

Sig 4422

4.559

VERTENCIA.



Un verdadero tratado de Astronomía popular es imposible. La ciencia astronómica tiene tantas y tan difíciles ciencias auxiliares, que es tarea superior á las fuerzas humanas el estudio de las leyes del movimiento de los cielos sin una preparacion larga y penosa.

Sin embargo, no dejándose arrastrar por un espíritu de rigor técnico exajerado, y prescindiendo de los escrúpulos excesivos tal vez de los hombres de ciencia, todavía se ocurren algunos medios de presentar al vulgo, en un cuerpo de doctrina, una reunion de verdades que, sin constituir la ciencia astronómica ni mucho ménos, baste para tener una idea de un órden tan abstruso de conocimientos.

Este semejante resultado aspiro. Medir la importancia de este pequeño libro con el compás inflexible de la ciencia pura, sería desconocer su objeto. Los sabios le encon-

559

traran defectuoso. Yo me daré por satisfecho si el buen sentido le declara útil.

Divido mi trabajo en cuatro partes, á saber:

- 1.^a Exposicion histórica del sistema del mundo.
- 2.^a Astronomía práctica.
- 3.^a Sistema solar.
- 4.^a Universo estelar.

Conozco la crítica á que se presta este plan; pero entiendo que es el más sencillo, y la sencillez se impone en una obra de esta índole.

Termino por último con un apéndice en el que presento algunas ligeras consideraciones sobre los lazos que unen y las líneas que separan la Astronomía y la Meteorología.

Este MANUAL servirá, pues, entre otras cosas, para exponer un fragmento de la historia de la naturaleza, de aquella historia que, segun dice Lessing, debiera constituir la base de la instruccion popular.

EL AUTOR.

MANUAL
DE
ASTRONOMÍA POPULAR

PARTE I.

Exposición histórica del sistema del mundo.

No disputes sobre la apariencia de
los fenómenos, porque las aparien-
cias engañan. (IFFLAND.)

CAPÍTULO PRIMERO.

GENERALIDADES.

Doble objeto del estudio de la Astronomía.—
El conocimiento vulgar es siempre más imper-
fecto que el científico; pero además, en los fenó-
menos astronómicos los conocimientos vulgares
suelen ser tan erróneos que contradicen á los
científicos. Por esto el estudio de la Astronomía
tiene un doble objeto, á saber: destruir preocu-
paciones y dotar al espíritu de verdades nuevas.

Que la Tierra es plana, que el Sol sale y se
pone, que la Luna cambia de forma, que las
mareas resultan de causas misteriosas, son apre-
ciaciones inexactas, admitidas por aquellos que
no han cultivado jamás la ciencia astronómica.
Todas estas ideas, y otras parecidas, son reem-
plazadas por un juicio cabal del sistema del
mundo, cuando se someten al cálculo los movi-
mientos de los astros.

La Astronomía es una parte de la Mecánica.
— Demuestra la Mecánica que no existe el mo

vimiento continuo, y así es en efecto. Sin embargo, un exámen detenido prueba que lo que no existe realmente es el reposo absoluto: las moléculas de los cuerpos están moviéndose á cada instante como se mueven los astros. Hasta la muerte de los séres organizados, que se toma por lo general como símbolo del reposo es el gérmen de infinitos movimientos. El universo entero es la imágen del movimiento: la Astronomía es una parte de la Mecánica.

Carácter de los fenómenos astronómicos. — Los fenómenos astronómicos son, en último resultado, muy sencillos: el exámen de los movimientos de varios elipsoides que describen trayectorias elípticas basta para comprender los hechos que la Astronomía considera. La dificultad no está en la índole de los fenómenos, sino en la insuficiencia y en la posición especial del observador. Los sentidos del hombre son tan imperfectos que no podemos leer en el libro de la naturaleza sin corregirnos á nosotros mismos ántes de proceder á la lectura, y como por otra parte nos hallamos sobre la Tierra, tenemos que participar de sus movimientos, lo que nos confunde á cada paso. De aquí el que quizá no haya costado nada tanto al hombre como el *orientarse en el mundo.*

La primera causa de los fenómenos astronómicos. — La primera causa de los fenómenos astronómicos, como la de toda clase de fenómenos físicos, nos es desconocida. En uno de los párrafos anteriores se ha dicho que el universo está en un movimiento continuo ó, en otros térmi

nos, que en cada instante puede considerársele como una gran máquina. Pero ¿cuál es el motor? ¿cuál es el objeto de tantos y tan variados movimientos? ¿cuál es, para decirlo de una vez, el *por qué* y el *para qué* del universo? Los astros que pueblan el espacio ¿no sirven más que para que sobre ellos se desenvuelva la vida? La vida ¿existe con realidad propia, ó es como el límite en que se resuelven los movimientos? Por semejante camino la razon sólo divisa un océano de dudas. La Astronomía prescinde de todo esto. El astrónomo estudia los astros, investiga su forma, mide su volúmen, deduce su naturaleza, observa sus movimientos, agrupa los fenómenos, segun las propiedades comunes que descubre: á estos grupos de hechos los denomina leyes.

Reunir con método las investigaciones que se refieren á los astros es el objeto de la Astronomía.

CAPÍTULO II.

EL SISTEMA DEL MUNDO.

Historia de la Astronomía. — Con paso lento ha conseguido el hombre descubrir las verdades que forman el patrimonio del astrónomo. Con razon se ha dicho en el capítulo precedente que tal vez no haya costado nada tanto al hombre como el orientarse en el mundo.

Cada una de las grandes civilizaciones antiguas ha tenido un sistema astronómico, en ar

monía con el carácter del pueblo que le ha ideado. La historia, por ejemplo, refiere anécdotas relativas á los astrónomos chinos Hi y Ho, sacrificados por no pronosticar un eclipse, que á tales crímenes conducía en aquellos tiempos el fanatismo político-religioso. Los indos adoptaron un sistema que reflejaba el espíritu contemplativo que les distinguía. Los griegos, tan dados á las especulaciones estéticas y á investigar el origen de la naturaleza de las cosas, suponían varias esferas cristalinas en cuyo centro comun se hallaba el globo que habitamos. En virtud de la transparencia de las esferas mencionadas, los cuerpos celestes de cualquier esfera se podían observar á través de las demás sin dificultad alguna. La hipótesis de que estas esferas giraban, servía para explicar la salida y postura de los astros. Admitían además los griegos que tales movimientos giratorios producen una especie de música, de donde creen algunos que viene la frase tan en uso de *música celestial*. (1)

Los astrónomos de la edad de oro de la Grecia

(1) Uno de nuestros mejores novelistas, D. Juan Valera, pone en labios de una de sus creaciones esta descripción del Universo, igual en el fondo á la que hubieran hecho los griegos en cuanto se refiere á la parte astronómica: «Me figuraba el cielo como una media naranja de cristal, donde estaban clavadas las estrellas á manera de clavos, y por donde resbalaban la luna, el sol y algunos luceros, movidos por ángeles ú otras inteligencias misteriosas. En el seno de la tierra suponía yo un espacio infinito, unas cavernas sin término, un abismo sin límites, lleno de diablos y condenados; y más allá de la bóveda celeste, otro infinito de luz y de gloria, poblado de santos, vírgenes y ángeles, y donde había perpétua música, con la que se deleitaban el Padre Eterno y toda su corte.»

prescindieron de las vagas investigaciones de sus antecesores, y casi elevaron la Astronomía al rango de ciencia.

Pitágoras é Hipparco trasformaron por completo la Astronomía. El uno tuvo la gloria de anticiparse al sistema de Copérnico, pues explicaba á sus discípulos que el Sol era el centro real de los movimientos celestes, aunque dando á semejante idea tan sólo el valor de una hipótesis. El otro hizo más: determinando las leyes de los movimientos aparentes de los planetas y preparando tablas, sacó la Astronomía del campo de la Metafísica para cultivarla en el de la Física. Desde entonces á la incertidumbre de las hipótesis reemplazó la evidencia de los hechos.

En la série del tiempo aparecieron luego tres sistemas distintos, á saber:

1.º El de Tolomeo, en el que se ignora el movimiento de la Tierra y se consideran como reales los movimientos aparentes de las estrellas y de los planetas.

2.º El de Copérnico, en el que se supone que el Sol es el centro de los movimientos planetarios, y la Tierra uno de tantos planetas, animado de dos movimientos, uno de rotacion y otro de traslacion.

3.º El de Newton, en el que todos los movimientos celestes se explican por la ley de la gravitacion universal.

Las primeras impresiones de los astrónomos produjeron el sistema de Tolomeo. Sucesivamente los ojos del espíritu fueron enmendando

á los ojos de la materia, con lo que apareció el sistema copernicano primero y el newtoniano más tarde.

El universo aparente.—Estamos acostumbrados á ver el Sol, la Luna y las estrellas adheridos á una bóveda azul que se alza sobre nuestras cabezas y se apoya en el globo que habitamos. Si este fuese trasparente la bóveda se convertiría en una esfera cuajada de astros.

Basta observar algunas horas los cuerpos celestes para deducir que no cesan de moverse, como si la esfera en que aparecen colocados girase una vez cada día alrededor de un eje. Esta revolucion produce los movimientos del Sol que le colocan alternativamente debajo y encima del horizonte: de aquí los días y las noches. Debe, pues, haber un punto en el cielo que no se mueve, el cual se llama polo, y está situado en nuestra latitud entre el zenit y el horizonte.

Ninguna estrella coincide con el polo; pero hay una que viene á distar de él un grado, por lo que parece inmóvil si no se la observa de una manera delicada. Se la conoce con el nombre de *estrella polar*.

