—La maravillosa estrella  $\theta$  de Orión.—Dibujo de la gran nebulosa.—Fotografías.—Magnitud de la nebulosa.—Su naturaleza.—¿Se compone de estrellas ó de gas?—Cómo se puede hacer que brille el gas.—Examen espectroscópico de la nebulosa.—La gran nebulosa de Andrómeda.—Su examen con el espectroscopio.—La nebulosa anular en la Lira.—Nebulosas planetarias.—Dibujos de algunas notables.—Distancias á que se hallan.—Conclusión.

**H**EMOS hablado ya de Saturno, considerándole como uno de los más admirables cuerpos celestes, y ahora, prescindiendo del Sol y de la Luna, añadiremos que hay otros dos, visibles de ciertas latitudes, que pueden rivalizar con aquel planeta por su esplendor. Uno de ellos es el grupo de estrellas de Hércules, y el otro es la gran nébula de Orión. Uno y otra se pueden tomar como tipos de las dos grandes clases de cuerpo de que hablaremos en este capítulo: de los grupos de estrellas y de las nébulas.

Las estrellas que en número de varios millones pueblan el firmamento no están diseminadas con uniformidad, y bien vemos que, mientras que varias regiones apenas presentan algunas, en otras abundan muchísimo. A veces tenemos un pequeño grupo como el de las Pléyades, ó bien se ve una inmensa región del cielo sembrada de estrellas como en la Vía Láctea. Estos son los que llamamos *racimos de estrellas*, en los cuales se observan todas las variedades posibles. Unas veces se distinguen por su brillantez, otras por su enorme número, y no pocas por la notable forma en que las estrellas están dispuestas. Tal grupo las tiene de brillantes colores, y en algunos casos hállanse tan unidas que no se pueden observar sus rayos separados. También hay estrellas tan diminutas ó distantes que su conjunto no se puede distinguir de la nebulosa.

Entre los grupos más notables, así por la riqueza como por la brillantez de sus estrellas, podemos citar el del puño de la espada de Perseo, cuya posición se indica en nuestra figura 69. A la simple vista parece sólo una mancha opaca, que en el telescopio presenta dos grupos separados por una corta distancia. En cada uno de ellos las estrellas son numerosas, y acumúlense de tal modo que llenan el campo de la visión del instrumento. El esplendor de ese grupo se aprecia mejor si se reflexiona que cada una de sus estrellas es un brillante sol, que tal vez rivaliza con el nuestro por su fulgor. Sin embargo, hay en el cielo del sur regiones invisibles desde las latitudes del norte, y donde la Vía Láctea presenta un conjunto más admirable aún que el de Perseo.

El tipo más notable de los grupos de estrellas es el que vemos en la constelación de Hércules, en el que son, al parecer, muy diminutas y de forma globular. En nuestro diagrama (fig. 83) se le representa tal como se ve con el gran telescopio de lord Rosse. Tiene tres líneas radiantes, en que las estrellas parecen menos numerosas; pero calcúlase que este grupo debe contener de 1,000 á 2,000, concentradas todas en un espacio sumamente reducido. Vistas con un telescopio pequeño parece una nebulosa. En la figura 74 se ha representado ya la posición del grupo en Hércules.

La Vía Láctea forma una faja que, con más ó menos regularidad, se extiende completamente alrededor del cielo, y que vista con el telescopio parece componerse de miles de diminutas estrellas, más numerosas en unos puntos que en otros. Todas están incomparablemente más lejos que el Sol, al que rodean del todo, siendo evidente que este astro, y, por supuesto, que el sistema que le acompaña, está dentro de la Vía Láctea. Involuntariamente nos inclinamos á meditar sobre el pensamiento que aquí se indica, reflexionando que, bien mirado, la Vía Láctea podría ser puramente un grupo de estrellas comparable en dimensiones con algunos de los otros que observamos, y que, visto desde un punto remoto del espacio, parecería ser uno de los innumerables que contienen nuestro Sol como una unidad indistinguible.

Cuando observamos el cielo con un buen telescopio vemos á uno de esos notables cuerpos que llaman *nebulosas*, especie de ligeras manchas de luz sobre el fondo oscuro del cielo, casi todas imperceptibles á la simple vista. Estos cuerpos celestes no deben confundirse en modo alguno con las nubes en la común acepción de la palabra. Estas últimas están suspendidas de nuestra atmósfera, mientras que las nebulosas se hallan en las profundidades del espacio. Las nubes brillan solamente por la luz del Sol que nos reflejan: las nebulosas son luminosas de por sí. Las primeras cambian de hora en hora: las segundas no se alteran ni de año en año. Las nubes son mucho más pequeñas que la Tierra: la nebulosa de menores dimensiones que conocemos es incomparablemente mayor que el Sol. Las nubes distan pocas millas de la Tierra: las nebulosas se hallan á millones de leguas.

Podría decirse que el estudio sistemático de las nebulosas comenzó con los colosales trabajos de Herschel en Slough. El sabio astrónomo se había propuesto examinar todo el cielo con su poderoso telescopio, tomando nota de cuanto viera digno de interés, y los descubrimientos que entonces hizo debían contarse á miles. El relato de todos ellos se encontrará en las *Transacciones filosóficas* de la Sociedad Real:



FIG. 83.—EL RACIMO GLOBULAR DE HÉRCULES

figuran entre los más ricos tesoros de esos volúmenes. Sir John Herschel, hijo único de sir William, debía completar el trabajo de su padre, excediendo sus observaciones al cielo del sur, para lo cual emprendió un viaje al Cabo de Buena Esperanza, donde permaneció los años necesarios para terminar la grandiosa obra.

Como resultado de la misma contamos ahora 3 ó 4,000 nebulosas conocidas, y á este número se van agregando continuamente más. Están diseminadas en ambos hemisferios, y algunas se encuentran en cada constelación. Difieren entre sí como cuatro mil piedrecillas elegidas á la casualidad en una playa podrían diferir, es decir, por su forma, dimensión, color y material; pero presentan cierta semejanza genérica, como la que se observaría en las piedras. Sería preciso extendernos demasiado si tratásemos

de describir estas clases de cuerpos detalladamente, y, por lo tanto, sólo hablaremos de algunas de las nebulosas más notables, que representan los diversos grupos en que se pueden dividir.

Ya hemos citado la gran nebulosa de la constelación de Orión, uno de los cuerpos celestes más interesantes, así por sus dimensiones como por su brillantez. Para que se forme idea de este objeto nos referimos á nuestro diagrama (fig. 84), que representa el bosquejo de las principales estrellas de esta constelación, y en la que la letra *A* indica la estrella central de

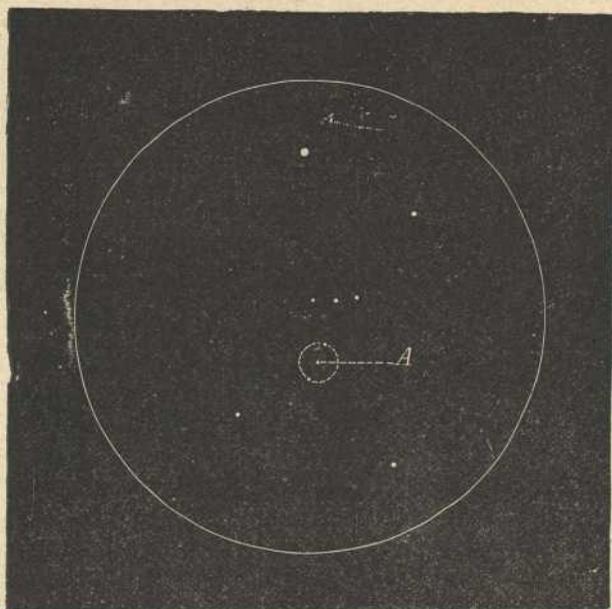


FIG. 84.—LA CONSTELACIÓN DE ORIÓN DEMOSTRANDO LA POSICIÓN DE LA GRAN NEBULOSA

las tres que forman la empuñadura de la espada de Orión, sobre el cual constituyen aquéllas el bien conocido tahalí que tan bien se marca en el cielo del norte. La estrella *A*, mirada atentamente, presenta á la simple vista un aspecto nebuloso. En 1818, Cysat la observó y pudo reconocer una singular neblina luminosa, que era la gran nebulosa. Más tarde la estudiaron otros muchos astrónomos, y con las numerosas observaciones se han escrito volúmenes enteros que no tratan de otra cosa. Con cualquier telescopio se puede ver el objeto; pero cuanto más poderoso sea, más detalles se descubrirán.

En primer lugar la estrella *A* ( $\theta$  Orionis) es la más notable estrella múltiple que se puede ver en el cielo, pues se compone realmente de seis (fig. 85). Estos puntos se hallan tan unidos, que sus rayos más claros no se





LA GRAN NEBULOSA DE ORIÓN

pueden distinguir sin un telescopio; pero cuatro se distinguen fácilmente con pequeños instrumentos, y los otros dos solamente con los grandes, aunque estas estrellas son soles, comparables tal vez con el nuestro por su magnitud.

No deja de ser curioso que este grupo de seis estrellas esté rodeado por la renombrada nebulosa que, tanto en su conjunto como en cualquiera de sus partes, ofrece un interés excepcional. Parece imposible no deducir que la estrella múltiple está realmente en la nebulosa y no á lo largo de la misma línea visual, y bien se podría suponer que la presentación de esos dos cuerpos excepcionales en el mismo campo de la visión era puramente accidental. Si la estrella múltiple se halla en realidad en la nebulosa, como parece probable, este hecho nos probaría que, en un caso por lo menos, la distancia de una nebulosa es una cantidad de la misma magnitud que la distancia de una estrella; pero desgraciadamente á esto se reduce casi nuestro conocimiento sobre la distancia que hay desde la Tierra á las nebulosas.

La gran nebulosa de Orión rodea la estrella múltiple y extiéndese á una inmensa distancia en el espacio circundante. El círculo de puntos trazado alrededor de la estrella *A* en la figura 84 representa aproximadamente la extensión de la nebulosa según se ve con un telescopio regular. Tiene un color ligeramente azulado, imposible de representar en el dibujo. Su brillantez es mayor en unas partes que en otras; pero las centrales suelen ser las más lucientes, y la luminosidad se desvanece gradualmente hacia el borde de la nebulosa. En rigor, apenas podemos decir que ésta tenga un límite marcado, pues cuando se aumenta la fuerza del telescopio descúbranse nuevas ramificaciones. Parece haber un espacio vacío en la nébula que rodea seguidamente la estrella múltiple; pero tal vez esto sea pura ilusión, producida por el contraste de la brillante luz de las estrellas.

Nuestro diagrama de la gran nebulosa de Orión representa, en una forma reducida, el exacto dibujo debido al conde Rosse, que hizo sus observaciones con el gran telescopio reflector en Parsonstown. Una vista telescópica de la nebulosa presenta un considerable número de estrellas, al menos doscientas, diseminadas sobre la superficie. No es necesario suponer que todas estén como sumérgidas en la sustancia de la nebulosa, según parece estarlo la estrella múltiple. Pueden diferir enfrente de ella ó detrás, de modo que se proyecten en la misma parte del cielo. Debe recordarse que sólo durante una parte del año se puede ver la nebulosa, y que se necesitan las más hermosas noches para observar esos cuerpos, sin que haya nubes ni luna, porque la luz brillante del astro eclipsaría las partes más ligeras de la ne-

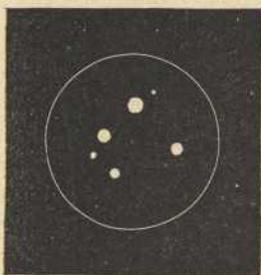


FIG. 85.—LA ESTRELLA MÚLTIPLE ( $\theta$  ORIONIS) EN LA GRAN NEBULOSA DE ORIÓN.

bulosa. Si sólo se tiene en cuenta el tiempo, podemos decir que en las Islas Británicas únicamente hay en todo el año cien horas sólo para hacer las observaciones astronómicas; y si, además, se reflexiona que el gran telescopio de Parsonstown es un instrumento meridiano de movimiento lateral limitado, se comprenderá que la nebulosa de Orión sólo estará á su alcance durante una hora, ó menos, cada noche. La parte central de la nebulosa, sin embargo, brilla lo bastante para que se vea con cualquier telescopio.

Varios astrónomos han hecho numerosos dibujos para representar ese cuerpo celeste único, y entre ellos debemos citar el ejecutado por el profesor Bond en Cambridge. En estos últimos años se intentó también fotografiar la gran nebulosa, y el éxito fué bastante favorable. En Inglaterra mister Common sacó una excelente fotografía que mereció una medalla de oro de la Real Sociedad Astronómica.

Podría preguntarse cuál es el objeto de consagrar tanto trabajo y observaciones al examen y dibujo de ese cuerpo celeste en particular. A esto contestaremos que, así como el geógrafo exploraría un nuevo país para conocer los detalles de sus montañas y ríos y para bosquejar los más importantes caracteres del paisaje, así el astrónomo considera el examen del cielo como uno de los numerosos deberes que se le imponen. Observar todos los cuerpos celestes, medirlos cuidadosamente, hacer su descripción y representarlos en dibujos, es el trabajo ímprobo á que dedican su vida algunos astrónomos, á quienes se debe la formación de esos catálogos en que se consignan las posiciones y magnitudes de las estrellas fijas. Otros se dedican á la delineación de cartas de porciones del firmamento, en que se dibujan las más diminutas estrellas (1). Otros, en fin, gastan sus energías en sacar dibujos de los caracteres visibles de la Luna, ó dibujos y medidas de los planetas, ó mediciones de las estrellas dobles, ó en trazar los confusos contornos de las nebulosas. Estos son los resultados de las diferentes especialidades en el vasto imperio astronómico. Ahora bien: de

---

(1) El engorroso proceso de trazar cartas celestes por medio de mediciones ó estimaciones de cada estrella por separado es, al parecer, aventajado por los más comprensivos métodos de fotografía. Así han podido muchas diminutas estrellas telescópicas producir una imagen sensible cuando se ha procedido con bastante espacio de tiempo. Han quedado reproducidas estrellas de 14.<sup>a</sup> y 15.<sup>a</sup> magnitud y se han reconocido en la placa fotográfica estrellas que no habían podido ser distinguidas con los más potentes telescopios. Una placa sacada por Mr. J. Roberts contiene una zona de cielo de cerca de 2° cuadrados, y, comparando esta fotografía con el muy conocido mapa de Argelander, Father Perry ha podido hallar no solamente todas las 58 estrellas del mapa, sino, á lo menos, 32 estrellas nuevas, inferiores probablemente á las de 9.<sup>a</sup> ó 10.<sup>a</sup> magnitud. En el Observatorio de París una exposición de una hora ha dado una negativa de cerca 5° cuadrados de los cielos, en que quedaron señaladas 2,790 estrellas desde la 5.<sup>a</sup> á la 14.<sup>a</sup> magnitud, con vestigios visibles de estrellas de 15.<sup>a</sup> Dase por seguro que en cinco ó seis años se podrá obtener una completa vista de los cielos en esta espléndida escala. Gracias á estas investigaciones, pueden anticiparse ya muy importantes resultados. Por ejemplo, se ha descubierto un planeta menor solamente por su movimiento, que forma una línea en vez de un punto.

todos los objetos celestes más allá de los confines de nuestro sistema solar, uno de los más espléndidos y más notables es el de que hablamos, siendo de suma importancia para el conocimiento de las maravillas celestes la medición y dibujo de cualquier detalle que pueda descubrirse en la gran nebulosa de Orión.

El trabajo de observar el cielo es el principal y el más sencillo para el astrónomo, que después debe resolver difíciles é interesantes problemas. Uno de ellos es determinar los movimientos de los cuerpos celestes, y el otro consiste en reconocer su naturaleza. Los dibujos de la gran nebulosa de Orión se han hecho, sobre todo, para que sea más fácil resolver estos problemas, demostrando si la nebulosa tiene movimientos apreciables y dando á conocer su estructura y condición física. Seguramente ofrece mucho interés averiguar si ese cuerpo está en vías de presentar algún cambio. Visto una noche tras otra, no se nota alteración alguna, y tampoco de año en año; pero ¿será verdadera esta constancia? ¿No cambian absolutamente esos brazos de luz ni esas regiones centrales brillantes, quedando absorbidas, desvaneciéndose ó dispersándose como las nubes ordinarias? Esta es una cuestión del mayor interés, y nos preguntamos cómo se ha de resolver. La vida del astrónomo no es bastante larga, ni su memoria suficiente, para pronunciar con seguridad sobre este punto; pero midiendo cuidadosamente las posiciones relativas de las estrellas en la nebulosa, y por la atenta comparación de los dibujos que representan las partes correspondientes de la misma con toda la perfección que el arte permite, se podrá resolver al fin la cuestión sobre su permanencia. Hasta ahora se ha demostrado que en algunas partes de la poderosa nebulosa se verifican ciertos cambios; pero sin duda pasará mucho tiempo antes que se pueda comprender su importancia.

Tal vez no llegaremos á conocer nunca la magnitud de ese gigantesco cuerpo celeste, pues su luz se desvanece de una manera tan gradual que no es posible decir qué porción del cielo ocupa en realidad. Lo que se ve con seguridad es que se extiende en un espacio dos ó tres veces mayor que el ocupado por la luna llena; pero ¿qué se dirá de la verdadera magnitud del objeto? Como no conocemos su distancia, no nos es dado hacer cálculo alguno sobre su volumen. La magnitud de nuestro globo, por vasto que sea, no servirá de término de comparación, pues para tan gigantescas dimensiones necesitase una unidad de medida mucho más considerable.

La Tierra gira alrededor del Sol en un paso inmenso, cuyo diámetro no baja de 185.400,000 millas. Imaginemos una esfera tan poderosa que este círculo formara una faja en torno de su ecuador, y sea este globo enorme la medida para dar á conocer el volumen de la vasta nebulosa de Orión. Se podrá demostrar que un millón de estos gigantes globos, concentrados en uno, no igualarían por su volumen á la gran nebulosa, aunque no podemos decir cuánto más grande sería ésta, pues faltan medios para averiguarlo.

La naturaleza de la nebulosa de Orión nos ofrece un problema del mayor interés, sobre todo cuando consideramos la cuestión por lo que se refiere á los materiales de que ese cuerpo celeste se compone.

Este problema, que ha sido por largo tiempo objeto de controversia, quedó resuelto, hasta cierto punto, por los descubrimientos del doctor Huggins.

Al proceder ahora á una breve descripción de algunos de los cuerpos conocidos con el nombre de *racimos de estrellas*, nos referiremos en particular al gran racimo de Hércules. Es éste un soberbio objeto cuando se contempla con un instrumento de adecuada potencia; pero con instrumentos más pequeños no aparece exactamente como un racimo de estrellas: es mejor un punto de luz débil, pero que no por eso deja de tener la apariencia de las nebulosas visto con un gran telescopio. Como se ha consignado que muchos objetos aparentemente nebulosos resultan ser verdaderos racimos de estrellas cuando se examinan con un telescopio de potencia adecuada, puede ser legítimo discutir si acaso todas las nebulosas no serán racimos de estrellas. Estando á tan gran profundidad en el espacio, los más potentes telescopios pueden faltar en cuanto á descomponer los rayos de las diferentes estrellas y ofrecerse éstas meramente con la opaca apariencia de una nebulosa.

¿Puede aplicarse este razonamiento á la gran nebulosa de Orión? Hay, afortunadamente, una ó dos observaciones interesantes sobre el particular. En una noche singularmente serena, cuando el espéculo del gran telescopio de 6 pies de Parsonstown estaba en perfecto orden, los ejercitados ojos del difunto conde de Rosse y de su ayudante, Mr. Stoney, descubrieron, en la parte más densa de la nebulosa, miriadas de diminutas estrellas, no reconocidas antes por mirada humana. Indudablemente los rayos entremezclados de esas estrellas contribuyen no poco á la brillantez de la nebulosa. Pero queda la cuestión de saber cómo puede explicarse la luminosidad entera de la gran nebulosa y de si puede surgir la luz parcialmente de cada punto. Esta cuestión debe necesariamente llamar la atención del observador que goza del privilegio de ver la gran nebulosa á través de un telescopio de potencia adecuada para formarse idea de su belleza, y parecerá imposible que aquella luz azulada, delicadamente graduada, salga meramente de los puntos estelares. Este objeto es tan tenue y tan continuo que es imposible dejar de suponer que se parezca realmente á alguna sustancia gaseosa.

Aquí se suscita una dificultad. La nebulosa es un cuerpo luminoso, pero el gas ordinario es invisible, como se da el caso en los gases que nos rodean y forman la atmósfera en que vivimos. Ahora bien: si la nebulosa consiste meramente en sustancia gaseosa, ¿cómo puede verse á tan inmensa distancia en los cielos? Un experimento bien conocido resolverá la dificultad. Tómese un tubo que contenga una pequeñísima cantidad de algún gas, por ejemplo el hidrógeno. Este gas es, ordinariamente, invisible: no se ve que



LÁM. XV



LA GRAN NEBULOSA DE ANDRÓMEDA

haya gas en el tubo, ó, por lo menos, no se podrá conocer la clase de gas que es; pero hágase pasar una corriente eléctrica á través del tubo é instantáneamente el gas arderá con una luz violeta. ¿Qué parte corresponde á la electricidad en este experimento? Su sólo efecto ha sido producir la combustión del gas: ha sido meramente un medio á propósito para calentar el gas y hacerlo arder. Así, no es la electricidad la que ha obrado, sino el gas quemado por la electricidad. Infiérese, pues, que el gas, si se quema, se hace luminoso. El gas no ha quemado, sin embargo, en el sentido ordinario de la palabra: no ha habido ningún cambio químico. El tubo contiene exactamente la misma cantidad de hidrógeno después del experimento que antes. Se ha calentado con el calor, como se calienta el hierro á la temperatura roja. Si, pues, en la gran nebulosa de Orión hay enormes volúmenes de gas rarificado en las mismas condiciones que el gas en el tubo cuando ha pasado por él la corriente eléctrica, puede esperarse que el gas arda actualmente.

Para resolver la cuestión de la naturaleza real de las nebulosas hay que apelar en gran manera al auxilio del refinado método de investigación conocido con el nombre de *análisis espectral*. Ya explicamos en otro capítulo el principio de este método con aplicación á las estrellas. Veamos ahora cómo se aplica á las nebulosas. El espectro de la nebulosa gaseosa es muy notablemente vistoso. En vez de una continua faja de colores cruzada por líneas oscuras, que es característica del espectro estelar, el espectro nebuloso consiste en tres ó cuatro líneas brillantes. Dos de esas líneas corresponden al espectro del hidrógeno, otra á la del ázoe, mientras que las otras no pueden identificarse con ninguna sustancia terrestre.

El notable descubrimiento del doctor Huggins ha sido corroborado y extendido en muy interesante manera por los más recientes trabajos del mismo astrónomo, que ha obtenido una fotografía del espectro de la gran nebulosa de Orión. La fotografía presenta una fuerte línea en la parte invisible del espectro, extendiéndose detrás de los rayos violeta, y esta línea es, según todas las probabilidades, idéntica á la debida al hidrógeno.

Los trabajos del doctor Huggins han resuelto en considerable extensión el importante problema de la constitución de la nebulosa de Orión. Ésta consiste, en parte, en estrellas, pero no en número bastante que ocupen toda su extensión. Estas estrellas están bañadas y rodeadas por una estupenda masa de gas incandescente, parcialmente consistente en el gas que entra tan copiosamente en la composición de nuestro océano, esto es, el hidrógeno, y parcialmente en lo que es tan importante ingrediente de nuestra atmósfera, esto es, el ázoe. Además están mezclados dichos gases con otros cuya naturaleza es, al presente, desconocida.

Los límites de este libro no nos permiten hacer sino una breve referencia á algunas otras nebulosas, y entre éstas, principalmente, á la gran nebulosa de Andrómeda. Es ésta visible á simple vista, y con alguna frecuencia suele confundirse con un cometa. Su aspecto telescópico está re-

presentado en la lámina XV, copiada de un hermoso dibujo de Mr. Trouvelot, obtenido en el observatorio del Colegio Harward. Precisa fijarse en dos oscuras canales de la nebulosa, siendo también digno de llamar la atención el número de débiles estrellas esparcidas sobre su superficie. Para hallar este objeto hay que buscarlo entre Casiopea y el gran cuadrado de Pegaso, notándose fácilmente la nebulosa en la posición indicada en la figura 68. Difiere en muy notable grado de las nebulosas gaseosas de que es tipo la de Orión. Cuando se examina la nebulosa de Andrómeda con el espectroscopio descúbrese una débil y continua faja de luz de carácter

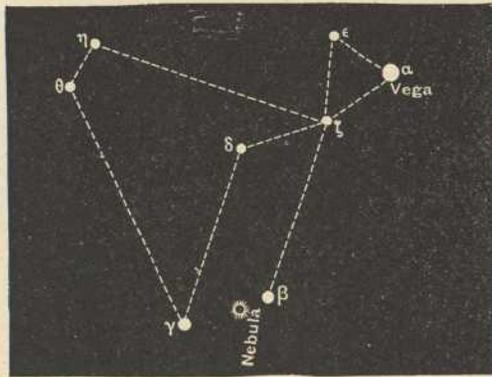


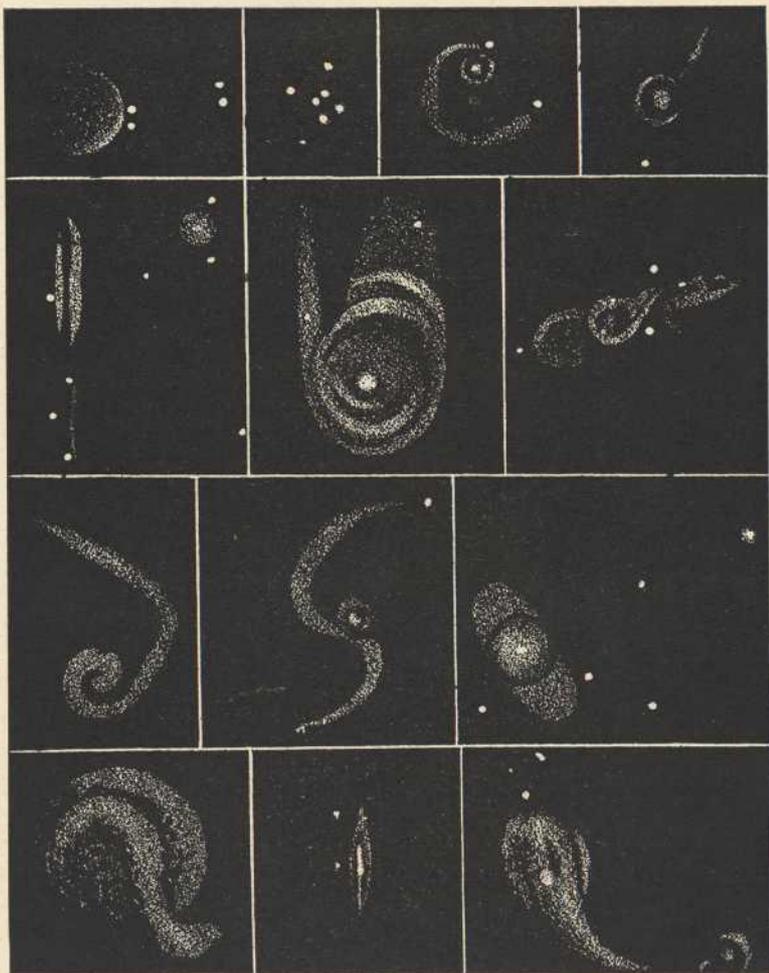
FIG. 86.—LA LIRA, CON LA NEBULOSA ANULAR

totalmente diferente del que ofrecen las cuatro brillantes líneas de Orión. De hecho, la evidencia espectroscópica indica que no hay gas comburente en la nebulosa de Andrómeda y que realmente puede deberse á la existencia de un vasto racimo de diminutos puntos estelares. Lo que se ha experimentado en la observación de las nebulosas, en las que es perceptible un ligero matiz azulado, no se encuentra en el tipo de Andrómeda. Realmente la diferencia es tan marcada que es posible afirmar la existencia de dos clases de nebulosas aplicándose el experimento crucial del espectroscopio.

Entre otras varias clases de nebulosas, son notables las que se llaman *anulares*, ó *nebulosas anillos*. El más celebrado de estos objetos es el que se descubrió en la constelación de la Lira, pudiéndose determinar fácilmente su posición por el adjunto diagrama de las principales estrellas de la constelación (fig. 86). Esta nebulosa anular corresponde á la clase de las gaseosas, aunque las líneas del espectro no son tan numerosas como en la nebulosa de Orión. Hemos dibujado en dos tiempos este curioso objeto (fig. 87). El dibujo puede, en todo caso, servir para asegurarse el estudiante en la identificación de la nebulosa, distinguiéndola de las demás del cielo. La figura pequeña representa la nebulosa tal como se ve con un







NEBULOSAS

OBSERVADAS CON EL GRAN TELESCOPIO DE LORD ROSSE

telescopio de pequeña potencia: la mayor la representa tal como se ve con los más poderosos telescopios. La última vista ofrece un número de puntos estelares. Es notable también una franja que rodea el anillo, mientras que el interior del mismo es absolutamente oscuro.

La nebulosa de la Lira es la más conspicua nebulosa anular de los cielos; pero no hay que suponer que sea el único ejemplar en su clase, pues hay cerca de una docena de tales objetos. Preséntanse dificultades para formarnos un cabal concepto de la naturaleza de estos cuerpos. Es imposible ver las nebulosas anulares sin recordar los elegantes objetos llamados *anillos en vórtice*. ¿Quién no se ha fijado en los graciosos anillos de humo que continuamente escapan de las chimeneas de las locomotoras y

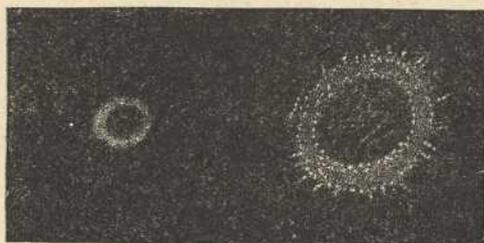


FIG. 87.—LA NEBULOSA ANULAR EN LA LIRA

remontan en el aire, no disolviéndose hasta que la corriente ha desaparecido? Los anillos en vórtice pueden producirse artificialmente con una caja cúbica, uno de cuyos lados está cubierto con una tela, mientras que el opuesto tiene un agujero circular. Un golpe dado sobre la tela da lugar á un anillo en vórtice que sale del agujero, y, si la caja se llena de humo, el anillo se hace visible en una distancia de algunos pies. Parece que puede aseverarse que las nebulosas anulares tienen realmente algunas analogías con los anillos en vórtice; pero no hay, por ahora, otro objeto conocido con que puedan ser comparadas.

Los cielos contienen gran número de diminutos pero brillantes objetos conocidos con el nombre de *nebulosas planetarias*. Pueden describirse como globos de gas ardiente azulado, apenas confundibles con una estrella vista con el telescopio. Una de las más notables está en la constelación del Dragón, y está á medio camino entre la estrella Polar y la estrella  $\gamma$  del Dragón. Algunas de las nébulas últimamente descubiertas son en extremo pequeñas, y solamente se han distinguido de las estrellas de menor dimensión por el espectroscopio.

Hay otras muchas formas de nebulosas: largos rayos nebulosos, las maravillosas nébulas espirales descubiertas en el gran reflector de lord Rosse, nebulosas dobles, y algunas muy misteriosas y variables; pero no las tomaremos aquí en cuenta, porque es muy difícil representarlas. Las más

son tan vagas que se necesita fijar mucho la atención aunque se tenga un instrumento muy poderoso. Sin embargo, en la lámina XVI representamos algunas de las nebulosas más notables, según se han visto con el gran telescopio de lord Rosse.

Tenemos otro problema del mayor interés respecto á las nebulosas; problema que hace reflexionar mucho á los astrónomos y que á menudo desesperan de resolver satisfactoriamente. Se refiere á la manera de encontrar la distancia de una nébula. Las dificultades que ofrece hallar las de una estrella son tan considerables que solamente á fuerza de tiempo y paciencia se consigue averiguar; pero estas dificultades son mucho mayores, y al parecer insuperables, en el caso de las nebulosas, sin que se haya ideado aún método alguno que nos permita dar con la solución, porque nuestros conocimientos sobre el asunto son meramente de carácter negativo. No nos es posible decir cuál es la distancia; pero en algunos casos podemos señalarle un límite menor. Nuestras medidas ordinarias de millas son del todo impropias para tales distancias, según lo veremos después; de modo que es preciso apelar á un tipo de medición más considerable. Por fortuna tenemos uno á propósito para el caso. La unidad más apropiada para tales magnitudes es la velocidad de la luz, que se trasmite con la prodigiosa rapidez de 180,000 millas por segundo. Moviéndose en esta proporción, ¿cuánto tiempo durará el viaje desde la nebulosa á la Tierra?

Se cree que algunas de estas nebulosas se hunden en el espacio á tan asombrosa distancia que la luz necesita siglos para llegar á la Tierra. Vemos que estas nebulosas no son como ahora, sino como fueron en pasadas edades, y, sentado esto, nos despedimos de ellas. Hemos llegado á un punto en que la inteligencia del hombre deja de prestarle más luz, y en que su imaginación le ha faltado en su empeño de confirmar el conocimiento adquirido.



---

## CAPITULO XXIII

### LA PRECESIÓN Y NUTACIÓN DEL EJE DE LA TIERRA

El polo no es un punto fijo.—Su efecto sobre los lugares aparentes de las estrellas.—Fuerza perturbadora que obra sobre la Tierra.—Atracción del Sol sobre un globo.—La protuberancia en el ecuador.—La atracción de la protuberancia por el Sol y la Luna produce precesión.—La eficiencia del agente precesional varía inversamente al cubo de la distancia.—Eficiencia relativa del Sol y de la Luna.—Cómo el polo del eje de la Tierra verifica su revolución alrededor del polo de la eclíptica.