Para formarse idea del movimiento diurno mírese una estrella situada entre el polo y el horizonte. Se la ve moverse de este ó oeste, trazar una curva cuando pasa el norte, y describir un arco hácia el nordeste. Luégo gira la estrella dirigiéndose al oeste, y pasa por encima del polo, como poco ántes habia pasado por debajo: de aquí los nombres de culminacion superior é inferior de las estrellas. Es claro que no

se podría examinar con detalle todo este camino sin el auxilio de algun instrumento, á causa de la luz solar; pero en cambio se descubren diferentes puntos de semejante trayectoria observando la estrella de que se trata várias noches del año.

Si se imagina una circunferencia situada sobre la esfera celeste, cuyo centro sea el polo y de un rádio tal que toque al horizonte, se tendrá el círculo llamado de aparicion perpétua. Este círculo sería en la fig. 1.^a AP , si p y p' representaban el polo norte y el polo sud, AA' el horizonte y EE' el ecuador celeste. Es evidente que para un observador cuyo zenit fuese Z las estrellas colocadas en el casquete APp no se ocultarán jamás; que, por el contrario, las que pertenezcan al casquete $A'P'p'$ nunca serán visibles; y que el círculo descrito por las demas será en parte visible y en parte invisible. La fig. 1.^a demuestra que las leyes del movimiento diurno son las cuatro que se expresan á continuación:

1.^a La esfera celeste con el Sol, la Luna y las estrellas parece girar diariamente alrededor de un eje inclinado que pasa por el punto de observacion.

2.^a Los estremos del eje son los polos norte y sud de la esfera celeste.

3.^a Durante la mencionada revolucion todas las estrellas fijas giran juntas, á la misma distancia unas de otras, como si estuvieran implantadas en una esfera material.

4.^a Las estrellas que están al norte del

ecuador celeste efectúan más de la mitad de su revolución sobre el horizonte, y las que están al sud ménos de la mitad.

En el exámen atento del movimiento diurno se fundan las reglas de algunos pastores y labradores prácticos para determinar la hora por lo que ellos llaman *el norte*. Los más inteligentes se sirven de dos constelaciones, á saber: la Bocina (Osa mayor) y el Triángulo. El primero de Noviembre, dicen, á las doce de la noche la estrella de delante de la Bocina llega al pié del norte; á las seis de la mañana está en cruz con él por la parte de la derecha, á las doce del día en su cabeza, y á las seis de la tarde en cruz con el mismo, pero por la izquierda. Entre las dos estrellas de la Bocina va una hora; entre la Bocina y la primera estrella del Triángulo van tres horas; y entre esa y las otras dos de la misma constelacion va media hora. Agréguese á esto que el paso se adelanta cuatro minutos cada día, lo que forma dos horas al mes, y se tendrán los datos suficientes para determinar la hora en una noche serena. Así, por ejemplo, el día 15 de Noviembre á las once de la noche se encuentra la Bocina al pié del norte.

Estas observaciones, recogidas por mí de labios de la gente del campo, son tan exactas que casi podría suscribirlas un astrónomo.

La Luna.—Aunque la Luna es un astro del sistema solar, y su estudio corresponde, por lo tanto, á la tercera parte de este libro, es indispensable decir ahora cuatro palabras acerca de sus propiedades, para entender los varios siste-

mas astronómicos que se han sucedido en la escena de la historia, y para juzgar con acierto de lo que se aproximaban ó de lo que diferían de la verdad.

Lo que diré acerca de la Luna en este sitio no constituye pues su teoría: es tan sólo alguna que otro idea que conviene anticipar, alguno que otro pensamiento aislado con el que pueda el lector, sin gran esfuerzo, comprender las consideraciones que muy en breve se desarrollarán á propósito del calendario y del magnífico proceso que principia en Tolomeo y concluye en Newton.

La Luna da vuelta en torno de la Tierra en unos veinte y nueve dias. Algunos pueblos antiguos explicaban las fases de la Luna suponiendo que uno de los hemisferios lunares tenía luz propia y el otro no. Hoy se sabe perfectamente que las fases de la Luna se deben á las posiciones relativas del Sol, de la Tierra y de la Luna, y se sabe además que el astro en cuestion carece de luz propia, haciéndole visible la que refleja del Sol y de otros astros.

Un exámen atento de la Luna hace ver que presenta montañas de alturas análogas á las de la Tierra, y como el volúmen de ésta es cuarenta y nueve veces mayor que el de la Luna, se deduce que nuestro satélite presenta una superficie muy escabrosa.

La topografía lunar se conoce tanto que muchas de sus montañas han recibido nombres especiales.

Los astrónomos opinan que en la Luna no

hay atmósfera. Para demostrarlo supóngase que la Luna tiene una atmósfera representada por la circunferencia C , (fig. 2). Entonces el rayo procedente de una estrella S sigue el camino $S m n p$ en virtud de la refracción, con lo que el observador refiere el astro á S' , en la dirección $p n$. Ahora bien, siendo $2 r$ la refracción y $2 t$ el tiempo empleado en recorrer el arco de refracción, la ocultación no tendría lugar en el tiempo T , por ejemplo, sino en el $T + 2 t$, y si la aparición debía verificarse en el tiempo T' , se adelantaría al $T' - 2 t$, por lo que la fórmula $T' - T - 4t$ expresará el tiempo total del fenómeno. Si se compara el número calculado así con el que da la observación directa, se nota que no es posible que exista una atmósfera lunar.

Hay una gran diferencia entre el centro de figura de la Luna y su centro de gravedad. No debo decir más en este sitio acerca de la Luna bajo el punto de vista astronómico, puesto que sólo me propongo, lo repetiré de nuevo, explicar lo bastante para entender las lecciones sucesivas y para concebir aproximadamente el sistema del mundo. En cambio expondré algo para estar desembarazado de este asunto en la tercera parte, respecto á las propiedades físicas lunares y á la influencia de la Luna en la vegetación, dejando para cuando se estudie dicho astro detenidamente el exámen de las mareas en sus relaciones con la Luna y sus movimientos.

Montaniri fué el primero que midió el calor

de la luna valiéndose de un termómetro de aire y de un espejo reflector. Ischirnhausen estudió en 1691 el mismo problema que Montaniri en 1685, pero sin resultado alguno. La Hire tampoco llegó á conseguir nada en 1705. Pectet y Prevost opinaban que la Luna producía una disminucion de temperatura en vez de un aumento, fenómeno atribuido á la radiacion calórica hácia el espacio de los instrumentos empleados en la experimentacion. Melloni en 1846, Forbes, Tyndall y Marie Davy han deducido, como conclusion de sus investigaciones, que la fuerza viva de la luz lunar no es nula, pero que no llega á $\frac{1}{4.000}$ de grado. Rosse, sirviéndose de un espejo cóncavo y de pilas termoeléctricas, ha observado que la Luna nos envía una cantidad de calor apreciable y proporcional á su superficie iluminada.

Varios físicos y astrónomos se han propuesto determinar la intensidad de la luz de la Luna, ó mejor dicho, reflejada por la Luna. Robert Smith, admitiendo que todos los rayos incidentes son á la vez reflejados por la Luna, dedujo que la relacion entre la luz de dicho astro y la del Sol es $\frac{1}{90.000}$. Lambert, en cambio, supone como Arago, que la Luna nos envía la cuarta parte de la luz que recibe, en cuya hipótesis la relacion citada se transforma en $\frac{1}{270.000}$. Comparando las sombras de los cuerpos sometidos á ambas luces, llegó Wollaston á la relacion $\frac{1}{801.072}$. Tambien se han estudiado los rayos químicos

de la luz lunar, y en el día se obtienen imágenes fotográficas de la Luna con bastante claridad.

¿Es posible, después de lo que se acaba de manifestar, que la Luna ejerza, como el vulgo sostiene, una acción importante y directa sobre los vegetales?

El aislamiento de las clases agrícolas es el principal origen de su ignorancia, y ésta á su vez produce la rutina. No es, por lo tanto extraño, que los labradores, frente á fenómenos naturales cuya verdadera índole desconocen, atribuyan á causas misteriosas los hechos de más fácil explicación dentro del campo de la física, de la química ó de la fisiología.

Como hasta los tiempos que alcanzamos no han dado las ciencias físicas y naturales su gran vuelo, es también lógico que los sábios de la antigüedad cayeran en lamentables preocupaciones tocante á ese punto. En efecto, Cayo Plinio Segundo, en el cap. III, libro 2.º de su Historia natural dice que la sangre del hombre aumenta y disminuye con la luz de la Luna y que los pastos sufren su influencia. Ebn-el-Awan sostiene que la Luna influye en el incremento de las sementeras y hortalizas. Nuestro compatriota Herrera, con el estilo elegante y castizo que le distingue, se expresa en estos términos: «En todas ó en las más cosas de que multiplicación se espera, así como sembrar, plantar, engerir ú otras semejantes, todos en cuanto pudiera lo haga en creciente de luna y aún en principio de la creciente; porque la luna tiene

dos cuartos de aumento ó crecer y otros dos de disminucion y en los primeros ayuda á criar y en los segundos á consumir, como dice el Crecentino; y el primer cuarto abunda caliente y húmedo, como las personas jóvenes, con lo cual las simientes y plantas más comprenden y crecen que con lo frio y seco, cual es el otro segundo cuarto. En los otros dos cuartos de disminucion es fria y húmeda, como son los viejos, é aviene que las más de las plantas que en tiempo de menguante se ponen perescen y la simiente se pierde, y si nacen, ni son tan buenas ni tan provechosas, como este doctor dice.»

A la altura en que se hallan las ciencias naturales no es preciso recurrir á la experimentacion para desechar tan erróneas doctrinas. Quien esto escribe, persuadido del resultado, y tan sólo por curiosidad, ha hecho siembras y plantaciones numerosas en los dos cuartos lunares que llama Herrera de disminucion, obteniendo algunas veces un éxito mucho más lisonjero que cuando verificó sus ensayos en presencia de la Luna creciente.