LA posición del polo del cielo se indica muy bien por la brillante estrella llamada *Polar*, que se halla en su inmediata vecindad. Alrededor de este polo todo el cielo parece girar una vez en un día sideral, y hasta aquí nos hemos referido al polo como si fuera un punto fijo en el cielo. Esto es bastante correcto cuando se comprende un moderado período de tiempo en nuestra inspección. Sin duda es cierto que el polo se halla cerca de la estrella *Polar* ahora: así fué durante la última generación, y será mientras exista la siguiente. Todo este tiempo, sin embargo, el polo se mueve de continuo en el cielo; de modo que al fin llegará el día en que se habrá separado mucho de la estrella *Polar*. Este movimiento es incesante. Se puede reconocer y medir con los instrumentos de nuestros Observatorios, y los astrónomos están familiarizados con el hecho de que en todos sus cálculos es necesario tener en cuenta especialmente este movimiento del polo. Produce un cambio aparente en el lugar de una estrella, conocido con el término *precesión*.

El movimiento del polo se demuestra claramente en la figura que se acompaña, que debo á la amabilidad del profesor C. Piazzi Smyth. El círculo representa el trayecto á lo largo del cual el polo se mueve entre las estrellas. El centro del círculo en la constelación del Dragón es el polo de la eclíptica. Un viaje completo del polo emplea el considerable período de 25,877 años. En el dibujo se figura la posición del polo en diversas fechas, desde el año 4,000 a. de C. hasta el 2,000 años después. Basta mirar este mapa para reconocer la proximidad del polo á la estrella

Polar. La distancia de los dos disminuye ciertamente ahora; pero después aumentará, hasta que, efectuada la mitad de la revolución, el polo estará á la distancia de dos veces el radio del círculo desde la estrella Polar. Entonces se dará el caso de que el polo se halle cerca de la brillante estrella

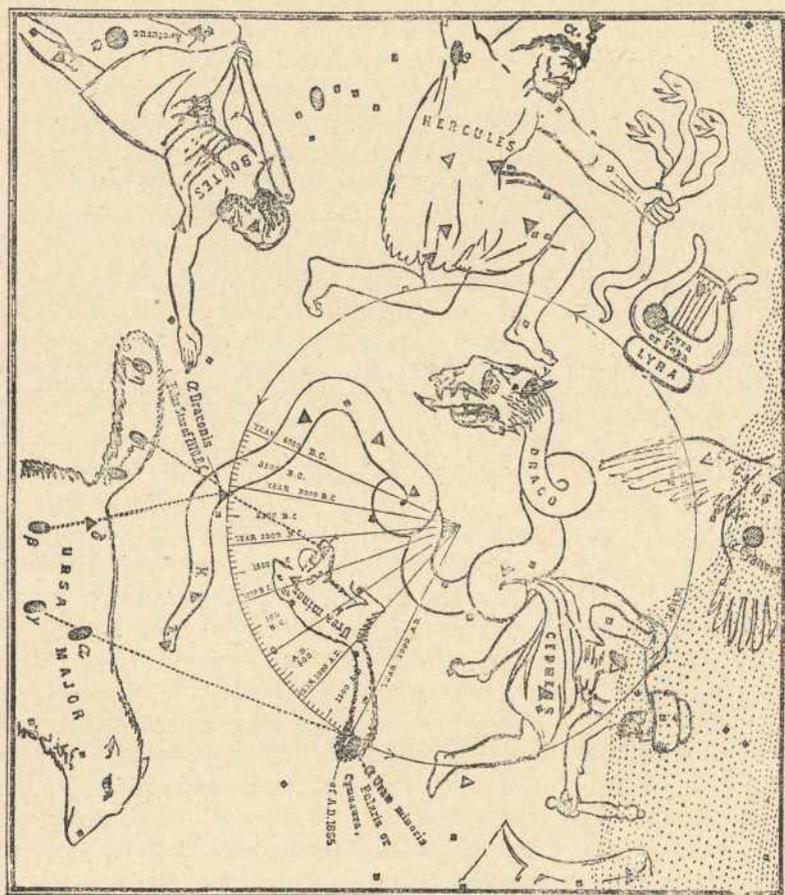


FIG. 88.—MAPA ESTELAR REPRESENTANDO EL MOVIMIENTO PRECESIONAL DEL POLO CELESTE DE ROTACIÓN Y SEÑALANDO ESPECIALMENTE ÉSTE DESDE EL AÑO 4,000 A. J. HASTA EL AÑO 2,000 D. J.

Vega; de modo que nuestros sucesores pueden hacer uso de ésta de aquí á unos 12,000 años para muchos de los fines para que se emplea ahora la estrella Polar. Retrocediendo á las pasadas edades, vemos que unos 2,000 ó 3,000 años a. de C. la estrella  $\alpha$  Draconis estaba convenientemente situada para servir de estrella Polar, y que  $\beta$  y  $\delta$  de la Osa Mayor servían de indicadores. Apenas es necesario añadir que desde el nacimiento de la astronomía exacta el curso del polo no se observó sino en una parte muy pequeña

del poderoso círculo. No debemos dudar, sin embargo, que el movimiento del polo continuará por el mismo paso. Esto se comprenderá bien cuando expliquemos ese fenómeno tan interesante.

El polo norte del cielo es el punto de la esfera celeste hacia el cual se dirige la extremidad norte del eje sobre el cual la Tierra gira; y, por lo tanto, síguese de aquí que ese eje debe cambiar de posición continuamente. El carácter de movimiento de la Tierra, en cuanto se refiere á su rotación, se puede explicar por un juguete muy común que todos conocemos: cuando se hace bailar una peonza, su rotación es muy rápida alrededor del eje; pero, además de éste, suele haber otro movimiento, por el cual el eje de la peonza no se mantiene en una dirección constante, sino que se mueve en un paso cónico alrededor de la línea vertical (véase la figura). Gira con mucha rapidez alrededor de su eje, mientras que este mismo revuelve en torno de la línea vertical con muy deliberado movimiento. Si pudiéramos imaginar una gigantesca peonza que girase sobre su eje una vez diaria; si este eje se inclinase en un ángulo de  $23 \frac{1}{2}^{\circ}$  á la vertical, y si el lento movimiento cónico del eje fuera tal que su revolución se completara en unos 26,000 años, entonces los movimientos se asemejarían á los que ahora hace la Tierra. Este ejemplo se acerca mucho al presente fenómeno de precesión. En cada caso la rotación cerca del eje es incomparablemente más rápida que el de la revolución del eje mismo, y también el movimiento lento se debe á una interferencia externa. Podríamos preguntar: ¿por qué no cae la peonza? El evidente efecto de la gravedad parecería indicar que es imposible que aquélla esté en la posición indicada en la figura; pero todos sabemos que esto es posible mientras que la peonza baile. Si dejara de hacerlo caería, y de aquí se sigue que el efecto de rotación rápida modifica el de gravitación, y que este último, en vez de producir su aparente consecuencia obvia, ocasiona el lento movimiento cónico del eje de rotación. Si una peonza se construyese de modo que el punto hacia el cual gira, y que le sostiene, coincidiera con el centro de gravedad, no habría efecto de gravitación ni se percibiría movimiento cónico.

Si la Tierra no estuviese sometida á ninguna interferencia externa, la dirección del eje hacia el cual gira se debería mantener siempre constante; pero como no sucede así, es necesario buscar una fuerza perturbadora adecuada á los fenómenos que se observan. Hemos visto que los fenómenos dinámicos de la Astronomía se pueden explicar por la ley de la gravitación universal, y natural es averiguar hasta qué punto ésta explicará el fenómeno de precesión. Para presentar el asunto bajo su más sencilla forma, consideremos el efecto que un cuerpo de atracción lejano puede tener sobre la rotación de la Tierra.

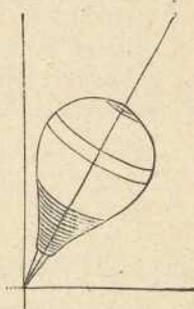


FIG. 89.—ILUSTRACIÓN DEL MOVIMIENTO DE PRECESIÓN.

Para esto se debe definir con precisión lo que entendemos por Tierra; y, atendido que para los fines astronómicos la consideramos como un globo esférico, comenzaremos bajo este supuesto. Parece también cierto que el interior de la Tierra es, en su conjunto, más pesado que las porciones exteriores, y por lo tanto debe presumirse que la densidad aumenta á medida que descendemos. Tampoco hay suficiente motivo para creer que la Tierra sea mucho más pesada en una parte que en cualquiera otra igualmente lejana del centro. En tales cálculos es consiguiente suponer que la Tierra está formada de capas esféricas concéntricas, todas de uniforme densidad; mientras que ésta disminuye en cada capa hacia el exterior.

Sometido á la atracción de algún cuerpo externo el globo formado así, examinemos los efectos que aquél puede producir. Supongamos, por ejemplo, que el Sol atrae semejante globo. ¿Qué movimientos se producirán? El primer resultado más evidente es aquel de que ya hablamos tan á menudo, y que se expresa por las leyes de Kepler: la atracción obligará á la Tierra á girar en derredor del Sol en un paso elíptico, del cual el Sol está en el foco. Mas ahora no hemos de tratar de este movimiento. Es preciso averiguar hasta qué punto la atracción del Sol modificará la Tierra en torno de su eje. Podemos demostrar que la atracción del astro sería impotente para perturbar la rotación de la Tierra así constituida, y esto se puede probar por el cálculo matemático. Sin embargo, es bastante obvio que la fuerza de atracción de cualquier punto distante sobre un globo simétrico debe pasar á través del centro de aquél; y como el Sol no es sino un enorme agregado de puntos de atracción, no puede producir más que una multitud correspondiente de fuerzas atractivas. Cada una de ellas pasa por el centro de la Tierra, y, por lo tanto, la resultante que expresa la fuerza unida de todas las individuales debe dirigirse también á través del centro de la Tierra. Una fuerza de este carácter, sea cual fuere la otra influencia poderosa que pueda tener, no podrá, de todos modos, afectar la rotación de la Tierra. Si ésta gira sobre un eje, la dirección del mismo se conservaría invariablemente; de manera que, como la Tierra gira alrededor del Sol, aun continuaría su rotación en torno de un eje que siempre se mantenía paralelo á sí mismo. La atracción de la Tierra por cualquier otro cuerpo no sería tampoco más eficaz que la del Sol. Si nuestro planeta fuese en realidad el globo simétrico que hemos supuesto, la atracción del Sol y de la Luna, y hasta la influencia de todos los planetas, no sería nunca competente para desviar el eje de rotación de la Tierra ni un solo segundo de su primera dirección.

Hemos reducido así mucho la investigación sobre la causa de la *precesión*. Si la Tierra fuese una esfera perfecta, la precesión sería incomprendible, y de consiguiente debemos tratar de explicarla por el hecho de que nuestro planeta no es una esfera perfecta, lo cual hemos demostrado ya. También hemos visto que el eje ecuatorial de la Tierra es más largo que el polar; de modo que hay una zona protuberante que circuye el ecuador. La

atracción de los cuerpos externos puede obrar sobre esta protuberancia y obligar así al eje de rotación de la Tierra á cambiar de dirección.

Solamente hay dos cuerpos en el Universo que contribuyan de una manera marcada al movimiento precesional del eje de la Tierra: son el Sol y la Luna. La participación que en este trabajo tienen respectivamente no es lo que podrá esperarse; y sobre este punto debemos insistir algo, porque ilustra la teoría de la gravitación, cuya importancia es tan considerable.

La ley de la gravitación consigna que la intensidad de la atracción que un cuerpo puede ejercer es directamente proporcional á la masa de este cuerpo é inversamente al cuadrado de la distancia del punto atraído; de modo que podemos comparar la atracción ejercida sobre la Tierra por el Sol y la Luna. La masa del primero excede á la de la segunda en la proporción de unos 26.000,000 por 1. Por otra parte, la Luna se halla á una distancia que, por término medio, viene á ser  $\frac{1}{380}$  parte de la del Sol; y así es fácil el cálculo para demostrar que la eficiencia de la atracción del Sol sobre la Tierra es unas 175 veces tan considerable como la de la Luna. De aquí resulta, por supuesto, que la Tierra obedece á la superior importante atracción del Sol, siguiendo un paso elíptico alrededor de éste y llevando la Luna como apéndice.

Pero cuando llegamos á ese efecto particular de la atracción competente para producir la precesión vemos que la ley por la cual se computa la eficiencia del cuerpo de atracción toma una forma distinta. En este caso la medida de la eficiencia se encuentra tomando la masa del cuerpo y dividiéndola por el *cubo* de la distancia. La demostración completa de esto se ha de buscar en las fórmulas matemáticas, y, por lo tanto, no corresponde á estas páginas; pero aduciremos una consideración para que el lector comprenda hasta cierto punto el principio, aunque sin demostrar su exactitud. Será evidente que cuanto más se aproxime el cuerpo perturbador á la Tierra mayor será el *palancaje*, si podemos hablar así, que produce la protuberancia en el ecuador. La eficiencia de una fuerza dada, solamente por esto, aumentará en proporción inversa de la distancia. La intensidad de la fuerza misma aumenta según el cuadrado inverso de la distancia, y, por lo tanto, la capacidad del cuerpo atrayente para producir precesión aumentará con doble motivo cuando la distancia disminuya. Supóngase, por ejemplo, que el cuerpo perturbador se lleva á la mitad de su distancia original del perturbado: el *palancaje* se dobla por este medio y la intensidad de la fuerza se cuadruplica al mismo tiempo, según la ley de gravitación. De aquí se sigue que el efecto producido en el último caso debe ser ocho veces mayor que en el primero. Esto equivale á decir que la capacidad de un cuerpo que produce precesión varía inversamente al cubo de su distancia.

Por esto tiene la Luna, como agente productor de precesión, una importancia que no alcanzaría por su mera capacidad de atracción. Aunque la masa del Sol sea 26.000,000 mayor que la de la Luna, cuando esta cifra se divide por el cubo del valor relativo de las distancias de los cuerpos (386)

se ve que la eficiencia de la Luna es más que doble que la del Sol. En otros términos, podemos decir que una tercera parte del movimiento de precesión se debe al Sol y dos tercios á la Luna.

Para el estudio del efecto precesional debido á la vez al Sol y la Luna cuando obran simultáneamente, convendrá considerar el efecto producido por los dos cuerpos separados, y, como el del Sol es más sencillo, le examinaremos antes. Atendido que la Tierra gira en su órbita anual en torno del Sol, el eje de aquélla se dirige á un punto del cielo que se halla siempre á  $23 \frac{10}{2}^{\circ}$  desde el polo de la eclíptica. El efecto precesional del Sol consiste en hacer que el polo de la Tierra efectúe su revolución conservando siempre la misma distancia angular, y así tenemos un movimiento del tipo representado en el diagrama. Como la eclíptica ocupa una posición que para nuestro presente fin podemos considerar como fija en el espacio, síguese de aquí que el polo de la eclíptica es un punto fijo en la superficie del cielo; de modo que el paso del polo de la Tierra debe ser un pequeño círculo, fijo en su posición, relativamente á las estrellas que le rodean. En él observamos un movimiento muy análogo al de la peonza. La gravitación de la Tierra, que obra sobre la peonza, es la que obliga á tomar el movimiento cónico. El efecto inmediato de la gravitación se modifica de tal modo por la rápida rotación de la peonza que, obedeciendo á un profundo principio dinámico, el eje de la peonza gira en un cono más bien que caer, como sucedería si aquél no girase. De un modo semejante el efecto inmediato de la atracción del Sol sobre la protuberancia del ecuador sería llevar el polo del eje de la Tierra hacia el de la eclíptica; pero la rápida rotación de aquélla modifica esto en la rotación cónica de precesión.

Las circunstancias se complican mucho más en cuanto á la Luna: ésta describe alrededor de la Tierra cierta órbita que se halla en cierto plano, el cual tiene, por supuesto, cierto polo en la esfera celeste. El efecto precesional de la Luna tendería, por lo tanto, á obligar al polo del eje de la Tierra á trazar un círculo alrededor de ese punto del cielo que es el polo de la órbita de la Luna. Este punto se encuentra á unos  $5^{\circ}$  del polo de la eclíptica. El polo de la Tierra, pues, hállase solicitado por dos distintos movimientos: uno de revolución alrededor del polo de la eclíptica y otro de revolución hacia un punto distante  $5^{\circ}$ , que es el polo de la órbita de la Luna. Así, parecería que el polo de la Tierra ha de verificar cierto movimiento compuesto, debido á los dos separados, y así es, en efecto; pero se ha de tener en cuenta un punto que en un principio parece casi paradójico. Hemos demostrado de qué modo la potencia de la Luna, como agente precesional, excede á la del Sol, y por lo tanto puede pensarse que el movimiento compuesto del polo de la Tierra se adaptaría más bien á una rotación alrededor del polo de plano de la órbita de la Luna que á una rotación en torno del polo de la eclíptica; pero no sucede así. El movimiento precesional está representado casi en absoluto por una revolución alrededor del polo de la eclíptica, según se ve en la figura. En este punto se ha de fijar mucho la

atención, porque en él se halla el germen de uno de los más bellos descubrimientos astronómicos.

El plano en que la Luna hace su revolución no ocupa una posición constante. No trataremos particularmente de las causas de este cambio en el plano del astro, pero debemos enunciar el carácter del movimiento. La inclinación de este plano á la eclíptica es de unos  $5^{\circ}$ , y no varía; pero la línea de intersección de los dos planos varía, y varía tan rápidamente que completa una revolución en unos  $18 \frac{1}{2}$  años. Este movimiento del plano de la órbita de la Luna exige un cambio correspondiente en la posición de su polo; y así vemos que el polo de la órbita de la Luna debe hacer su revolución alrededor del polo de la eclíptica permaneciendo siempre á la misma distancia de  $5^{\circ}$  y completando su revolución en  $18 \frac{1}{2}$  años. En su consecuencia será evidente que hay gran diferencia entre el efecto precesional del Sol y la Luna en su acción sobre la Tierra. El Sol invita al polo de la Tierra á describir un círculo alrededor de un centro fijo, y la Luna invita al polo de la Tierra á trazar un círculo alrededor de un centro que se mueve de continuo; mas, por fortuna, las circunstancias del caso son tales que reducen mucho la complicación del problema. El movimiento del plano de la Luna no emplea más que  $18 \frac{1}{2}$  años, y el movimiento es muy rápido si se compara con todo el movimiento precesional, que necesita unos 26,000 años. De aquí se sigue que, en el tiempo en que el eje de la Tierra ha completado un circuito de su majestuoso cono, el polo del plano de la Luna habrá dado la vuelta unas 1,400 veces. Ahora bien: como este polo no describe, en rigor, sino un cono comparativamente pequeño de  $5^{\circ}$  en radio, por primera aproximación podemos tomar el término medio de la posición que ocupa; pero este término medio es, por supuesto, el centro del círculo que describe, es decir, el polo de la eclíptica.

Vemos, pues, que el efecto precesional de la Luna coadyuva simplemente con el del Sol para producir una revolución alrededor del polo de la eclíptica. Los más grandes fenómenos de los movimientos del eje de la Tierra se deben explicar por la revolución uniforme del polo en un paso circular; pero si examinamos detenidamente el trayecto del eje de la Tierra veremos que, aunque en conjunto conviene con el círculo, traza realmente una delicada línea sinuosa, unas veces dentro y otras fuera de aquél. Este ligero movimiento resulta del cambio continuo en el lugar del polo de la órbita de la Luna. El período de esas ondulaciones es de  $18 \frac{2}{3}$  años, lo cual se ajusta exactamente con el período de la revolución de los nodos de la Luna. El grado en que el polo se desvía del círculo á cada lado sólo es de  $9'2$  segundos, cantidad algo menor de la veintemilésima parte del radio del círculo. Este fenómeno, conocido con el nombre de *nutación*, fué descubierto por Bradley en 1747.



---

## CAPÍTULO XXIV

### LA ABERRACIÓN DE LA LUZ

Movimientos verdaderos y aparentes de las estrellas.—Cómo se pueden reconocer.—La aberración produce efectos que dependen de la posición de las estrellas.—El polo de la eclíptica.—Por la aberración las estrellas parecen moverse circularmente.—Una elipse ó una línea recta, según la posición.—Todas las elipses tienen sus ejes mayores iguales.—¿Cómo debe explicarse este movimiento?—¿Cómo se distinguirá del paralaje anual?—El vértice del trayecto de la Tierra.—Cómo debe explicarse por la velocidad de la luz.—De qué modo se puede medir la escala del sistema solar por la aberración de la luz.

CON el presente capítulo debemos hablar de un descubrimiento que confirma forzosamente alguna de las grandes verdades fundamentales de la Astronomía. Dividiremos el asunto en dos partes: en la primera se describirá la naturaleza del fenómeno, y después daremos la explicación, extremadamente elegante, proporcionada por las propiedades de la luz. El descubrimiento telescópico de la aberración se debe al ilustre Bradley.

El término *estrella fija*, tan á menudo usado en Astronomía, tiene un sentido muy especial. No hay duda que las estrellas están fijas en su sitio, por lo menos en cuanto se refiere á la observación. Las formas de las constelaciones se mantienen inalterables durante siglos, y, en contraposición con los incesantes movimientos de los planetas, no deja de ser apropiado dicho término; pero ya hemos demostrado en otros capítulos que la expresión *estrella fija* no es exacta cuando se aprecian las cantidades minúsculas. Con las exactas medidas de los instrumentos modernos muchas de esas cantidades son tan perceptibles que se debe contar con ellas en la investigación astronómica. Podemos dividir los movimientos de las estrellas en dos grandes clases: los verdaderos y los aparentes. Los movimientos propios de las estrellas y los de revolución de las que llamamos *binarias* constituyen los movimientos reales de esos cuerpos. Estos movimientos son peculiares de cada estrella; de modo que, aunque se hallen dos unidas, pueden diferir mucho en los verdaderos que les son propios. Sin embargo, á veces puede suceder, como ha indicado Mr. Proctor, que las estrellas de

cierta región estén animadas de un movimiento común, en el que se reconocen señales de uno verdadero, del cual participan algunas estrellas de un grupo dado. Con esta excepción, sin embargo, que los movimientos verdaderos de las estrellas no están gobernados por ninguna ley sistemática, y las estrellas binarias rápidamente rotatorias y otras estrellas rápidamente movientes están diseminadas en los cielos indistintamente. En cuanto á los movimientos aparentes, tienen un carácter distinto, tanto más cuanto que el de cada una se determina por el lugar que ocupa en el cielo y no por los caracteres individuales. Hé aquí por qué podemos reconocer al punto los movimientos aparentes y los verdaderos de la estrella y estudiar su carácter.

En el presente capítulo vamos á tratar sólo de los movimientos aparentes, y entre ellos hay tres, debidos respectivamente á la precesión, la nutación y la aberración, cada uno de los cuales obedece á leyes propias, siendo así posible analizar el movimiento total, distinguiendo las proporciones en que han contribuido la precesión, la nutación y la aberración. De este modo podemos aislar el efecto de la última tan por completo como si fuera el único agente del aparente desvío; de manera que, por una combinación entre el cálculo matemático y la observación astronómica, podemos estudiar los efectos de la aberración con tanta claridad como si las estrellas no estuviesen afectadas por otros movimientos.

Fijándonos solamente en los fenómenos de aberración, describiremos su efecto particular en las estrellas en diversas regiones del cielo, averiguando así las leyes según las cuales se presentan los efectos de aberración. Después podemos ya explicar muy bien dichas leyes, que dependen de la velocidad de la luz.

En una región particular del cielo el efecto de la aberración tiene un grado de sencillez que no se manifiesta en ninguna parte más. Esa región se halla en la constelación del Dragón, en el polo de la eclíptica, en el cual, ó en su proximidad, cada estrella describe un círculo en virtud de la aberración; círculo muy diminuto, pues se necesitaría lo menos 2,000 de ellos para formar un área igual á la de la Luna. Astronómicamente hablando, diríamos que el diámetro de este pequeño círculo es de unos 40'9 segundos de arco; cantidad que, si bien es pequeña á la simple observación, es realmente de gran magnitud relativa en el presente estado de la investigación telescópica, pudiendo medirse con una exactitud que no admite dudas hasta la centésima parte del conjunto. También se observa que cada estrella describe su pequeño círculo precisamente en el mismo período de tiempo, siendo este período de un año, ó, en otros términos, el tiempo de la revolución de la Tierra alrededor del Sol. Obsérvase en todas las estrellas de esa región, sean grandes ó pequeñas, sencillas ó dobles, blancas ó de color, que los círculos apropiados á cada una tienen la misma dimensión, describiéndose todos al mismo tiempo. Solamente por esto sería evidente que la causa del fenómeno no puede estar en la estrella misma. Semejante unani-

midad en estrellas de todas las magnitudes y distancias requiere una explicación más sencilla.

El examen practicado en diversas regiones arroja nueva luz sobre el asunto. A medida que avanzamos desde el polo de la eclíptica vemos que cada estrella presenta un movimiento anual del mismo carácter que el de las indicadas antes; mas por un concepto nótese cierta diferencia. El paso aparente de la estrella no es ya un círculo, sino que se ha convertido en una elipse, aunque pronto se reconoce que su forma y posición se rigen por una simple ley según la cual, cuanto más lejos está la estrella del polo de la eclíptica, mayor es la excentricidad de la elipse. Las estrellas que se hallan á la misma distancia del polo tienen igual excentricidad, y, de los ejes de la elipse, el más corto se dirige siempre hacia aquél, siéndole perpendicular el más largo. Obsérvase, no obstante, que, por grande que llegue á ser la excentricidad, el eje mayor retiene su primera longitud, y siempre es igual á unos 40'9 segundos, es decir, el diámetro del círculo de aberración en el mismo polo. A medida que avanzamos más y más desde el polo de la eclíptica vemos que cada estrella describe un paso cuya excentricidad es cada vez mayor, hasta que al fin, al examinar una estrella en la eclíptica, la elipse se ha atenuado tanto que se ha convertido en una línea. Cada estrella que acierta á estar en la eclíptica oscila de un lado á otro á lo largo de ella en una anchura de 40'9 segundos. En medio año se efectúa el viaje por un lado, y en los otros seis meses la estrella vuelve á su primitiva posición. Cuando pasamos á examinar las estrellas en el otro lado de la eclíptica vemos la misma serie de cambios en orden inverso. La elipse, siendo lineal, se ensancha gradualmente, aunque conservando todavía la misma longitud del mayor eje, hasta que al fin las estrellas que están cerca del polo sur de la eclíptica describen un círculo igual á los pasos seguidos por esos cuerpos en el polo norte de aquélla.

La circunstancia de que los ejes mayores de todas las elipses son de igual longitud nos induce á simplificar más el asunto. Supongamos que todas las estrellas, bien se hallen en el polo de la eclíptica ó en otra parte, siguen un paso del todo circular, y que todos sus círculos convienen no solamente en magnitud, sino por la circunstancia de ser paralelos al plano de la eclíptica: fácil es ver que esta simple suposición explicará los hechos observados. Las estrellas del polo de la eclíptica presentarán sus círculos vueltos hacia nosotros, y se observará que recorren pasos circulares, que en las estrellas lejanas de dicho polo, sin embargo, no se verán sino por el borde, siendo así elípticos los pasos aparentes, según se nos presentan ahora.

Por último, al observar las estrellas que ahora se mueven en la eclíptica, los círculos que siguen se verían de lado, y así las estrellas tendrían meramente el movimiento lineal que ahora se les reconoce. Todos los fenómenos observados concuerdan así con la suposición de que todas las estrellas describen una vez al año un paso circular, y que, bien se hallen

lejos ó cerca, este círculo tiene siempre el mismo diámetro aparente, hallándose en un plano paralelo al de la eclíptica.

Hemos consignado los hechos de observación en una forma que nos permite examinar la causa de un movimiento tan sistemático. ¿Por qué cada estrella parece describir un pequeño paso circular, y por qué este paso ha de ser paralelo á la eclíptica? ¿Por qué se completará exactamente en un año? Esto nos hace pensar en el movimiento de la Tierra alrededor del Sol; movimiento que se efectúa en la eclíptica, completándose también en un año. Las coincidencias son tan marcadas que casi por necesidad nos vemos obligados á relacionar ese movimiento aparente de las estrellas con el anual de la Tierra alrededor del Sol. Si no existiera semejante rotación sería en alto grado improbable que los planos de los círculos fueran todos paralelos á la eclíptica, ó que el período de revolución de cada estrella en su círculo se igualase con el de la revolución de la Tierra alrededor del Sol. Como se llenan estas condiciones, la probabilidad de la relación alcanza un valor casi infinito.

Después se ha suscitado la importante cuestión que tiene por objeto explicar por qué el movimiento de la Tierra ha de asociarse de una manera tan notable con el de las estrellas. Aquí debemos fijarnos en un punto esencial. En un capítulo anterior se habló del paralaje anual de las estrellas, demostrándose que en virtud del mismo cada cual describe una elipse, y también se podrá reconocer que esas elipses son realmente círculos paralelos á la eclíptica; de modo que podemos considerar que el paralaje anual fué la causa del fenómeno descubierto por Bradley. El círculo descrito por una estrella en virtud de su paralaje tiene una magnitud que depende de la distancia de aquélla; de modo que los círculos trazados por varios de esos cuerpos son todos de distintas dimensiones, correspondiendo á las diversas distancias de las diferentes estrellas. El fenómeno de la observación, sin embargo, determina claramente que el paso circular de cada estrella es de la misma dimensión, independientemente de lo que su distancia pueda ser, y de aquí resulta que el paralaje anual no nos ofrece una explicación adecuada. También se debe observar que los movimientos de una estrella producidos por el paralaje son mucho más pequeños que los que se deben á la observación. No hay ninguna estrella conocida cuyo paso circular motivado por el paralaje tenga un diámetro que sea una vigésima parte del que presenta el círculo debido á la observación; y, á decir verdad, en la gran mayoría de casos el paralaje de una estrella es una cantidad de todo punto insensible.

Obsérvase, no obstante, una más marcada é importante diferencia entre el paso paraláctico y el aberracional. Para mayor claridad supongamos una estrella situada cerca del polo de la eclíptica, y que así parece girar anualmente en un círculo, bien consideremos el fenómeno de paralaje ó el de aberración. La Tierra efectúa su revolución, y también la estrella; y de este modo, á cada punto de la primera en su órbita, corresponde cierto lu-

gar de la segunda en su círculo. Si el movimiento resulta del paralaje anual, fácil es ver dónde estará el sitio de la estrella para cualquiera posición de la Tierra. Obsérvase, sin embargo, que en el movimiento descubierto por Bradley la estrella no ocupa nunca el lugar que el paralaje le señala, sino que está un cuarto de circunferencia más distante.

Una sencilla regla bastará para encontrar la posición de la estrella debida á la aberración. Tírese desde el centro del círculo un radio paralelo á la dirección en que la Tierra se mueve en el momento de que se trata, y así la extremidad de este radio dará el punto del círculo en que la estrella se debe encontrar. Esta ley se ha demostrado siempre con todas las estrellas, y aplicándola llegamos á la verdadera explicación del fenómeno.

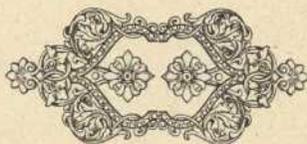
Podemos enunciar los efectos de la aberración de otra manera, demostrando más evidentemente cómo el fenómeno se relaciona con el movimiento de la Tierra en su órbita. Mientras que la Tierra prosigue su curso anual alrededor del Sol, sus movimientos á cada instante se pueden considerar como dirigidos hacia cierto punto de la eclíptica; y de día en día, y hasta de hora en hora, ese punto progresa á lo largo de aquélla para completar el circuito en un año. A cada momento, sin embargo, hay en el cielo también un punto en dirección al cual se efectúa el movimiento de la Tierra, y es el mismo de la esfera celeste á que la Tierra se encaminaría de continuo si en el momento se pudiese anular la atracción del Sol. Este punto está intensamente relacionado con el fenómeno de la aberración. De hecho, la aberración equivale realmente á desviar cada estrella de su sitio en dirección al vértice del paso de la Tierra, según se llama ese punto algunas veces. También se podría demostrar por las observaciones que el grado de aberración depende de la distancia desde el vértice. Una estrella que llegase á estar en la eclíptica no se perturbará por la aberración cuando se dé el caso de que el vértice coincida con ella. Todas las estrellas que distan  $10^{\circ}$  del vértice se desviarán cada cual en un mismo grado, y todas en dirección al vértice; pero la que esté á  $20^{\circ}$  se desviará más, aunque siempre en el mismo sentido. Y todas las estrellas que se hallan á la misma distancia se desviarán en igual grado. Procediéndose así desde el vértice, llegamos á la que está á la distancia de  $90^{\circ}$ , y aquí la desviación llegará á su máximo; pero en todos los casos regirá la ley imperativa, según la cual la desviación de la estrella de su lugar se verifica hacia el vértice del paso de la Tierra. Hemos hecho así dos distintas descripciones de fenómeno de la aberración: en la primera se habla de la estrella que traza un diminuto paso circular, y en la otra consideramos la aberración simplemente como una desviación de la misma en virtud de leyes específicas.

Estas dos descripciones no se rechazan, sino que son geoméricamente equivalentes. La última es, sin embargo, la más perfecta, puesto que asigna completamente la dirección y la extensión del desarreglo causado por la aberración en el caso de cada estrella en particular y en cada particular movimiento.

Falta aludir á un punto del mayor interés é importancia. Sabido es que la magnitud de la aberración puede medirse por la observación astronómica. Esta aberración depende de la velocidad de la luz y de la velocidad con que se realiza el movimiento de la Tierra. Púedese calcular la velocidad de la luz por mediciones independientes, según la manera explicada en el capítulo XII. Hallada la velocidad de la Tierra y conocida la longitud de la visión, puede hallar la circunferencia de la órbita terrestre y, por lo mismo, su radio, esto es, la distancia de la Tierra al Sol.

Es esto un singular resultado que demuestra profundamente cómo se entrelazan los diversos fenómenos de la ciencia. Nos dedicamos á experimentos de laboratorio y acabamos por hallar la velocidad de la luz. Observamos las estrellas fijas y medimos su aberración. Combinamos estos resultados y deducimos la distancia de la Tierra al Sol. Aparte de lo dicho, este método para buscar la distancia del Sol es grandemente elegante y admite cierto grado de precisión.

No se crea, sin embargo, que haya que mirar el descubrimiento de la aberración como un agradable y feliz resultado, pues implica no sólo laboriosos cálculos de astronomía práctica, sino también el conocimiento de diversos fenómenos físicos del mayor interés.