Razon tenía La Quintinyé cuando dijo: «Sembrad y plantad toda clase de semillas y árboles en cualquier cuarto de la Luna que yo os respondo del éxito, siempre que vuestra tierra sea buena, que esté bien preparada, que vuestras plantas y semillas no sean defectuosas y que la estacion no se oponga á ello.»

El sistema de Tolomeo.—El Almagesto de Tolomeo, formado en la segunda centuria de

nuestra era, vino á ser una especie de Biblia astronómica. Anteriores á él sólo han llegado á nosotros algunos fragmentos aislados sin constituir un cuerpo de doctrina. Aunque el sistema de Tolomeo es erróneo se le debe estudiar, pues atendidos los medios de que disponian los astrónomos en aquella época es una verdadera maravilla del ingenio. Hé aquí las proposiciones del sistema de Tolomeo.

1.^a *Los cuerpos celestes se mueven segun círculos.*—Lo mismo Tolomeo que los demas astrónomos anteriores á Kepler suponian que las trayectorias de los cuerpos celestes son circunferencias, fundándose en el movimiento diurno y en la consideracion, no muy convincente á la verdad, de que el círculo es, segun decian, la más perfecta de las figuras planas. Como, por otra parte, habian notado aquellos astrónomos que los movimientos no eran nunca uniformes, imaginaban que los centros de sus trayectorias no coincidian con el centro de la Tierra, y no siendo bastante esta hipótesis introdujeron una combinacion de movimientos circulares, que recuerda las ciclóides.

2.^a *La Tierra es una esfera.*—Probaba Tolomeo que la Tierra es redondeada de este á oeste por el hecho de que el Sol, la Luna y las estrellas no salen y se ponen en el mismo momento para todos lo habitantes de la Tierra. Demostraba que lo es tambien de norte á sud, porque comparando el horizonte de un lugar con las estrellas en su movimiento diurno se deduce que el horizonte cambia de direccion

cuando el observador se mueve, cosa que no sucedería si la Tierra fuese plana. Finalmente, cuando se miran los buques que se alejan de la costa en el interior del Océano lo último que deja de verse es lo más elevado de la arboladura, lo que comprueba la esfericidad de la Tierra en cualquier direccion y sentido.

3.^a *La Tierra está en el centro de la esfera celeste.*—Si la Tierra no estuviese en dicho centro se notarian ciertas irregularidades en el movimiento diurno, los cuerpos celestes se moverian con mas rapidez á un lado que á otro, y nada de esto se observa.

4.^a *La Tierra no tiene movimiento de traslacion.*—Porque si se moviera desde el centro hácia uno de los lados de la esfera celeste, la revolucion diurna de las estrellas cesaria de ser uniforme en todas sus partes.

Es curioso notar la mezcla de ideas erróneas y exactas contenidas en estas cuatro proposiciones. Y no deja de ser tambien admirable que Tolomeo no comprendiese que la esfera celeste es ideal, que se traslada en el espacio, rodeando al observador, donde quiera que vaya, y que la demostracion de que la Tierra está en el centro de la esfera celeste sólo sirve para probar realmente que la Tierra gira alrededor de su eje.

El Calendario.—Uno de los principales objetos del estudio de los movimientos celestes es hallar una medida del tiempo. Esta aplicacion de la Astronomía se hizo ya en períodos remotos y fundándose en los movimientos aparentes del Sol y de la Luna, debe ser analizada en este sitio.

Las divisiones astronómicas del tiempo son el día, el mes y el año. La semana no corresponde á ciclos astronómicos. Entre aquellas divisiones ninguna tan natural como el día; pues si se exceptúan las comarcas de la Tierra próximas al polo, en las que los días difieren poco de los años, por donde quiera que los hombres existen, alternan los días y las noches con tanta regularidad que proporcionan una medida cómoda para el tiempo.

El año constituye luego la unidad mejor definida. El año natural, se mide por la vuelta de las estaciones, fenómenos tan ligados con la Agricultura, que puede asegurarse que el año natural se empleó como medida de tiempo mucho ántes de que se supiera su causa astronómica. Además, para medir la vida probable de cada generacion y fijar en el tiempo los acontecimientos que desenvuelve, el año da números fáciles de retener, porque nunca resultan demasiado grandes.

En cambio son muchos los días contenidos en el año, por lo que se necesita una unidad intermedia, que proporcionan las fases de la luna, pues el intervalo de unos treinta días, que media entre dos lunas nuevas consecutivas, es muy á propósito para el caso.

Bajo el punto de vista astronómico nada tiene que ver la semana con el mes, ni con el año. Su empleo nació en la época de la dispensacion mosaica. Los antiguos astrólogos repartieron los días de la semana entre los siete planetas.

Suponiendo que el mes lunar hubiera tenido

un número exacto de días, y el año un número exacto de meses, no habria dificultad en el uso de aquellos ciclos para la medida del tiempo. No sucede así. Por otra parte, si el mes lunar fuese precisamente de $29\frac{1}{2}$ días, bastaria hacer los meses alternados de 29 y de 30 días. Pero dicho período es en realidad tres cuartos de hora más corto que el verdadero mes lunar, lo que produce un día de error en el espacio de tres años, por lo cual se debe añadir un día á uno de los meses.

En la hipótesis de que el año constara de 12 meses, resultarían 354 días. Este año, al que le faltan 11 días, fué adoptado por los griegos y por los romanos, y todavía lo usan los mahometanos. En Roma, sin embargo, el calendario de Numa añadió 22 ó 23 días al año, en años alternos, introduciendo el mes mercedonio entre el 23 y el 24 de Febrero.

Los egipcios contaban meses de 30 días cada uno y hacían el año igual á 12 meses mas 5 días adicionales, esto es, á 365 días. Pero el año verdadero tiene seis horas más que éste, incremento que produce un mes en un lapso de 120 años, y que en el período de 1460 años hace que cada estación, despues de haber recorrido los 12 meses del año, vuelva á su primitivo lugar. A dicho espacio de tiempo se le denomina Período Sótico. Sin embargo, el error de cada año es algo mayor que las seis horas citadas, y el Período Sótico en realidad es de 1500 años.

La confusión del año griego se remedia por

el descubrimiento de Meton, ó mejor dicho, del ciclo que ha recibido su nombre. Este ciclo consiste en 19 años solares durante los que la luna cambia 235 veces. El error de este ciclo es muy pequeño, como se puede deducir de los siguientes datos de la Astronomía moderna.

235 lunaciones requieren.	6.939	días	16	horas	31	minutos
19 años solares verdaderos.	6.939	—	14	—	27	—
19 años julianos de $365\frac{1}{4}$ días.	6.939	—	18	—	0	—

Si se toman, pues, 235 meses lunares y se reparten entre 19 años, el valor medio de estos años será el necesario para todos los usos de la vida civil. Los años así formados se numeraban de 1 á 19, y el número de cada año se llamaba número áureo, porque se inscribía en los monumentos con letras de oro.

El número áureo se usa todavía en nuestros calendarios eclesiásticos para determinar el domingo de Pascua. Esta es la única festividad religiosa que depende del movimiento de la luna en los pueblos cristianos. Se celebra la Pascua el domingo siguiente á la primera luna nueva que ocurre despues del 21 de Marzo, y sirve de dato para esa determinación el ciclo metónico.

La base del calendario moderno, empleado sobre todo por los cristianos, se fundó por Julio César. En las épocas anteriores el calendario romano adolecía de una gran confusion. Se sabía que el año constaba de unos $365\frac{1}{4}$ de días, y se adoptó como año medio del calendario una duracion de 365 días, debiéndose añadir un día

cada cuatro años. El arreglo de los meses se hizo por el sucesor de César.

El calendario juliano continuó sin alteracion unos diez y seis siglos, y hubiera continuado sin dificultad, si el año trópico constara de $365 \frac{1}{4}$ de dias exactamente. Pero ya se ha dicho que este período es unos $11 \frac{1}{4}$ minutos mayor que el año solar, cantidad que repetida cada año, da un dia en 128 años; por lo que en el siglo XVI los equinoccios ocurrieron 11 ó 12 dias ántes de lo que marcaba el calendario, esto es, el 10 en vez del 21 de Marzo. A fin de que tuvieran lugar en la misma época del año que en un principio, cuando se celebraba el Concilio de Nicea, se llevó á cabo la reforma dirigida por el papa Gregorio XIII, y llamada por esto gregoriana. Se tomaron las dos resoluciones siguientes:

1.^a El 5 de Octubre de 1582, segun el calendario juliano, se transformó en el 15, adelantándose así la cuenta diez dias.

2.^a El último año de cada siglo 1600, 1700 etc., no se considera siempre como bisiesto, segun marca el calendario juliano, sino tan sólo aquel que da para el siglo correspondiente un número divisible por 4.

Este cambio en el calendario fué adoptado por todos los pueblos católicos; mas tarde por muchos protestantes; en 1752 por Inglaterra; pero no ha sido todavía generalmente aceptado en Rusia, que puede decirse que continúa usando el calendario juliano.

El universo real-Copérnico.—Este distinguido

astrónomo nació en Thorn, Prusia, en 1473, veinte años antes del descubrimiento de América, é hizo sus estudios en la universidad de Cracovia. Durante un período largo desempeñó una dignidad eclesiástica que le dejó libre mucho tiempo para sus estudios favoritos. Murió en el mes de Mayo de 1543. Dedicó su laboriosa vida á la formacion de su célebre sistema, que se resistió á publicar durante mucho tiempo, comunicándoselo tan sólo á algunos amigos íntimos, entre los que se contaba Rhetico, el cual dió á luz en 1540 un compendio del sistema copernicano, que fué acogido favorablemente. Animado por este éxito escribió Copérnico su gran libro *De Revolutionibus Orbium Celestium*, cuya primera copia llegó á sus manos pocos días antes de su muerte.