---

## CAPÍTULO XXV

### SIGNIFICACIÓN ASTRONÓMICA DEL CALOR

Calor y astronomía.—Distribución de calor.—Presencia del calor en la Tierra y en varios cuerpos celestes.—Variedades de temperatura.—La ley del enfriamiento —Calor del Sol.—¿Se puede medir la temperatura?—La irradiación relacionada con el volumen del Sol.—Pruebas geológicas en cuanto á los cambios del calor en el astro.—Enfriamiento del Sol.—La combustión no explica la materia.—La materia meteórica produce algún calor, pero no apropiado para conservar el del Sol —Contracción del globo de gas calentado.—Paradoja aparente.—Doctrinas sobre la energía.—Teoría nebular.—Pruebas en apoyo de esta teoría.—Opiniones de Herschel sobre la agregación sideral.—Las nebulosas no presentan cambios dentro de los límites de nuestra observación.

**T**ITULAR el presente capítulo como lo hacemos tratándose de una obra de Astronomía es cosa que podrá parecer extraña, y hasta impropia, á muchos de nuestros lectores, puesto que el calor es asunto que corresponde á la física experimental y no puede introducirse legítimamente en la materia que trata de los cuerpos celestes y sus movimientos. No discutiremos sobre el valor que semejante objeción podría tener en otro tiempo, limitándonos á decir que las últimas investigaciones sobre el calor han demostrado no solamente que éste tiene importantes relaciones con la Astronomía, sino que ha sido, en realidad, uno de los principales agentes por los cuales el Universo se amoldó á su forma actual. En nuestro tiempo ninguna obra sobre Astronomía sería completa si no dijese algo de la notable conexión entre las leyes del calor y las consecuencias astronómicas que se siguen en virtud de aquéllas.

Al hablar de los movimientos planetarios y de las leyes de Kepler, de la Luna y de las estrellas, partimos del supuesto de que los cuerpos de que se trata son partículas rígidas, sin que al parecer tenga importancia la cuestión de que estas partículas sean frías ó calientes. No cabe duda en que los fenómenos periódicos ordinarios de nuestro sistema, como la revolución de los planetas en conformidad con las leyes de Kepler, se observaría siglos y siglos, bien reine en los planetas frío ó calor, ó cualquiera que sea este

último en el Sol; pero debe admitirse que las leyes del calor introducen ciertas modificaciones en aquéllas. Los efectos del mismo podrán no percibirse inmediatamente, pero existen y obran constantemente, y en el trascurso del tiempo son propios para efectuar los más grandiosos cambios en todo el Universo.

Recapitemos brevemente la circunstancia de nuestro sistema que da al calor su inmenso poder. Mírese por lo pronto nuestra Tierra, que ahora parece ser, al menos en su superficie, un cuerpo sin calor, pero que, si se examina detenidamente, dista mucho de carecer de él. ¿No nos demuestran los fenómenos de los volcanes y de los manantiales cálidos que en el interior de la Tierra debe existir un calor mucho más intenso que el observado en su superficie? Estos fenómenos se encuentran en regiones muy distintas de la Tierra. Su origen es, sin duda, muy oscuro; pero nadie negará que indican vastos centros de calor, y hasta parecería que éste se debe hallar en todas partes en las regiones más interiores y profundas de la Tierra. Si se examina un termómetro en el fondo de una mina, veremos que marca una temperatura más alta que en la superficie de la Tierra; temperatura que se elevará cuanto más bajemos. Y si la proporción aumentase en esas profundidades en que no nos es dado penetrar, se demostraría que á 20 ó 30 millas bajo la superficie la temperatura llegaría á la del hierro candente.

En otros cuerpos celestes vemos evidentes pruebas de la presente ó pasada existencia del calor. Nuestra Luna, según hemos dicho ya, nos ofrece el notable ejemplo de un cuerpo en que alguna vez debió haber mucho calor, y los extraordinarios volcanes de su superficie desvanecen toda duda sobre este punto. También es positivo que esos volcanes han permanecido silenciosos durante siglos; de modo que, cualquiera que sea la condición interior de la Luna, su superficie se ha enfriado ya. Si fijamos más allá nuestras miradas vemos en los grandes planetas Júpiter y Saturno pruebas evidentes de que aun existe en ellos una temperatura mucho más alta que la de nuestra Tierra; y si nos fijamos en el Sol vemos un cuerpo en estado de brillante incandescencia, á cuyo fulgor no llega, ni con mucho, el de nuestros más grandiosos hornos. Las diversas estrellas fijas son cuerpos que lucen con calor, como nuestro Sol; mientras que en las nébulas tenemos objetos cuya existencia apenas se comprendería sin admitir que tienen un vasto centro de calor.

De este rápido examen de los diferentes cuerpos de nuestro Universo dedúcese un hecho evidente: podemos abrigar grandes dudas en cuanto á la temperatura presente de cualquier cuerpo individual del sistema, pero no se puede dudar que existe entre ellos una vasta escala de temperatura, habiendo en unos más calor que en otros. En las estrellas y los soles es tal vez donde se encuentra más; pero no es improbable que les aventajen por su infinito número los cuerpos fríos y oscuros del Universo, tan invisibles para nosotros que sólo la casualidad nos indica indirectamente su existencia.

La ley del enfriamiento nos dice que todos los cuerpos irradian calor, y que la cantidad de éste que irradian aumenta cuando la temperatura del cuerpo aumenta también respecto al medio que le rodea. Esta ley parece ser universal: rige en la Tierra, y al parecer debe regir también en todos los demás cuerpos del espacio; y así vemos que cada uno de los planetas y de las estrellas emite de continuo en todas direcciones una corriente de calor incesante.

La irradiación de este último produce muy importantes consecuencias, y las estudiaremos, por ejemplo, en el caso del Sol. Ese inmenso globo luminoso emite una poderosa corriente de calórico radiante en todas direcciones. Una diminuta fracción de ella es interceptada por nuestra Tierra, y constituye de una manera directa é indirecta el origen de toda vida y casi de todo movimiento en nuestro globo. Para emitir calor como el Sol lo hace es necesario que su temperatura sea enormemente elevada, y hay algunos hechos que nos permiten apreciar qué grado alcanzará ahora.

Todos conocen el uso del cristal ó vidrio ustorio, con el que se pueden condensar los rayos del Sol en un foco y producir la incandescencia ó prender fuego á los objetos. Se han construido grandes cristales de esta especie en cuyo foco se obtuvo una temperatura extraordinaria; pero se puede probar que la de ese foco no puede ser mayor ni igualar siquiera á la del origen del calor mismo. La temperatura del foco del cristal ustorio es la misma que la de un punto colocado á tal distancia del Sol que el disco del astro parecería tener las dimensiones del lente visto desde su propio foco. El mayor cristal ustorio que jamás se construyó trasporta virtualmente un objeto en su foco á unas 25,000 millas de la superficie del Sol, ó, en otros términos, á una distancia de  $\frac{1}{400}$  parte de su presente cantidad. En este foco se observó que las sustancias más refractarias, ágata, cornelina, platino y hasta el mismo diamante, se fundían y hasta disipábanse en vapor, no pudiendo dudarse, por lo tanto, que, si el Sol se acercara á nosotros tanto como la Luna; la tierra sólida se derretiría como la cera.

Difícil es calcular numéricamente la actual temperatura del Sol. Su intensidad excede por mucho al mayor calor artificial, y tratar de expresarla por cifras es muy aventurado; pero, considerando que la más alta temperatura artificial puede ser de 4,000° Fahr., estaremos probablemente en lo cierto al decir que la del Sol será de 18,000° Fahr. Esto es muy inferior á muchos de los cálculos que se han hecho. Secchi, por ejemplo, apreció la temperatura del Sol en cerca de mil veces más de lo que nosotros suponemos.

La abundante corriente de calor del Sol corresponde á su enorme temperatura. Podríamos expresar el grado de calor de varios modos; pero debe recordarse que las medidas tomadas son muy inseguras, como lo demuestra el antiguo método empleado, que consistía en apreciar la fuerza del calor por el hierro derretido. Calcúlase que una capa de éste de 43  $\frac{1}{2}$  pies de grueso, que rodeara todo el Sol, quedaría derretida en un minuto

por el calor del astro, situado debajo. Herschel presentó un ejemplo mejor demostrando que si un glaciador cilíndrico de 45 millas de diámetro se deslizara continuamente por el Sol con la velocidad de la luz, su extremidad quedaría fundida con la misma rapidez que avanzase. De cada pie cuadrado de la superficie del Sol emana una cantidad de calor tan considerable como el que pudiera producir la combustión diaria de 16 toneladas de carbón. Esta es, á la verdad, una cantidad de calor que, debidamente aplicada al trabajo, haría funcionar una máquina de muchos centenares de caballos de fuerza durante todo un año. El calor irradiado de unos pocos acres del Sol bastaría para poner en movimiento todas las máquinas de vapor uel mundo. Cuando se reflexiona sobre la inmensa intensidad de la irradiación de cada pie cuadrado de la superficie del Sol, y se combinan con esto las gigantescas dimensiones del astro, la imaginación no alcanza cuán inmenso debe ser el gasto de calor.

En cierto modo, la enorme intensidad de la irradiación de cada unidad de la superficie del Sol es una consecuencia de su volumen. Imagínense por un momento dos soles, uno de los cuales tuviera doble diámetro que el otro. Si estos dos soles fuesen de análoga constitución, sus depósitos podrían considerarse como proporcionales á sus volúmenes, y el más grande pronto tendría así un centro de calor ocho veces más considerable que el pequeño. Pero la proporción de las superficies de ambos soles no es más que la de cuatro á uno, de lo cual se sigue que, cuando se hubieran enfriado, la del grande habría emitido por cada unidad de área dos veces más calor que la del pequeño. Para buscar el contraste supongamos que se compara nuestro Sol con otro ficticio no mayor que la Tierra. Si los dos partiesen bajo iguales circunstancias, antes de haberse enfriado hasta tener la misma temperatura, cada pie cuadrado de la superficie del Sol transmitiría cerca de cien veces más calor que el mismo espacio de la superficie de la Tierra.

En presencia de este hecho haríamos una pregunta que tiene el más vital interés para la Tierra y sus habitantes. Vivimos de hora en hora por la prodigalidad del Sol, que nos dispensa generosamente su calor, y, por lo tanto, es importante para nosotros saber qué seguridad tenemos de seguir recibiendo sus favores. Al ver el inmenso gasto de calor cada hora, natural es preguntarnos si no llegará el día en que el Sol agote sus recursos, y, en tal caso, ¿cuál sería el porvenir? Se puede contestar en parte á esta pregunta, y añadiremos que el asunto es del mayor interés y propio para el espíritu investigador de la ciencia moderna.

Para examinar la cuestión debemos apelar, ante todo, á los hechos que están á nuestro alcance, averiguando si el Sol presenta síntomas de decadencia. ¿Son ahora los días tan calurosos y brillantes como lo eran hace diez años ó un siglo? No encontramos prueba alguna de ello en los hechos auténticos recordados hasta aquí. Si el calor del Sol hubiera cambiado perceptiblemente en los últimos dos mil años, deberíamos encontrar alte-

raciones correspondientes en la distribución de plantas y animales; pero no se han reconocido hasta aquí. No hay razón para creer que el clima de la antigua Grecia ó de la primitiva Roma fuese apreciablemente distinto de los climas de las ciudades de hoy día. La vid y el olivo crecen ahora en los mismos puntos en que se conocieron dos mil años hace.

Sin embargo, no debemos apoyarnos demasiado en este argumento, pues los efectos de ligeros cambios en el calor solar pueden haberse neutralizado por adaptaciones correspondientes en los flexibles organismos de las plantas cultivadas. Todo lo que podemos deducir con certeza es que no ha ocurrido ningún cambio notable en el calor del Sol durante los tiempos históricos; pero si nos remontamos á las primeras edades vemos las más evidentes pruebas de que la Tierra ha sufrido grandes cambios en el clima. En este punto no se pueden interpretar equivocadamente los datos geológicos, y es curioso notar que esos cambios no son apenas los que podrían resultar del gradual agotamiento de la radiación del Sol. Es evidente que en los primeros tiempos el clima de la Tierra debió ser mucho más caluroso que ahora, y sin duda en el gran período carbonífero la temperatura fué siempre tropical en las latitudes árticas; mas apenas podemos considerar esto como una prueba de que el Sol fuese entonces mucho más poderoso, pues al punto recordamos el período glacial, en el que nuestras zonas templadas quedaron envueltas por masas de hielo sólido. Si suponemos que el Sol ha sido más caliente que ahora para producir la vegetación que dió el carbón, también se debe creer que fué más frío que en la actualidad para explicarnos el período glacial. No es razonable atribuir semejante fenómeno á tales oscilaciones en la irradiación del Sol. Esa época nos prueba que no podemos apelar á la geología en apoyo de la opinión de que ahora se produce un enfriamiento secular del Sol. Las variaciones geológicas del clima pueden haber sido ocasionadas por cambios en la Tierra misma, en la posición de su eje y en su órbita actual; pero, sea cual fuere la causa, poco nos dicen respecto á la pasada historia del Sol.

El calor del astro se ha producido durante innumerables edades; pero no podemos creer que el Sol tenga la facultad de crearle, y hasta es preciso aplicar á su majestuosa masa las mismas leyes que hemos hallado por nuestras experiencias en la Tierra. Es preciso preguntar de dónde viene el suficiente calor para suplir la inmensa cantidad que se emite. Reseñemos brevemente las diversas suposiciones que se han hecho.

Imagínese que se han colocado una junto á otra dos esferas de hierro candente, una grande y una pequeña. Ambas tenían el mismo grado de calor y comienzan á enfriarse; pero la pequeña con más rapidez, pues muy pronto se oscurece, mientras que la grande sigue brillando durante algunos minutos. Cuanto mayor sea la esfera, más tiempo necesitará para enfriarse, y hé aquí por qué se ha supuesto que una tan poderosa como nuestro Sol y de tan enormes dimensiones, una vez calentada, se enfriaría gradualmente; pero necesitaría para ello tanto tiempo que durante miles y

millones de años seguiría siendo fuente de luz y de calor para el sistema planetario. La aritmética basta para refutar esta suposición. Si el Sol no tuviera más origen de calor que el indicado por su elevada temperatura, podríamos demostrar que la irradiación enfriaría el Sol en algunos grados todos los años, de modo que al cabo de dos mil se observaría una gran disminución en el calor del Sol. Estamos seguros de que no se ha efectuado semejante disminución. El origen de la irradiación del Sol no puede hallarse en el mero enfriamiento de una masa incandescente.

¿Podrán los fuegos del Sol conservarse por combustión análoga á la que se efectúa en nuestros hornos? En esto tendríamos, al parecer, una explicación del enorme calor; pero la aritmética rebate también semejante hipótesis. Sabemos que si el Sol se compusiera de carbón sólido y que si éste se quemara en oxígeno puro, el calor que se podría producir sólo bastaría para 6,000 años. Si el Sol que alumbró á los constructores de la gran pirámide hubiera sido carbón sólido desde la superficie al centro, se habría quemado ya en gran parte para dar el calor que produce. Debemos, pues, buscar otras causas para el origen de ese agente, puesto que ni el calor de la incandescencia ni el de la combustión nos bastan para explicarle.

Probablemente hay, y esto es casi seguro, un agente externo que comunica calor al Sol, aunque sin duda parecerá un auxiliar de poca importancia relativa. El calor solar, según dicen, aumenta algunas veces por la caída de masas de materia meteórica en su superficie; masas que indudablemente producirían dicho efecto si el astro las recibe. Tenemos en la Tierra un buen ejemplo que nos demuestra el desarrollo del calor por la materia meteórica. Hay todo un mundo de filosofía en una estrella fugaz. Algunos de esos diminutos cuerpos precipítanse en nuestra atmósfera y se pierden, y sin duda otros van á caer en el Sol con el mismo resultado. También admitimos que el descenso de una de esas estrellas en la atmósfera del Sol debe ir acompañada de una llama de luz y calor. Este último es del todo insensible para la Tierra cuando lo adquiere por la caída de semejantes cuerpos; pero se ha supuesto que para el Sol es muy marcado por esa causa, y hasta imagínase que el astro se vigoriza de este modo.

Aquí debemos aplicar de nuevo los fríos principios de pesas y medidas para apreciar semejante indicación, calculando ante todo el peso de la materia meteórica que sería propia para mantener el actual vigor del Sol: la masa necesaria para esto es tan enorme que no podemos expresarla bien por los pesos comunes, siendo preciso apelar á las masas de imponente magnitud. Afortunadamente tenemos la de nuestra luna, que será la unidad más propia. Imagínese que su inmenso globo, de 2,000 millas de diámetro, se rompiera en miles de fragmentos, y que éstos cayeran en el Sol. Si esto sucediera, es indudable que esa tremenda lluvia meteórica comunicaría al astro luminoso más calor del que sería menester para asegurar su irradiación durante todo un año. Si suponemos nuestra Tierra reducida á

polvo, y que se dejara caer éste en el Sol en forma de lluvia, cada fragmento comunicaría al punto una cantidad de calor, y el todo contribuiría á que el del Sol pudiera conservar el mismo grado de irradiación cerca de cien años. La poderosa masa de Júpiter, tratada del mismo modo, produciría un calor mucho mayor aún, en proporción al exceso de su masa sobre la de la Tierra. Si el planeta cayera en el Sol, resultaría suficiente calor para abrasar el sistema, y todos los planetas serían capaces de producir ese agente en tal cantidad que, debidamente economizado, conservaría la irradiación del Sol durante 45,000 años.

Aquí tenemos, pues, un origen plausible para explicar el calor del Sol; pero debe recordarse que, si bien la Luna podría comunicarle para un año, y Júpiter para 30,000, la cuestión práctica no está en determinar si el sistema puede proporcionar el calor del Sol, sino saber de dónde le toma. ¿Es probable que todos los años caiga en el Sol una masa de meteoros igual á la de la Luna? Este es el punto que se debe discutir, y yo creo que se puede contestar negativamente. Demostraríamos que la cantidad de meteoros que el Sol sería susceptible de recoger en cualquier año no pasaría de una fracción sumamente diminuta del total de ellos; y si un número de esos cuerpos, cuyo peso equivaliese al de la Luna, fuera recogido todos los años, habría una masa increíble de materia meteórica corriendo por todo el sistema. La Tierra quedaría sembrada de ellos, y se calentaría de tal modo que dejaría de ser habitable. También hay otras razones por las cuales se podría suponer que en la inmediación del Sol existe una enorme cantidad meteórica, la cual produciría un efecto muy apreciable en el movimiento del planeta Mercurio, en el cual se observan algunas irregularidades no bien explicadas aún, aunque no tan ostensibles como lo serían si la materia meteórica existiera en suficiente cantidad para mantener el Sol.

Ha sido uno de los mayores triunfos de la ciencia moderna resolver el problema, demostrando cómo es que, á pesar de su inmensa irradiación, el Sol conserva todavía su temperatura. La cuestión no deja de ser difícil de explicar; pero el asunto tiene tal importancia que procuraremos hacerlo.

Imaginemos un vasto globo de gas calentado en el espacio, lo cual no es una suposición del todo gratuita, puesto que hay globos aparentemente de este carácter, como son las nebulosas planetarias. Este globo irradiará calor, y supondremos que emite más del que recibe de la irradiación de otros cuerpos. En su consecuencia perderá poco á poco; pero no sería exacto suponer que su temperatura ha de bajar necesariamente. Á decir verdad, á primera vista parece un resultado casi paradójico; pero podemos demostrar muy pronto que es una consecuencia necesaria de las leyes del calor y de los gases.

Fijemos nuestra atención en una parte del gas que hay en la superficie del globo. Este gas, por supuesto, es atraído por todo el recto de la Tierra, y así tiende á acumularse en el centro. Si el equilibrio subsiste, esa tenden-

cia se debe neutralizar por la presión que hay debajo; de modo que cuanto mayor sea la gravedad más grande será la presión. Cuando el globo gaseoso pierde calórico por irradiación, supongamos que se enfría más y que su temperatura baja en consecuencia. Entonces, puesto que la presión del gas disminuye cuando la temperatura desciende, la presión que hay debajo de la capa superficial de gas decrecerá, sin que la gravedad se altere, resultando inevitablemente que la última se apoderará de la presión y el globo de gas se contraerá. Sin embargo, hay otra manera de considerar el asunto: sabemos que calor es equivalente á energía; de modo que cuando el globo le emite debe gastar parte de aquélla. Una porción de la de todo el globo se deberá á su temperatura; pero otra, y por algunos conceptos la más importante, es la que proviene de la separación de sus partículas. Si dejamos que éstas se aproximen ó unan, disminuirémos la energía que resulta de la separación, y la energía libre puede tomar la forma de calor; pero la acumulación de las partículas lleva consigo necesariamente una contracción del globo, y así vemos que, mírese el asunto como se quiera, la irradiación de calor del globo debe ir acompañada de esa contracción.

Y ahora pasemos á la notable consecuencia que parece tener una muy importante aplicación en Astronomía. Á medida que el globo se contrae, una parte de su energía de separación se convierte en calor. Este último irradia en parte fuera, pero no tan rápidamente como se produce por la contracción, siendo la consecuencia que, aunque el globo pierde calor realmente y se contrae, su temperatura se eleva. Un simple caso bastará para demostrar este resultado, paradójico á primera vista. Supongamos que por la contracción de la esfera hubiera disminuído una mitad de su diámetro, y fijemos nuestra atención en una pulgada cúbica de la materia gaseosa en cualquier punto de su masa. Después de haberse verificado la contracción, cada lado del cubo se reduciría á media pulgada, y el volumen quedaría limitado, en consecuencia, á una octava parte del total primitivo. La ley de los gases nos dice que, si la temperatura no se altera, la presión varía en razón inversa al volumen, y de consiguiente la presión interna en el cubo aumentará ocho veces. Sin embargo, como la distancia entre cada dos partículas se reduce á una mitad, resultará de aquí que la gravedad entre esas dos partículas aumentará cuatro veces, y como el área se limita también á una cuarta parte, tendremos que la presión dentro del cubo reducido aumenta diez y seis veces; pero ya hemos visto que con una temperatura constante sólo acrece ocho, y por lo tanto ésta debe elevarse con la contracción.

Así obtenemos el resultado algo asombroso de un globo de gas que irradia calor en el espacio, y que, disminuyendo por esto de volumen, adquiere más elevada temperatura; pero debe añadirse que esto no puede suceder así siempre. ¿Debemos suponer que la masa gaseosa seguirá contrayéndose cada vez más, con una temperatura siempre más ardiente, y que irradiará de continuo mayor calor cuanto más pierde? ¿Dónde estará el límite

de semejante procedimiento? Á medida que el cuerpo se contrae, su densidad debe aumentar, hasta que se convierta en líquido ó sólido, ó de un modo ú otro deje de obedecer á las leyes del cuerpo puramente gaseoso que hemos supuesto. Y, cuando estas leyes cesen de observarse, el argumento desaparece: la pérdida de calor puede ir entonces realmente acompañada de pérdida de temperatura, hasta que, en el trascurso del tiempo, el cuerpo no tenga ya más que la del espacio mismo.

No pretendemos que se puede aplicar este razonamiento en su totalidad al presente estado del Sol. La densidad del astro es ahora tan considerable que allí no se pueden observar estrictamente las leyes de los gases; pero hay buenas razones para creer que el Sol fué en algún tiempo más gaseoso que ahora, y es posible que lo fuese lo bastante para que se admita nuestro razonamiento en toda su extensión. Ahora el Sol parece estar en el período intermedio de su progreso desde el estado gaseoso al sólido. No podemos decir, por lo tanto, que la temperatura del Sol aumenta ahora en correspondencia con el procedimiento de contracción. Esto puede ó no ser verdad: carecemos de medios para resolver este punto; pero, sí, estamos convencidos de que el Sol se conserva aún bastante gaseoso para experimentar en cierto grado la elevación de la temperatura asociada con la contracción. Es evidente que el enfriamiento del Sol se debe aplazar enormemente si el descenso de temperatura por una causa se compensa casi por su elevación por otra, y apenas se puede dudar que en esto no haya la verdadera explicación del hecho, no teniendo ninguna prueba histórica de cualquiera alteración apreciable en la radiación del calor del Sol.

Esta cuestión tiene tal interés que valdría la pena considerarla aún bajo otro punto de vista. El Sol contiene cierta energía, y parte de ella desaparece continuamente bajo la forma de calórico radiante, mientras que la que se conserva en el astro cambia de carácter, trasformándose una porción en calor, que del todo ó en parte suple la pérdida por radiación. La energía total del Sol, sin embargo, debe estar disminuyendo, y por lo tanto parecería que ha de llegar algún tiempo en que se agote, dejando de ser una fuente de luz y de calor, por más que se contraiga con mucha lentitud. No es posible medir con seguridad la disminución en el volumen del Sol, pues resultaría una cifra tan diminuta que la contracción desde el tiempo en que la Astronomía comenzó á ser exacta no sería perceptible con nuestros telescopios. Sin embargo, se puede calcular cuál ha de ser la contracción del astro suponiendo que la energía perdida por aquella basta para suplir la radiación diaria de calor. El cambio es muy pequeño si tenemos en cuenta el actual volumen del Sol: hoy día su diámetro es de unas 860,000 millas, y, si cada año disminuye en unos 220 pies, se gastará suficiente energía para explicar la radiación completa. Esta disminución gradual progresa siempre.

Las observaciones expuestas tienen mucho interés si las aplicamos retrospectivamente. Si es cierto que el Sol se contrae ahora, en los tiempos

pasados su globo debió ser mucho más grande que hoy día; y, aceptando las cifras dadas, síguese que hace un siglo el diámetro del astro tendría 4 millas más que hoy día; mil hace, su diámetro sería 40 millas mayor, y 400 más grande si nos remontamos diez mil años. Cuando el hombre pisó por primera vez la Tierra, el astro luminoso debía contar muchos centenares, ó tal vez miles, de millas más que en la época presente.

Sin embargo, no debemos exagerar la significación de este aserto. El diámetro del Sol es tan grande que una disminución de 10,000 millas sería poco más que la centésima parte de su diámetro, y, si se contrajera de pronto en esa extensión, el cambio no sería apreciable para la observación ordinaria. No se sigue aquí necesariamente que los climas de la tierra en aquellos primeros tiempos fueran muy diferentes de los que tenemos hoy día, pues la cuestión de clima depende de otras cosas además de los rayos solares.

No es necesario fijar nuestro examen retrospectivo en ninguna época más ó menos lejana. Podemos remontarnos á través de las edades y llegar hasta aquellas primitivas épocas en que la vida comenzó á manifestarse en la Tierra; pero aun así no hallaremos motivos para pensar que no se mantiene la ley sobre la disminución del calor del Sol, y hé aquí por qué nuestros presentes conocimientos nos inducen á suponer que el astro es cada vez mayor cuanto más retrocedemos en el pasado. Si el presente estado de cosas en nuestro Universo ha tenido suficiente duración, parecería que hubo un tiempo en que el Sol debió ser dos ó diez veces mayor que ahora, y si pudiéramos retroceder á las primeras edades veríamos el astro dilatarse más y más, con una correspondiente disminución en su densidad, hasta encontrar al fin, en vez del Sol que ahora conocemos, una poderosa nebulosa llenando una gigantesca región del espacio.

Tal es, en resumen, la doctrina sobre el origen de nuestro sistema que se ha sentado en la llamada *teoría nebular*, y que no puede ser sino una hipótesis, pues no es posible determinarla por la observación ni se puede demostrar por el cálculo. No es sino una conjetura más ó menos plausible, aunque tal vez necesariamente verdadera, si las leyes del calor, tal como las comprendemos, admiten la aplicación extrema requerida, y también si el actual orden de cosas ha regido tiempo suficiente sin la intervención de ninguna influencia desconocida de nosotros. La teoría nebular no se limita á la historia de nuestro Sol, y precisamente análogo razonamiento se puede aplicar á los planetas individuales: cuanto más retrocedemos en el pasado, más y más calor se halla en el sistema; y hasta se ha creído que si pudiéramos remontarnos lo bastante encontraríamos la Tierra demasiado calurosa para vivir, y, en una época excesivamente remota, aquélla y los planetas candentes, ó caldeados éstos tanto como nuestro Sol ahora. Se cree que en el sistema solar era en el primer período una inmensa masa de gas brillante, de la cual se originaron las presentes formas del Sol, de sus planetas y satélites. No podemos estar seguros de que tal haya sido la

marcha de las cosas; pero hay motivos para creer que esta doctrina representa lo que ha ocurrido.

Muchos caracteres del sistema solar convienen con la suposición de que el origen del sistema fué el indicado por la teoría nebular, y ya hemos aludido antes al hecho de que todos los planetas efectúan sus revoluciones alrededor del Sol en el mismo sentido. Se ha de observar también que la rotación de los mismos sobre sus ejes, así como los movimientos de los satélites alrededor de sus primarios, siguen todos igual ley, con una ligera excepción en el caso del sistema uraníano. Tan notable coincidencia supone la necesidad de alguna explicación física, y ésta la tenemos en la teoría nebular. Supongamos que en el más remoto período una vasta nebulosa, verificando su lenta rotación, se contraía poco á poco. Durante este proceso varias porciones de la materia condensada de la nebulosa quedarían detrás, haciendo aún su revolución alrededor de la masa central, y cada una de ellas efectuaría su rotación sobre su eje en el mismo sentido. A medida que la contracción progresase, la velocidad de aquélla aumentaría, según los principios dinámicos, y de este modo aquellas porciones se consolidarían al fin en planetas, mientras que la masa central se contraería gradualmente para formar el Sol. Por un proceso análogo, aunque en menor escala, los sistemas de satélites se originaron de la contracción primaria. Estos satélites harían su revolución en el mismo sentido también, y así podrían explicarse las formas características del sistema solar.

El origen nebular de este sistema se demuestra mucho por el estudio del cielo sideral. Ya hemos hablado de la semejanza entre el Sol y las estrellas, y, de consiguiente, si nuestro Sol ha sufrido los cambios que la teoría nebular requiere, ¿no podríamos suponer que se observarían análogos fenómenos en las demás estrellas? En tal caso es razonable deducir que la evolución de algunas de éstas puede no haber progresado tanto como la del Sol, y así tal vez veamos ahora estrellas en las primeras fases de su desarrollo. Sepamos ahora lo que el telescopio nos dice sobre este punto.

El campo visual del instrumento, si es grande, nos permite ver cierto número de estrellas diseminadas en un fondo negro; pero este color no es uniforme, pues el ojo práctico distingue en algunas partes del cielo una luminosidad, visible á veces en toda la extensión del campo, ó en varios de ellos. Tal vez pasen años sin observarse ningún cambio perceptible. No hay ilusión, y de aquí se deduce irresistiblemente que el objeto es una estupenda masa de gas ó vapor un poco luminoso. Este es el tipo más simple de la nebulosa, y parece compuesta de la materia más tenue. Por otra parte, á veces se nos presenta el magnífico fenómeno de una estrella definida y brillante circuida de una atmósfera luminosa: entre los dos tipos extremos de una ligera masa difusa y una estrella rodeada de una nebulosa, Herschel creyó que podría haber una serie gradual de otras varias nébulas, y la percepción de esto le condujo á su teoría de la agregación sideral.

A Herschel le parecieron las nebulosas inmensas masas de vapor fosfo-

rescente que se enfría poco á poco y condénsase por fin en una estrella ó en un grupo de varias. Cuando se clasificaron las diversas formas de nebulosas, parecía que era dado reconocer los diferentes grados del proceso. En las más vastas y ligeras la condensación comenzaba apenas, en las pequeñas y brillantes hallábase más adelantada, y en las otras eran ya visibles la estrella ó estrellas resultantes de la condensación.

¿Cómo sabía esto Herschel, y cuál era la prueba? Contestaremos con un ejemplo: si se va á un bosque y se ve un añoso roble que ha resistido las tempestades durante siglos, nadie dudará que aquel árbol fué en otro tiempo pequeña planta y que ha crecido gradualmente hasta llegar á la madurez; y, sin embargo, nadie observó los diversos períodos de su crecimiento, porque la corta vida del hombre no basta para esto. Para creer que el roble ha pasado por diversos períodos de crecimiento nos fundamos en el hecho de haber visto muchos de estos árboles de distintas dimensiones, observando su gradación.

Por semejante razonamiento Herschel se explicó el origen de las estrellas que hemos tratado de describir. La vida del astrónomo no es suficiente, y acaso tampoco la de la raza humana, para observar el procedimiento por el cual la nebulosa forma un cuerpo sólido; pero, observando una después de otra, el astrónomo se cree capaz de reconocer los diversos grados que relacionan la nebulosa en su primitiva forma con la que tiene al fin. De este modo ha llegado á creer que cada una de las nébulas pasa, en el trascurso de las edades, por esos períodos, y así Herschel adoptó la opinión de que las estrellas, algunas, muchas ó todas, provienen de lo que fué en un tiempo nébula brillante.

Semejante hipótesis puede cautivar la imaginación, pero debe distinguirse cuidadosamente de las verdades astronómicas. Tal vez la posteridad obtenga evidencias sobre el asunto, inaccesible para nosotros, pues nuestro conocimiento de las nébulas es demasiado reciente; pues su estudio data solamente de 1771, y aun no se ha tenido bastante tiempo para ver cambios apreciables.

Desde el tiempo de Herschel se han hecho, sin duda, cuidadosas observaciones sobre las nébulas; pero el intervalo es aun muy corto y las primeras que se practicaron son demasiado imperfectas. Si las nuestras se conservan, y si la raza humana sobrevive muchos siglos para hacer la comparación, tal vez se confirme satisfactoriamente la teoría de Herschel.



---

---

## CAPÍTULO XXVI

### LAS MAREAS (1)

Astronomía matemática.—Recapitulación sobre las primeras investigaciones.—Teorías de Lagrange.—El sistema solar no se compone de cuerpos rígidos.—Leyes de Kepler.—Los errores de la observación.—Fenómenos periódicos.—Las mareas.—Cómo se observaron.—Su relación con la Luna.—Mareas solares y lunares.—Su acción.—Las mareas aumentan la duración del día.—Límite de la brevedad del día.—Equilibrio inestable.—Proporción del mes con el día.—Futuro curso del sistema.—Igualdad del mes con el día.—La futura época crítica.—La faz constante de la Luna.—El otro lado del astro.—Los satélites de Marte.—Sus notables movimientos.—¿Han influido las mareas para dar forma al sistema solar en general?—No han producido efecto apreciable en la órbita de Júpiter.—Conclusión.