Los principios fundamentales del sistema de Copérnico son dos:

1.º La revolucion diurna de los cielos es tan sólo aparente y se debe al giro de la Tierra alrededor de un eje.

2.º El centro de los movimientos celestes no es la Tierra, sino el Sol, en torno del cual giran todos los planetas. Por esto se ha llamado el sistema de Copérnico la teoría Heliocéntrica.

Pero ¿cómo llegó Copérnico á descubrir tales principios? ¿por qué camino pudo vislumbrar el primero?

Tolomeo habia dicho ya que la Tierra viene á ser un punto matemático en comparacion de la inmensidad de los cielos. Calcúlese

la velocidad extraordinaria con que debería girar la bóveda celeste para hacer una revolución en veinticuatro horas. Los efectos producidos por esta velocidad extraordinaria, infinita casi, son idénticos á los que produciría la revolución terrestre con una velocidad incomparablemente menor. Esta idea indujo á Copérnico á creer en la exactitud del primero de los dos principios enunciados.

El segundo principio no es en el fondo más que una aplicación de las leyes del movimiento relativo: explica el giro aparente del Sol y las trayectorias cicloides descritas por los planetas en el sistema de Tolomeo.

Tycho-Brahe—Para que el sistema de Copérnico se perfeccionara, era indispensable un estudio de las leyes del movimiento y algunas observaciones exactas de los cuerpos celestes. De aquel estudio se encargó Kepler y de las mencionadas observaciones Tycho-Brahe, que nació en 1546, tres años despues de la muerte de Copérnico. El eclipse de sol de 21 de Agosto de 1560, que fué total en casi toda Europa, despertó la vocacion del astrónomo citado. En 1576 el rey de Dinamarca fundó el célebre Observatorio de Uraniberg, á cuyo frente estuvo largos años Tycho-Brahe. Dedujo de sus investigaciones que cinco planetas se movian alrededor del Sol; pero que éste se movia tambien describiendo su órbita en torno de la Tierra una vez al año. Desechó el sistema de Copérnico por creer que las estrellas fijas estaban á una distancia del Sol inaceptable por lo inmensa.

Como astrónomo teórico Tycho-Brahe tuvo poca fortuna.

Kepler.—Este sabio nació en Würtemberg, en el año 1571. Fué discípulo de Tycho-Brahe y consagró su vida al estudio de las leyes que rigen los movimientos de los planetas alrededor del Sol. Por su gran proximidad á la Tierra y porque tiene una órbita muy escéntrica el planeta Marte es el más á propósito para este género de investigaciones. Examinó Kepler los movimientos de Marte; hizo muchas hipótesis sobre la naturaleza de su trayectoria; comparó lo que resultaba de cada hipótesis con la realidad de los hechos y dedujo por este camino que las trayectorias eran elipses. Midió además las velocidades y pudo al fin resumir sus trabajos en las tres leyes siguientes:

1.^a La órbita de cada planeta es una elipse. El Sol se halla siempre en uno de sus focos.

2.^a Los rádios vectores de los planetas describen áreas iguales en tiempos iguales.

3.^a Los cuadrados de los tiempos de la revolución de los planetas son proporcionales á los cubos de sus distancias medias al Sol.

Sea *S* el Sol, fig. 3.^a y *PabcdA* la órbita de un planeta. Los puntos *P* y *A* en que sus distancias al Sol son mínima y máxima se denominan respectivamente perihelio y aphelio. Supóngase que á los treinta días de salir de *P* el astro considerado estuviera en *a*, á los sesenta en *b*, á los noventa en *c*, á los 120 en *d*, etc. Pues bien, entónces la segunda ley de Kepler signifi-

ca que las áreas triangulares SPa , aSb , bSc y cSd serán iguales.

Saturno es uno de los planetas en que primero se pudo comprobar la tercera ley de Kepler. Copérnico no pensó en descubrir la ley que liga las distancias á los períodos de revolución.

Desde Kepler hasta Newton.—Las leyes de Kepler debían emanar de un principio. Galileo por una parte, inventando el telescopio, estableciendo las bases de la Dinámica y propagando el sistema copernicano suministró datos para la célebre teoría de los vértices de Descartes, que supone que el Sol está sumergido en una inmensa masa flúida que participa del movimiento de rotación solar. Aunque la experiencia no comprobó semejante doctrina tuvo varios adeptos, y entre otros, el sábio Juan Bernoulli.

Huyghens, matemático y físico de primer orden, descubrió las leyes de la fuerza centrífuga y, aplicándolas al sistema del mundo, preparó el advenimiento de la teoría de la gravitación universal.

La gravitación universal.—Ocupándose este capítulo del sistema del mundo es lógico que termine por el estudio de la gravitación universal, porque esta ley envuelve y sintetiza todas las leyes astronómicas del universo.

Muy pocos aprecian el verdadero sentido del gran descubrimiento de la gravitación universal, debido á Newton. Este no fué sin duda el primero que tuvo la idea de una fuerza cósmica.

mica, procedente del Sol ó de la Tierra, que regulara el movimiento de los astros.

Tolomeo y Kepler se le anticiparon: para el uno la fuerza cósmica emanaba de la tierra, y para el otro del Sol.

Era indispensable, sin embargo, determinar las propiedades de la fuerza cósmica: definir sus leyes; prever sus resultados. Tales fueron las investigaciones de Newton. Hubiera sido imposible llevarlas á cabo sin un concepto preciso de las leyes generales de la Mecánica. Por esto la ley de la caída de las graves de Galileo y la teoría de las fuerzas centrales de Huygens son las dos columnas en que descansa el sistema newtoniano.

Llegó Newton al descubrimiento de la gravitación universal tomando como punto de partida las leyes de la inercia, estudiadas en la Física.

La gravedad, fuerza que parece atraer los cuerpos hácia el centro de la Tierra, produce sus efectos sin disminucion hasta en las más elevadas torres y montañas. Pero ¿hasta dónde se extiende? ¿Llegará á la Luna? ¿Puede ser la fuerza de gravedad la que retiene á la Luna en su órbita é impide que recorra una línea recta, como sucedería en virtud de la primera de las leyes de inercia, si sólo estuviese la Luna sometida á la acción de un impulso primitivo? Para resolver este problema es preciso calcular qué fuerza se necesita para retener á la Luna en su órbita y compararla con la de la gravedad.

Así lo hizo Newton, y halló que la desvia-

cion de la órbita de la Luna respecto á una línea recta está representada por una longitud fija recorrida en un minuto, longitud igual á la que describe en un segundo un cuerpo en la superficie terrestre, sometido á la accion de la gravedad. Y como las distancias trazadas por los móviles de que se trata son entre sí como los cuadrados de los tiempos empleados en trazarlas, se deduce que la fuerza de la gravedad en la superficie de la Tierra es 36.000 veces mayor que la fuerza que retiene á la Luna en su órbita. Ahora bien, ese número es el cuadrado de 60, que expresa las veces que la Luna dista más que nosotros del centro de la Tierra. Luego la fuerza que mantiene á la Luna en su órbita está, respecto de la gravedad, en razon inversa del cuadrado de la distancia al centro de la Tierra.

Se han hecho experimentos para demostrar que las pequeñas masas aisladas se atraen tambien segun las leyes de Newton. Realmente el objeto de semejantes investigaciones ha sido, más que una prueba de la existencia de la gravitacion un procedimiento para medir la densidad del globo que habitamos. La atraccion de una esfera sobre un punto de su superficie es igual á la que ejerceria su centro, si en él estuviera concentrada su masa; estará, pues, en razon directa de dicha masa, é inversa del cuadrado del radio. En este principio se funda la determinacion de la densidad de la tierra por el método de Cavendish. El mismo problema se resuelve por el estudio de la atraccion de las montañas

y por lo que disminuye la gravedad á medida que se penetra en el interior de la Tierra, estudios de carácter elevado, que nos llevarian demasiado léjos.

La gravitacion universal es, por decirlo así, *l peso reciproco* de los astros; pero la causa de la gravitacion es por ahora desconocida. Conocen los astrónomos sus leyes: ignoran en cambio el motivo de la misteriosa fuerza que une y enlaza las partículas cósmicas. Fuérale muy grato al espíritu del hombre remontarse á la investigacion del origen de las propiedades intrínsecas de la materia: mas en este orden de estudios no se descubre hasta hoy un guía seguro. Despues de todo, las ciencias físicas y naturales tratan de *efectos* y no de *causas*.

PARTE II.

Astronomía práctica.

Llegar al conocimiento de la cosas exteriores es la primera vocacion del hombre.

(GOETHE.)

CAPÍTULO PRIMERO.

INSTRUMENTOS ASTRONÓMICOS.

Objeto de la astronomía práctica.—La Astronomía práctica tiene por objeto el estudio de los instrumentos y de los métodos empleados por los astrónomos para la exploracion y la medida de los cielos, así como para determinar las posiciones de la Tierra.

Aparatos antiguos.—Entre los aparatos antiguos son curiosos el gnomon y el astrolabio ó esfera armilar. El primero es un cuadrante de construccion sencilla ó mejor dicho un simple estilete vertical. La esfera armilar consiste en una combinacion de tres círculos, uno de los cuales se puede colocar en el plano del ecuador ó de la eclíptica. Esté círculo dividido en grados sirve para medir la distancia angular de dos cuerpos, próximos á la eclíptica como el

Sol y la Luna ó una estrella y un planeta. Con estos aparatos averiguaron Hipparco y Tolomeo las desigualdades en los movimientos del Sol, la Luna y los planetas.

Telescopios. El telescopio fué inventado, segun se cree generalmente, por Galileo. Algunos atribuyen semejante descubrimiento á Metius, otros á Lipperhey, y otros, en fin, á Jansen. Los dos últimos eran constructores de lentes, y el primero profesor de matemáticas.

El telescopio de Galileo se reduce á dos lentes, una convexa y otra cóncava. De su teoría, así como de la del telescopio en general, no se dirá nada en este sitio, por corresponder tal estudio á la óptica física.

Galileo hubiera perfeccionado mucho el telescopio, sin la dificultad, que tanto él como sus sucesores, hallaron en la aberracion cromática. Huyghens, Cassini, Hevelius y otros astrónomos del siglo XVII construyeron telescopios de extraordinaria longitud.

El telescopio acromático, descubierto siglo y medio despues de que Galileo inventara el telescopio sencillo, se debe á Dollond, óptico inglés, si bien el principio en que se funda se dió á conocer por el matemático aleman Euler.

Se sabe por la Física que la idea de Dollond se reduce á combinar dos lentes, una cóncava y otra convexa, de modo que sus aberraciones se compensen. El problema que se debía resolver era el siguiente: construir dos prismas de diferentes clases de cristal de modo que tengan el mismo poder de dispersion, pero distinto poder

de refraccion. Segun las investigaciones de Euler y Dollond, el *flint-glass* y el *crown-glass* vencen la dificultad, pues el poder de dispersion del primero es próximamente doble que el del segundo, mientras que su poder de refraccion es casi el mismo. Con arreglo á estas indicaciones se construyen los objetivos acromáticos, en los cuales una lente convexa de crown se combina con una cóncava de flint que venga á tener la mitad de su curvatura.

En la fig. 4 se representa la seccion de un objetivo acromático, tal como se construye para los acreditados telescopios de M. Alvan Clark. La curvatura respectiva de las dos lentes se modifica teniendo en cuenta la densidad de cada cristal.

La combinacion de los prismas de flint y de crown da origen á un espectro especial que se llama espectro secundario. En las inmensas lentes de más de dos piés de abertura que se han usado en estos últimos tiempos, la aberracion secundaria constituye el defecto óptico de más importancia, pues dependiendo de las propiedades del cristal, no puede ser disminuido por el arte. Se atenúa la dificultad aumentando la longitud del instrumento.

Tampoco me ocuparé de los oculares, compuestos en general de dos lentes.

Un telescopio debe reunir dos condiciones: 1.^a Que pueda dirigirse en el sentido de un objeto visible ó invisible. 2.^a Que sea capaz de seguir á un astro en su movimiento diurno. La figura 5 representa el juego en virtud del cual se

consiguen estos dos objetos. AB es el telescopio, mN un manguito dentro del cual va el eje abP un contra peso y $E E'$ un eje fijo, perpendicular á ab y dirigido hácia el polo celeste.

Telescopios por reflexion.—Ademas del telescopio que se acaba de describir ligeramente y que obra por refraccion, hay otros telescopios que actúan por reflexion. Isaac Newton fué uno de los primeros físicos que se dedicaron al estudio de los telescopios por reflexion. La fig. 6 representa el corte del telescopio newtoniano. Los rayos luminosos reflejados por el espejo parabólico M llegan al pequeño prisma mn , que sustituye al espejito plano que fué colocado en un principio por Newton. Sufren, pues, los rayos en seguida una reflexion total y dan en ab una imágen diminuta del cuerpo celeste, que luégo se agranda por el sistema de lentes S .

Al mismo grupo pertenecen los telescopios de Herschel y de Gregory, cuyas secciones se representan en las figuras 7 y 8.

El telescopio cassegrainiano es una modificacion del gregoriano. Se diferencia de él sólo en que el pequeño espejo R es convexo y está colocado en el foco. En este sistema el telescopio puede ser más corto que en el de Gregory.

Los telescopios ideados por Newton, Huyghens y Cassini no pueden compararse con el que construyó el célebre Guillermo Herschel en 1766. Herschel era un reputadísimo organista de Bath, que habia dedicado algunos ratos libres al estudio de las Matemáticas, de la Astro-

nomía y de la Óptica. Casualmente llegó á sus manos un reflector gregoriano. Fué tal su sorpresa al contemplar el cielo con este aparato, que inmediatamente se trasladó á Londres para intentar construir otro de mayor poder. Después de muchos experimentos con aleaciones metálicas y de largos estudios para obtener el pulimento y la forma parabólica de los espejos, fabrico un reflector de unos cinco piés, que sirvió para revelar algunos importantes fenómenos celestes, y entre otras cosas notables, descubrió el planeta Urano. Bien pronto la fama del músico astrónomo llegó á oídos del rey Jorge III, quien le señaló una pensión vitalicia de 200 libras al año para que pudiera continuar dedicándose al estudio de la Astronomía. No tardó Herschel en descubrir, valiéndose de un telescopio mayor que los que habia fabricado hasta entónces, dos nuevos satélites de Saturno.

En la construcción de telescopios notables sucedió á Guillermo Herschel su hijo Juan, y á éste el conde de Rosse, en Parsonstown (Irlanda). No me detendré en el exámen de estos telescopios, ni en el de los procedimientos para pulimentar los correspondientes espejos.

Los grandes reflectores de Guillermo Lassell en Inglaterra, que sirvieron para descubrir dos satélites de Urano; el construido en Malta por el mismo autor, con el que se hicieron observaciones sobre las nebulosas; el de Thomás Grubb, de Dublin, destinado al Observatorio de Melbourne en Australia, y los reflectores que mucho más tarde fabricó el profesor Enrique Draper

en New-York, como el de Hastings, dan una idea de todo el proceso de esta parte de la Astronomía práctica.

En París se montó un gran reflector en 1875. El diámetro de su espejo es de 120 centímetros. Fué pulimentado y plateado por M. Martin. Desgraciadamente el peso del espejo le ha ido haciendo perder su forma parabólica.

Telescopios por refraccion.—Un físico de primer orden, Fraunhofer, unido al constructor Guinand, empezó á estudiar seriamente el telescopio por refraccion. Más tarde Dying (1826) y sus sucesores Merz y Mahler de Munich, hicieron dos telescopios de magnitud extraordinaria, que pertenecieron al observatorio de Pulkowa en Rusia, y al de la Universidad de Harvard en Boston.

Mr. Alvan Clark, establecido en Cambridgeport (Massachusetts), era en 1846 un industrial poco conocido. Una de las personas más aficionadas á los estudios astronómicos en Inglaterra, W. R. Dawes, ensayó en 1853 un objetivo de Mr. Clark, y le halló tan bueno, que hubo de encargarle otros varios, y por último, un telescopio completo. El resultado de esto fué que la fama del artista americano creció muchísimo, y bien pronto fabricó telescopios para la Universidad del Mississippi, para la Sociedad Astronómica de Chicago, etc. También merece mencionarse el telescopio de Thomás Cooke en Gateshead, que sirvió en el verano de 1874 á Mr. Lockyer para el estudio del cometa Coggia. Por último terminaremos estas indicaciones citando

el gran telescopio montado en Noviembre de 1873 para el Observatorio nacional de los Estados- Unidos, el cual ha servido para observar los satélites de Saturno, Urano y Neptuno, con el objeto de determinar las masas respectivas de estos planetas.

Aparatos astronómicos de uso frecuente.— Los aparatos astronómicos de uso mas frecuente, aparte de los cronómetros, que sirven para la medida del tiempo, y de los teodolitos de aplicacion á los estudios geodésicos, son el círculo ó antejo meridiano y la ecuatorial. El primero sirve para todos los estudios relativos al paso de los astros por el meridiano, y el segundo, esto es, la ecuatorial, está dispuesto de manera que pueden seguirse é investigarse los astros en sus diversas posiciones. Entre los muchos sistemas de ecuatoriales modernas, es una de las más curiosas la de Berthon, construida por Hone y Thornthwaite. Hasta hace poco todas las ecuatoriales se reducian al sistema aleman, ó al inglés. En el primero, el telescopio se coloca á un lado del eje, al que se le da un primer movimiento que equivale á la revolucion de la Tierra, y está contrabalanceado por el otro por un sólo contrapeso. Por medio de la revolucion del eje de comunicacion se puede imprimir al aparato el movimiento de declinacion. En los instrumentos grandes semejante forma resulta carísima por el cuidado que debe ponerse en los ajustes. En los aparatos ingleses se equilibra el telescopio sobre los muñones, y el telescopio gira en una

caja, á cada uno de cuyos extremos va un eje polar. El defecto mas importante de la ecuatorial inglesa es que una parte del cielo queda oculta por el cuerpo del apoyo del eje superior. La ecuatorial de Berthon tiene la ventaja de no ser tan cara como la alemana y de permitir el exámen de cualquier parte del cielo. Consta de un disco bien plano, unido á un pedestal. Sobre este disco hay otro que verifica su revolucion alrededor de un punto central ó eje polar. El disco superior tiene dos muñones, en torno de los cuales practican su giro ó revolucion dos porta-telescopios. Estos se extienden mas allá de los muñones, y como cada uno de los soportes lleva un contrapeso, que se encuentra á cada lado del eje polar, resulta que el punto central del disco superior es el centro de gravedad de la masa entera. El rozamiento se ha suavizado por medio de una placa de hierro y de dos tornillos diferenciales, por medio de los que se puede elevar de una manera precisa el disco superior y, por consiguiente, evitar el rozamiento sobre el disco inferior. Por este medio los movimientos horlogéricos ó de mano se facilitan en extremo. El reloj vá colocado dentro del pedestal.

Prescindiré de las ecuatoriales, despues de estas breves indicaciones, no sin citar, aunque sólo sea de paso, la que toma por base el telescopio de espejo Brachy, construido por K. Fritsch y Forster, que por su reducido precio puede interesar á los particulares aficionados á las investigaciones astronómicas.