EN diversas partes de esta obra ha sido necesario detallar los métodos de investigación que han conducido á los astrónomos á los descubrimientos por los cuales la Astronomía ha llegado á ser un ramo de la ciencia. En este capítulo daremos á conocer otro moderno desarrollo más notable de la investigación astronómica, que nos ha permitido penetrar hasta cierto punto los secretos de la Naturaleza en regiones completamente cerradas á todos los demás métodos de investigación. Ese moderno desarrollo se basa del todo en las matemáticas, que han precedido de hecho á la observación.

Para apreciar la importancia de esas recientes investigaciones bueno será recordar la base en que reposaban los problemas de la astronomía gravitacional antes de tomar otro punto de vista. Podemos ilustrar este punto mejor tomando un ejemplo de nuestro sistema solar, recapitulando la historia de nuestro conocimiento sobre la revolución de los planetas alrededor del Sol. En primer lugar tenemos la teoría de Copérnico, por la cual se demostró que los planetas giran alrededor del Sol. La siguiente gran época es la del famoso descubrimiento de Kepler demostrando que

---

(1) La teoría de la evolución mareal explanada en este capítulo es debida principalmente á las investigaciones del profesor G. H. Darwin, de la Sociedad Real.

la órbita de cada planeta era un elipse, con el Sol en el foco. La tercera es aquella en que Newton descubrió la gravitación, haciendo ver que el movimiento de cada planeta en un elipse era consecuencia de la ley de la gravitación universal; y otro paso nos conduce, en fin, á los grandes matemáticos franceses de fines de siglo. Por estas investigaciones pareció que la teoría de la gravitación se completaba. Se demostró que, si los planetas se perturban mutuamente, el efecto producido debe ser siempre ligero, y que la excentricidad de la elipse que cada planeta describía no era constante. También se descubrió que esa excentricidad cambiaba siempre, si bien limitándose á muy reducidos límites. Igualmente se demostró que las órbitas de los planetas se inclinaban entre sí en ángulos que variaban siempre; pero estos cambios son puramente oscilaciones, pues aquellos fluctúan de continuo por un valor mínimo, del cual no se separan á una distancia considerable. Todos esos movimientos son periódicos, como el del planeta mismo, y, después de oscilar en escasos límites durante innumerables años, el sistema volvería casi á su primitiva posición, para partir de nuevo en una serie de oscilaciones que duran innumerables edades.

Estos sublimes descubrimientos se consideraron como el triunfo más completo de la astronomía gravitacional, y las investigaciones que á ellos condujeron dieron lugar á que los matemáticos fijaran su atención en las aparentes irregularidades del movimiento de los cuerpos celestes, lo cual exigía una explicación. Así, las observaciones se adelantaban siempre á la teoría; pero cuando al fin ésta dió alcance á los resultados de aquéllas, supúsose naturalmente que la teoría era perfecta, aunque ciertamente quedaban sin explicar algunas ligeras dificultades. Los hombres pensaron, y á menudo con verdad, que estas eran insignificantes imperfecciones que desaparecerían por un examen más detenido, y así dedujeron que la astronomía gravitacional era perfecta en su base, siendo fáciles de despejar ciertas pequeñas discrepancias.

Deslumbrados por tan brillantes descubrimientos, los astrónomos teóricos habían hecho poco durante muchos años; mas al fin despertaron y dieron otro gran paso, siendo curioso notar cuál fué el origen de estas modernas investigaciones. Se necesitó la energía de Laplace para explicar las prolongadas irregularidades de Júpiter y Saturno, el genio de un Adams ó un Le Verrier se puso en evidencia por las inexplicadas perturbaciones de Urano, y en tales circunstancias practicáronse los trabajos teóricos con la esperanza de conciliar las diferencias entre la teoría y la observación. No hay ahora notoria discrepancia ó irregularidad que pueda ser una censura para la Astronomía mientras explique. La teoría sobre la cual deseamos llamar aquí la atención se adelanta del todo, ó casi del todo, á la observación astronómica.

Que los grandes descubrimientos de Lagrange sobre la estabilidad del sistema planetario son correctos es, en cierto sentido, verdad absoluta. Dado ese sistema en la forma en que Lagrange le presentó, su estabilidad está

asegurada por algún tiempo; pero Lagrange hace una suposición en la cual se funda toda su teoría: que los planetas son cuerpos rígidos.

Ciertamente que la Tierra parece serlo. ¿Qué puede haber más sólido y resistente que la masa de rocas y metales que forma la Tierra, en cuanto es accesible para nosotros? En las extensas regiones del espacio nuestro planeta no es más que una partícula, y fué una hipótesis legítima suponer que esa partícula era un cuerpo rígido. Si todas las partículas que componen la Tierra se hallaran á distancia fija una de otra y aquélla fuese rígida, y si por ninguna fuerza ni en circunstancia alguna pudiese la Tierra experimentar el menor cambio de forma, pudiéndose decir lo mismo del Sol y de los demás planetas, la predicción de Lagrange respecto á la eterna duración de nuestro sistema deberá cumplirse.

Pero ¿es la Tierra verdaderamente rígida? Por las experiencias sabemos que, en el sentido matemático de la palabra, no existe un cuerpo rígido: las rocas no lo son, el acero tampoco, y ni aun el diamante lo es del todo. La Tierra dista de serlo, ni aun en la superficie, mientras que en el interior es tal vez más ó menos fluida, y, por lo tanto, no se le puede llamar cuerpo rígido, y mucho menos aún los otros más grandes de nuestro sistema. Apenas son Júpiter y Saturno lo que pudiera llamarse cuerpos sólidos. El sistema solar de Lagrange se componía de un sol rígido que no lo es en sentido alguno, y de planetas que sólo lo eran en parte.

La cuestión se reduce, pues, á saber si los descubrimientos de los grandes matemáticos del último siglo son aplicables, no solamente al sistema solar ideal que concibieron, sino al sistema solar presente. No cabe duda que esos descubrimientos son aproximadamente verdad, y que se hallan tan cerca de serlo en absoluto que la observación no ha demostrado aún satisfactoriamente nada en contra de ellos.

Pero en el presente estado de la ciencia no pueden pasar inadvertidas las importantes cuestiones que surgen cuando se trata de cuerpos no rígidos en el sentido matemático. Tomemos, por ejemplo, la gran ley de Kepler, según la que un planeta hace su revolución siempre en un paso elíptico que tiene el Sol por uno de sus focos. Esto se confirma por la observación actual; pero, si examinamos la materia con un poco más de precisión, veremos que lo que Newton demostró realmente era que, si dos partículas *rígidas* se atraen entre sí por una ley de fuerza que varía con el cuadrado inverso de la distancia entre las partículas, entonces cada una de éstas describirá una elipse con el centro común de gravedad en el foco. La Tierra es rígida hasta cierto punto, y, por lo tanto, era natural suponer que este planeta y el Sol observarían hasta cierto punto la simple ley elíptica de Kepler. Y de hecho la observan tan fielmente que, si hacemos la compensación por otras causas de perturbación, nuestras más juiciosas observaciones no bastarían para reconocer una ligera variación en el movimiento de la Tierra resultante de una falta de rigidez.

Sin embargo, hay una sutileza en las investigaciones matemáticas que,

en este caso por lo menos, afecta á la más delicada observación que nuestros instrumentos nos permiten hacer. Los principios matemáticos nos dicen que, si bien las leyes de Kepler pueden ser verdad para los cuerpos rígidos en absoluto, sin embargo, si el Sol ó los planetas carecen del todo, ó en una pequeña parte, de perfecta rigidez, dichas leyes no pueden ser ya verdad. ¿No parece esto una contradicción? Las observaciones nos dicen que esas leyes son ciertas en el sistema planetario, y por la teoría vemos que no pueden serlo, porque los cuerpos de ese sistema no son del todo rígidos. ¿Cómo desaparecerá esta discrepancia, si es que la hay? No existe. Al decir que las leyes de Kepler se han reconocido como una verdad por la observación, debemos reflexionar sobre la naturaleza de las pruebas que se pueden obtener. Observamos con muchos instrumentos el lugar que ocupan los planetas, y se mide éste con ayuda de los relojes y de los círculos graduados. Estas observaciones son, sin duda, notablemente exactas; pero no pueden tener absoluta precisión en el sentido matemático de la palabra.

Cuando comparamos los resultados de la observación con los cálculos hechos bajo el supuesto de ser una verdad las leyes de Kepler, y cuando nos pronunciamos sobre la concordancia de las observaciones con los cálculos, siempre hay referencia más ó menos explícita á los inevitables errores de la observación. Y si ésta conviene tanto con el cálculo que la diferencia entre los dos es bastante ligera para producirse en los errores inseparables de las observaciones, entonces quedamos satisfechos, porque no se puede obtener más precisión. Ahora bien: la influencia que la falta de rigidez ejerce en el cumplimiento de las leyes de Kepler se puede apreciar por el cálculo. Hállase que es sumamente pequeña, y tanto que está contenida dentro del escaso error que puede afectar á las observaciones.

La gran ley de la gravitación universal se aplicó recientemente al descubrimiento astronómico en el sentido indicado, y por medio de ella podemos penetrar en el abismo del pasado, señalando hasta cierto punto los cambios que nuestro sistema ha sufrido. Trataremos de explicar un poco esas memorables investigaciones.

En la primavera del año, á la llegada de las aves que en tal estación nos visitan, las nuevas hojas que revisten los árboles y la gradual florecencia nos presentan de la manera más agradable el principio de periodicidad que tanto prevalece en la Naturaleza. Todos los fenómenos astronómicos que conocemos son periódicos: tenemos como simples ejemplos la salida y la puesta del Sol, los cambios de la luna y los de las estaciones; pero los astrónomos conocen otros muchos fenómenos periódicos. Tómese por ejemplo el gran ciclo que se verifica en la precesión de los equinoccios: el polo describe un majestuoso círculo en el cielo en un período de 26,000 años; pero aun este largo tiempo parece corto cuando se compara con el de otros fenómenos periódicos. Todos éstos tienen un gran carácter en común, y es que, al terminarse un ciclo, el estado de sistema es el mismo que al

principio. Para nuestro presente objeto los fenómenos de esta especie son inmateriales, y no el origen de los poderosos cambios que ahora llaman nuestra atención.

Hay algunos fenómenos astronómicos no periódicos. No aumentan para disminuir después con el ritmo de los más evidentes, y nos interesa examinar de cerca cualquier fenómeno de este carácter, porque son los verdaderos arquitectos del Universo.

Hay dos elementos para determinar el efecto que semejante causa puede producir: uno de ellos es la eficiencia de la causa misma, y el otro el tiempo durante el cual esa causa ha obrado. El último factor es susceptible de indefinido aumento, y, aunque la causa sea en extremo ligera, aunque el tiempo durante el cual obró sea en extremo considerable, el resultado obtenido puede ser de inmensa importancia. Nos proponemos explicar una de esas influencias que obran de continuo que han contribuido en algo á dar forma á nuestro sistema solar generalmente, y de una manera notable al desarrollo de la Tierra y de la Luna.

El argumento en que debemos basar nuestras investigaciones se funda en un fenómeno muy familiar. Todos cuantos han visitado la orilla del mar conocen bien esa subida y descenso de las aguas que llamamos marea: dos veces en cada veinticuatro horas aquéllas avanzan por la playa para producir lo que llaman el flujo, y otras tantas retroceden, dando lugar al reflujó. Estas mareas no se limitan á las costas, sino que penetran por espacio de varias millas por el curso de los ríos é inundan periódicamente grandes estuarios. En todo país marítimo las mareas tienen la mayor importancia práctica, y también una significación de carácter menos evidente, que nos proponemos investigar ahora.

Esas pulsaciones diarias del océano han dejado de ser un misterio hace largo tiempo. En las más remotas épocas se observó que había una relación entre las mareas y la Luna, y antiguos escritores, como Plinio y Aristóteles, se refirieron á la alianza entre los tiempos de las altas aguas y la edad de aquel astro. Algunas veces notamos á los antiguos astrónomos tanto crédito como se merecen. A todos se nos ha enseñado que la Luna y las mareas se relacionan; pero ¿cuántos podrán decir que han reconocido esa relación por medio de observaciones directas? El primero que en realidad estudió el asunto con la suficiente atención para convencerse y demostrarlo á los demás era un gran filósofo: no conocemos su nombre, ni su nación, ni la edad en que vivió; pero su descubrimiento es mucho más de admirar, porque no conocía la teoría de la gravitación para guiarse. El filósofo actual que no hubiese visto nunca el mar podría suponer la necesidad de la ley de las mareas como consecuencia de la ley de la gravitación universal; pero el de los tiempos primitivos, que no conocía el lazo invisible por el cual se unen todos los cuerpos del Universo, el descubrimiento por el cual averiguó la relación entre la luna y las mareas fué magnífico.

Podemos suponer que la observación de expertos navegantes condujo,

sin duda, á este descubrimiento, pues para el marino tiene siempre gran importancia el estado de la marea, y seguramente fijaría de continuo en ésta su atención y en cuanto con ella se refiere. Se observa invariablemente que, cuando hay plenilunio, la alta marea se produce siempre á la misma hora y en el mismo sitio, determinándose así la relación entre el uno y la otra; y el marino comparará, como es natural, las fases del astro con los tiempos de las altas aguas. El observador celoso notará mayor relación aún entre la Luna y las mareas, reconociendo que algunas de las altas se elevan más que las otras, mientras que varias de las bajas descienden más que de costumbre, lo cual tiene gran importancia práctica. Por los razonamientos á que dieron lugar estos fenómenos llegóse á reconocer, sin duda, en los tiempos primitivos, la relación entre la Luna y las mareas.

Sin embargo, hasta que el gran descubrimiento de Newton nos reveló la ley de la gravitación universal, no fué posible dar una explicación física de las mareas. Entonces se vió cómo la Luna atrae toda la Tierra y todas sus partículas, y cómo las fluidas, que forman los océanos en la Tierra, podían obedecer á la atracción de un modo que no era posible para las sólidas. Cuando la Luna está sobre nosotros saca el agua, como si dijéramos, y así produce la alta marea. El agua del lado opuesto de la Tierra aféctase también de una manera que podría no sospecharse al pronto. La Luna atrae el cuerpo sólido de la Tierra con mayor intensidad que el líquido en el otro lado, que se halla más distante de él. La Tierra es separada así del agua, que, de consiguiente, produce una alta marea, así en el lado de la Tierra que está distante de la Luna como el que se inclina hacia ella. Las mareas bajas ocupan las posiciones intermedias.

También el Sol promueve mareas en la Tierra; mas, á causa de la gran distancia á que se halla, la diferencia de su atracción sobre el mar y el interior sólido de la Tierra no es apreciable; de modo que las mareas solares no tienen la importancia de las lunares. Cuando las dos se combinan producen la marea de primavera, y, si son opuestas, la marea baja.

Sin embargo, se han de tener en cuenta muchas circunstancias cuando tratamos de aplicar este razonamiento general á las condiciones de un caso especial. Por efecto de particularidades locales, las mareas varían mucho en diversos puntos de la costa: en un área limitada como el Mediterráneo tienen un alcance comparativamente escaso, que fluctúa en diferentes sitios desde uno á pocos pies. En el océano medio, la subida y descenso de la marea no es considerable, pues no pasa, como por ejemplo en Santa Elena, de unos 3 pies. Cerca de las grandes masas continentales, las mareas se modifican mucho por las costas. En Londres la tenemos de 18 á 19 pies; pero las más notables en las Islas Británicas son las del canal de Bristol, donde hay una subida y descenso, durante las mareas de primavera, que alcanzan la altura de 37 ó 38 pies, y en las bajas de 28 ó 29. En otras partes del mundo exceden de esta magnitud: las mayores de

todas son las de la bahía de Fundy; en algunos de cuyos puntos las mareas de primavera no bajan de 50 pies.

Ya se comprenderá que este fenómeno va acompañado de formación de corrientes, bien conocidas por cierto, y de gran importancia en algunos de nuestros grandes ríos. Esas corrientes, así como cualquiera de otra especie, se pueden aprovechar para un trabajo útil. Es fácil, por ejemplo, recibir el agua que sube en un depósito, y, cuando la marea desciende, obligar á la que está encerrada á que haga funcionar una rueda antes de volver al mar. Aquí tenemos, á la verdad, un origen de fuerza; pero son muy raras las circunstancias en que sería económico servirse de las mareas para semejante objeto, y sin duda por esto no encontramos prácticamente máquinas movidas por las mareas; de modo que la fuerza de éstas se pierde, no menos que las del mismo Niágara. Sin embargo, los aspectos económicos del caso podrían alterarse mucho en alguna remota época, cuando nuestros depósitos de combustible, tan locamente gastado ahora, manifiesten señales de agotamiento.

Las mareas *trabajan* de una manera ú otra, como lo prueba el hecho de que en el estuario de un río arrastran á veces un banco de arena, conduciendo los materiales á otra parte. Esto prueba que hay trabajo y que se consume energía, y ya sabemos que el primero no es posible sin la segunda, en cualquiera de sus formas; pero ¿de dónde procede la energía que da fuerza á las mareas? A primera vista la contestación parece obvia, pues si la Luna ocasiona las mareas, como hemos dicho, claro está que esa energía debe provenir del astro. Esto parece evidente; mas, por desgracia, no es verdad. Tenemos aquí uno de esos casos, nada raros en la dinámica, en que la verdad dista mucho de lo que parece obvio, y lo aclararemos con un ejemplo. Cuando se dispara una carabina, el dedo del hombre es el que tira del gatillo; pero ¿diríamos que la energía por la cual se ha despedido el proyectil proviene del tirador? Ciertamente no, pues se debe á la pólvora, y todo lo que el hombre hizo se redujo á proporcionar los medios por los cuales se producía la fuerza encerrada en aquélla. Hasta cierto punto podemos comparar esto con el problema de las mareas: éstas, levantadas por la Luna, son la causa de origen por la que se produce cierta dosis de energía, la cual se aplica para verificar el trabajo que las mareas deben efectuar. Por extraño que parezca, esta energía no reside en la Luna, sino en la Tierra misma, y es muy notable que el astro obtenga energía de las mareas, absorbiendo de por sí alguna de la que existe en la Tierra. No damos esto como un resultado obvio: más bien dista mucho de serlo, pues depende de un refinado teorema dinámico.

Debemos comprender claramente la naturaleza de ese centro de energía de que las mareas toman su fuerza y del que la Luna toma incesantemente considerables porciones; mas veamos ahora en qué sentido la Tierra posee energía. Ya sabemos que nuestro planeta gira sobre su eje una vez cada día. Esta rotación es el origen de la energía, y podemos compararla con la

de la rueda volante de una máquina de vapor. Esta rotación es realmente un depósito del que aquélla toma energía á cada golpe de pistón. La Tierra se puede comparar con una gigante rueda volante desprendida de la máquina, aunque unida aún con las que hay en el molino. Por sus estupendas dimensiones y rápida velocidad esa gran rueda volante posee un enorme depósito de energía, y ésta debe gastarse antes de que aquélla quede en reposo. Hé aquí por qué, si bien las mareas son debidas á la Luna, la energía que requieren se obtiene tomándola del vasto depósito que tienen á mano en la rotación de la Tierra.

Pero hay una diferencia muy fundamental entre la Tierra y la rueda volante de la máquina. La energía que se toma de ésta y es consumida por las demás, sustitúyese continuamente con otra nueva, y así se mantiene la velocidad de la rueda; pero la Tierra no tiene máquina. Cuando las mareas toman energía y la consumen en su trabajo, no es reemplazada, y de aquí se deduce incontestablemente que la de la rotación de la Tierra debe estar disminuyendo. Esto nos conduce á una consecuencia de la mayor importancia: si se separase de la máquina la rueda volante, esta última, como ya sabemos, daría algunas vueltas aún, pero muy pronto quedaría inmóvil. Una cosa semejante se puede inferir respecto á la Tierra; pero su centro de energía es tan enorme en comparación de las porciones tomadas que puede resistir. Deben trascurrir siglos y siglos antes que la energía de la rotación de la Tierra se pueda agotar por completo con lo que las mareas son susceptibles de tomar; pero el hecho es que la energía decrece, y, por lo tanto, la celeridad de la rotación de la Tierra debe disminuir con seguridad lentamente. Ahora llegamos á una consecuencia que se puede expresar sencillamente: si la celeridad de la rotación disminuye, la duración del día debe aumentar, y esto nos conduce al importante hecho de que *las mareas aumentan la duración del día*.

El día de hoy es más largo que el de ayer, y el de mañana lo será más aún; pero la diferencia es tan pequeña que apenas se ha podido determinar marcadamente en el trascurso de las edades. No pretenderemos decir cuántos siglos han pasado desde que el día era tan sólo un segundo más corto que hoy; pero los siglos no son las unidades de que nos servimos en la evolución de las mareas. Es muy probable que hace un millón de años la diferencia de la duración del día, comparada con la que hoy tiene, fuera de mucha consideración. Penetremos en las profundidades de los tiempos pasados para ver lo que nos dicen las mareas. Si el presente orden de cosas ha sido duradero, hallaríamos el día más y más corto cuanto más retrocediéramos en las épocas anteriores. El día tiene ahora veinticuatro horas: en un tiempo fué de veinte, de once y hasta de seis. ¿Hasta dónde podemos llegar? Cuanto más corto es el día, más se agita la Tierra en el ecuador y mayor es el esfuerzo que imprime á los materiales de la Tierra centrífuga de su rotación. Si la Tierra girase demasiado aprisa no podría mantenerse unida y separaríase en pedazos, por lo cual podemos vislumbrar en el remo-

to pasado una barrera que se interpone al presente argumento. Hay cierta velocidad que es la mayor que la Tierra podría tener sin riesgo de ruptura; pero no se puede contestar fácilmente cuál es el grado exacto de esa velocidad, pues depende de la naturaleza de los materiales de la Tierra, de la temperatura, del efecto de presión y de otros detalles no bien conocidos de nosotros. Sin embargo, por un cálculo se ha demostrado que el más corto período de rotación que la Tierra podría tener sin volar en pedazos es de unas tres ó cuatro horas. La doctrina de la evolución de las mareas nos conduce, pues, á deducir que en alguna remota época inconcebible la Tierra giraba alrededor de su eje en un período de tres ó cuatro horas próximamente.

Debemos, pues, á la Luna la prolongación gradual del día desde su primitivo valor hasta el de veinticuatro horas. Obedeciendo á una de las más profundas leyes de la Naturaleza, la Tierra ha ejercido reacción sobre la Luna, y esta reacción ha tomado una forma tangible, consistiendo simplemente en alejar poco á poco la Luna de la Tierra. Creeríase que esta última busca represalias.—Levantas mareas sobre mí,—dice la Tierra,—y yo no quiero que me molesten, por lo cual te rechazo poco á poco. Si dejas de hacerlo, yo no te alejaré y podremos girar una alrededor de la otra uniformemente y para siempre.—La consecuencia de la retirada de la Luna es harto notable: el paso en que el astro efectúa su revolución tiene ahora un radio de 240,000 millas, y este radio debe aumentar de continuo á causa de las mareas. Consignado este hecho, veamos la historia pasada de la Luna. Así como su distancia aumenta para el futuro, disminuye para los tiempos anteriores. El astro debe haber estado más próximo á la Tierra ayer que hoy. La diferencia es, sin duda, inapreciable en años, siglos ó en miles de años; pero, cuando se trata de millones, la Luna debe haber estado marcadamente más próxima que ahora, hasta que al fin vemos que su distancia, en vez de ser de 240,000 millas, ha variado desde 40,000 á 20,000 y 10,000; mas no podemos ni debemos detenernos hasta encontrar el astro junto á la superficie de la Tierra. Si las presentes leyes de la Naturaleza han regido bastante tiempo, y si no hubo influencia externa, no puede dudarse que la Luna y la Tierra estuvieron una vez en inmediata proximidad. Fácil es calcular el tiempo en que la Luna debe haber hecho su revolución alrededor de la Tierra. Cuanto más próxima esté la Luna, más rápidamente debe girar, y en la asombrosa época en que el astro estaba junto á la Tierra debe haber completado cada revolución en unas tres ó cuatro horas.

Esto ha conducido á una de las más atrevidas especulaciones que jamás se ha hecho en la Astronomía, y la daremos á conocer; pero ha de recordarse que no es sino tal, y que, por lo tanto, ha de admitirse con la debida reserva. Tiene por objeto contestar á los que preguntan cómo llegó la Luna á ocupar tal posición junto á la superficie de la Tierra. Solamente diremos que hay poderosas razones para creer que el astro fué, en época remota, fracturado de la Tierra, cuando ésta se hallaba en estado blando ó plástico.

Al principio de la historia encontramos la Tierra y la Luna juntas, y vimos que la rotación de nuestro planeta era sólo de algunas horas en vez de veinticuatro, mientras que la Luna completaba su viaje alrededor de la primitiva Tierra exactamente en el mismo tiempo que ésta giraba sobre su eje; de modo que los dos cuerpos estaban entonces de continuo uno frente á otro. Semejante estado de cosas constituyó lo que un matemático describiría como caso de equilibrio dinámico inestable, pues no podía ser duradero. Sería comparable con el caso de una aguja equilibrada en su punta, y que debe caer á un lado ú otro. Del mismo modo la Luna no podía seguir conservando su posición. Había dos caminos: ó la Luna debía caer hacia atrás sobre la Tierra, siendo reabsorbida en su masa, ó era preciso que comenzase su viaje exterior. ¿Cuál de estos caminos debía adoptar la Luna? Tal vez no tenemos medios para conocer con exactitud qué determinó al astro seguir un curso más bien que otro; mas no puede haber duda sobre el que tomó. El hecho de que la Luna existe demuestra que no volvió á la Tierra, sino que comenzó su viaje al exterior; y á medida que se retira de nuestro planeta debe requerir más tiempo para completar su revolución, según las leyes de Kepler. Así sucedió que, desde el primitivo periodo de unas pocas horas solamente, la duración fué en aumento hasta llegar al presente número de 656 horas. La rotación de la Tierra se ha modificado también, por supuesto, conforme era la retirada de la Luna. Una vez que ésta comenzó á retroceder, la Tierra quedó exenta de la obligación que tenía de dirigir continuamente la misma faz á la Luna; y, cuando ésta se hubiese alejado á cierta distancia, la Tierra completaría la rotación en menos tiempo del requerido por la Luna para una revolución. Sin embargo, el astro se aleja más y más, y la duración de las revoluciones aumenta en extensión correspondiente hasta que tres, cuatro ó más días (ó rotaciones de la Tierra) son idénticos con el mes (ó revolución de la Luna). Aunque el número de días del mes aumente, no hemos de suponer que el grado de rotación de la Tierra va en aumento también, pues en rigor sucede todo lo contrario. La rotación de nuestro planeta se hace más lenta, y también la revolución del astro; pero el retraso de éste es mucho mayor que el de la Luna. Aunque el período de rotación de la Tierra haya aumentado mucho desde su primitivo valor, mayor es aún el aumento en el período de la Luna; de modo que es varias veces tan considerable como el de la rotación de la Tierra. A medida que las edades se suceden, la Luna retrocede más y más; su órbita aumenta, así como la duración de su revolución, hasta que al fin se llega á una época muy marcada, que es en cierto sentido un punto culminante en la carrera de la Luna. En esta época las revoluciones del astro, cuando se miden por rotaciones de la Tierra, alcanzan su más alto valor. Parecería que en este tiempo el mes constaba de unos veintinueve días; pero no queremos decir con esto, como ya se comprenderá, que el mes y el día de aquella época fueran como los que nuestros relojes señalan ahora, pues ambos eran más cortos: queremos decir

que en aquel tiempo la Tierra giraba veintinueve veces en su eje mientras que la Luna completaba un circuito. Esa época ha pasado ya, y no puede intentarse evaluar su fecha con nuestras unidades comunes de medición; mas al mismo tiempo no se puede abrigar duda en cuanto á la inconmensurable antigüedad del hecho, en comparación con todos los recuerdos históricos. Sin embargo, bien se deba calcular por centenares de miles ó por millones de años, es cosa que se presta á muchas conjeturas.

Pasada esa época, vemos que el curso de los acontecimientos en el sistema de la Tierra-Luna comienza á señalarse hacia ese notable período final que tiene puntos de semejanza con el inicial. La Luna continúa su revolución en una órbita con un diámetro que aumenta con mucha lentitud, pero sin cesar. La duración del día aumenta de modo correspondiente, y como la rotación de la Tierra se retarda aún de continuo, la duración del día aumenta constantemente también; pero esta proporción de la duración del mes respecto á la del día presenta ahora un cambio, y encuéntrase que aquélla había aumentado gradualmente, desde la unidad al principio, hasta el valor máximo de unos veintinueve días en la época á que nos hemos referido. La proporción comienza ahora á descender, hasta que vemos que la Tierra verifica solamente veintiocho rotaciones en vez de veintinueve en una revolución de la Luna. La disminución proporcional continúa hasta que el número veintisiete expresa los días del mes. Aquí volvemos á tener una época de la cual debemos hablar especialmente. En todo cuanto se ha dicho hasta aquí nos hemos referido á los acontecimientos pasados remotamente; mas ahora llegamos, al fin, al estado actual del sistema de la Tierra-Luna. Los días en esta época son bien conocidos. El mes es el período de la revolución de nuestra Luna. En el tiempo presente el mes cuenta unos veintisiete días de los nuestros, y esta relación se ha mantenido marcadamente verdadera durante miles de años pasados, debiendo seguir siéndolo por miles de años futuros; pero esto no será una verdad indefinidamente. No es sino un período en esta gran transformación. Puede tener los atributos de permanencia á nuestra vista efímera, así como las alas de un mosquito se ven cuando las ilumina la chispa eléctrica; pero si reflexionamos sobre la poderosa historia, imaginando un tiempo bastante espacioso para la Astronomía, reconocemos como la presente condición del sistema de la Tierra-Luna no puede tener más permanencia que ningún otro período en la historia.

Nos hemos referido al pasado, y éste nos conduce al presente; pero ¿podemos decir algo del futuro? Las mareas vienen aquí otra vez en nuestro auxilio. Si hemos comprendido bien la verdad de la dinámica, nos será dado prever los futuros cambios del sistema de la Tierra-Luna; y si no hay alguna interrupción de cualquier origen externo, desconocido de nosotros, podemos predecir cuál será la carrera de la Luna en lo sucesivo. El paso en que verifica su revolución acrecerá con increíble lentitud, y el progreso no se invertirá, por lo menos, antes de que lleguemos al período final de nues-

tra historia. Ahora no nos detendremos en los períodos intermedios, procurando más bien bosquejar el último tipo á que nuestro sistema tiende. En el oscuro porvenir, dentro de innumerables millones de años, ese período final estará próximo. La proporción del mes al día seguirá disminuyendo, y el período de revolución de la Luna será cada vez más largo; pero la duración del día aumentará mucho más rápidamente que la del período de la Luna. Desde el mes de veintisiete días pasaremos al de veintiséis. Así sucesivamente se llegará al de diez, y, por último, al de un día.

Compréndase bien lo que entendemos por mes de un día: quiere decir que el tiempo en que la Luna hace su revolución alrededor de la Tierra será igual al tiempo en que ésta gira alrededor de su eje. La duración de este día será, por supuesto, mucho más considerable que la del nuestro. En estas investigaciones solamente hay incertidumbre cuando tratamos de expresar los resultados con exactitud numérica. Parece tan cierto como las leyes de la dinámica que hemos de llegar, por último, á un estado del sistema de la Tierra-Luna en que el día y el mes serán iguales; pero sería muy aventurado determinar la duración de ese día, y al hacer un cálculo se ha de admitir con mucha reserva, porque puede ser erróneo hasta cierto punto, aunque tal vez no en considerable grado. La duración de ese largo día parecería ser equivalente á unos cincuenta y siete de los nuestros; ó, en otros términos, en algún tiempo increíblemente remoto, la Tierra necesitará unas 1,400 horas para una rotación, mientras que la Luna completará su viaje precisamente en el mismo tiempo.

Así vemos cómo, por varios conceptos, el primer período del sistema de la Tierra-Luna se asemeja al último, pues en cada caso tenemos el día igual al mes. En el primero el día y el mes no eran sino una pequeña fracción de nuestro día: en el segundo uno y otro son un múltiple considerable de nuestro día. Sin embargo, hay un marcado contraste entre la primera época y la última, porque, según hemos dicho, la primera no podía durar, mientras que la segunda tiene estabilidad dinámica. Una vez adquirido tal estado, debe ser permanente, y duraría siempre si la Tierra y la Luna se pudieran aislar de toda interferencia externa.

Este es un aspecto especial que caracteriza el movimiento cuando el mes se iguala con el día, y basta reflexionar un poco para comprender que cuando sucede así la Tierra debe dirigir constantemente la misma faz á la Luna. Si el día se iguala con el mes, la Tierra y la Luna deben hacer su revolución juntas, como sujetas por lazos invisibles, y, sea cual fuere el hemisferio de la Tierra dirigido á la Luna cuando tal estado de cosas comienza, se mantendrá así mientras que el día siga siendo igual al mes.

En este punto apenas se puede menos de recordar ese carácter distintivo del movimiento de la Luna observado desde la remota antigüedad: nos referimos al hecho de que el astro vuelve ahora siempre la misma cara á la Tierra.

A los astrónomos incumbe dar una explicación física de este notable

hecho. La Luna hace su revolución alrededor de nuestro planeta en un número determinado de segundos, y, si vuelve siempre la misma cara á la Tierra, queda demostrado que gira sobre su eje una vez en el mismo número de segundos también. Ahora bien: esto sería una coincidencia de todo punto improbable, á menos de haber alguna causa física para explicarla; pero no la hemos de buscar mucho: la influencia de las mareas es la que produce el fenómeno. La superficie rugosa de la Luna testifica la existencia de una grande actividad volcánica en otros tiempos. Los volcanes están ahora silenciosos, y los fuegos internos del astro se han extinguido; pero hubo un período en que la Luna debió ser una masa calentada en estado de semifusión. Entonces sus materiales estaban blandos en fuerza de su calor, y en aquella masa, que cedía tan fácilmente, la tracción de nuestro cometa produjo grandes mareas. No tenemos recuerdo histórico de estas últimas, que probablemente fueron anteriores á la existencia de la raza humana, pero sabemos que las hubo por el trabajo que han hecho, el cual se observa hoy en la cara constante que la Luna vuelve hacia la Tierra. La suave elevación y descenso de los océanos que forman nuestras mareas presentan un cuadro muy distinto del de aquellas que algún tiempo agitaron á la Luna, mucho más considerables que las de la Tierra. Eran más grandes, porque el peso de nuestro cometa es mayor que el del astro; de modo que la Tierra podía producir mareas mucho más poderosas en la Luna que las que ésta ocasionó jamás en la Tierra.