En este mismo grupo de aparatos astronómicos de uso frecuente, se debe citar el anteojo meridiano. Como indica su nombre, el anteojo no sale jamás del plano en que se halla el meridiano. Círculos graduados, convenientemente dispuestos, miden los ángulos que sea preciso determinar en ese plano.

El uso del aparato en cuestion es observar el momento del paso de una estrella por el meridiano, y su altitud sobre el horizonte. Para que las observaciones tengan precision, acompañan al ocular varias líneas finísimas, por lo comun de tela de araña, de las cuales la central representa el meridiano: los astrónomos anotan el instante del paso del astro que se considera, no sólo por el hilo de enmedio, sino por todos los demás. La medida del tiempo se hace por un reloj sideral, cuyo uso describe ya la cosmografía.

Cuando se introdujo el telégrafo eléctrico, los astrónomos americanos sustituyeron al método engorroso del reloj sideral el del cronógrafo eléctrico.

En último resultado no se trataba más que de fijar el instante en que un punto móvil, representado por una estrella, pasa por una línea, representada por un hilo. En el primer sistema es preciso fijar la vista con atencion suma en el astro, dentro del anteojo, seguir su movimiento, atender á la trayectoria imaginaria que describe en el foco, señalar el momento en que esa trayectoria corta á los hilos, contando por el oido los segundos, y apreciando sus fraccio-

nes con aquella práctica y aquel tino, que constituyen al verdadero astrónomo. En cambio, el segundo sistema no necesita costumbre de observar: en él la ciencia suple la práctica. Sobre un cilindro giratorio, al que se adapta un papel, traza un lápiz una línea, de tal modo que su punta describa un espacio definido en un tiempo dado. Un boton puesto en la mano del observador interrumpe ó establece la corriente eléctrica en el instante del paso del astro por el meridiano, marcando en la línea que ordinariamente describe el lápiz, el momento preciso que se desea fijar de un modo indeleble. Todo se reduce á convertir una magnitud lineal en un lapso de tiempo: todo se reduce á poner la Geometría al servicio de la Cronología, por medio de la Física.

CAPÍTULO II.

APLICACIONES DE LOS INSTRUMENTOS ASTRONÓMICOS Y ESTUDIOS QUE SE RELACIONAN CON ELLOS.

Determinacion de longitudes.— Realmente no hay una sóla verdad astronómica que no sea la consecuencia del cálculo y del empleo de los instrumentos astronómicos. Trátase ahora, sin embargo, de una de las aplicaciones mas inmediatas de los instrumentos astronómicos, á saber, de la determinacion de longitudes. Libros enteros se han consagrado á esta determinacion. Los últimos descubrimientos de la Mecánica, de

la Física, de la Geodesia, se han puesto al servicio de la Astronomía para resolver este problema.

El principio de asociacion, mas útil si cabe para la ciencia que para la industria, ha reunido á hombres eminentes de vários paises con el objeto que nos ocupa, y congresos internacionales han dedicado á estas cuestiones sus tareas. Sería en mí un delirio aspirar en este punto, y sobre todo en este MANUAL, á otra cosa que á presentar un extracto de los procedimientos más elementales para la determinacion de longitudes.

La diferencia de longitudes entre dos lugares es la diferencia de tiempos entre estos mismos lugares, de lo que se infiere que los errores relativos á la determinacion de los tiempos aparecerán en el cálculo de longitudes. El conocimiento de las longitudes es indispensable en Geodesia.

Todos los métodos que sirven para encontrar las longitudes se pueden dividir en tres grupos, á saber: el que consiste en trasportar (si vale la frase) la hora de un meridiano á otro; el que se reduce á la observacion de un mismo fenómeno celeste en el mismo instante; y, en fin, el que parte del exámen de ciertos fenómenos artificiales, dispuestos oportunamente.

Primer sistema.—Supóngase un cronómetro que señala la hora local de un cierto meridiano. Trasportando ese cronómetro á otro meridiano, y viendo el *estado* del cronómetro en este segundo meridiano, esto es, corrigiéndole, se tendrá la longitud que se deseaba, expresada en

tiempo. Pero este procedimiento es de aplicación difícil, porque los cronómetros tienen en cada caso un *estado*, largo y engorroso de determinar. En Rusia se han obtenido algunas diferencias de longitud, haciendo entre los dos puntos hasta 17 viajes y empleando hasta 64 cronómetros. En Siberia se continúan efectuando estudios de este género.

Segundo sistema.—Entre los distintos fenómenos celestes que pueden servir de base á este sistema se encuentran los eclipses de Luna. Si dos observadores, uno en el meridiano *A* y otro en el *B*, miran ú observan el instante de la inmersión de las manchas lunares en el cono de sombra, podrán determinar por la diferencia de tiempos la de longitudes. D. Jorge Juan, nuestro sabio compatriota, aplicó este sistema para Madrid y París, cometiendo un error de 14".

Los eclipses de los satélites de Júpiter se prefieren á los eclipses lunares para el cálculo de longitudes; pero el momento de ocultación de dichos satélites depende, entre otras cosas, de la mayor ó menor pureza de la atmósfera, del grado de vista del observador, etc., lo que hace este método inexacto. Los eclipses de los satélites de Júpiter se verifican con frecuencia, lo que importa mucho, si se atiende á lo convenientes que son en este caso las comprobaciones. El fenómeno de que se trata no se estudia más que cuando Júpiter está en cuadratura y no cuando está en oposición. Por medio de las tablas de Júpiter y sus satélites se simplifica mucho este procedimiento.

Antes de pasar al exámen de la determinacion de las longitudes por los eclipses de Sol, daré una idea del fenómeno conocido con el nombre de paralaje.

Desde cada punto de la Tierra varía la visual correspondiente al mismo astro, á no ser que éste se encuentre á una distancia infinita respecto á las dimensiones de nuestro planeta: luego para que los astrónomos obtengan resultados idénticos en sus problemas, será preciso que reduzcan todos sus datos al caso en que hicieran sus observaciones en un mismo punto, por ejemplo, en el centro de la Tierra. Esta correccion es la que se denomina paralaje.

Pues bien, los eclipses de Sol están sujetos á paralaje, y, por lo tanto, el fenómeno de que se trata no pasará en un mismo instante para dos observadores cualesquiera. En este caso, pues, para saber el momento preciso en que empieza realmente el eclipse, hay que hacer un cálculo penoso. Este procedimiento no se sigue, por lo de tarde en tarde que se presentan tales fenómenos, aunque es indudable que este sistema es muy exacto.

Fenómenos tambien raros y del mismo género que los eclipses de Sol son los pasos de Mercurio y Vénus por el disco solar. Se prestan á la determinacion de las longitudes con gran exactitud los pasos de Mercurio que se verifican en Mayo y Noviembre.

Más expedito es el método de la ocultacion de estrellas por la Luna. Cada mes pueden observarse diez ó doce ocultaciones de estrellas,

áun limitándose á considerar las de quinta ó sexta magnitud. La reaparicion no es tan fácil de apreciar como la ocultacion. El cálculo es penoso, y por esto no se emplea este procedimiento, aunque su exactitud es grande.

Terminaré citando, para que se tenga noticia de él, el procedimiento fundado en el rápido movimiento de la Luna al rededor de la Tierra.

La Luz.—El estudio de la luz no puede separarse del de los instrumentos astronómicos, y, sobre todo, del de la Astronomía práctica en general. Por esto tiene su lugar en este sitio. Prescindiré de las várias teorías acerca de su naturaleza, concretándome á cuanto sea útil ó pertinente ahora, bajo el punto de vista del astrónomo.

Es una cosa por todo el mundo sabida que cuando se contempla una estrella no se la ve tal *como es*, sino tal *como ha sido* en el instante en que lanzó hácia nuestro globo la luz que hiere nuestra retina.

Las investigaciones más profundas acerca de la teoría de la luz se deben á Bradley. La luz necesita veintiun años para llegar de Sirius á la Tierra, setenta y medio de la Cabra, y treinta y medio de la Polar, siendo, como se sabe, por Física, de 77.000 leguas por segundo su velocidad.

Una de las correcciones más importantes relativas á la posicion de los astros es la aberracion de la luz. Aunque la luz tiene un movimiento rapidísimo, es indudable que su velocidad es comparable á la de la Tierra, y de aquí

que la visual dirigida á un astro esté en la diagonal de un paralelógramo cuyos lados sean la trayectoria del éter lumínico y el arco de órbita terrestre que corresponde á un instante dado. El efecto producido por estas causas complejas es la aberracion.

Imagínese que en un tiempo t se observa (figura 9) la estrella S con un antejo que ocupe entónces la posicion ab : es claro que el astro se verá en S' . En el instante t' ab se transformará en $a'b'$ y el astro se verá en S' . Obsérvese que $t-t'$, así como $a-a'$ son cantidades infinitamente pequeñas.

La explicacion más satisfactoria del fenómeno de que se trata es la siguiente: Sea (fig. 10) S un astro que se observa con el antejo $a b$. Representétese por t el tiempo que tarda la luz en ir de S á a y por t' el que tarda en llegar á b . Caminando el antejo, la distancia $a a'$ en el intervalo $t'-t$, la verdadera posicion observada para el astro estará en la direccion $b' a'$. Ya se comprende que los antejos $a b$ y $a' b'$ se suponen paralelos por la gran distancia de S . El ángulo $S a s'$ se llama aberracion ánuá del astro S .

La Tierra, en su movimiento diurno al rededor de su eje, produce tambien, como en su movimiento ánuo, una aberracion que se llama aberracion diurna; su efecto es mucho ménos sensible que el de la aberracion ánuá, por ser mucho más pequeña la velocidad de rotacion de un punto de la Tierra que el movimiento de traslacion de su órbita alrededor del Sol.