El hecho de que la Luna presente siempre la misma cara á la Tierra depende desde luego de la condición de que el astro gire sobre su eje precisamente en el mismo período que el requerido para hacer su revolución alrededor de la Tierra. Las mareas son una fuerza reguladora de la mayor eficacia para asegurar que se llenará esta condición. Si el astro girara más lentamente de lo que debe, las grandes mareas de lava arrastrarían á la Luna alrededor, cada vez más de prisa, hasta que alcanzara la velocidad apetecida; y entonces, pero sólo entonces, dejarían en paz á la Luna. Si ésta girase sobre su eje más de prisa que sobre su órbita, las mareas entrarían en juego furiosamente; pero esta vez sería para retardar la rotación de la Luna hasta que hubiesen reducido su celeridad á una rotación por cada revolución.

¿Puede la Luna escapar de la influencia de las mareas? No es muy fácil de contestar á esto; mas no parece imposible que algún tiempo futuro pueda el astro verse libre de ese dominio, porque es evidente que las mareas, aun hoy, no tienen tan marcada influencia como antes. No vemos ahora ningún océano en el astro, ni sus volcanes presentan señales de lava derritada. Apenas puede haber mareas *sobre* la Luna; pero tal vez las haya *dentro* de ella. Es posible que su interior esté bastante caliente aún para que no haya una solidez apreciable, y en tal caso el dominio de las mareas se ejercería en el astro aún; pero sin duda llegará, ó ha llegado ya, el tiempo en que el centro de la Luna se halle tan fijo como la temperatura

del espacio. Si sus materiales fueran lo que un matemático llamaría absolutamente rígidos, es indudable que las mareas no existirían ya y que la Luna podría librarse de su influencia. Parece imposible determinar hasta qué punto el astro puede conformarse con las condiciones de cuerpo rígido; pero se puede comprender que en algún tiempo futuro la influencia de las mareas cesará prácticamente. Entonces ya no se necesitaría identidad entre el período de rotación y el de revolución. Sabemos que el tiempo de esta última aumenta para la Luna, y que, mientras la influencia de las mareas pueda obrar, el tiempo de rotación debe aumentar de una manera correspondiente. Entonces no habrá nada para impedir que la rotación se mantenga como está, mientras que el período de revolución aumenta. El privilegio de ver el otro lado de la Luna, del que no pudieron disfrutar los astrónomos anteriores, se obtendrá tal vez para los futuros.

Las mareas que la Luna levanta en la Tierra obran como una palanca sobre la rotación de la misma, y tienden ahora á que el período de rotación de nuestro cometa coincida con el de la revolución de la Luna. Como ésta gira una vez en veintisiete días, la Tierra va ahora demasiado aprisa, y, de consiguiente, la influencia de las mareas tiende ahora á retardar la rotación de la Tierra. Hace mucho que la de la Luna sucumbió á esta influencia; pero fué porque el astro era comparativamente pequeño y enorme la fuerza de las mareas en la Tierra. Ahora se han cambiado los papeles: nuestro cometa es grande y más macizo que la Luna, las mareas levantadas por el astro son pequeñas y débiles, y la Tierra no ha sucumbido del todo á la acción de las mareas. Sin embargo, éstas son constantes y tienden gradualmente á que el día y el mes coincidan, aunque el proceso es muy lento.

La teoría de las mareas nos conduce á retroceder al tiempo remoto en que la Luna hacía su revolución alrededor de la Tierra en un período igual al del día; de modo que los dos cuerpos se presentaban siempre la misma cara, con tal que el dominio de las mareas pudiese guiar aún la rotación de la Luna. En cuanto se refiere á la mutua acción de la Tierra y de la Luna, esta disposición tiene las condiciones de permanencia; pero si se mira un futuro más remoto percibimos cierta causa externa que debe impedir sea eterna esta acomodación entre la Tierra y la Luna. Las mareas levantadas por el astro son de tal modo mayores que las producidas por el Sol que hemos hecho poco caso de estas últimas. Sin embargo, la influencia de la marea solar es apreciable, y su importancia relativamente á la lunar se elevará poco á poco á medida que la Tierra y la Luna se aproximen al período crítico final. De aquí se sigue que, después que el día y el mes hayan llegado á ser iguales, habrá otro retardo en la duración del día; y así vemos que en el remoto futuro se encontrará la Luna girando alrededor de la Tierra en menos tiempo que aquel en que la Tierra gira sobre su eje.

Este modo de ver se corrobora por el descubrimiento de los satélites



de Marte, uno de los planetas más pequeños de nuestro sistema, pues su masa no es sino una octava parte de la de la Tierra, y por eso tiene mucha menos energía de rotación que otro mayor, como la Tierra. Debe esperarse, por lo tanto, que el planeta pequeño procederá mucho más rápidamente en su evolución que el grande, y, de consiguiente, se ha de presumir que Marte y sus satélites alcanzan un período más avanzado de su historia que no la Tierra y el suyo.

Cuando el descubrimiento de los satélites de Marte asombró al mundo, nada maravilló tanto como el tiempo periódico del satélite interior. Ya hemos dicho en otro lugar cómo Febo gira alrededor de Marte en un período de 7 horas 39 minutos. El período de rotación de Marte es de 24 horas 37 minutos, y de aquí resulta el hecho, sin paralelo en el sistema solar, de que el satélite gira ahora con una rapidez tres veces mayor que la de la rotación del planeta. Apenas se puede dudar que las mareas solares sobre Marte han disminuido su velocidad de rotación de la manera indicada.

Siempre me pareció que este punto es uno de los más interesantes é instructivos en toda la historia de la Astronomía. Tenemos primero un descubrimiento magnífico, el de los pequeños satélites de Marte y la determinación del muy anómalo movimiento de uno de ellos. Así se ha encontrado una explicación física muy satisfactoria de la causa de este fenómeno, y se demuestra que es un admirable ejemplo de la evolución de las mareas. Por último, se ha visto que el sistema de Marte y su satélite predice cuál será el destino del sistema de la Tierra-Luna en el trascurso de las edades.

Parece natural inquirir hasta qué punto la influencia de las mareas puede haber contribuído á comunicar forma á las órbitas planetarias. Las circunstancias difieren mucho de las que encontramos en el sistema de la Tierra-Luna; pero, ante todo, enunciemos el problema de una manera definida. El sistema solar se compone del Sol en el centro y de los planetas que giran á su alrededor: estos últimos verifican la rotación sobre sus ejes, y, circulando en torno de algunos de ellos, tenemos su sistema de satélites. Para mayor sencillez puede suponerse que éstos y todos los planetas hacen su revolución en el mismo plano, y que los últimos giran hacia ejes que son perpendiculares á ese plano. En el estudio de la teoría de la evolución de las mareas nos debemos guiar, sobre todo, por un profundo principio dinámico, conocido por la conservación del *momento de momentum*: no intentaremos demostrarlo. Baste decir que podría deducirse estrictamente de las leyes del movimiento, y que así es solamente secundario en certeza á las verdades fundamentales de la geometría ordinaria. Tómese, por ejemplo, el planeta gigante Júpiter, que en un segundo se mueve alrededor del Sol á través de cierto ángulo: si multiplicamos por éste la masa de Júpiter, y después el productó por el cuadrado de la distancia desde Júpiter al Sol, obtendremos un total definido, al que el matemático llama *momento de momentum orbitario* de Júpiter. Del mismo modo,

si tomamos el planeta Saturno y se multiplica su masa por el ángulo á través del cual se mueve en un segundo y por el cuadrado de la distancia entre el planeta y el Sol, tendremos el momento de momentum orbitario de Saturno. De igual manera averiguamos el de cada uno de los otros planetas, debido á la revolución alrededor del Sol, y también debemos definir el de los planetas alrededor de sus ejes. En un segundo Júpiter gira á través de cierto ángulo: multiplicamos éste por la masa del planeta y por el cuadrado de cierta línea que depende de su constitución interna, y el producto será el momento de momentum *rotatorio*. De una manera semejante encontramos el de cada uno de los demás planetas. Cada satélite gira á través de cierto ángulo alrededor de su primario en un segundo. Obtenemos el momento de momentum de cualquiera de ellos multiplicando su masa en el ángulo descrito en un segundo, y después el producto en el cuadrado de la distancia del satélite desde su primario. Por último, computamos el momento de momentum del Sol, debido á su rotación. Esto se hace multiplicando el ángulo á través del cual el Sol gira en un segundo por toda la masa del astro, y multiplicando después el producto por el cuadrado de cierta línea de prodigiosa longitud que depende de los detalles de la estructura interna del Sol.

Si hemos conseguido explicar lo que se entiende por *momento de momentum*, la gran ley será comparativamente sencilla. En primer lugar observaremos que el momento de cualquier planeta puede alterarse, y que se alteraría si la distancia desde el mismo al Sol, ó la velocidad con que gira sobre su eje, llegasen á cambiar, como puede hacerlo del mismo modo el momento del Sol, y también los de los satélites. En un principio se comunicó á nuestro sistema cierta cantidad total de momento de momentum, sin que pudiese enajenarse de ella ni una sola partícula para el sistema solar en su conjunto. Sean cuales fuesen las mutuas acciones de los diversos cuerpos del sistema, ó las perturbaciones que sufren, ó las mareas que se producen, y hasta los mutuos choques que puedan ocurrir, siempre se cumplirá la gran ley de la conservación del momento de momentum. Si algunos cuerpos del sistema solar le están perdiendo, otros, en cambio, deben ganarle; de modo que la cantidad total se conservará siempre la misma. Esta consideración tiene la mayor importancia relativamente á las mareas. La distribución del momento de momentum en el sistema se altera continuamente con las mismas; pero, cualesquiera que sean, el momento no se modificará mientras falten las influencias externas al sistema.

Aquí debemos indicar el contraste entre las facultades de nuestro sistema en cuanto á su energía y en cuanto al momento de momentum. Las mutuas acciones del mismo, por lo que hace á la producción de calor, tienden á disminuir aquélla, y una considerable parte es susceptible de disiparse y perderse; pero esas acciones no pueden desvanecer el momento de momentum.

El total de este último para el sistema solar, suponiendo que es 100, se halla distribuído ahora como sigue:

Momento de momentum orbitario de Júpiter. . . . .	60
" " " " de Saturno. . . . .	24
" " " " de Urano. . . . .	6
" " " " de Neptuno. . . . .	8
" " " " relativo del Sol. . . . .	2

100

Los momentos orbitario de los pocos planetas interiores contienen poco más de una milésima parte de la cantidad total. El contingente de rotación de todos los planetas y de sus satélites es mucho menor, no pasando de una sesentamilésima parte del conjunto. En su consecuencia, cuando estudiamos los efectos generales de las mareas en los planetas orbitarios, se puede prescindir de estas insignificantes materias; pero convendrá estrechar la cuestión más aún fijando nuestra atención en un magnífico ejemplo. Tomemos el Sol y el planeta Júpiter, y, suponiendo que todos los demás cuerpos de nuestro sistema se hallan ausentes, discutamos sobre la influencia de las mareas producidas en Júpiter por el Sol, y en éste por Júpiter.

Podría pensarse desde luego que, así como la Luna nació de la Tierra, los planetas nacieron del Sol, y se han retirado gradualmente por mareas hasta su presente estado. Tenemos los medios de averiguar esto por las cifras dadas, y demostraremos que parece de todo punto imposible que Júpiter, ó cualquiera de los otros planetas, haya estado nunca mucho más cerca del Sol que ahora. En el caso de estos dos cuerpos celestes tenemos el momento de momentum compuesto de tres elementos, el mayor de los cuales es debido por mucho á la revolución orbitaria de Júpiter, el segundo al Sol y el tercero á la rotación de ese planeta en su eje. Los podremos apuntar en números redondos como sigue :

Momento de momentum orbitario de Júpiter. . . . .	600,000
De rotación " " del Sol. . . . .	20,000
" " " " de Júpiter. . . . .	12

El Sol produce mareas en Júpiter, y éstas retardan la rotación del planeta: le hacen girar cada vez más lentamente, y, por lo tanto, el momento de momentum de Júpiter disminuye; de modo que su presente valor de 12 debe disminuir ahora también. Hasta en el poderoso Sol pueden influir así las mareas: Júpiter las produce en el astro luminoso. Por ellas se retarda el movimiento del Sol. En su consecuencia, el momento de momentum de éste disminuye. Y síguese por ambas causas que la cifra de 600,000 debe aumentar, ó, en otros términos, el movimiento orbitario de Júpiter debe acrecer, ó el planeta ha de estar retirándose del Sol. Así como las mareas en la Tierra alejan á la Luna, así las de Júpiter y del Sol separan gradualmente los dos cuerpos; pero hay una gran diferencia entre los dos casos. Se podría demostrar que las mareas producidas en Júpiter por el Sol son más efectivas que las ocasionadas en éste por el planeta. La contribución

del Sol, por lo tanto, se puede omitir ahora; de modo que, prácticamente, los aumentos del momento de momentum orbitario de Júpiter se efectúan á expensas del que se acumula por la rotación del planeta. Pero 12 no es nada comparado con 600,000. Aunque el total del momento de momentum de la rotación de Júpiter y la de los satélites se haya absorbido en el movimiento orbital, apenas habrá una diferencia apreciable en el último. Podemos suponer que en una remota época Júpiter, teniendo más calor que ahora, era más grande, y que, por lo tanto, había en él más momento de momentum de rotación que ahora; pero apenas se concibe que poseyese cien veces más que hoy día. Sin embargo, aunque se hubieran trasferido al movimiento orbitario 1,200 unidades del momentum de rotación, esto sería la más trivial diferencia en la distancia de Júpiter al Sol. En su consecuencia estamos seguros de que las mareas no han alterado apreciablemente las dimensiones de la órbita de Júpiter ó la de los otros grandes planetas.

Tiempo vendrá, no obstante, en que la rotación de Júpiter sobre su eje disminuirá poco á poco por la influencia de las mareas. Entonces se verá que el momento de momentum de la rotación del Sol se gasta gradualmente para aumentar las órbitas planetarias; pero como esta reserva sólo tiene un 2 por 100, poco más ó menos, de la cantidad total en nuestro sistema, no puede producir ningún efecto considerable.

Aquí terminaremos nuestro capítulo, aunque podríamos comprender en él otros muchos asuntos. La teoría sobre la evolución de las mareas tiene verdaderamente un interés excepcional. Los primeros matemáticos se esforzaron para determinar la dinámica de un sistema que consistía en los cuerpos rígidos, y ahora debemos á los matemáticos contemporáneos el estudio de una mecánica celeste basada en la más verdadera suposición de que los cuerpos no son rígidos, ó, en otros términos, que están sometidos á las mareas. Las dificultades matemáticas acrecen considerablemente; pero el problema está más conforme con la Naturaleza y ha conducido ya á algunos de los más notables descubrimientos astronómicos de los tiempos modernos.

---

Hemos referido nuestra historia del cielo, terminándola con la breve descripción de un método intelectual de investigación que revela algunos de los fenómenos celestes ocurridos en edades en que aun no existía la raza humana. Hemos hablado de esos cuerpos celestes que están comparativamente cerca de nosotros, dirigiéndonos después, paso á paso, á las lejanas nebulas y á los grupos de estrellas que parecen estar en los confines del universo visible; pero ¡qué poco podemos, ni aun con nuestros grandes telescopios, comparado con toda la extensión del espacio infinito! Por vasta que sea

la profundidad que nuestros instrumentos sondéan, hay más allá un espacio sin límites en que no nos es dado penetrar. Si imagináramos un globo de tan estupendas dimensiones que pudiera contener el Sol y su sistema, las estrellas y las nebulosas, su relación con la inmensidad del espacio sería infinitamente menor que la del agua contenida en una gota de rocío con la de todo el Océano Atlántico.



---

# APÉNDICE <sup>(1)</sup>

---

## LOS NUEVOS MÉTODOS DE OBSERVACIÓN EN ASTRONOMÍA

BASADOS EN EL ANÁLISIS ESPECTRAL Y LA FOTOGRAFÍA

---

*Discurso de apertura del Congreso de la "Asociación Británica"*

(Agosto de 1891, Cardiff)

POR MR. GUILLERMO HUGGINS

Y A en 1886 he tenido el honor de dar cuenta ante esa Asociación de los primeros resultados (tan inesperados como nuevos) obtenidos respecto á los cuerpos celestes á consecuencia de los trabajos de Kirchhoff sobre el espectro solar y la interpretación de las líneas que presenta. Pero desde entonces hemos andado á grandes pasos por este camino y la astronomía espectral ha llegado á ser una rama distinta é importante de nuestra ciencia. Cuenta ya con una literatura muy extensa y dispone de observatorios especiales. La fotografía ha venido á su vez á prestar nuevo vuelo á las observaciones astronómicas y á ensanchar aún los horizontes con que, cuarenta años há, no osaban soñar los espíritus más utopistas.

Ninguna ciencia, quizás, impresiona tanto la imaginación como la Astronomía; ninguna está mejor dispuesta para atestiguar la grandeza del espíritu humano. Analizar la composición química de cuerpos talmente lejanos que su distancia escapa á nuestras apreciaciones; calcular su edad y razonar sobre su pasado, su presente y su porvenir; medir sus movimientos; más aún, convertir en claridad lo que es oscuridad para nuestros ojos, y leer en vibraciones, sin acción alguna sobre nuestros ojos, las fases de la vida sideral, ¿no viene á ser eso materia para una verdadera epopeya científica, en la que las palabras resultan demasiado débiles para pintar los sentimientos que despiertan esas cosas grandiosas?

---

(1) Deseosos de que este libro contenga las más recientes adquisiciones hechas por la ciencia astronómica, acompañamos algunos trabajos que servirán para completar los conocimientos adquiridos en el texto del ilustre astrónomo real de Irlanda.

No seguiré los progresos del análisis espectral desde su nacimiento en Heidelberg en 1859: me limitaré á daros á conocer su estado, examinando los principales problemas que permite abordar y refiriéndome, sobre todo (según las tradiciones de esta cátedra), á los trabajos recientes.

En su discusión sobre la teoría del espectroscopio, lord Rayleigh ha demostrado que la conexión, á menudo admitida, entre el poder dispersivo y el poder resolvente, no existe por necesidad, y que los detalles de construcción y de ajuste del instrumento tienen su importancia.

El poder resolvente del espectroscopio prismático es proporcional al trascurso á través del medio dispersivo. Con el *flint glass* de que se ha servido lord Rayleigh en sus experimentos, el espesor necesario para resolver las líneas del sodio era de 1<sup>cm.</sup> 02. Tomando este espesor por unidad, el poder resolvente de un prisma de cristal de la misma naturaleza sería igual al número de centímetros que mide su espesor, eso en la vecindad de las líneas del sodio, porque en las otras partes del espectro este poder variaría en razón inversa de la tercera potencia de la longitud de la onda; de manera que en el violeta sería ocho veces mayor que en el rojo. El poder resolvente de un espectroscopio es, pues, proporcional al espesor total de la materia dispersiva, independientemente del número, de los ángulos y de la disposición de los prismas aislados que constituyen esta materia.

El poder resolvente de un colimador (1) depende del número total de líneas sobre la superficie y del orden del espectro empleado. Son necesarias cerca de mil líneas para resolver las líneas del sodio en primer espectro.

Importa asegurarse del grado de sensibilidad del espectroscopio de que se hace uso para tal ó cual observación. Mr. Schuster ha propuesto, con este objeto, como unidad de pureza, la disposición que asegura la separación de dos líneas no difiriendo más que un milésimo de su propia longitud de onda, es decir, á corta diferencia la separación de la parte *D* del sodio. Aparte de esto, lord Rayleigh ha demostrado que el ojo era un instrumento muy imperfecto, sobre todo sirviéndose de toda su abertura. Conviene, por lo tanto, si se quiere utilizar todo el poder resolvente de un espectroscopio, disponer las cosas de manera que no se tenga en la emergencia sino un rayo cuya anchura no pase del tercio, poco más ó menos, de la abertura de la pupila.

Actualmente la mayor parte de los trabajos espectroscópicos están basados en la carta del espectro solar de Angström y en la escala que ha trazado, según sus propias observaciones, de las amplitudes absolutas de las ondulaciones. Sin embargo, Thalen hizo ver, en 1884, en sus investigaciones sobre el espectro del hierro, que los datos de Angström eran un tanto débiles á causa de un error en el metro-ley de que se había

---

(1) Instrumento de física cuya parte esencial es una lente que sirve para mirar cada una de las partes del espectro. Derivase de *collimo*, asestar, apuntar.—(Nota del T.)

servido. Se han hecho las correcciones necesarias en las tablas de longitudes de las ondas del espectro terrestre, formuladas y comprobadas por una Comisión de nuestra Asociación desde 1885 á 1887. El año último esta misma Comisión ha añadido una tabla de correcciones de la escala de Rowland.

Aunque el cambio de la escala tipo no deje de presentar inconvenientes de bulto, no es hoy muy dudoso que, en un porvenir próximo, la carta fotográfica del espectro solar de Rowland y su escala, basada en la determinación de las longitudes absolutas de las ondas hecha por Pierce y Bell, ó la escala de Postdam, basada en las determinaciones originales de Muller y Kempt, y que difiere extremadamente poco de la precedente, no sean, aparte de esto, adoptadas exclusivamente.

La grande exactitud en la carta fotográfica de Rowland dimana, sobre todo, del empleo que ha hecho de colimadores cóncavos, que le han permitido simplificar la determinación de las longitudes relativas de las ondulaciones y reducirle á la simple medición micrométrica de la coincidencia de líneas de diferentes espectros. Este colimador cóncavo y su modo particular de montura, que dispensa de lentes y gracias al cual están reunidos todos los espectros, constituye una innovación de la mayor importancia para el estudio de las líneas espectrales. Por otra parte, el empleo del método fotográfico ha permitido á M. Rowland comprender en su carta todo el espectro visible del Sol, y la porción ultra-violenta tan lejos como puede llegarnos á través de la atmósfera de la esfera terrestre. Por su parte, Mr. Jorge Higgs ha obtenido recientemente fotografías del espectro solar que comprenden *A* y ofrecen una gran belleza desde el punto de vista técnico.

Tres sabios que se habían dedicado á distinguir en el espectro solar las líneas debidas á la influencia de nuestra atmósfera, en el curso del año pasado, han publicado los resultados de sus trabajos. Así es como la Astronomía ha podido enriquecerse con las cartas de Mr. Thollon, que la muerte nos ha arrebatado; las de Mr. Becker, y una serie de fotografías de Mr. Mac Clean.

Por su parte, Mr. Janssen, al dar cuenta al Congreso de Bath de sus investigaciones sobre las líneas terrestres del espectro solar, señalaba el notable hecho de que, mientras una clase de fajas negras varía con la densidad del gas, otras fajas difusas varían como el cuadrado de esta densidad.

Estas observaciones concuerdan con las de Egoroff y de Olszewski, y con las de Liveing y Dewar sobre el oxígeno condensado. En recientes experimentos, Olszewski ha obtenido, con una capa de oxígeno líquido de 30 milímetros de espesor, una faja que coincide con la *A* de Fraunhofer y otras cuatro fajas. La luz que atraviesa el oxígeno líquido tiene un color azul semejante al de los cielos.

Los experimentos de Kunt Angström no tienen menos interés: demuestran que el ácido carbónico y los vapores acuosos de la atmósfera revelan su presencia por fajas oscuras en la región invisible infra-roja en el lugar de las fajas de emisión de esas sustancias.

El análisis espectral ha puesto fuera de duda este punto fundamental: que la materia terrestre no es especial al sistema solar, sino que se encuentra en todas las estrellas que podemos ver. Gracias á las estrellas que, como la Cabra, dan un espectro casi idéntico al del Sol, estamos autorizados para sacar en conclusión de esta identidad que la materia de que se componen esas estrellas es semejante á la del Sol, y que la temperatura no es en esas estrellas muy diferente de la de aquél. Pero, respecto á las estrellas y nebulosas que dan espectros diferentes del espectro solar, debemos mostrarnos más reservados: nos es menester recurrir á experimentos de laboratorio para tratar de interpretar las indicaciones del espectroscopio y deducir la naturaleza química, la densidad y la tensión, así como la temperatura de esas masas celestes.

Generalmente los cuerpos gasiformes, y á una temperatura suficientemente elevada, dan únicamente líneas brillantes y líneas de absorción correspondientes. Los espectros dados por los cuerpos celestes son espectros de absorción; pero no podemos estudiarlos sino á través de los espectros de emisión de cuerpos introducidos en estado gaseoso y hechos luminosos, sea con llamas, sea con descargas eléctricas. La desgracia es que, como han demostrado recientemente los Sres. Liveing y Dewar, Wullner, E. Wiedemann y otros, no parece existir relación directa entre las irradiaciones luminosas presentadas por el oftalmoscopio y la temperatura de la llama ó del contenido gaseoso del tubo neumático, es decir, en el sentido usual de la expresión, el movimiento medio del conjunto de las moléculas. En ambos casos los movimientos vibratorios á los cuales las moléculas deben su irradiación luminosa son casi siempre mayores que los que producirían los encuentros de moléculas cuyos movimientos de traslación no sobrepujasen á los movimientos medios característicos de la temperatura del conjunto de los gases.

Así, en las condiciones ordinarias de los experimentos terrestres, la temperatura, ó la *vis viva* media de las moléculas, puede no tener ninguna relación directa con la irradiación total, que es la suma de las irradiaciones de cada una de las moléculas. Esta circunstancia ha sido discutida por Ebert desde el punto de vista de la teoría electro-magnética de la luz. No se podrá, pues, ir con demasiada prudencia en las deducciones que podrían intentarse sacar de experimentos de laboratorio.

En una memoria reciente, Stas sostiene que los espectros eléctricos deben ser mirados como distintos de los espectros de llama. Según sus investigaciones personales, los pares de líneas del espectro del sodio, ó *D*, no serían producidos sino por descargas eléctricas disruptivas; y como esas líneas se encuentran vueltas al revés en el espectro solar, deduce de aquí que las irradiaciones solares son debidas sobre todo á descargas eléctricas. Pero Wolf y Diacon, y últimamente Watts, han obtenido los otros pares de líneas del espectro del sodio con vapor á una temperatura superior á la ordinaria de la llama de Bunsen, y recientemente Liveing y Dewar han po-

dido ver fácilmente, además de *D*, los pares limón y verde, y á veces el par azul y el par anaranjado, haciendo arder en el oxígeno, á diferentes presiones, hidrógeno cargado de vapor de sodio. En caso, pues, de vapor de sodio, y probablemente también tratándose de todos los demás vapores y gases, es indiferente que el movimiento vibratorio necesario de las moléculas sea producido por la descarga eléctrica ó por la llama.

No hay que olvidar, por otra parte, que la luz que emana de los cuerpos celestes puede proceder de la combinación de las irradiaciones de diferentes capas de gas á diferentes temperaturas, y que es posible que las cosas resulten aún complicadas en una proporción desconocida por la absorción debida á capas exteriores más frías.

La misma prudencia será necesaria si queremos deducir la presión relativa de los gases de las atmósferas celestes de la anchura de las líneas del espectro y de la formación de espectros continuos. Sin duda (y eso no puede ponerse en duda) en los experimentos de laboratorio la anchura de las líneas en un tubo de Plucker aumenta con la densidad del residuo de hidrógeno en el tubo, y en una llama á la presión ordinaria el aumento de la cantidad de sodio en la llama provoca el ensanchamiento de las líneas de este metal; pero no es tan seguro que la presión pueda producir un aumento de anchura de las líneas del espectro.

En la llama, sea débil ó intensa, habida consideración del número enorme de las moléculas de los otros gases, la molécula de sodio mezclada con la llama permanece sensiblemente en las mismas condiciones. Con una corta cantidad de vapor de sodio la intensidad es débil, salvo cerca del máximo de las líneas; y, cuando la cantidad de vapor aumenta, la transparencia relativa sobre los lados del máximo permite á la luz de las moléculas suplementarias encontradas en el trascurso del rayo visual reforzar la irradiación de las moléculas situadas detrás, y aumentar así la anchura de las líneas.

Sábese, aparte de esto, que en las mezclas gaseosas para la misma presión ó temperatura, las líneas espectrales están afectadas (á consecuencia, sin duda, de la menor frecuencia de los encuentros de las moléculas de la misma naturaleza), como si el cuerpo se observase á una temperatura más débil ó en cantidad reducida.

En sus recientes investigaciones sobre el porte espectroscópico de las llamas bajo diferentes presiones hasta 40 atmósferas, los Sres. Liveing y Dewar han llegado á la conclusión de que, aunque la característica dominante de la luz emitida por las llamas á alta presión parece ser un espectro continuo, no existe el menor indicio que permita afirmar que esta continuidad del espectro sea producida por el ensanchamiento de las líneas de los mismos gases á baja presión. Por el contrario, las observaciones fotométricas hechas sobre los espectros continuos con presiones variables demuestran que esta continuidad está producida sobre todo por la acción mutua de las moléculas de un mismo gas. Con el espectro del sodio los ex-

perimentos han sido llevados hasta la presión de 40 atmósferas, sin que los experimentadores hayan podido obtener, en cuanto á la anchura de las líneas, un efecto bien neto, susceptible de ser atribuido á la presión. En el mismo orden de ideas, las líneas del espectro del agua no manifiestan ningún signo de expansión hasta 12 atmósferas. Aunque más intensas á esta presión que á la presión ordinaria, permanecen estrechas y limpias.

Así, la continuidad del espectro no podrá ser considerada como un indicio cierto de materia en estado líquido ó sólido. No solamente puede obtenerse un espectro de este género, como acabamos de ver, por gases bajo presión, sino que Maxwell ha demostrado que si el espesor de un medio, tal como el vapor de sodio, que emite y absorbe diferentes suertes de luz, llega á ser considerable y la temperatura es elevada, la luz emitida tendrá exactamente la misma composición que la emitida por el negro del humo á la misma temperatura, siendo tan fácilmente absorbidas las irradiaciones de emisión débil. Por su parte Schuster ha hecho ver que, en un tubo en que reine un vacío parcial, el oxígeno puede dar un espectro continuo cuando se le excita por una débil descarga eléctrica.

Por otra parte, si los cuerpos compuestos dan espectros con fajas, no siempre es verdad la recíproca, y los espectros de esta naturaleza pueden no proceder de cuerpos compuestos, es decir, de moléculas que contengan diferentes suertes de átomos, sino ser debidas á moléculas complexas formadas por átomos similares y respondiendo á condiciones alotrópicas de un mismo cuerpo.

Así, por todas partes surgen causas de confusión y de error. ¿La longitud de onda de cada molécula va á darnos á lo menos una base sólida de observación? Es esa una dimensión absolutamente permanente y la más fija que se pueda concebir en la Naturaleza. Esta fijeza y esta permanencia son necesidades físicas ineluctables, puesto que de otra manera la molécula perdería su individualidad, y el hidrógeno, por ejemplo, dejaría de ser el hidrógeno. La coincidencia de las líneas brillantes será, pues, nuestro criterio. Pero aun ahí perdemos pie. En semejante asunto sólo puede haber cuestión de probabilidades más ó menos grandes. Con coincidencias muy numerosas, según sucede con el hierro y el espectro solar, ó cuando las rayas están agrupadas de una manera característica, como el hidrógeno en el espectro solar, la coincidencia puede ser considerada como si diese una certidumbre. Pero no hay que olvidar que el progreso de la ciencia ha quedado muy retardado á veces por culpa de deducciones sacadas demasiado apresuradamente de coincidencias únicamente aparentes, obtenidas con espectroscopios de debilísimo poder resolvente. A menos de que las coincidencias no se vean confirmadas por otros motivos, la probabilidad que dan es casi siempre demasiado débil para que se pueda concederle alguna importancia, sobre todo tratándose de cuerpos celestes que pueden hallarse animados de movimientos desconocidos, sin hablar de la confusión que introducen aún los espectros múltiples debidos á las diferentes

agrupaciones moleculares de una misma sustancia, y de la influencia de los diferentes vapores uno sobre otro, sensible, sobre todo, cuando se opera con la descarga eléctrica.

Aunque el poco tiempo de que dispongo me haya obligado á limitarme, espero haberos demostrado suficientemente que tan sólo con un trabajo lento y apoyándonos en observaciones minuciosas y laboriosas se podrá llegar á fundar la física celeste sobre bases serias. Nos hallamos aún en un período de transición, y, aunque las primeras observaciones, siempre menos precisas, hayan dado resultados inesperados, hay que reconocer que los datos que nos han facilitado tocante al espectro de los elementos terrestres no ofrecen, en su mayoría, precisión suficiente para los trabajos modernos sobre las estrellas y el Sol. El perfeccionamiento de los aparatos y de los métodos conducirá á menudo, en los espectros solares y estelares, á la división en grupos de líneas consideradas hasta ahora como sencillas, y, suprimiendo pretendidas coincidencias, arruinará las teorías á que aquéllas han podido hasta ahora servir de base. Hay que esperar que el número de conclusiones prematuras obtenidas de observaciones insuficientemente exactas, aunque, por otra parte, tan buenas como lo permitían los espectroscopios usados entonces, no podrán mantenerse en presencia de los resultados obtenidos con los instrumentos modernos más perfeccionados.

Hasta ahora el notable espectro de la aurora boreal no ha podido ser interpretado. Indudablemente en este fenómeno hay parte de nuestra atmósfera iluminada por descargas eléctricas. Parecería, pues, que debiésemos encontrar en ese espectro gases conocidos, y, sin embargo, hasta el presente no se ha conseguido obtener artificialmente espectros parecidos. La línea principal en el verde, que á menudo parece sola y puede, por consiguiente, tener un origen independiente del de otras líneas, ha continuado especialmente siendo un enigma. Ultimamente se ha emitido la opinión de que la aurora boreal era un fenómeno debido á una polvareda de meteoros y estrellas fugaces, lo cual confirmaría la relación de ciertas líneas del espectro de la aurora con las líneas del manganeso, del plomo, del bario, del talio, del hierro, etc. Pero investigaciones hechas en este sentido por Livening y Dewar con polvos extremadamente tenues, proyectados desde la superficie de electrodos, de diferentes metales y meteoritos por una descarga disruptiva y arrastrados longitudinalmente en el tubo de observación por una corriente de aire ó de gas más ó menos rápida, han conducido á un resultado completamente negativo. Para M. Schuster, la línea principal sería debida á algunos gases, en cantidad demasiado débil para ser revelada por el análisis químico ni aun por el espectroscopio en presencia de los otros gases cerca de la Tierra, pero que á la altura en que se produce la aurora boreal se encuentra en proporción suficiente para dar un espectro; pero Lemström declara, por su parte, que ha visto esa línea en la descarga silenciosa de una máquina de Holtz sobre una montaña de Laponia. No nos podría sorprender extraordinariamente, sin embargo, el que las

líneas de que se trata no hayan podido ser obtenidas en nuestros laboratorios con atmósferas gaseosas si pensamos en la dificultad que se experimenta para reproducir en tubos, con aproximación suficiente, las condiciones en que se producen las descargas de las auroras boreales.

El espectroscopio ha revelado la presencia, en los espectros de los cometas, de carbono probablemente en combinación con el hidrógeno, y también á veces con el ázoe. Demuestra también, para los cometas que se acercan mucho al Sol, las líneas de sodio y otras líneas que se supone sean las del hierro. Por más que las investigaciones de Mr. H. A. Newton y del Sr. Schiaparelli no dejen ninguna duda sobre la estrecha relación que existe entre los cometas y los grupos meteóricos periódicos correspondientes, sería quizás temerario ensayar desde ahora el definir de una manera demasiado precisa la condición exacta de la materia que constituye el núcleo de los cometas. La parte de la luz del cometa que no es luz solar reflejada no puede atribuirse con gran confianza á la acción de una elevada temperatura debida al entrechocamiento de piedras meteóricas lanzadas contra el núcleo del cometa por la fuerza perturbadora del Sol. Mejor debe haber allí descargas eléctricas disruptivas producidas probablemente por la evaporación debida al aumento del calor solar y ampliamente suficiente para poner en libertad porciones de gas ocluído en el espacio. Quizá la acción de esas descargas va acompañada, y sin duda aumentada, de aquella otra, recientemente descubierta, que ejerce la parte ultra-violeta de la luz solar. Lenard y Wolf han, en efecto, mostrado que la luz ultra-violeta puede producir la descarga de un trozo de metal electrizado negativamente. Por su parte, Hallwachs y Righi han demostrado que esta misma luz ultra-violeta puede también cargar positivamente un trozo de metal neutro. Acciones semejantes sobre la materia que constituye los cometas, enmascaradas, aparte de esto, á lo menos parcialmente, por la atmósfera absorbente, pueden bien, cuando los cometas se aproximan al Sol, adquirir una intensidad suficiente para explicar la luz cometaria. Volveremos sobre esos hechos á propósito de la corona solar.

La publicación de los trabajos recientes de la *Johns Hopkins University* sobre la comparación directa, por medio de la fotografía y de las redes cóncavas, del espectro solar y de los espectros de los elementos terrestres, ha señalado un gran progreso en nuestro conocimiento de la constitución solar. Mr. Rouland ha demostrado que las líneas de 46, cuando menos, de los elementos terrestres, se encuentran en el espectro solar. Hay duda en cuanto á 8 elementos. En cambio, 15 elementos, entre los cuales el ázoe tal como se muestra en su tubo pneumático bajo la descarga eléctrica, no han sido encontrados en el espectro solar. No se ha hecho la comparación relativa á los otros 10 elementos, entre los cuales se cuenta el oxígeno.

Rouland hace notar, aparte de esto, que, entre los 15 elementos designados como no encontrados en el Sol, muchos no han sido cla-

sificados así sino porque dan solamente algunas pocas líneas limpias, aunque no del todo, en los límites de la comparación. Así, el boro no tiene sino dos líneas fuertes; las líneas del bismuto son múltiples y muy difusas, etcétera; por manera que sólo cabe una ligera certidumbre respecto á la realidad de su ausencia del Sol. Puédese admitir, sea como fuere, que, si toda la Tierra adquiriese la temperatura del Sol, daría un espectro que se parecería muy aproximadamente al de aquél. En una memoria reciente, resumiendo once años de investigaciones sobre los elementos químicos en estado puro y sobre la posibilidad de su descomposición por las fuerzas físicas y químicas á nuestra disposición, Stas establece, en efecto, que el calcio, el estroncio, el litio, el magnesio, la plata y el talio, sobre los cuales han recaído sus experimentos, conservan su individualidad en todas las condiciones y no pueden ser alterados por ninguna de las fuerzas de que disponemos.

Para Mr. Rouland, las líneas solares inexplicadas deben ser consideradas como la indicación de elementos terrestres nuevos, ocultos aún en los minerales raros. La comparación de los resultados de este método de análisis con las conclusiones notables, pero diferentes, á que han sido conducidos respectivamente M. Lecoq de Boisbaudran y Mr. Crookes por la observación espectroscópica de cuerpos hechos incandescentes por el bombardeo molecular en un tubo neumático, será del mayor interés. Parece, en todo caso, que el Sol sea el que deba ahora enriquecer la química con nuevos elementos, de igual manera que han sido las estrellas las que nos han proporcionado el espectro completo del hidrógeno.

Cuando la discusión de la *Bakerian Lecture*, en 1885, concluía yo, respecto á la corona solar, en favor de un fenómeno esencialmente similar, en cuanto á sus causas, á la cola de los cometas, es decir, debido en su mayor parte á aportes de materia procedente del Sol bajo la acción de una fuerza eléctrica, variable como la superficie, y capaz, por lo tanto, de alcanzar una intensidad bastante á compensar fácilmente la gravitación, aun cerca del Sol. Si bien muchas partículas de la corona pueden volver al Sol, las que forman los rayos largos no vuelven: pronto se hacen demasiado difusas para permanecer visibles por demasiado tiempo, y quizás esa difusión podría proporcionar la explicación de la luz zodiacal.

La existencia de una fuerza de este género en el Sol podría explicar también las modificaciones del magnetismo terrestre debidas á una acción eléctrica directa, desviándose la Tierra á través de las líneas de fuerzas de su campo inductor.

El Sr. Schuster profesa ideas análogas y piensa que podría haber una relación eléctrica directa entre el Sol y los planetas. Pregunta si, además, no obraría acaso el Sol como un imán, á causa de su rotación alrededor de su eje. Para el Sr. Bigelow, que ha aplicado últimamente la teoría de las armónicas esféricas al estudio de la forma de la corona solar, nos hallaríamos en presencia de fenómenos análogos á los de la electricidad, siendo

los rayos solares las líneas de fuerza. En las extremidades de los rayos el poder repulsivo desaparecería, é intervendría la gravitación para conducir de nuevo la materia al Sol. Los aportes de materia solar se efectuarían siempre hacia el ecuador de la corona, y la luz zodiacal se debería quizás á la acumulación de esta materia á gran distancia del Sol, á lo largo del ecuador. Se necesitaría que estas conclusiones quedasen confirmadas por fotografías en grande escala. El Sr. Schaeberle piensa que la corona está formada por chorros de materia lanzados sobre todo desde las zonas de las manchas, con velocidades iniciales considerables, pero inferiores á 382 millas por segundo. Según él, los diferentes tipos de la corona serían debidos á efectos de perspectiva.

De hecho, se sabe poquísimos sobre la naturaleza física y química de la materia coronal. Del examen de los eclipses de 1882, 1883 y 1886, Schuster concluye que el espectro continuo de la corona tiene un máximo de intensidad actínica considerablemente desviada hacia el rojo cuando se le compara con el espectro solar, lo cual demostraría que sólo puede ser debida á una débil parte de luz solar dispersada por pequeñas partículas. Las líneas del calcio y del hidrógeno no parecen existir en el espectro normal de la corona. La línea verde que se encuentra en él no tiene representante entre los cuerpos terrestres, y Schuster no ha podido reconocer ninguno de nuestros elementos en las otras líneas de la corona.

Aunque los espectros de las estrellas se diversifican casi á lo infinito, puédesen colocarse, salvo algunas excepciones, en series en las cuales los espectros contiguos, sobre todo en la región fotográfica, puedan apenas distinguirse uno de otro. Esas series van de las estrellas blanco-azuladas, como Sirio, á las estrellas con espectros de fajas, pasando por las estrellas que tienen el carácter solar más ó menos pronunciado, ocupando el Sol el puesto hacia la mitad de las series.

Andan divididas las opiniones en cuanto al sentido de la evolución que marcan las series. ¿Son las estrellas blancas las que, por condensación, toman el tinte anaranjado y rojo, ó bien, por el contrario, deben ser consideradas las estrellas de color como las más jóvenes, y se tornarían blancas envejeciendo?

Esta última opinión ha sido emitida por Johnstone Honey en 1867. Hace diez años que discutiendo Ritter, en una serie de notas, el porte de las masas gaseosas durante la condensación, dedujo de ellas la constitución probable de los cuerpos celestes. Según él, la misma estrella pasaría dos veces por las épocas anaranjada y roja: primero durante un período comparativamente corto de aumento de temperatura que da el color blanco al llegar á su máximo, y después durante un período más prolongado de enfriamiento gradual. Los dos grupos de estrellas con espectros de fajas corresponderían á esos diferentes períodos: las estrellas jóvenes serían aquellas en las cuales la arista más marcada de la faja negra está hacia el azul, y las

otras, relativamente menos luminosas y también menos numerosas, serían las que se acercarian á su extinción.

Recientemente se ha indicado un orden de evolución análogo, basado en la hipótesis de que las nebulosas y las estrellas no serían más que el producto de colisiones meteóricas á diferentes grados de condensación. Más recientemente aún, la diversidad de los espectros de las estrellas ha sido considerada, no ya como indicadora de los diferentes períodos de evolución, sino como debida en su mayor parte á diferencias de constitución.

No me permite el poco tiempo de que dispongo entrar en la discusión de esas teorías: me limitaré á exponeros rápidamente y con reserva, porque el asunto es oscuro, algunas consideraciones que me parecen hablar en favor de las ideas que emití en 1879 sobre la génesis sidereal, y que se acercan, por otra parte, en su esencia, á las emitidas anteriormente por Vogel en su clasificación de las estrellas de 1874. Las estrellas blancas, más numerosas, representan la primera edad de la vida estelar, que es la más persistente. La condición solar sería la de la madurez, y las estrellas anaranjado y rojo con espectros de fajas serían estrellas de decadencia. Aparte de esto, esa clasificación debe ser concebida ampliamente, y no habría que sacar en conclusión que todas las estrellas, sea cual fuese sus diferencias de masa y las diferencias, también posibles, de constitución, den una sucesión invariable de espectros.

En los espectros de las estrellas blancas las líneas metálicas oscuras son relativamente bastante poco limpias, y aun algunas veces están ausentes, mientras que las líneas oscuras del hidrógeno son generalmente fuertes y más ó menos anchas sobre un espectro continuo, notable por su brillo hacia la extremidad azul. En algunas de esas estrellas las líneas del hidrógeno, y á veces otras, son brillantes, y algunas veces variables.

Como el predominio de las líneas del hidrógeno, oscuras y brillantes, es característica de las estrellas blancas y disminuye gradualmente al mismo tiempo que sobrevienen y se acrecientan otras líneas, tenemos algún fundamento para considerar este fenómeno como resultado de condiciones que se producen naturalmente en el curso de la vida de las estrellas, y no como resultado de una constitución original.

Para que una sustancia dé un fuerte espectro de absorción debe hallarse á la temperatura particular en que alcanza su máximo de absorción. Es menester, además, que esa temperatura sea suficientemente superior á la de la región posterior de donde viene la luz. Considerando, pues, la elevada temperatura á que debe ser llevado el hidrógeno para dar su emisión característica, tenemos derecho, nos parece, á atribuir la debilidad relativa ó la ausencia de las otras líneas, no á la pobreza de los vapores metálicos, sino mejor á que su temperatura, relativamente á las sustancias situadas detrás, es tal que no aparecen sino débilmente, ó nada. Semejante estado de cosas debe encontrarse, á mi sentir, en las condiciones anterio-

res á la edad solar. Un enfriamiento considerable del Sol daría probablemente lugar á espectros de fajas debidos á las moléculas más complejas que pueden formarse cerca de los puntos de condensación de los vapores.

En general, el Sol y las estrellas están considerados como formados por vapores incandescentes rodeados de una fotosfera en que se produce la condensación, estando la temperatura de la capa fotosférica de donde emanan la mayor parte de las irradiaciones constantemente entretenida por el aporte de nuevas materias calientes.

En la superficie las corrientes serían violentas y producirían una conmoción considerable, gracias á la cual se mezclarían los diferentes gases y no permitiría las desigualdades de proporciones á diferentes niveles que de otra manera serían engendradas por las diferencias de densidad de los vapores. En cuanto á las condiciones de la fotosfera radiante y de los gases por encima de ésta, condiciones de que depende el carácter del espectro de la estrella, estarían determinadas no solamente por la temperatura, sino también por la fuerza de gravitación en esas regiones, dependiendo esta fuerza de la masa de las estrellas y de su grado de condensación, y exagerándose á compás y medida de los progresos de la condensación.

En el caso del Sol, la fuerza de la gravitación tiene ya tal intensidad en la superficie que el decrecimiento de densidad de los gases debe ser extremadamente rápida. En el espacio de algunas millas esta densidad debe pasar de la presión atmosférica á un valor infinitesimal, de suerte que, si es debida únicamente á la expansión, la temperatura de la superficie debe presentar así una gradación extremadamente rápida. Con todo, los gases están sometidos aquí á la enérgica irradiación solar, y deberían, aunque completamente transparentes, retener el calor, sobre todo si se encuentran mezcladas con ellos algunas partículas sólidas ó líquidas, sea á consecuencia de la condensación, sea traídas por las corrientes.

Resulta de estas circunstancias que, en una pequeñísima extensión del espacio en la superficie del Sol, todos los cuerpos que nos son conocidos se encuentran en tal estado que la densidad de los gases no permite dar un espectro visible de ellos.

Si remontamos el curso de la carrera que recorren las estrellas, encontraremos un debilitamiento gradual de la gravedad en la superficie, una disminución de la escala de las temperaturas y corrientes de convección de menos violencia. Los efectos eruptivos son aún considerables; pero podemos llegar, en fin, á un estado de cosas en el cual, si la estrella es suficientemente caliente, el hidrógeno solo será bastante frío, con relación á las irradiaciones de las sustancias coloradas atrás, para producir una absorción. Los otros vapores estarán enmascarados, hallándose harto calientes para que las rayas que les caracterizan puedan dar rayas muy oscuras sobre el espectro continuo.

En estas estrellas, la luz irradiada hacia la parte superior de la atmós-

fera puede proceder de las partes inferiores de esta misma atmósfera, ó, cuando menos, de partes de temperatura menos elevada. La diferencia de temperatura no puede, aparte de esto, adquirir bastante importancia para que el efecto de oscurecimiento debido á la absorción de los vapores metálicos pueda prevalecer sobre el efecto luminoso de su emisión.

Sólo por un movimiento vibratorio correspondiente á una temperatura muy elevada pueden las líneas brillantes del primer espectro del hidrógeno ser divididas, y obtenerse, á consecuencia de la equivalencia de los poderes de absorción y de emisión, el espectro correspondiente de absorción. Por otra parte, para mostrar una fuerte absorción, el hidrógeno deberá estar frío con relación al manantial de irradiación colocado detrás de él, si dicho manantial está constituido por partículas condensadas ó gases. Tales son las condiciones todas, para cuya realización parece deben prestarse mejor los comienzos de la carrera sideral que no los períodos más adelantados de condensación.

Repetimos que el asunto es oscuro y que podemos engañarnos en cuanto al modo de evolución probable. ¿No nos ofrece Sirio un ejemplo notable de un espectro de estrella blanca asociado con un espectro de estrella de un período anterior de condensación?

Las observaciones fotométricas demuestran que Sirio emite de 40 á 60 veces más luz que nuestro Sol (y aun eso dejando aparte la luz ultra-violeta, para la cual es insensible el ojo, y que es abundantísima en Sirio), mientras que la masa del compañero de Sirio no excede mucho del doble de la de nuestro Sol. Así, á menos de atribuir á Sirio un poder emisor de una importancia improbable, esta estrella debe ser de un grandor inmenso y hallarse en un período de su carrera menos avanzado que nuestro Sol, aunque probablemente más avanzado que el de las estrellas blancas, en las cuales las líneas del hidrógeno son brillantes.

Podría, en algunos casos, hacerse una determinación directa de la temperatura relativa de las fotosferas de las estrellas según su posición de las irradiaciones máximas de sus espectros. Langley ha demostrado que para las temperaturas sobre las cuales cabe experimentar, y probablemente para temperaturas que excedan de este límite, el máximum del poder de irradiación de los cuerpos sólidos disminuye gradualmente en el espectro desde el infra-rojo hacia el rojo y el anaranjado, y en el Sol alcanza el azul.

El aumento de temperatura puede no ir acompañado siempre de una exageración correspondiente del grado de brillo. Por lo demás, el ojo es un instrumento fotométrico deplorable. Ciego para vastas extensiones de irradiaciones, queda muy imperfecto para las débiles porciones de luz que nos permite apreciar. Así es que, según Mr. Langley, el total de energía que nos permite percibir la luz en el encarnado en *A*, produciría en el verde un efecto visual 100,000 veces mayor. El efecto proporcional sería de 1,600 en el violeta, 62,000 en el azul, 28,000 en el amarillo, 14,000 en el anaranja-

do y 1,200 en el rojo. Los recientes experimentos del capitán Abney muestran que la sensibilidad del ojo para el verde cerca de  $F$  es 750 veces mayor que para el rojo en  $C$ . Véase, pues, á qué variaciones enormes está sujeta la percepción visual según los colores.

El período por el cual la irradiación máximum se encuentra en el verde, correspondiendo á la sensibilidad máxima del ojo, sería el que más favorablemente resultaría apreciado por la fotometría ocular, y, cuando ocurre la desviación de ese máximum hacia el violeta y más allá, el aumento del brillo visual de las estrellas no sería ya proporcional al aumento de la energía irradiada.

La materia de la sustancia por la cual es emitida sobre todo la luz, ejerce también su influencia en el brillo de las estrellas. En el laboratorio el carbón sólido es el que da el más elevado poder emisivo. El período de la vida sideral en que interviene la irradiación de una fotosfera sería, pues, la más favorable para el brillo. Por otra parte, de que las estrellas estén formadas de materia análoga á la del Sol no se sigue que la proporción de los diferentes elementos deba ser la misma, y puede suceder que las sustancias que constituyen las fotosferas tengan poderes emisivos diferentes, aunque las diferencias no parezca deban ser muy considerables.

Finalmente, los cuerpos celestes no nos aparecen sino á través del medio tintado que constituye nuestra atmósfera, y que altera las coloraciones. Así, según Langley, el color de las estrellas llegadas al período solar sería, no el amarillo, sino, en realidad, un blanco azulado.

Como se ve, todo eso queda bastante oscuro y es muy difícil decidir nada en definitiva sobre la evolución sideral. Sin embargo, en general, las estrellas blancas son menos densas que las estrellas llegadas al período solar, las cuales, por otra parte, pueden ser consideradas como masas más importantes y de brillo más vivo.

Entre las estrellas blancas las variedades son casi tan numerosas como las clases; pero el tiempo urge y me limitaré á recordaros que, independientemente de las tres sub-clases establecidas por Vogel, Scheiner ha encontrado recientemente diferencias secundarias, definidas por el carácter de la tercera línea del hidrógeno cerca de  $G$ . Sus observaciones le han mostrado también que las estrellas blancas de la constelación de Orión son las únicas (excepto Algol) dotadas en el azul de una línea brillante dada por la gran nebulosa de la misma constelación. Pickering, por su parte, encuentra en sus fotografías del espectro de esas estrellas líneas oscuras correspondientes á las líneas principales de las estrellas de líneas brillantes y á las de las nebulosas planetarias, excepto, sin embargo, la línea principal de esas últimas.

En las estrellas (quizás más alejadas de la clase de las estrellas blancas que nuestro propio Sol) que pertenecen á la primera de las tres clases de Vogel, y que se distinguen por fajas de absorción con aristas máximas hacia el azul, las líneas del hidrógeno son más estrechas que en el espectro

solar. En esas estrellas la escala de las densidades es probablemente más rápida aún, el espesor del hidrógeno puede ser menor, y es posible que las moléculas de hidrógeno estén afectadas por gran número de choques con moléculas desemejantes. En algunas estrellas rojas con fajas oscuras de hidrocarburos, las líneas del hidrógeno no han sido observadas con certeza. Si están realmente ausentes, podría ser á causa de que la temperatura hubiese bajado del punto en que el hidrógeno puede ejercer su absorción característica. Además, parte del hidrógeno puede haberse unido al carburo. La aparición de las fajas de los hidrocarburos puede indicar un período más adelantado, pero con temperatura quizás más elevada, puesto que puede existir acetileno en el arco eléctrico.

Finalmente, Pickering ha encontrado en sus fotografías cierto número de estrellas más ó menos análogas á las conocidas con el nombre de los sabios que las descubrieron: Wolf y Rayet. Esas estrellas están caracterizadas por muchos grupos brillantes de líneas claras, englobando frecuentemente las líneas del hidrógeno y de la línea  $D_3$  sobre un espectro continuo en los rayos azules y violeta, en las cuales hay también líneas negras de absorción. Como la posición de algunos de esos grupos parece coincidir con la de las líneas brillantes de las nebulosas planetarias, Pickering propone clasificar estas estrellas con aquellas, á pesar de la ausencia de la línea más brillante de las nebulosas en el espectro de esas estrellas. La concepción más sencilla de la Naturaleza sería que cada estrella está rodeada por una nebulosa, siendo debidos los grupos brillantes á la materia gaseosa de fuera de la estrella. Con todo, Mr. Roberts no ha podido obtener en sus clichés ninguna indicación de nebulosidad, á pesar de una exposición prolongada. La estrella notable  $\eta$  de Argos pertenecería á esta clase de cuerpos celestes.

Herschel consideraba las nebulosas como formadas por una materia homogénea, por un *fluido brillante* que podía condensarse poco á poco alrededor de uno ó muchos centros y dar origen así á los cuerpos celestes. Estas ideas debieron hacer sitio, durante algún tiempo, á otra concepción que consideraba las nebulosas como constelaciones exteriores, como *montones de arena* cósmica, demasiado alejados para que fuese posible reducirlos á estrellas separadas. Pero ya en 1858, Mr. Herbert Spencer demostraba que las observaciones hasta entonces recogidas parecían justificar la teoría de Herschel sobre un mundo en formación, y en 1864 demostré, con auxilio del espectroscopio, que el manantial de la luz era un gas incandescente y que el verdadero lugar de las nebulosas en la evolución cósmica era el de un período anterior á la vida estelar.

En esta época nuestros conocimientos respecto á los espectros estelares eran muy limitados, lo cual explica cómo, sin duda, bajo la influencia de ideas teológicas aun en predicamento, escribía en mi memoria de 1864,

“que en esas cuestiones no se trataba ya de una modificación especial de nuestro propio tipo de Sol, sino que nos hallábamos en presencia de cuerpos de estructura particular.” Pero dos años después volvía yo á ideas más justas. “Nuestras miras sobre el Universo,—decía delante de esta misma Asociación,—sufren en estos momentos cambios profundos. Esperemos que los hechos sean más numerosos y desembaracemos nuestro espíritu de toda teoría dogmática, á fin de poder recoger las enseñanzas, sea cuales fueren, que esos hechos, deben aportarnos.”

Esta teoría de las nebulosas nos conduce á nuestro sistema solar y á las hipótesis á que ha dado origen. Todo indica que no nos hallamos en presencia del resultado de la agregación de materia que se hubiese realizado al azar, pues buena copia de relaciones revelan una causa física común. Kant y Laplace, por más que no conociesen el principio de la conservación de la energía, explicaban la formación del Sol y de los planetas por la condensación sucesiva de una masa vaporosa que llenaba en su origen todo el espacio que ocupa el sistema solar. La ciencia moderna llega, por métodos enteramente distintos, á una concepción análoga. Para Helmholtz, el entretenimiento del calor es debido á la trasformación en calor de la fuerza de gravitación que ha condensado en un solo núcleo las moléculas de la nebulosa primitiva, y esta contracción de la masa proseguiría á razón de 66 metros por año. La vida del hombre, y aun las de las razas, es demasiado corta para permitir la evidencia directa respecto á las fases sucesivas de evoluciones tan grandiosas; pero la teoría de las nebulosas no por eso satisface menos al espíritu, excepto algunas inseguridades que deja aún.

Estas oscuridades han llevado á algunos sabios á buscar otra explicación. M. Faye ha dado una teoría que tampoco está al abrigo de toda crítica. Mr. Jorge Darwin ha intentado igualmente basar un sistema apoyándose en el estudio de las condiciones mecánicas de un enjambre de meteoritos.

Las indicaciones directas que pueden proporcionarnos los mismos astros son talmente preciosas, por mínimas que sean, que debo señalarlos la reciente y notable fotografía de la gran nebulosa de Andrómeda obtenida por Mr. Roberts. Esta fotografía nos muestra una especie de tormenta torbellinar de materia luminosa distribuida en un plano inclinado con relación á la línea visual, en la cual una serie de anillos de materia brillante, separados por espacios oscuros y escorzados por la perspectiva, rodean una masa central enorme y mal definida.

Además, si se quisiera comparar de una manera demasiado directa esos astros lejanos en un período cualquiera de la formación del sistema solar sería querer “comparar cosas grandes con pequeñas”, y exponerse á sacar de esta comparación de cosas heterogéneas analogías falsas. Sería, por otra parte, excesiva prudencia prohibirse toda aproximación propia para guiar las investigaciones sobre la historia de los acontecimientos cósmicos.

El antiguo concepto de una materia original especial á las nebulosas, especie de "vapor inflamado,"

"una tumultuosa nube,  
encendida con fuego y litro,"

quedó reducido á la nada por los progresos de la termo-dinámica. En 1854, Helmholtz demostró que el concepto de una materia inflamada que formase las nebulosas no era indispensable, puesto que el movimiento relativo de materia separada por grandes espacios bastaba á suministrar la energía potencial suficiente para producir la elevada temperatura del Sol y de las estrellas. Es sumamente probable que la luz de las nebulosas sea también debida á la conversión de la energía de gravitación en movimiento molecular.

Otra hipótesis, emitida por Mr. Tait, puesta en nuestro conocimiento por Mr. Guillermo Thomson en su discurso presidencial de 1871, consiste en considerar la luz emitida por los cometas y por las nebulosas como debida á una sucesión de chorros de gases inflamados, provocados por el encuentro de piedras meteóricas. Hay que reconocer que el espectro de las nebulosas no responde en manera alguna á esta concepción. Las rayas de las sustancias que entran sobre todo en la composición de los meteoritos (hierro, sodio, magnesio, níquel), no se encuentran en los espectros de las nebulosas, que se caracterizan, al contrario, por un corto número de rayas brillantes más estrechas y más limpias, resaltando sobre un espectro continuo, débil, que contiene numerosas líneas brillantes y probablemente algunas líneas de absorción. Las dos líneas más marcadas han quedado sin interpretación, y la segunda de ellas se aproxima mucho á una fuerte línea doble del hierro, pero sin que haya coincidencia completa. Una casi coincidencia de la línea principal con la doble línea brillante del ázoe, tal como la daban los pequeños espectroscopios de 1864, había conducido en esta época á admitir la posibilidad de la presencia de este elemento en la nebulosa; pero esta presunción no se ha confirmado.

La tercera línea del espectro de las nebulosas corresponde á la segunda línea del primer espectro del hidrógeno, y el Sr. Keller ha visto la primera línea del hidrógeno en el rojo. Las fotografías muestran que el espectro del hidrógeno existe probablemente en su forma completa (ó casi completa), tal como nos la ha hecho conocer el espectro de absorción en las estrellas blancas. La línea  $D_3$ , que se encuentra cerca de la posición que ocuparían las rayas ausentes del sodio, parece debida al átomo de algún gas desconocido que no podría manifestarse en el Sol sino en las explosiones á altísima temperatura, y, por lo tanto, no podría revelarse en el espectro de absorción de este astro.

No está fuera de razón suponer que las dos líneas principales que son del mismo orden estén producidas por sustancias de igual naturaleza ani-

madas de movimientos vibratorios correspondientes á una muy elevada temperatura. Estas sustancias podrían ser, como la que parece indicar la línea  $D_3$ , algunos de esos elementos que faltan aún en nuestra química terrestre entre el hidrógeno y el litio.

En los experimentos de laboratorio nos es menester recurrir á la descarga eléctrica para obtener el espectro del hidrógeno. Ahora bien: en un tubo neumático, sea á consecuencia de la rareza relativa de los átomos luminosos, sea por otra causa, la temperatura de los gases puede permanecer baja con una irradiación considerable. De igual manera en las nebulosas, gracias á su extensión considerable, un número comparativamente débil de moléculas luminosas puede bastar á dar el brillo con que nos aparecen estos cuerpos celestes, permaneciendo bastante débil la temperatura aunque las moléculas, hechas luminosas por sus choques mutuos, puedan tener movimientos que correspondan á una temperatura muy elevada. En las masas difusas de este género los choques moleculares son raros, pero violentos, y tienden á provocar vibraciones de período relativamente corto, como parece ser el caso, según podemos juzgar en vista del gran brillo relativo de las líneas más refrangibles, del espectro de las nebulosas. Por ese camino es quizás por donde debe buscarse la explicación de la contradicción aparente que parece existir entre la elevada temperatura indicada por el espectro de las nebulosas y la temperatura media, relativamente débil, de la masa gasiforme en una época bastante poco adelantada de condensación, á menos de que se admita una masa enorme y una materia previamente animada de un movimiento considerable ó de una agitación molecular extrema.

El espíritu humano es insaciable en su curiosidad. La explicación del actual estado de cosas no le basta: interroga el pasado y trata de penetrar los orígenes del Universo.

¿Cuál ha sido el estado original? ¿Cómo encontramos nebulosas al lado de mundos envejecidos ya? ¿No son debidas esas nebulosas á la colisión de soles oscuros, y no señalan el origen de una nueva generación de cuerpos celestes? El período histórico, tan corto, no presenta ningún ejemplo de fenómenos de este género; pero ¿síguese de aquí que debemos rechazar la posibilidad de tal origen de las nebulosas? Este entrechocamiento de soles oscuros explicaría el rejuvenecimiento temporal de los cielos á pesar de su evolución continua y sin compensación. No es menester perder de vista, por otra parte, que, en la parte de los cielos que vemos, las estrellas que se hallan aún en sus primeros períodos y en los períodos medios de su evolución son en mucho mayor número que las que nos aparecen en un estado más avanzado de condensación. Algunas de esas estrellas no se alejan mucho de la condición de las nebulosas.

Quizás los cuerpos cósmicos aun en estado de nebulosa deben su desarrollo tardío á condiciones particulares de la parte del espacio en que se encuentran, tal, por ejemplo, como una homogeneidad original mayor, gra-

cias á la cual ha quedado retardada la condensación. La condensación puede, en otras partes del espacio, haber quedado más retardada todavía, y puede no haber empezado aún. Es notable, por otra parte, que las nebulosas estén agrupadas hacia la Vía Láctea, donde encontramos una preponderancia del tipo de estrellas blancas y casi exclusivamente las estrellas de líneas brillantes que Pickering asocia á las nebulosas planetarias. Por otra parte, Mr. Gill deduce de la rapidez con que las estrellas débiles de la Vía Láctea impresionan la placa fotográfica, que esas estrellas pertenecen también, en una gran proporción, á ese tipo primitivo de estrellas. Encuéntrase, á la verdad, en esta región de las estrellas, otros tipos, y aun, en ciertas partes, estrellas rojas de hidrocarburos; pero es posible que esas estrellas se encuentren antes ó detrás de la Vía Láctea y no estén físicamente enlazadas con ellas.

Si el examen del espectro de esas nebulosas puede sugerir la idea de una materia luminosa, cabe preguntar, á título puramente especulativo, si no asistimos acaso á una condensación tardía de una parte de esa materia luminosa dejada atrás cuando el primer chorro que dió origen á los mundos actuales. La vasta extensión y la gran difusión de las nebulosidades de líneas brillantes en una gran parte de la constelación de Orión puede ser considerada como viniendo en apoyo de estas ideas. La materia nebulosa que circula alrededor de las Pléyades puede proporcionar otro ejemplo, aunque el carácter de su espectro no se haya establecido aún de una manera cierta.

En sus investigaciones sobre el equilibrio de una masa fluida animada por un movimiento de rotación, Mr. Jorge Darwin encuentra, de acuerdo en eso con el resultado de las investigaciones independientes de Poincaré, que cuando á consecuencia del aumento de velocidad angular se desprende una parte del cuerpo central, tiene una importancia más considerable de lo que muestra la observación respecto de los planetas y sus satélites en nuestro sistema solar, y eso teniendo en cuenta la homogeneidad de la condensación de la masa madre. Este estado de cosas, en el cual las masas, si no iguales, son por lo menos del mismo orden, parece prevalecer en muchas nebulosas y ha dado origen á la gran clase de las estrellas dobles. El estudio de la evolución de esos cuerpos celestes hecho últimamente por Mr. Séé, ha puesto en luz la excentricidad considerable de sus órbitas y muestra que el sistema solar podría muy bien no ser el tipo de la evolución cósmica normal, sino que, por el contrario, se hubiese encontrado sometido á influencias particulares.

Es muy posible, por lo demás, que en épocas remotísimas las masas en condensación hayan estado sujetas á condiciones muy diferentes, y no es inadmisibles que la condensación haya podido seguir, según los casos, órdenes de evolución diferentes.

Los servicios prestados por la espectroscopia no se limitan á su aplica-

ción directa al análisis químico de los cuerpos celestes, sino que su uso indirecto ha conducido aún á resultados todavía más maravillosos.

Los movimientos de aproximación ó de alejamiento de las estrellas parecían deber escaparnos para siempre. *A fortiori*, no podía ser cuestión de medirlos. Todo cuerpo que se mueve en la dirección de rayo visual parece inmóvil, y en el caso de las estrellas no hay que esperar ninguna indicación de los cambios de grandor ó de brillo. Tomando por punto de comparación la más próxima de todas ellas, y con nuestros mejores instrumentos, una carrera de un siglo en nuestra dirección, con una velocidad de 100 millas por segundo, no aumentaría su brillo sino  $\frac{1}{40}$ .