Las coordenadas de un punto cualquiera de la superficie de la Tierra respecto de tres ejes coordenados, de los cuales el de las z coincide con el eje de rotacion, y los otros dos se hallan en el ecuador, de manera que el eje de las x coincide con la línea equinocial de primavera, y el de las y con el solsticio de verano, son fáciles de calcular, teniendo en cuenta los principios más elementales del cálculo diferencial. Aplicándolos se deduce que las estrellas fijas describen, por efecto de la aberracion, una pequeña elipse, cuyo semieje mayor es de $20'',255$, y cuyo semieje menor será tanto más grande cuanto mayor sea la latitud de la estrella. Si las estrellas están en la eclíptica, la latitud es nula y la elipse se convierte en una recta. Para las estrellas que están en el polo de la eclíptica, la elipse se convierte en un círculo cuyo radio es de $20'',255$. Lo mismo sucede con la aberracion diurna, que hace recorrer á la estrella diariamente una pequeña elipse. Las estrellas ecuatoriales describen por esta causa una línea recta y las polares un círculo.

Cuando un astro tiene movimiento propio, como sucede con los planetas, no basta lo dicho para las estrellas fijas, pues en el tiempo que emplee la luz en llegar del planeta á la Tierra, ha variado su posicion en el espacio. La coordenada que se determina no se referirá, por lo tanto, al momento de la observacion, y sí únicamente al instante en que salió del planeta ó cometa el rayo de luz que llega á nosotros en el momento de la observacion. Es preciso,

pues, del tiempo T de la observacion restar el que la luz emplea para ir desde el planeta á la Tierra, y las coordenadas que se determinen no se referirán al tiempo T , sino á $T-t$, llamando t el tiempo que la luz emplea en recorrer este espacio.

No ménos interesante que el fenómeno de las aberraciones ánuva y diurna es el de la refraccion astronómica. Su estudio pertenece al campo de la Física, pero sus aplicaciones son del dominio de la Astronomía óptica.

Cuando la luz se propaga en el vacío ó un medio homogéneo, lo efectúa en sentido completamente rectilíneo; pero si pasa de un medio á otro de diversa densidad, sufre una desviacion al atravesar la superficie que separa dichos medios, siempre que no la hiera normalmente. La diferencia entre el ángulo de incidencia y el de refraccion es lo que se llama *refraccion*.

Las leyes de la refraccion son :

1.^a El rayo incidente y el refractado están en un plano que pasa por la normal á la superficie de separacion de los dos medios.

2.^a El ángulo de refraccion es mayor que el de incidencia, cuando pasa la luz de un medio á otro mas refringente, y al contrario.

3.^a La relacion de los senos de los ángulos de incidencia y de refraccion es constante, cual quiera que sea el valor de estos, y sólo depende de los medios atravesados por la luz. Si la luz pasa del vacío á un medio cualquiera, se llama índice de refraccion de este medio á la relacion de los senos de los ángulos de incidencia y de

refraccion. De aquí se deduce que los senos de los ángulos de incidencia y de refraccion, al pasar de un medio á otro cualquiera, son inversamente proporcionales á los índices de refraccion de estos dos medios. En virtud de estas consideraciones se comprende que un rayo de luz (fig. 11), que viene de un astro S , sigue una direccion rectilínea mientras atraviesa los espacios etéreos; pero en cuanto llega á la superficie de nuestra atmósfera sufre una desviacion, y como cada atmósfera no es homogénea, sino que tiene una densidad creciente de las capas superiores hácia las inferiores, resulta que la marcha del rayo luminoso no es rectilínea dentro de esta misma atmósfera, sino que sufre una série continua de pequeñas variaciones, lo que hace que su trayectoria sea curvilínea y que llegue á la superficie O de la Tierra con una direccion muy distinta de la que tenia al partir de la estrella, lo que hará ver en S' el astro que realmente se halla en S . El angulo formado por el rayo directo y verdadero con el aparente, es lo que se llama refraccion astronómica.

Se vé, pues, que la refraccion aproxima los astros al zenit, y es tanto mayor cuanto mayor es la distancia zenital, siendo nula cuando ésta es cero.

El valor exacto de la refraccion astronómica no se puede deducir de las leyes físicas, mientras no se conozca la manera como varía la densidad de las diversas capas de la atmósfera. Las ascensiones aereostáticas constituyen el único medio para hallar esta ley de densidad; pero es

tas ascensiones no han sido muchas y se han verificado á muy poca altura, de modo que los datos que suministran no bastan para el objeto en cuestion. Los astrónomos se han visto, pues, precisados á admitir algunas hipótesis y á basar sobre ellas la teoria. De esta manera se ha obtenido una fórmula, que corregida por Bessel, en virtud de constantes suministradas por la experiencia, suele usarse en todos los cálculos relativos á la refraccion astronómica.

Las tablas llamadas de Schumacher son las que se suelen usar para la aplicacion de esa fórmula.

Si no se necesita determinar la refraccion con gran exactitud, se hace uso de tablas que, tomando por argumento sólo la distancia zenital, dan los valores de la refraccion media, correspondientes á una presion atmosférica media y á una temperatura tambien media. Estas tablas, son las que usan los marinos.

El gran valor que alcanza la refraccion en el horizonte hace aparecer á nuestra vista los astros mucho ántes de que hayan llegado al horizonte y mucho despues que han desaparecido. Esta causa alarga el dia solar en el doble del tiempo empleado por el Sol en ascender $34' 54''$, que es el valor de la refraccion horizontal. Como este valor excede al que alcanza el diámetro solar, resulta que vemos todo el disco sobre el horizonte, cuando en realidad está todo él debajo.

Esta misma causa hace que el Sol y la Luna nos parezcan elípticos cuando salen, pues

la diferencia de refraccion que sufren los rayos luminosos que parten de su limbo superior y del inferior hace que éste se eleve más que aquél.

El crepúsculo es uno de los fenómenos producidos por la refraccion de la luz en las altas capas de la atmósfera. Dícese que hay crepúsculo desde que se pone el Sol hasta que aparecen las estrellas de sexta magnitud, que son las más pequeñas que se divisan á simple vista, y desde que estas desaparecen por la mañana hasta que aparece el astro luminoso.

Definido de esta manera el crepúsculo, se admite por los geógrafos que tiene lugar mientras que la parte del Sol que está debajo del horizonte alcanza una altura de ménos de 18° . De modo que en los solsticios, cuando el Sol tiene una latitud de $23^{\circ} 28'$ todos los puntos de la Tierra, cuya latitud sea mayor que $[90 - (18^{\circ} + 23^{\circ} 28')] = 48 32'$ tendrán la noche completamente ocupada por dos crepúsculos, de los cuales empezará uno cuando el otro termine, pues el Sol no llegará á descender debajo del horizonte más de 18° . Asi sucede, por ejemplo, en París.

El espectróscopo ó espetroscopio.—El Doctor Lardner y otros distinguidos astrónomos habian dado lecciones populares, en las que demostraban que partiendo de los principios expuestos en los párrafos anteriores se podian calcular las distancias de los astros entre sí, sus posiciones en el cielo, su volúmen y su peso. Estos descubrimientos, á todas luces sorprendentes, no son

tan admirables como los que se han hecho por medio del espectróscopo, con el que se ha logrado deducir la composición química de los astros.

El análisis espectral no es en el fondo más que uno de los más sencillos métodos de investigación química; pero tan delicado, y al mismo tiempo de resultados tan seguros, que se le podría llamar el procedimiento analítico del mundo infinitesimal. En efecto, con el espectróscopo en la mano se reconocen cantidades infinitesimales de una sustancia aunque se halle colocada á una distancia incalculable.

Observando el espectro solar con una lente poderosa ó con el instrumento denominado espectróscopo, se ve que le cruzan innumerables rayas negras, entre las que se distinguen principalmente nueve llamadas de Fraunhofer.

Ademas de la luz solar las luces artificiales producen tambien espectros de colores más ó ménos vivos, observándose que si la sustancia llevada á la incandescencia es un metal ó un metaloide muy enrarecido, se produce un espectro de rayas brillantes, cuyo número y posición varían de un metal á otro, pero que son constantes para un mismo cuerpo. Así, por ejemplo, se deduce que el sódio existe en el Sol, porque este metal da origen á una raya amarilla brillante que coincide exactamente con las rayas bastante gruesas del espectro solar que se hallan en el límite comun á los colores anaranjado y amarillo.

A tres leyes se reduce toda la teoría del análisis espectral, á saber:

1.^a Siempre que se hace incandescente un gas desprovisto de partículas metálicas vaporizadas resulta un espectro de colores continuos.

2.^a Los metales incandescentes reducidos á vapor producen espectros de rayas brillantes.

3.^a Si los manantiales de luz metálicos son atravesados por otra luz más intensa, las rayas brillantes subsisten en su posición, pero transformados en rayas negras, fenómeno que se denomina inversión del espectro.

Los astros, pues, al enviarnos su luz, nos remiten, envuelta en ella, parte de su historia. El astrónomo, consultando las leyes de la Física descifra los enigmas, interpreta los geroglíficos de la naturaleza, y saltando la valla de los sentidos, en todo limitados, hace de la misma luz el mensajero que le relata, con la velocidad de 77.000 leguas por segundo, los misterios y las maravillas del mundo planetario y del insondable mundo celeste.