Esta ignorancia de los movimientos estelares era un obstáculo insuperable para llegar á una apreciación exacta de la velocidad y de la dirección del movimiento del Sol á través del espacio, y, faltos de esos elementos, debían quedar sin solución los grandes problemas de constitución de los cuerpos celestes. Pero hé aquí el espectroscopio, que nos proporciona la manera de penetrar en la naturaleza de las cosas cuyo conocimiento parecía estarnos vedado para siempre. Gracias á este admirable instrumento, esas mediciones, que causaban nuestra desesperación, van á poder efectuarse sin dificultad y con una aproximación de algunas millas por segundo; vamos á poder conocer, en fin, la velocidad con que este ó el otro cuerpo celeste se aleja de nosotros, ó se aproxima; y eso lo mismo para los cuerpos más cercanos que para los situados en los últimos límites del Universo: basta que nos llegue su luz.

Ya en 1841 indicó Doppler que, á semejanza del sonido, la luz se hacía más intensa ó perdía su brillo, según se acercaba ó se alejaba; y aun pensó ver en esta propiedad la explicación de la diferencia de colores de algunas de las estrellas dobles. Esta conclusión era errónea. Aun admitiendo que una estrella cambia de lugar con una velocidad infinitamente considerable para alterar de una manera sensible el color que emite para nuestros ojos, este cambio no sería percibido, porque ciertas ondas invisibles, situadas más allá de los dos límites del espectro primitivo, se encontrarían exaltadas ó degradadas, é irían á ocupar el puesto de las aumentadas ó disminuídas de la región primitivamente visible. Habría una especie de compensación, y el color de la estrella no quedaría modificado.

Pero el principio puesto en luz por Doppler era fecundo en resultados. Así que se hubo aprendido á reconocer en el espectro de los cuerpos celestes las rayas de las sustancias conocidas, este principio fué la base de un método de investigación que dió resultados maravillosos. La medición de las ligeras desviaciones de las rayas celestes con relación á las rayas telúricas correspondientes facilitó el medio de determinar directamente, en millas por segundo, la velocidad con que se aproxima ó se aleja el cuerpo celeste cuya luz analizamos.

La primera aplicación de este método fué hecha en 1868 en mi observatorio, y sir Gabriel Hokes dió cuenta de ello en esta cátedra en 1869, en

el Congreso de Exeter. Los movimientos estelares que me había permitido establecer fueron confirmados poco después por el Sr. Vogel en lo que concierne á Sirio, y por Mr. Christie para otras estrellas. Naturalmente, la imperfección de los aparatos que teníamos entonces á nuestra disposición para mediciones tan delicadas no nos permitió obtener sino valores aproximados.

Observaciones en igual sentido fueron continuadas casi de una manera sistemática en Greenwich y en el observatorio de Rugby, pero sin dar los resultados seguros y concordantes necesarios en las investigaciones de una naturaleza tan excepcional. El espectroscopio no era familiar aún á nuestros astrónomos. No hay, por lo demás, que buscar otra causa, á los quince años de retraso sufridos por la Astronomía, que la indiferencia manifestada respecto á un instrumento que tan poderoso es, sin embargo, y que debía abrir nuevos horizontes, como pronto vinieron á atestiguar los resultados brillantes obtenidos en estos últimos años en Postdam y en el observatorio de Lick. Hoy el espectroscopio ha conquistado en nuestros observatorios el lugar que merece, y la espectroscopia es una de las ramas más brillantes de nuestra ciencia. Y ciertamente será ella la que dotará á la Astronomía con importantes descubrimientos en el siglo que va á abrirse.

En Postdam el empleo del espectroscopio se ha combinado con el de la fotografía. A fin de obtener, sin exposición demasiado prolongada, el espectro del mayor número posible de estrellas, Vogel ha limitado cuidadosamente el espectro fotografiado á la región para la cual las placas ordinarias de gelatino-bromuro son más sensibles, es decir, á una pequeña distancia á una y otra parte de *G*. Emplea como línea de comparación la línea del hidrógeno cerca de *G*, y también, desde hace algún tiempo, las rayas del hierro. Las disposiciones mecánicas más ingeniosas y más minuciosas aseguran la rigidez absoluta del espectro de comparación con relación al de la estrella estudiada. Esos mecanismos permiten operar todas las correcciones de temperatura, etc.

La perfección de los espectros así obtenidos queda atestiguada por el gran número de rayas, que no bajan de 200 en el caso de la Cabra para la sola región fotografiada.

Este modo de operación ha permitido ya determinar con tales aproximaciones que algunas de ellas llegan á un kilómetro por segundo, los movimientos de cincuenta estrellas.

El observatorio de Lick ha obtenido directamente resultados de una exactitud igualmente grande. Tratándose de observaciones hechas durante tres noches sobre la estrella Arturo, la divergencia extrema de las mediciones no alcanzaba á un kilómetro por segundo, y el término medio de las tres noches concuerda en  $\frac{16}{100}$  de kilómetro con el término medio de las cinco determinaciones fotográficas practicadas sobre la misma estrella en Postdam. Las mediciones han recaído sobre los movimientos de un sol tan

prodigiosamente lejano de nosotros que las ondulaciones luminosas que de él emanan tardan cerca de 200 años en llegar hasta nosotros.

Mr. Keeler ha realizado en el observatorio de Lick, con los medios magníficos de que dispone, la tarea que yo había intentado llevar á cabo, vanamente, en 1874: la medición de los movimientos de algunas nebulosas planetarias en la línea visual. Puesto que las estrellas están en movimiento, las nebulosas que les han dado origen deben también cambiar de lugar en el espacio. Desgraciadamente yo no disponía sino de instrumentos insuficientes; pero Mr. Keeler ha encontrado, examinando los movimientos de diez nebulosas, velocidades que varían de 3 á 43 kilómetros, y un movimiento de velocidad excepcional de cerca de 64 kilómetros.

Mr. Keeler atribuye á la nebulosa de Orión un movimiento retrógrado de 16 kilómetros por segundo. Este movimiento concuerda con el que resultaría de la impulsión solar, tanto como permite determinarle la incertidumbre que reina aún respecto á la velocidad probable del Sol en el espacio.

En esta vía de investigaciones, el espectroscopio deja detrás de sí al telescopio, sea cuales fueren la habilidad de los fabricantes de cristal y la ciencia de los ópticos. El espectroscopio es el que ha mostrado que ciertas estrellas, simples en apariencia, eran dobles en realidad, aunque nada permitía sospechar esta duplicación. Ha aumentado la lista de las estrellas dobles y nos ha revelado la existencia de una clase de estrellas formadas por elementos de importancia casi igual, mutuamente aproximadas y accionadas por movimientos de rotación cuya velocidad excede de mucho á la de los planetas del sistema solar.

Así es como la raya *K* de las fotografías de Mizar, sacadas en el observatorio de *Harvard Collège*, fué reconocida como desdoblándose á intervalos en cincuenta y dos días. El espectro no era debido, pues, á un manantial de luz única, sino al efecto combinado de dos estrellas que se desviaban en dirección opuesta de una manera periódica. Claro está, en efecto, que, si dos estrellas giran alrededor de un centro de gravedad común en un plano no perpendicular á la línea visual, todas las líneas espectrales comunes á las dos estrellas aparecerán alternativamente sencillas ó dobles.

Las observaciones espectroscópicas no son bastante completas aún, pero facilitan ya una determinación aproximada de los elementos de las órbitas de esos cuerpos celestes. Mizar, especialmente, con un período relativamente largo (150 días próximamente), necesita otras observaciones. Sábese, sin embargo, que las dos estrellas que la componen se separan con una rapidez de cerca de 80 kilómetros por segundo, describiendo órbitas probablemente elípticas; que distan cerca de 230 millones de kilómetros una de otra y tienen un brillo casi igual; que, en fin, su masa total es cerca de 40 veces la de nuestro Sol.

Las fotografías de Harvard muestran una duplicación similar para  $\beta$  del Cochero, con un intervalo casi exactamente de dos días, indicando un pe-

ríodo de revolución de cerca de cuatro días. Según las últimas observaciones de Vogel, cada estrella tendría una velocidad de 112 kilómetros por segundo, la distancia entre ambas sería de 12 millones de kilómetros, y su masa total sería de 4<sup>7</sup> veces la del Sol. El sistema se acercaría hacia nosotros con una rapidez de 25 kilómetros por segundo.

Jamás hubiera podido el telescopio revelarnos las estrellas dobles de este orden. En el caso, por ejemplo, de  $\beta$  del Cochero, comparando los resultados de Vogel con la paralaje determinada recientemente por Pritchard, se verá que la distancia angular máximo que separa las dos estrellas, vistas desde la Tierra, no excedería de la 200.<sup>a</sup> parte de un segundo, y sería, por lo tanto, demasiado infinitamente pequeña para poder ser apreciada ni aun con los más poderosos telescopios. La resolución de esta estrella doble exigiría un objetivo ¡de cerca de 24 metros de diámetro! Con el espectroscopio, para el cual no existen distancias, la separación angular se encuentra amplificada cuatro mil veces; el doblamiento de las líneas, fenómeno observado, abraza la cantidad cómodamente mensurable de 20'' de arco.

Las fotografías de Harvard han sido obtenidas con espectroscopios en los cuales los prismas están colocados, como había hecho Fraunhofer, delante del objetivo del telescopio. Si tiene sus ventajas, esta disposición ofrece, sin embargo, un inconveniente serio, y es no permitir la comparación directa de los espectros estelares con los espectros terrestres; comparación necesaria para ciertas estrellas variables, tales como Algol. El espectroscopio de Postdam, por el contrario, permite esta comparación, y el Sr. Vogel ha encontrado que la estrella brillante de ese grupo binario estaba animado por un movimiento de vaivén en el sentido de la línea visual. Ha demostrado, además, que la explicación dada acerca de la variabilidad de esa estrella era fundada, á saber, que la estrella brillante estaba eclipsada á intervalos regulares de 68<sup>8</sup> horas por un compañero oscuro bastante ancho para enmascarar los  $\frac{5}{6}$  de su luz. Diez y siete horas antes del minimum, Algol retrocede con una velocidad de cerca de 40 kilómetros por segundo: diez y siete horas después de este minimum adelanta, por el contrario, con una velocidad de 45 kilómetros. Suponiendo que las dos estrellas tengan una misma densidad, Vogel ha calculado que el compañero, casi tan grande como el Sol, pero con una masa cuatro veces menor, gira con una rapidez de cerca de 88 kilómetros por segundo, y que la estrella brillante, de masa y de grandor casi dobles, se desvía alrededor de este centro de gravedad común con una velocidad de 42 kilómetros por segundo. El sistema de las dos estrellas, que están separadas por una distancia de 5 millones de kilómetros, se acerca, finalmente, hacia nosotros con una velocidad de 42 kilómetros por segundo. El fulgor de la estrella brillante no baja de cincuenta veces más que el del compañero, por lo cual hay pie para suponer que las dos estrellas se encuentran en diferente época de condensación, y que, por lo tanto, no tienen la misma densidad.



Claro está que si la órbita de una estrella con compañero oscuro está inclinada sobre la línea visual, el compañero pasará por encima ó por debajo de la estrella brillante y no producirá ninguna variación de luz. Los sistemas de este género pueden ser numerosos. Las fotografías que Vogel ha sacado de la Espiga, estrella que no es variable, muestran una ligera desviación de las líneas de esta estrella, indicio de un movimiento alternativo periódico. Como el par de estrellas gira alrededor del centro de gravedad común, la estrella brillante está algunas veces en avance. La revolución se verifica en dos días, desviándose cada estrella con una velocidad de cerca de 90 kilómetros por segundo, siguiendo una órbita probablemente casi circular. Sus masas son superiores  $2\frac{1}{2}$  veces á la del Sol. Entablando sobre el mayor valor probable de la paralaje, la separación angular máximo sería demasiado pequeña para poder percibirse con el más poderoso telescopio.

En el caso de una estrella doble en que el compañero débil es del tipo de las estrellas blancas y la estrella brillante es del tipo solar, el espectro compuesto será el solar, con las líneas del hidrógeno más marcadas. Tal espectro indicará en seguida el doble origen y revela la existencia de su compañero.

Mr. Pickering cree que sus fotografías indican diez estrellas con espectros compuestos. Cinco de esas estrellas son conocidas por ser dobles. Las otras son:  $\tau$  de Perseo,  $\zeta$  del Cochero,  $\vartheta$  del Sagitario,  $\eta$  de la Ballena y  $\beta$  de Capricornio. Quizás haya que añadir  $\beta$  de la Lira.

Señalemos, en fin, el cálculo de la rotación solar, no solamente para el ecuador, sino también para diferentes paralelos, hasta  $75^\circ$ , dado por Duner en su reciente obra clásica sobre la rotación del Sol. Los resultados obtenidos presentan una concordancia muy satisfactoria con los que habían proporcionado los antiguos métodos, basados en la *observación de las manchas*.

Aunque haya hablado incidentalmente del auxilio inapreciable que la fotografía ha aportado al espectroscopio en el estudio de los cuerpos celestes, la potencia que la fotografía moderna ha puesto en manos de los astrónomos es tan considerable y ha dado en estos últimos años tales resultados, que no podría negar algunas líneas especiales á esta rama de la astronomía física.

La fotografía no constituye un descubrimiento nuevo: data casi de medio siglo, y podríamos sorprendernos de que los astrónomos hayan esperado hasta estos últimos años para sacar partido de ella, cuando, ya en 1839, Arago, anunciando á la Academia de Ciencias el gran descubrimiento de Niepce y Daguerre, indicaba ya la posibilidad de sacar imágenes del Sol y de la Luna por los nuevos procedimientos. Hay que buscar la explicación de esta aparente apatía en la imperfección de los métodos primitivos de fotografía desde el punto de vista del uso que podían hacer de ella los observatorios. Hay que hacer justicia á los astrónomos que fueron los pri-

meros en servirse de la fotografía, entre los cuales ocupan el primer lugar Bond, de La Rue, J. W. Draper, Rutherford, Gould, y reconocer que los éxitos alcanzados recientemente en esta senda no son debidos en manera alguna á mayor habilidad ó á instrumentos perfeccionados, sino sencillamente á las inmensas ventajas que presenta la placa de gelatina seca moderna sobre los métodos de Daguerre, y aun sobre la capa de colodión húmedo.

Reserva hecha de su textura granulosa, la placa de gelatino-bromuro moderna responde de todo punto á las necesidades del astrónomo. Dotada de extremada sensibilidad, está siempre presta para el uso y puede ser empleada en la posición que se quiera. Puede permanecer expuesta horas enteras. En fin, no exige un desarrollo inmediato, lo cual permite exponerla delante del mismo objeto durante muchas noches consecutivas, realizándose en diferentes veces, y según el tiempo lo permite, la duración total de postura que se juzga necesaria.

Sin el auxilio de la fotografía, el astrónomo, por grandes que sean los recursos de su genio, depende en último análisis de su órgano visual, y ya se sabe la fugacidad de las imágenes oculares y el débil grado de su intensidad. La placa fotográfica, por el contrario, posee la propiedad de acumular, por decirlo así, indefinidamente las acciones luminosas y conservar su huella. Ni la más débil porción de luz que cae sobre la placa queda perdida, sino que prende en ella y se almacena allí de una manera continua. Cada hora la placa recoge 3,600 veces la energía luminosa que recibe durante el primer segundo. Este poder de acumulación es el que ha hecho de la fotografía astronómica un método tan fecundo de investigaciones.

En dos direcciones principales puede ser, sobre todo, la Astronomía, de gran socorro para el astrónomo. Primero para permitirle fijar con exactitud, en el tiempo relativamente corto de exposición, sea las posiciones relativas de centenares y aun de millares de estrellas, sea los detalles de nebulosas ó de otros cuerpos celestes, sea las condiciones de un eclipse, y conservar esos datos, cuya reunión hubiera exigido de otra manera un gasto considerable de tiempo y de trabajo, admitiendo que se hubiese podido alcanzarlo. En esta vía, la fotografía permite al astrónomo, en el corto espacio de la vida, trabajos que, sin su auxilio, hubieran debido ser trasmitidos de generación en generación para poder ser llevados á término.

Pero hay más: las placas fotográficas que se sabe preparar hoy no son solamente sensibles á los rayos elementales que excitan la retina. Gracias á su propiedad de acumulación, extienden aún su poder á esas regiones ultra-violeta y á las opuestas del infra-rojo del espectro en que el ojo resulta impotente. Así (y esta es la segunda de las grandes direcciones que yo indicaba), la fotografía viene á revelarnos fenómenos que, de otra manera, nos hubieran escapado por completo.

El presente año será señalado en los anales de la Astronomía, pues en él hemos visto el comienzo de los vastos trabajos necesarios para la ejecu-

ción de la carta geográfica de los cielos, cuyo establecimiento quedó acordado en la conferencia internacional en 1887 á invitación del almirante Monchez, director del observatorio de París.

La riqueza en estrellas de las nueve primeras magnitudes de las fotografías del cometa de 1882 obtenidas en el observatorio del Cabo bajo la dirección de Mr. Gill, y las notables cartas estelares publicadas dos años después por los hermanos Henry, habían asombrado al mundo astronómico. La excelencia de esas fotografías, gracias, sobre todo, á la superioridad de la placa de gelatina, debía hacer nacer la idea de establecer una carta completa de los cielos. Esta idea fué emitida, en efecto, por algunos astrónomos de París, y después de laboriosas negociaciones acordóse el establecimiento de dicha carta. Ya se comprende que una empresa de este jaez debe suscitar multitud de cuestiones difíciles y delicadas. Fué menester organizar los trabajos de manera que convergiesen á un fin común los trabajos perseguidos por las diversas naciones en diez y ocho observatorios repartidos en el mundo entero, y no han sido menester menos de tres años, transcurridos desde 1887, para acordar los detalles de organización, que por ser insuficientes nuestros conocimientos exigieron investigaciones preliminares, que hicieron los Sres. Vogel y Backhuyzen, Trepied, Scheiner, Gill y otros. Ha sido menester también construir instrumentos especiales nuevos.

El programa acordado definitivamente por la Conferencia consiste en perseguir la construcción de una gran carta fotográfica de los cielos con un tiempo de postura correspondiente á cuarenta minutos de exposición en París, lo que deberá dar las estrellas hasta la 14.<sup>a</sup> magnitud, á corta diferencia. Cada placa está limitada á 4<sup>o</sup> cuadrados, y, á fin de evitar todo error, cada estrella debe aparecer en dos placas. El trabajo completo no exigirá menos de 22,000 clichés. Para obtener una determinación más precisa de la posición de las estrellas se proyectará previamente sobre la placa, con una débil luz, una red de líneas distante entre sí 5 milímetros, por manera que la imagen de la red aparezca con las imágenes de las estrellas cuando el desarrollo de la placa. Este gran trabajo estará repartido entre los diez y ocho observatorios, según sus latitudes. Estos observatorios estarán provistos de instrumentos semejantes, pero que podrán ser contruidos por fabricantes diferentes.

Independientemente de las placas destinadas á formar la gran carta se formará una segunda serie para constituir un catálogo. Estas últimas placas se sacarán con una exposición menos prolongada y no darán más que las estrellas de hasta la 11.<sup>a</sup> magnitud. Este catálogo, que se llevará á cabo con la mayor celeridad, marcará una primera etapa y permitirá hacer las determinaciones necesarias, menos laboriosas, por otra parte, que si hubiera debido extenderse un catálogo de este género sin auxilio de la fotografía.

Ya Mr. Gill, astrónomo real, ayudado por Mr. Kapteyn, ha terminado casi el levantamiento fotográfico preliminar del hemisferio sur.

Con un tiempo de postura suficientemente largo para que las estrellas más pálidas impresionen la placa, la acción acumulatriz obra en cuanto á las estrellas más brillantes; de manera que produce un ensanchamiento de de sus imágenes, á consecuencia de causas ópticas y de causas fotográficas. Muchos astrónomos han fijado su atención en saber si no sería posible encontrar una ley que refiriese los diámetros de las estrellas así obtenidas por una exposición más ó menos prolongada al estado relativo de las estrellas mismas. Hay que responder, sin duda, por la afirmativa; pero hasta el presente las fórmulas empíricas indicadas con este objeto difieren unas de otras. El señor capitán Abney ha propuesto medir la acción fotográfica, así densidad como magnitud, por la obstrucción que la imagen de la estrella presenta á la luz.

Otra cuestión es la de la relación entre la magnitud fotográfica de las estrellas y la determinada por el ojo. Las magnitudes visuales son la expresión fisiológica de la integración hecha por el ojo de la parte de la luz de la estrella que se extiende del rojo al azul. Las magnitudes fotográficas representan la integración por la placa de otra parte de la luz de la estrella, la que se extiende desde un poco por debajo del punto en que cesa el poder de percepción del ojo hasta el azul, en que la luz está interceptada por el cristal, ó por lo menos considerablemente reducida por la ausencia de las correcciones convenientes, cuando nos servimos de un telescopio de refracción. Claro está que esas dos integraciones no podrían ser comparadas. En el caso de ciertas estrellas de color, el brillo fotográfico es muy diferente del brillo visual, y en todas las estrellas pueden producirse modificaciones, sobre todo si no tienen más que un carácter temporal, en una ú otra de las regiones, sin afectar la región del espectro. Así, sería de desear que las dos series fuesen tomadas aparte, sirviendo la una de complemento á la otra.

La determinación de las distancias de las estrellas fijas según su ligera desviación aparente, cuando se las mira desde dos puntos muy lejanos en la superficie de la Tierra, constituye una de las operaciones más delicadas que puedan practicarse en los observatorios. La extremada precisión que exige la medida de ángulos tan mínimos (una fracción de segundo solamente) es tan delicada de realizar con el micrómetro ordinario, por más que este instrumento sea el que haya servido á sir Roberto Ball para sus observaciones, que se han hecho clásicas (1), que se impone un instrumento especial. Este instrumento, conocido con el nombre de *heliómetro*, y en el cual las mediciones están efectuadas por la separación de las dos mitades de su objetivo de cristal graduado, ha dado los mejores resultados en las manos hábiles de los Sres. Gill y Elkin.

Es evidente que aun aquí puede prestar grandes servicios la fotografía

(1) Refiérese al autor de *La historia de los cielos*.—(Nota del T.)

puesto que nos permite efectuar nuestras mediciones sobre fotografías de las mismas estrellas tomadas á intervalos de tiempo convenientes. Mr. Pritchard, en quien recae el honor de haber abierto esta nueva senda, ha demostrado con laboriosas investigaciones que las paralajes pueden ser medidas con seguridad sobre placas fotográficas. Este método le ha permitido ya determinar la paralaje de 21 estrellas, con una aproximación que no cede en nada á la de los valores obtenidos anteriormente con los métodos puramente astronómicos.

Los éxitos notables de la fotografía astronómica, debidos al poder de acumulación de una luz muy débil obrando de una manera continua durante una exposición de muchas horas, constituyen una verdadera revolución. La serie fué abierta en 1880 por Mr. Draper, que obtuvo una fotografía de la nebulosa de Orión; pero los resultados más importantes fueron obtenidos en 1883 por Mr. Common, cuyas fotografías nos hicieron conocer los detalles, desconocidos hasta entonces, de su naturaleza. Un nuevo descubrimiento sobrevino en 1885, en cuya época los hermanos Henry mostraron por primera vez, con gran detalle, la nebulosidad en espiral que partía de la brillante estrella Maya de las Pléyades, y poco después las corrientes de nebulosidad que rodean las otras estrellas de ese grupo. En 1886, Mr. Roberts mostró, en una fotografía obtenida al cabo de tres horas de postura, que todo el trasplán de ese grupo era nebuloso, y al año siguiente el mismo observador hizo más que doblar la grande extensión de la región nebulosa que rodea el trapecio de la constelación de Orión. Las fotografías de la gran nebulosa de Andrómeda nos dan la verdadera interpretación de los canales oscuros que en ella percibe el ojo. Son, en realidad, espacios situados entre anillos sucesivos de materia brillante, que nos aparecen casi rectos á consecuencia de su inclinación respecto á nosotros. Esos anillos brillantes rodean una masa central luminosa. He hablado ya de esas fotografías.

Recientes fotografías de Mr. Russell muestran que la parte de Vía Láctea que está cerca de Argos, y que á simple vista parece desprovista de estrellas, está, en realidad, cubierta de ellas uniformemente. Por fin, hace poco tiempo, Mr. Jorge Hale ha fotografiado las protuberancias haciendo uso de las líneas H y K.

Las estrellas, esparcidas con profusión y de una manera irregular, tapizan los cielos. Las más brillantes de entre ellas están reunidas en grupos bien conocidos, resaltando sobre un fondo formado por un entrelazamiento de corrientes nebulosas y de estrellas más débiles, que abundan, sobre todo, en la zona, vacía en apariencia, de la Vía Láctea.

Nuestra posición en medio de esta multitud de astros no nos permite ver sino un universo deformado y hecho más confuso aún, por mezclarse los agrupamientos aparentes con los agrupamientos reales. Aquí los astros se nos aparecen en tropel: allí están sembrados más escasamente: en otros puntos nos parecen superpuestos.

¿Podemos admitir que cada uno de esos puntos luminosos no tiene más relaciones con los otros que las relaciones accidentales de vecindad de los granos de arena de una misma playa ó de las polvaredas levantadas por el viento del desierto? Evidentemente no. Cada estrella, desde Sirio y Vega hasta las más ínfimas de la Vía Láctea, tiene un lugar marcado en el conjunto del Universo; lugar que resulta de su lenta evolución en el pasado. Estamos en presencia de un sistema de sistemas, y en cada porción del Universo se reproducen los mismos caracteres generales de agrupación corriente y entrelazamientos en espiral. El todo está en movimiento, cada uno de sus puntos se mueve con una velocidad de muchos kilómetros por segundo, y, sin embargo, es tal la augusta grandeza del mundo celeste, que por la acumulación de los movimientos que se han producido durante años y aun durante generaciones sólo se revelan algunos ligeros cambios de posición relativa.

Descifrar esta maravillosa constitución de los cielos será uno de los principales trabajos astronómicos del siglo próximo.

La primera parte de la tarea, la determinación del movimiento del Sol en el espacio, ha sido ya inaugurada, gracias al espectroscopio, que ha permitido la medición de los movimientos estelares en la línea visual.

En las otras ramas de la Astronomía acumúlense también las observaciones: fotografías de grupos y de partes de la Vía Láctea, por Roberts; en este país por Barnard en el observatorio Lick, y por Russell en Sydney; recuento de las estrellas y estudio de su configuración, por Holden y por Backhouse; carta ocular de la Vía Láctea, en Parsonstown; fotografías de los espectros estelares, por Pickering, en Harvard y en el Perú; fotografía exacta de los cielos, comenzada este año para la gran carta internacional.

No he hecho más que desflorar los problemas nuevos abordados por la Astronomía. Numerosos son aún los que reclamarían nuestra atención si el tiempo nos permitiese detenernos en ello: investigaciones del conde de Rosse sobre la irradiación lunar, y trabajos de Langley sobre el mismo asunto y sobre el Sol; observaciones sobre el calor lunar hechas por mister Boys con un instrumento especial de su invención; observaciones de M. Frank Very sobre las variaciones del calor lunar, según las fases; descubrimiento de la parte ultra-violeta del espectro del hidrógeno, no en el laboratorio, sino en los espectros de las estrellas; confirmación de ese espectro por el hidrógeno terrestre, en parte por H. Vogel y en su forma completa por Corun, que encuentra series similares en el espectro ultra-violeta del aluminio y del talio; descubrimiento, por Balmer, de una fórmula simple para las series de hidrógeno, etc. La importante cuestión de las relaciones numéricas entre los espectros de las diferentes sustancias, sobre todo desde el punto de vista de sus propiedades químicas, y la del origen de la armonía y de las otras relaciones entre las líneas y los agrupamientos de líneas del espectro (cuestiones que han dado lugar, en el curso del año último, á los trabajos de Rudolf van Kavesligethy, de Ames, de Hart-

ley, de Deslandres, de Johnstone Stoney y otros); la notable aplicación hecha por Mr. Michelson de los fenómenos de interferencias para la determinación de la magnitud y de la repartición de la luz sobre las imágenes de los objetos que, vistos en un telescopio, subtienden un arco menor que el diámetro del objetivo; otras cuestiones, aún, de física molecular, exigirían también algunas palabras cuando menos.

Las antiguas vías de investigaciones astronómicas no han sido abandonadas. El empleo de los métodos nuevos, el uso de instrumentos más poderosos y mejor contruídos, un análisis más minucioso de los hechos observados, han permitido acrecentar nuestros conocimientos, sobre todo en precisión.

La Astronomía, la más vieja de las ciencias, se ha rehecho una juventud. En ninguna época de su historia ha sido tan brillante ni ha abrigado tantas aspiraciones y esperanzas infinitas. Nunca sus templos han sido tan numerosos, ni la muchedumbre de sus adeptos tan grande. Ya la Asociación Astronómica Británica, formada este año, cuenta con más de seiscientos individuos. ¡Cuán verdaderamente envidiable es la suerte de los que se hallan aún en el Oriente del meridiano de la vida!

Pero ya ¡ay! han desaparecido los fundadores de los métodos nuevos: Kirchhoff, Angström, D'Arrest, Secchi, Draper, Becquerel. Sin embargo, están reemplazados, y sus esfuerzos continuados hacia el puerto que no está, ni estará nunca, á la vista.

Desde Newton, nuestro conocimiento de los fenómenos de la Naturaleza se ha acrecentado de una manera maravillosa, y, sin embargo, hoy, más que entonces, nos preguntamos cuál es la realidad final detrás de la realidad de nuestras percepciones. Jugamos con las piedras de la playa, y el océano de la realidad y de la verdad se encuentra siempre más allá.

## LA HIPÓTESIS COSMOGÓNICA DE LA NEBULOSA

POR M. G. MILHAUD

Desde los remotos tiempos en que Tales veía en el agua el principio de todas las cosas y en que Pitágoras buscaba en los números la explicación del mundo, han cambiado mucho, ciertamente, los métodos de investigación. Algo ha permanecido inmutable, y es la necesidad incesante que tiene el espíritu humano de rebasar por audaces concepciones los límites siempre estrechos del dominio de la ciencia positiva. De esta necesidad han nacido todas las hipótesis célebres, cuya historia es, en parte, la del pensamiento humano. Son, por ejemplo, los átomos de Lucrecio, los torbellinos de Descartes. Hoy es la evolución darwiniana, es el éter con sus vibraciones, son todas las concepciones actuales sobre la constitución de la materia, y es la hipótesis de la nebulosa sobre la formación del sistema solar.

Lejos de haber expulsado de su dominio esas suertes de sueños gran-

diosos que nos dan la ilusión de lo infinito, nuestra ciencia moderna las busca con avidez: las hace nacer, por una generalización atrevida, á seguida de cierto número de datos positivos. Después, dejándose guiar por ellas, mientras no choca con alguna contradicción, marcha con paso más seguro al descubrimiento de una porción de conocimientos nuevos. Pero precisamente porque en nuestros días las hipótesis se nos ofrecen bajo el amparo del pabellón de la ciencia nos sentimos demasiado llevados á olvidar su carácter eminentemente provisional. Hoy, más que nunca, una hipótesis que ha durado tiempo bastante para popularizarse, arriesga pasar fácilmente por una verdad demostrada. Ejemplo elocuente de ello es la hipótesis de la nebulosa. Hace pocos años aún á nadie se le ocurría que pudiesen oponérsele formalmente graves objeciones, y, sin embargo, ya de ahora no puede subsistir en su primera forma: se impone la necesidad de corregirla, y con hacer caer nuestras primeras ilusiones entreveremos la eventualidad de su desaparición completa.

I. La idea de la formación de un astro por condensación de una materia extremadamente tenue y diseminada en un espacio más ó menos vasto es, á la verdad, muy antigua. Pero lo que caracteriza la hipótesis moderna de la nebulosa es la tentativa de explicar por esa idea la comunidad de origen de los astros de nuestro sistema solar y sus movimientos, que se verifican en el mismo sentido y casi en el mismo plano. Entendida así, los alemanes la llaman la teoría de Kant, y á veces de Kant-Laplace. Nosotros la llamamos, de ordinario, la hipótesis de Laplace. Dispútase aún sobre los títulos respectivos del filósofo de Königsberg y del geómetra francés, y, sin embargo, la cuestión parece fácil de resolver: por una parte Kant es el primero que en 1755, en su *Teoría del cielo*, publicó su hipótesis; por otra parte es cierto que Laplace, sin conocerla, la elevó más adelante á una concepción diferente, mucho más conforme á los principios de la mecánica, y ha quedado la suya.

Una masa nebulosa de materia reducida á un estado de división extrema y diseminada en todo el espacio en que circulan hoy los planetas: tal es el caos primitivo de Kant. Las moléculas están, en un principio, en reposo; pero se hallan sometidas por esencia á dos fuerzas que las ponen pronto en movimiento y "se convierten para ello en manantiales de vida", á saber: la atracción newtoniana y una fuerza repulsiva sensible entre pequeñas partículas vecinas. La primera tiene por efecto reunir en una sola masa toda la materia ligera que rodea su elemento más denso, y después aglomerar las masas así formadas alrededor de centros más densos aún, de manera que crean núcleos bastante grandes y poderosos para continuar en seguida acrecentándose por su acción á distancia. La fuerza repulsiva, desviando lateralmente las moléculas atraídas por el centro, produce movimientos de toda suerte, de los que no subsistirán, finalmente, sino movimientos circulares paralelos y en el mismo sentido, en los cuales la fuerza centrífuga está equilibrada por la fuerza de caída. Las moléculas que lle-

gan hasta el sol están, por otra parte, "afectadas por ese género de desviación; de suerte que el sol se encuentra animado de una rotación en el mismo sentido." El caos primitivo está trasformado así "en un sistema en el cual todo el espacio comprendido entre dos planos paralelos, muy aproximado al centro, es recorrido libremente por partículas que describen círculos, cada uno con una velocidad correspondiente á su distancia al centro." En ese espacio es donde los centros de densidad preponderante formarán aquí y allá, por atracción, los núcleos planetarios, animados alrededor del sol, y casi en el mismo plano de su ecuador, con el mismo movimiento que sus elementos constitutivos. Por fin, ejerciéndose las mismas acciones en el espacio que rodea cada planeta, dan lugar á los satélites que circulan alrededor del mismo.

Esta concepción de Kant, que extendía del sistema solar al cielo entero, era la primera que se apoyase en la ley de atracción para explicar la unidad de origen de la materia celeste y de sus movimientos. Ya Newton había pensado en sacar de su ley la solución del problema cosmogónico; pero había comprendido que la atracción sola no podría producir nunca sino una sola masa por la aglomeración de todas las moléculas, y que, por consiguiente, no explicaría los movimientos de los planetas alrededor del Sol ni las rotaciones de esos astros sobre sí mismos. Y Newton se había contentado con atribuir la armonía del sistema solar á la unidad de plan del Creador, que había comunicado á cada planeta el impulso conveniente, y aun intervendría de vez en cuando para asegurar la estabilidad del sistema. La tentativa de Kant realizaba, pues, un enorme progreso; pero, desgraciadamente, todo el mérito estaba en la intención y en la alteza de miras, pues al suponer la nebulosa primitivamente en reposo y derivando todos los movimientos circulares que en ella toman origen de dos fuerzas interiores cometía un error de los más graves. Dado un sistema de puntos materiales en reposo sobre los cuales no se ejerce ninguna acción exterior, pueden producirse ciertamente, bajo la influencia de fuerzas interiores, movimientos circulares en todos sentidos; pero hay un teorema bien conocido de mecánica que dice que la suma de las áreas descritas por los radios vectores de todas las moléculas, proyectadas sobre un plano cualquiera, será nula. Si se verifica en alguna parte una rotación ó una circulación en cierto sentido, existirán también necesariamente movimientos en sentido contrario; de suerte que habrá compensación. La hipótesis de Kant no podría explicar, pues, el origen de movimientos casi paralelos y todos en el mismo sentido, como son los del sistema solar.

Sólo existe un medio de escapar á la objeción, y es dotar á la nebulosa de un movimiento original, no más explicable que la atracción y que la materia misma. Así es que Laplace no complicará mucho la noción que podían darnos Newton y Kant, sobre la ciencia de la nebulosa, al añadir á la atracción un movimiento de rotación de la nebulosa sobre sí misma. Ese es el primer carácter que distingue su concepción.

Por otra parte, su nebulosa no está formada, como la de Kant, por partículas independientes que, una vez puestas en movimiento por las fuerzas interiores, poseen cada una su velocidad propia. Es una atmósfera gaseosa que rodea un núcleo central que se forma por condensación, y el conjunto gira sobre sí mismo todo á la vez. En cuanto á la generación de los planetas, estamos lejos de las aglomeraciones fortuitas que nos mostraba Kant produciéndose aquí y allá en el seno de la masa general. La atmósfera del Sol se extiende hasta el punto límite en que la fuerza centrífuga, debida al movimiento, se halla en equilibrio con la gravedad. Cuando se estrecha á consecuencia del enfriamiento de la superficie, su velocidad de rotación, y con ella la fuerza centrífuga, aumentan en virtud del principio de las áreas, según el cual la suma de las áreas descritas por el radio vector de cada molécula, proyectadas sobre el plano del ecuador, permanece constante. El punto límite de la atmósfera se acerca al centro, y aquélla abandona entonces un anillo, que continúa, primero, girando libremente alrededor del Sol, y da, en fin, nacimiento, por concentración, á un planeta ó á un grupo de planetas. La repetición del fenómeno alrededor de cada nebulosa planetaria forma en seguida los satélites.

El principio de la teoría según la cual debe desprenderse un anillo del punto límite en que la fuerza centrífuga se equilibra con la gravedad, recuerda, sin ser idéntico, el de que se sirvió Kant para explicar la formación del anillo de Saturno, pero que no había pensado en aplicar á un sistema cosmogónico. La obra de Kant, por otra parte, érale desconocida á Laplace. A propósito de la hipótesis de Buffon, en virtud de la cual los planetas habrían sido arrancados del Sol y llevados lejos por cometas caídos sobre aquel astro, Laplace declara que, por lo que sabe, Buffon es el único, desde el descubrimiento de Newton, que haya tratado de remontarse al origen de los planetas. Así, sólo á Laplace, según su propio testimonio, es debida la muy conocida teoría cuyos rasgos esenciales nos hemos contentado con recordar, y que ha sido hasta estos últimos tiempos la hipótesis clásica de las nebulosas.

Conocido es el experimento de Plateau: sumérgese en el agua una gota de una mezcla de aceite y de éter de igual densidad que aquélla. Una varilla vertical que la atraviesa permite imprimirla un movimiento de rotación. Aplánase en los polos, hínchase en el ecuador, y pronto abandona en el plano de este último una corona circular, que continúa girando, y que después se rompe en pequeños glóbulos que circulan alrededor de la gota central, animados de un movimiento de rotación sobre sí mismos. Por impresionador que sea el experimento, no debemos exagerar su importancia. Nos recuerda que la hipótesis de Laplace está absolutamente conforme con las leyes de la mecánica y que no es absurdo buscar en ella la explicación del sistema solar; pero no finca aquí el punto más importante: trátase de saber si es ó no la que hay que adoptar con preferencia á una infinidad

de otras que, si están construídas sin contradicción formal en los elementos, podrán ser igualmente susceptibles de una representación física.

La existencia del fuego central bajo la corteza terrestre sería uno de los hechos más significativos en favor del origen ígneo de nuestro planeta, que, formado primeramente por la misma materia incandescente que el Sol, se habría enfriado en seguida en la superficie. Pero, á pesar de los esfuerzos de los geólogos, el conocimiento de las acciones químicas, de las cuales son teatro las capas internas, no es aun bastante profundo para que no sea posible prescindir de atribuir al fuego central una porción de fenómenos inexplicados.

En fin, el estudio de ciertas nebulosas podría facilitar á la hipótesis de Laplace un argumento de los más decisivos, si, como se ha creído por largo tiempo, nos permitiese asistir á la formación de mundos celestes. Esta idea de Herschel aceptada por Laplace, y después por todos los astrónomos, goza todavía hoy de mucho favor. Desgraciadamente los progresos del análisis espectral nos inclinan á creer que no haya que relegar esa grandiosa novela del nacimiento de los mundos ante nuestros propios ojos entre tantos sueños sublimes cuyo único defecto era no ser realidades. El señor Wolf, fundándose en los datos del análisis espectral, piensa que la materia de las nebulosas estudiadas hasta hora es, no una porción del caos primitivo antes de la formación de la estrella y de sus planetas, sino, por el contrario, "el residuo de la materia primitiva, después que la condensación en sol y en planetas ha extraído la mayor parte de los elementos simples que se encuentran tan numerosos en la composición química de estos últimos astros." Por otra parte, el solo ejemplo de transformación de astro que haya sido posible estudiar con auxilio del análisis espectral ha demostrado, al contrario de lo que se quisiera observar, una estrella (la estrella temporal del Cisne) transformándose en una nebulosa. "Sin duda,—hace observar el Sr. Wolf,—no es inconciliable semejante metamorfosis con la hipótesis del origen nebular de las estrellas; pero esta hipótesis no descansa, en realidad, sobre ninguna observación directa. El conocimiento del lazo que une las nebulosas con las estrellas nos está vedado aún."

II. En resumen, fuera de la forma casi circular de las órbitas planetarias, de la coincidencia aproximada de los planos de esas órbitas con el del ecuador, y del sentido único de las circulaciones, que es también el sentido de la rotación del Sol, no podemos citar, en el actual estado de la ciencia, ningún otro dato cierto favorable á la hipótesis de Laplace.

No es eso todo: haciéndose más rápido el movimiento de un planeta después del abandono de su anillo, la duración de la rotación será necesariamente menor, en la hipótesis de Laplace, que la de la revolución del anillo ó de los satélites á los cuales ha dado nacimiento; de ahí un límite inferior impuesto á la duración de la revolución de un anillo ó de un satélite, á saber, la duración de la rotación del planeta, y al mismo tiempo, según la ley de Kepler sobre los tiempos de las revoluciones, un *mínimum* impuesto

á su distancia al centro del planeta. Ahora bien: por una parte se ha descubierto un satélite de Marte que tarda menos tiempo en circular alrededor de su planeta que éste en girar sobre sí mismo; por otra parte el anillo interior de Saturno se halla á una distancia del centro del planeta inferior al límite previsto por el cálculo.

Á estos hechos incontestables, que no solamente no son explicados por la hipótesis de Laplace, sino que chocan con ella formalmente, hay que añadir una dificultad del otro orden sacada de ciertas teorías más ó menos en boga.

Desde la introducción en la ciencia de la teoría mecánica del calor se ha tratado de dar cuenta de la enorme provisión de calórico contenida en el Sol. Se ha pensado primeramente que estaba entretenida por el choque de material que caía constantemente del exterior; pero la masa del Sol aumentaría así y resultaría un acrecentamiento de la velocidad de rotación de la Tierra que no se ha observado nunca. En estos últimos años se ha hablado de la posibilidad de la formación de la nebulosa solar por colisión de dos globos. Nada hay de imposible en eso; pero esta opinión repugna demasiado aún á nuestras ideas sobre la circulación de los astros, y añade á la hipótesis de la nebulosa un hecho nuevo demasiado complicado para que se acepte fácilmente antes de la observación de un hecho del mismo género. La explicación mejor acogida hasta el presente es la de Helmholtz. A medida que la superficie del Sol irradia calórico y el astro se enfría, se contrae, y el calor producido por el encuentro de los elementos de la materia solar misma basta para compensar el enfriamiento. Si se puede calcular, pues, la cantidad de calor engendrada por la contracción de la nebulosa solar desde el volumen inmenso que ocupaba en un principio al volumen actual del Sol, se tendrá también la cantidad de calor emitida por irradiación durante el mismo período de tiempo. Esto es lo que ha hecho Mr. Thomson. Suponiendo la materia de la nebulosa primitiva en un estado de difusión tal que ocupase un volumen infinito y que estuviese al cero absoluto, Mr. Thomson ha calculado que el calor engendrado por la contracción es 18 millones de veces la que el Sol irradia actualmente en un año. Diez y ocho millones de años representarían, pues, para nosotros, la edad del sistema solar, en el supuesto de que la irradiación solar haya sido siempre la que es hoy. Ahora bien: los geólogos nos dicen que por la rapidez media de la formación de los terrenos, tal como resulta de las observaciones actuales, habrían sido menester á la Tierra 500 millones de años para la estratificación de las capas geológicas. Así, el Sol no existiría sino desde hace 18 ó 20 millones de años, y la Tierra, evidentemente más joven, en la hipótesis de Laplace, ¡tendría ya millones de siglos de existencia! Hay ahí una contradicción absoluta entre dos órdenes de ideas. La objeción que se puede sacar contra la hipótesis de la nebulosa podría volverse también contra las teorías de los geólogos. Pero sea lo que fuere de esta última contradicción, añadida á las objeciones de hecho que he-

mos señalado ya, ha conducido, hace algunos años, á M. Faye, á una teoría muy original que ha encontrado ya en el espíritu público una acogida entusiasta. Recordemos los puntos esenciales.

La nebulosa solar de M. Faye es una masa esférica homogénea de densidad muy débil, animada de un movimiento torbellinar extremadamente lento. En su principio, nada de núcleo central: la gravedad interna, es decir, la fuerza que atrae cada molécula hacia el centro, como resultante de todas las atracciones de la masa, es simplemente proporcional á la distancia. "Las partículas que se mueven en un medio tal, describen necesariamente elipses ó círculos alrededor del centro *en el mismo tiempo*. Desde entonces la existencia de anillos circulares que giran *tout d'une piece* es perfectamente compatible con este género de gravedad." Esos anillos tienden á deshacerse (1) y á formar una masa esférica nebulosa que recoge todos sus materiales. Y como, contrariamente á lo que sucedía en la hipótesis de Laplace, las velocidades van aquí aumentando á medida que nos alejamos del centro, las moléculas del borde externo de cada anillo están en avance sobre las del borde interno, de lo cual resulta para el planeta un movimiento de rotación en el sentido mismo en que circulaba el anillo.

Pero todas las moléculas que no han sido absorbidas en los anillos se han reunido poco á poco en el centro, donde han dado origen á un globo, al Sol, que participará del movimiento torbellinar general y girará sobre sí mismo en el mismo sentido que los planetas. Bajo la influencia de esta masa, la fuerza que atrae las moléculas al centro varía de una manera continua, hasta hallarse conforme con la ley de Newton. Las velocidades van disminuyendo á medida que nos alejamos del centro, y, por consiguiente, los anillos dan lugar á cuerpos animados de una rotación retrógrada.

Los primeros planetas, incluso la Tierra, se han formado así antes que el Sol. Los últimos, Urano y Neptuno, son los únicos que han nacido después de él.

Esta teoría, que nos explica á maravilla todas las rotaciones, suprime para un satélite la necesidad de circular en menos tiempo del que gira el planeta; y, en fin, eso de hacer nacer la Tierra mucho más pronto que lo hacía la hipótesis de Laplace, tiene, además, otra cosa particularmente interesante para la historia de las ideas. Cuando Descartes publicó su famosa hipótesis de los torbellinos, tuvo primero partidarios fanáticos; pero después que Newton, y en pos de él los matemáticos del siglo XVIII, se hubieron pronunciado contra la teoría cartesiana, prodújose la más viva reacción.

(1) "En efecto,—dice M. Faye,—en virtud de las diferencias de velocidad lineal que reina y de la atracción mutua de las partes, la menor causa producirá en ellas atorbellinamientos que, obligados á seguir el mismo camino con velocidades algo diferentes, se juntarán y confundirán en una masa única."

D'Alembert y Voltaire sólo tuvieron sarcasmos para aquella concepción, y la hipótesis de los torbellinos se convirtió como en el tipo de uno de esos groseros errores cuyo candoroso ejemplo sólo podían dar las primeras edades de la humanidad. La teoría de M. Faye dista mucho de ser la de Descartes; pero, por lo menos, uno de los caracteres distintivos de esta teoría es el retorno á los torbellinos. Apélase hoy á las ideas del gran filósofo francés precisamente en lo referente á lo mismo que la posteridad creía deber cubrir con un discreto velo para ocultar sus flaquezas. Verdadera ó falsa, la teoría de M. Faye, por el solo hecho de que se produce hoy y que se ve favorablemente acogida, será, desde este punto de vista, una manifestación de las más interesantes del cartesianismo moderno.

Cuando se han leído los escritos de M. Faye quédase uno sorprendido al saber que no todo el mundo es de su opinión. Tal es la primera impresión que nos causa el libro de M. Wólf sobre las hipótesis cosmogónicas, donde encontramos desarrollada esta idea: que, de todas las hipótesis que tienen por punto de partida una nebulosa, la de Laplace es aún la que parece convenir mejor, á condición tan sólo de que se la complete con algunas adiciones.

Hay, sobre todo, un elemento de la mayor importancia cuya intervención ha sido presentida por Laplace, y que, al parecer, puede servir para explicar muchas cosas. Es la marea que ejerce el cuerpo central sobre su satélite, la cual permite en particular darse cuenta de la rotación directa de los primeros planetas. Suponiendo que éstos hayan sido primitivamente retrógrados, como exige la hipótesis de Laplace cuando se rehusa admitir que el anillo desprendido haya podido girar *tout d'une piece*, el astro central ha producido sobre la nebulosa planetaria una poderosa marea que la ha alargado en forma de elipsoide, teniendo el eje mayor dirigido hacia el centro, y ha producido una igualdad perfecta entre los movimientos de revolución y de rotación del planeta. Este, condensándose, da lugar á que la velocidad de rotación haya aumentado y que la influencia de la marea haya disminuído; y como entonces las partes del planeta más alejadas del astro central han tenido una velocidad orbital mayor que las partes más vecinas, el planeta se habrá puesto á girar en sentido directo. En cuanto á Urano y Neptuno, su distancia al Sol es bastante grande para que la influencia de la marea no haya podido producir ningún efecto semejante, y su rotación habrá continuado siendo retrógrada. Por otra parte, resultaría de los trabajos matemáticos de M. Roche (*Ensayos de la constitución solar*) que la idea fundamental de Laplace no sería incompatible con la formación de anillos *interiores* en la nebulosa, y así podríamos explicar la singularidad del satélite de Marte y el anillo de Saturno.

En fin, si es verdad que la hipótesis de Laplace hace nacer la Tierra mucho después del Sol, no se gana gran cosa con la nueva teoría. Esta podría, cuando más, según el Sr. Wolf, dar algunos millones de años á los geólogos, cuando reclaman centenares de millones de ellos.

En resumen: la teoría de M. Faye no sería indispensable.

Una segunda censura, más grave, que se le dirige es no respetar, en su repartición de los planetas en dos categorías, una clasificación natural á la que conduce la consideración de los volúmenes, de las masas, de las densidades y de las duraciones de rotación, y que distingue netamente dos grupos, cada uno de cuatro planetas, el de los pequeños y el de los grandes, separados por los asteroides.

Por interesantes que sean estas objeciones, no están fundadas, sin embargo, en ninguna contradicción de hecho, y no podrían, por lo mismo, derribar la hipótesis de M. Faye. Las preferencias que el Sr. Wolf da abiertamente á la vieja teoría, convenientemente corregida, darán solamente por resultado ponernos en guardia contra las seducciones de la nueva. No olvidemos, por otra parte, que las correcciones hechas á la hipótesis de Laplace, inclusa la teoría de M. Faye, dejan subsistir el origen nebular de nuestro sistema y su formación por condensación. Ahora bien: este punto de partida de toda teoría cosmogónica moderna no está confirmado aún, hemos dicho, por ninguna observación directa. Sería, pues, temerario afirmar, si se acumulan observaciones contra la hipótesis de la nebulosa, que no sea necesario un día renunciar á la idea de la nebulosa original, en lugar de tratar de corregir convenientemente su modo de transformación.

III. La hipótesis de la nebulosa ha debido, en parte, su éxito al papel filosófico que ha parecido desempeñar. Publicada y propagada en un siglo eminentemente científico, ha podido pasar por la solución que aportaba, en fin, la ciencia al origen tan agitado por las religiones y las filosofías antiguas. Si se mira más de cerca no costará gran trabajo reconocer lo que de presuntuoso y de ilusorio tiene semejante opinión.

Por esta hipótesis nos remontamos á través de las edades trascurridas desde el momento en que habría comenzado la condensación de la materia primera. Pero antes de este instante, cuya fecha se trata de fijar con relación á nosotros, ¿qué habría pasado? Puédese muy bien, con Kant y M. Faye, enlazar la teoría del sistema solar con la del cielo todo entero, y ver en nuestra nebulosa particular un fragmento del caos universal. Nos es menester la explicación de este caos mismo, sin lo cual el problema de origen no quedaría más resuelto que por el conocimiento de lo que pasó hace diez años.

Suprímese fácilmente la dificultad haciendo salir de las manos de Dios el caos. Es, sin duda, una solución; pero se trata aquí de lo que atañe á la ciencia. ¿Podemos esperar que, trasformándose la hipótesis de la nebulosa, acabe por sustraerse un día á nuestra primera objeción y nos permita entonces remontarnos en el pasado tan lejos como queramos?

Los trabajos de Mr. Darwin, junto á los de Mrs. Thomson y Tait, destruirían, parece, haciendo intervenir la acción de las mareas, la antigua creencia en la estabilidad mecánica del sistema solar. Desde Laplace, la

teoría mecánica del calor ha conducido ya á prever el agotamiento del calor solar y el fin de toda existencia en los globos enfriados. Iriase más lejos hoy, y parecería resultar de los trabajos citados que los planetas se acercarán al Sol para precipitarse en él un día. Esas colisiones serían el origen de un enorme desarrollo de calor que podría hacer revivir nuestro sistema solar. Así, volveríamos á la idea de una serie ilimitada de generaciones y de destrucciones que prolongaríamos indefinidamente así en lo pasado como en lo porvenir. Es la evolución de los mundos renaciendo de sus cenizas, descrita con tanta elocuencia por Kant en su *Teoría del cielo*, y que concebía ya, bajo otra forma, hace más de dos mil años, Anaximandro de Mileto.

Por otra parte, las teorías en que se funda la determinación de la edad de la nebulosa podrían dar lugar á una conexión que haría retroceder hasta lo infinito en el pasado el principio de la condensación. Mr. Thomson, en su cálculo, ha partido de un volumen infinito ocupado por la nebulosa, y ha llegado á una cantidad de calor finita irradiada desde este tiempo. Nada se opone á suponer *a priori* que otras hipótesis permitan encontrar resultados finitos correspondientes al estado actual del mundo, haciendo variar el tiempo, esta vez, desde el valor infinito. Remontando entonces en el pasado tan lejos como queramos, encontraríamos la nebulosa de cada vez menos condensada, pero nunca bastantemente rarificada para que no pudiese estarlo más.

Con una ú otra de esas dos concepciones, que suprimen todos los límites en el pasado, ¿tendríamos, en fin, la solución del problema cosmogónico que pedimos á la ciencia? Esos son lindos sueños de matemáticos; pero ¡ay! siempre se encontrará algún cuerdo filósofo para recordarnos que el desarrollo del mundo no es adecuado á las formas algébricas, y que los hechos concretos no están regidos por ellos hasta el punto de que el estudio de un número finito de fenómenos, en un tiempo finito y en un espacio finito, nos permita englobar su infinidad en leyes que hubiese proporcionado este estudio, absolutamente como Cuvier podía reconstruir la especie de un ser al simple examen de algunos fragmentos, ó como el geómetra sabe determinar toda una curva con auxilio de algunos puntos. Los hechos son, por el contrario, los que rigen las fórmulas, y cuanto más tiempo y espacio abrazará nuestra hipótesis, cuanto más rebasará los hechos, más tendremos que temer que los fenómenos por ella revelados no tengan realidad sino en la evolución natural de una forma de pensamiento puro.

Dejemos, pues, á la ciencia corregir y renovar indefinidamente sus hipótesis, sin exigirle jamás lo que no puede darnos.

## LA CARTA DEL CIELO

Hasta el presente se habían valido los astrónomos de globos celestes en los cuales las constelaciones están figuradas con la forma que revisten á nuestros ojos en el firmamento, pudiendo apreciarse de un solo golpe de vista el conjunto de la esfera y seguirse los movimientos de los planetas á través de las estrellas. Lo que hay es que las constelaciones se ven á la inversa, esto es, desde fuera de la Tierra; pero ya se acostumbra luego el pensamiento á hacer la corrección.

Esos aparatos, de grandes dimensiones, resultan necesariamente incómodos, y de ahí que se haya apelado á las cartas ó mapas astronómicos; pero las imágenes aparecen deformadas, y sobre todo hay la imposibilidad material de representar una superficie esférica sobre un plano.

Apenas se hubo inventado el daguerreotipo cuando se aplicó en seguida á la reproducción de los cuerpos celestes, no sin éxito; pero así que apareció la fotografía los resultados fueron admirables, obteniéndose, no solamente de las imágenes de todos los cuerpos siderales, incluso el Sol, sino también de muchos fenómenos celestes, como eclipses, pasos, etc.

Por fin los hermanos Henry consiguieron obtener reproducciones fotográficas, de absoluta fidelidad y perfectísima limpieza, de vastas zonas de la esfera celeste. Gracias á la maravillosa técnica de dichos señores, que son á la vez ópticos y astrónomos, ejecútanse en la actualidad en el Observatorio de París, con una hora de exposición, clichés de 6° á 7° superficiales, en los cuales aparecen reproducidos con una brillantez y una pureza extraordinaria todos los astros, en número de muchos millares, la mayor parte de los cuales son invisibles aún con los mejores telescopios. Este hecho, al parecer extraño, depende de que en el ojo humano la intensidad de la impresión no aumenta con la duración del tiempo que se mira, mientras que en la placa la continuidad de la acción aumenta el efecto, superponiéndose las impresiones luminosas.

Compréndese, pues, el gran progreso que van á representar los mapas fotográficos celestes en comparación de los antiguos mapas y esferas, y en comparación de los mismos telescopios, á los cuales humillan, haciendo patente la existencia de millares de astros imposibles de ver con las más poderosas lentes.

Las cartas fotográficas producirán una transformación completa en el estudio de la Astronomía. No será ya necesario poseer un observatorio ni siquiera el menor instrumento para dedicarse á las observaciones de aquella clase: la observación directa quedará reemplazada por las mediciones sobre la carta, vulgarizándose así el estudio de la más noble de las ciencias.

Una vez terminados todos los trabajos parciales y formado el mapa total, podremos saber si el espacio está poblado en todos sentidos ó bien si hay desigualdades en la repartición sideral. A su vez la comparación entre dos cartas de una misma región sacadas con algunos años de intervalo permitirá notar si se ha realizado algún cambio en ella, ya sea en la magnitud, ya en la situación de los astros.

Gracias á la fotografía estelar podremos abrigar más seguro concepto de las *magnitudes*, pues desde el momento en el que la *magnitud* está determinada por la *brillantes*, no cabrá mejor interpretación de aquélla que la que dará la impresión de la luz sobre la placa. Vemos, en efecto, que las estrellas aparecen en las placas como *puntos blancos* de diferentes dimensiones, cuya superficie mayor ó menor depende precisamente de la brillantez del astro original y del tiempo de exposición.

También podrán evaluarse las paralajes, y, por consiguiente, las distancias á la Tierra, mediante la comparación de los cambios de lugar de las estrellas de un mismo grupo á seis meses de intervalo.

En suma, bien puede asegurarse que, una vez realizada la gigantesca obra iniciada en 1887 y acordada en 1889, la Astronomía entrará en una nueva era. La tarea está repartida entre veinte observatorios de once naciones diferentes, en ambos hemisferios, distribuyéndose la fabricación de 12,000 clichés, que constituirán en su conjunto la esfera celeste. Tocarán, pues, á cada observatorio, 600 clichés, triplicados. Una de las series servirá para componer el catálogo, y las otras dos estarán destinadas á la carta del cielo.

Entre las resoluciones adoptadas por el comité permanente, en su sesión de septiembre de 1889, figuran las siguientes:

La extensión utilizada del campo de la lente fotográfica será un cuadrado de 2° de lado.

Las placas tendrán 160 milímetros de lado.

Las placas para las pruebas serán de cristal, previamente examinadas en el laboratorio del comité permanente.

Se tomará como estrella-guía una hermosa estrella del campo cuya posición sea conocida á 5" de diferencia.

Se adoptará como tiempo de exposición para obtener las estrellas de 11.<sup>a</sup> magnitud el producto por 6'25 del tiempo de exposición necesario para obtener la magnitud 9.<sup>a</sup> de la escala de Argelander.

Para cada cliché uel catálogo se harán dos exposiciones sucesivas, siendo la duración de la segunda una cuarta parte de la primera, de manera que la distancia de las dos imágenes sea cerca de 2 ó 3 décimos de milímetro.

Los clichés llevarán en su ángulo NE. de la placa un número de orden correspondiente á un registro en el cual se hará constar:

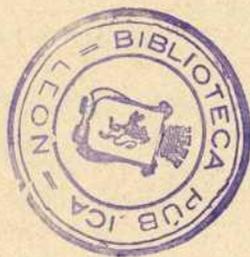
1.º La fecha.

2.º Las horas del comienzo y fin de la postura.

3.º La temperatura del tubo de la lente.

4.º La altura barométrica.

Las operaciones, según manifestó M. Mouchez en el seno de la Academia de Ciencias en sesión de 27 de julio último, empezarán en el corriente año, debiéndose al Sr. Mauricio Loewy un nuevo método que simplificará mucho el trabajo necesario para determinar la posición de las centenares de estrellas contenidas en cada cliché fotográfico, disminuyendo de una manera considerable el número de estrellas de guía necesarias.



## ADVERTENCIA

Entre el 1.º y 2.º apartados de la página 99, línea 5.<sup>a</sup>, debe intercalarse lo siguiente:

### EL PLANETA MERCURIO

Los antiguos descubrimientos astronómicos.—Cómo se encontró Mercurio.—No fué cosa fácil.—Este planeta era conocido en el año 265 a. de C.—Habilidad necesaria para el descubrimiento.—Distinción entre Mercurio y una estrella.—Mercurio en el E. y en el O.—La predicción.—Cómo se observa á Mercurio.—Su aspecto telescópico.—Dificultad de observarle.—Órbita de Mercurio.—Velocidad del planeta.—¿Puede haber vida en él?—Cambios en su temperatura.—Paso de Mercurio por el Sol.—Observación de Gassendi.—Atmósfera alrededor de Mercurio.—Peso de este planeta.

**L**ARGO y glorioso es el recuerdo de los descubrimientos astronómicos. Los de las últimas épocas se han sucedido con tanta frecuencia, han deslumbrado tan á menudo nuestra imaginación con su brillantez, que á veces nos inclinamos á creer que el descubrimiento astronómico es un producto puramente moderno; pero incurriríamos en un gran error. Aunque apreciamos en mucho los de la época moderna, procuraremos hacer justicia á los trabajos de los astrónomos de la antigüedad.

Y al hablar de esos sabios compréndase claramente nuestra idea. La Astronomía progresa ahora con tal rapidez que en cada siglo se hacen sorprendentes adelantos; cada generación, cada década, cada año, tienen sus recompensas para esos celosos astrónomos que tan cuidadosamente exploran el cielo; pero debemos dirigir nuestra mirada á una remota época del pasado para conocer el notable descubrimiento de Mercurio. Comparados con él, los descubrimientos de Newton deben considerarse como muy modernos; y hasta la enunciación del sistema de Copérnico es en sí un hecho reciente comparado con el descubrimiento del planeta Mercurio.

¿Quién lo hizo? Veamos si se puede contestar á esta pregunta repasando los recuerdos astronómicos. Cuando el gran Copérnico llegaba al término de su carrera, oyósele manifestar alguna vez su profundo sentimiento por no haber podido ver nunca Mercurio. Con frecuencia había intentado observar este planeta, cuyos movimientos arrojaban tanta luz sobre la gran teoría que él tuvo la gloria inmortal de establecer; mas nunca pudo conseguirlo. Mercurio no es fácil de ver, y, por otra parte, tal vez las nieblas del Vístula oscurecieran el horizonte de Frauenburgo, donde Copérnico habitaba, siendo esto la causa de que el célebre astrónomo no pudiera conseguir su objeto, faltándole las oportunidades que en otros puntos se ofrecen. Sin embargo, la existencia del planeta era cosa probada para Co-

pérfico, y, por lo tanto, debemos buscar en una época anterior su descubrimiento. En la escasa literatura astronómica de las edades medias se hace mención alguna vez de la existencia de Mercurio y hállanse algunas observaciones sobre él en los primeros siglos del principio de nuestra era.

Remontándonos á mayor antigüedad aún, encuéntrase los primeros datos de una observación que ha llegado hasta nosotros y que se hizo en el año 265 antes de la era cristiana. No se pretende, sin embargo, que aquella recuerde el *descubrimiento* del planeta, pues tratábase de un objeto bien conocido ya; mientras que las primeras observaciones parecen haberse perdido del todo en la noche de los tiempos. De todos modos, no parece probable que el descubrimiento fuera reciente ni aun entonces. Pudo suceder muy bien que el planeta se reconociera independientemente en dos ó tres localidades; pero falta toda prueba de semejante descubrimiento é ignoramos también el nombre del descubridor, la nación á que pertenecía y la época en que dió á conocer el planeta.

Aunque es tan remota la época en que se fijó la atención en Mercurio, aunque no se tenían entonces nociones correctas en cuanto al verdadero sistema del Universo, ni se conocía, inútil parece decirlo, el más rudimentario aparato astronómico, no se debe suponer que el descubrimiento de ese magnífico planeta fuese un hecho sencillo sin importancia. Ya lo veremos al concebir de qué modo se reconocería ese cuerpo celeste.

---

# ÍNDICE

DE LOS CAPÍTULOS QUE CONTIENE ESTA OBRA

Capítulos	Páginas
Historia de los cielos. . . . .	5
I.—El observatorio astronómico. . . . .	11
II.—El Sol. . . . .	25
III.—La Luna. . . . .	41
IV.—El sistema solar. . . . .	65
V.—La ley de la gravedad. . . . .	77
VI.—Un planeta de novela. . . . .	96
VI bis.—El planeta Mercurio (véase pág. 407). . . . .	99
VII.—Venus. . . . .	106
VIII.—La Tierra. . . . .	123
IX.—Marte. . . . .	135
X.—Los planetas menores. . . . .	146
XI.—Júpiter. . . . .	156
XII.—Saturno. . . . .	170
XIII.—Urano. . . . .	186
XIV.—Neptuno. . . . .	196
XV.—Cometas. . . . .	210
XVI.—Estrellas fugaces. . . . .	233
XVII.—Los cielos estelares. . . . .	252
XVIII.—Los soles distantes. . . . .	266
XIX.—Estrellas dobles. . . . .	273
XX.—Distancias de las estrellas. . . . .	279
XXI.—El espectroscopio. . . . .	300
XXII.—Grupo de estrellas y nebulosas. . . . .	309
XXIII.—La precesión y nutación del eje de la Tierra. . . . .	321
XXIV.—La aberración de la luz. . . . .	328
XXV.—Significación astronómica del calor. . . . .	334
XXVI.—Las mareas. . . . .	346
Apéndice. . . . .	365





## PAUTA PARA LA COLOCACIÓN DE LAS LÁMINAS

---

	<u>Páginas</u>
1.—El planeta Saturno en 1872. . . . .	Portada
2.—Mancha solar típica. . . . .	29
3.—Manchas y fáculas del Sol. . . . .	36
4.—Prominencias solares. . . . .	39
5.—Eclipse total de Sol, 29 julio de 1878. La corona solar. . . . .	40
6.—Carta de la superficie lunar. . . . .	49
7.—Cráter lunar de Triesnecker. . . . .	56
8.—Cráter lunar normal. . . . .	58
9.—Cráter de Platón. . . . .	60
10.—Cráter lunar de Tycho.. . . .	62
11.—El planeta Júpiter. . . . .	158
12.—El cometa de Coggia. . . . .	211
13.—Espectros del Sol y de algunas estrellas. . . . .	306
14.—La gran nebulosa de Orión.. . . .	313
15.—La gran nebulosa de Andrómeda. . . . .	317
16.—Nebulosas. . . . .	319













STAVVEGI

LA HISTORIA  
DE LOS CIELOS



7178