La fotografía.—Así como el espectróscopo es un medio físico, un aparato, que sirve en Astronomía para *descubrir* fenómenos, la fotografía tiene por principal objeto, si vale la palabra, *conservarlos*. El físico-fotógrafo ha pasado ya de lo infinitamente pequeño á lo infinitamente grande, de las representaciones anatómicas á las vistas del cielo. Se han fotografiado el Sol, sus manchas, la Luna, sus montañas, los eclipses y sus curiosas particularidades, los planetas y las constelaciones. Grandes son los servicios que la fotografía puede prestar á la ciencia de los astros. Es preciso, sin embargo, que

no se exageren, y sobre todo, que no se desvirtuen. Un célebre astrónomo, Mædler, el autor de la Selenografía, dió una conferencia en 1868, en la que expuso, entre otras, las siguientes ideas: muchos han concebido, al ver los adelantos de la fotografía, esperanzas análogas á las que tuvieron Descartes y son contemporáneos tras el descubrimiento de los anteojos astronómicos. Se notaba con entusiasmo, que la determinación de la superficie de la Luna, por ejemplo, que habia costado siete años, se pudo haber hecho empleando la fotografía en siete segundos. Los astrónomos trabajaron con fe; se distinguieron notablemente Warren de la Rue en Inglaterra y William Cranch Bond en América; se consiguió adaptar á los aparatos fotográficos grandes y poderosas lentes astronómicas; se ideó un procedimiento seguro é ingenioso para que durante el corto intervalo necesario para las pruebas, la cámara fotográfica siguiera á los cuerpos celestes en sus movimientos y se fotografió la Luna en sus distintas fases, pero los detalles quedaron muy por debajo de lo que puede determinar un observador hábil. Bond, que se ha ocupado mucho de las estrellas fijas, lo más que obtuvo fueron imágenes débiles, apenas perceptibles de las estrellas de quinta magnitud.

Sin embargo, en los eclipses de Sol, la fotografía presta grandes auxilios al astrónomo. No hay dibujante, por hábil que sea, capaz de representar en dos ó tres minutos, tiempo que suele durar este fenómeno, todo lo que ha ob-

tenido Warren de la Rue observando un eclipse de sol, en España por cierto. Se ha fotografiado con éxito Orion y otras constelaciones; pero una buena vista, sin anteojos de ninguna clase ve muchas más cosas en el cielo de las que la fotografía descubre. El Observatorio de Wilna dispone de curiosísimos aparatos fotográficos. Todo induce á creer que la esfera de acción de la Astronomía práctica no se ensanchará mucho con el descubrimiento fecundo de Da guerre.

PARTE III.

Sistema Solar.

Para conocer la historia del mundo no basta el estudio de su pasado : se necesita tambien el de su presente y, sobre todo, el exámen de la parte que tenemos más cerca.

(J. P. RICHRET.)

CAPITULO PRIMERO.

ESTRUCTURA DEL SISTEMA SOLAR.

Razon del método. — Descrita la estructura general del universo; bosquejados los métodos que usan los astrónomos para medir el cielo é investigar los movimientos celestes, resta el estudio de los astros que componen el mundo, y sobre todo de los que se hallan más cerca de nosotros. Esta investigacion de los astros es, á todas luces, necesaria para intentar luego subir del conocimiento del sistema solar al océano infinito en que se agitan los sistemas estelares, última evolucion, portentoso fin, de las tareas de los astrónomos en los últimos tiempos.

Posiciones de los astros. — Las posiciones de los astros se determinan por los astrónomos fijando su *direccion*, esto es, marcando la recta que los une al observador. Uno de los extremos de esta recta se conoce: está en el observador. El otro extremo se averigua y establece por el uso de *coordenadas esféricas*, que son dos arcos de círculo, construidos con arreglo á ciertas reglas de Geometría y que por su interseccion sobre la esfera imaginaria y celeste que nos rodea, señalan el punto de que se trata.

Entre los distintos sistemas de coordenadas que se aplican á la Astronomía (cuatro son los los mas importantes), el que más nos interesa es el de *longitudes y latitudes*.

La Tierra es una especie de bola, un cuerpo terminado por una *superficie de revolucion*, como dicen los matemáticos. Es decir que la Tierra tiene un *eje*, que se puede considerar como el *eje del mundo* en virtud de las inmensas distancias á que nos hallamos de las estrellas, y si se recuerda lo que se manifestó al tratar del movimiento diurno. El plano perpendicular al eje del mundo que pasa por el centro de la Tierra es el *ecuador celeste*. Visto el centro del Sol desde el centro de la Tierra, parece que describe un círculo máximo, que se llama *la eclíptica*. Los puntos de interseccion del ecuador y de la eclíptica son los equinocciales de primavera ó de verano. Los puntos de la eclíptica, que se hallan á 90° de los equinoccios, son los solsticios.

Ahora bien, los círculos máximos que pasan

por los *polos* de la eclíptica, y son perpendiculares á ella, se llaman *círculos de latitud*. *Latitud* de un astro es el arco de su círculo de latitud, comprendido entre él y la eclíptica. *Longitud* de una estrella es el arco de eclíptica, comprendido entre su círculo de latitud y el equinoccio de primavera.

Los signos matemáticos determinan las direcciones de las latitudes.

Las distancias de los astros se suelen averiguar por procedimientos análogos á los que suministra la Topografía para medir las alturas y las longitudes lineales inaccesibles. Los diámetros aparentes de los astros son á veces elementos de triángulos semejantes, que por medio de cálculos sencillos, conducen á la maravillosa determinación de las distancias entre los cuerpos celestes.

La teoría de los planetas.— La teoría de los planetas ó el sistema solar, debe ser en realidad el primer capítulo de la Astronomía propiamente dicha. Consta ese sistema de ocho grandes planetas, que giran en torno del Sol, en virtud de un impulso primitivo y de la atracción solar; de los satélites que se mueven alrededor de los planetas, formando sistemas subalternos análogos al principal; de los cometas, en número no definido, periódicos unos y otros no; y de una ó mas zonas de materia cósmica en diversos estados de aglomeración, de donde se cree con fundamento que provienen la luz zodiacal, los aereolitos, los bólidos ó globos de fuego, y las estrellas fugaces.

En el orden de sus distancias al Sol, los elementos del sistema se distribuyen así:

1.º Anillo problemático de pequeños planetas llamados intramercuriales.

2.º Mercurio, raras veces visible sin el auxilio de un anteojo.

3.º Venus, estrella principal de la mañana y de la tarde.

4.º Zona de asteroides, que produce la luz zodiacal, aunque de dudosa existencia.

5.º Tierra con su satélite la Luna.

6.º Marte, de luz rojiza característica.

7.º Zona de asteroides, de los que se han observado hasta 106.

8.º Júpiter rodeado de cuatro satélites y comparable á Venus por su brillo.

9.º Saturno, de luz más pálida y amarillenta que Júpiter, acompañado de ocho satélites y de un anillo luminoso.

10.º Urano, que sólo se ve como una estrella de sexta magnitud, con seis satélites bien comprobados y uno dudoso.

11.º Neptuno, de luz más ténue y tinte verdoso, con un satélite cierto y otro no bien determinado todavía.

Los planetas ocupan los lugares que marcan las adjuntas series: en la *A* se colocan por el orden de sus distancias al Sol; en la *B* por el de sus volúmenes; en la *C* por el de sus masas; en la *D* por el de sus densidades, y procediendo en ellas de menor á mayor.

A.	B.	C.	D.
Mercurio.	Mercurio.	Mercurio.	Saturno.
Vénus.	Márte.	Márte.	Urano.
Tierra.	Vénus.	Vénus.	Neptuno.
Márte.	Tierra.	Tierra.	Júpiter.
Júpiter.	Neptuno.	Urano.	Márte.
Saturno.	Urano.	Neptuno.	Vénus.
Urano.	Saturno.	Saturno.	Tierra.
Neptuno.	Júpiter.	Júpiter.	Mercurio.

El volúmen del Sol es unas 600 veces mayor que el de todos los demas cuerpos del sistema planetario juntos, y casi igual al de una esfera cuyo radio fuese doble que la distancia entre la Tierra y su satélite. La masa del Sol es unas 700 veces la de todos los planetas y satélites juntos; pero su densidad es muy pequeña. La densidad de Mercurio es vez y media la de la Tierra, y la de la Luna, los $\frac{3}{5}$ de la de nuestro globo.

Se llaman planetas inferiores los que están más próximos al Sol que nosotros, y superiores los que se hallan en un caso contrario. Al primer grupo sólo pertenecen Mercurio y Vénus.

Se dice que dos planetas están en conjuncion ó en oposicion cuando sus longitudes heliocéntricas son iguales ó difieren en 180° . Otras veces, y es lo más comun, se considera la conjuncion ú oposicion, no con respecto al Sol, sino con respecto á la Tierra, y entónces, cuando se dice que un planeta ó satélite está en conjuncion ú oposicion, se quiere dar á entender que su longitud geocéntrica es igual á la del Sol ó difiere de

ella 180° . Así un planeta está en conjuncion cuando pasa por el meridiano al mismo tiempo que el Sol, y está en oposicion cuando pasa por él á las doce horas de tiempo verdadero. Los planetas inferiores nunca pueden estar en oposicion.

Mirando un planeta desde la Tierra puede considerarse como directo en su movimiento cuando las longitudes geocéntricas van aumentando, como retrógrado cuando van disminuyendo, y por último, como estacionario en el tránsito de uno á otro.

Llámase ángulo de conmutacion entre dos planetas la diferencia de sus longitudes heliocéntricas y ángulo de elongacion la diferencia de sus longitudes geocéntricas. Cuando se habla de elongacion de un planeta, se entiende *diferencia de longitud entre él y el Sol*.

Obsérvese ahora la marcha de los planetas para comprender la apariencia que ofrecen desde la Tierra. Se estudiarán primero los planetas inferiores y luégo los superiores. Como ejemplo de los primeros se puede tomar á Vénus. Examinense las posiciones de ese planeta en distintas épocas del año y ademas los diámetros aparentes, y se verá, que desde la conjuncion en que tiene su mínima fase la longitud, va disminuyendo, el diámetro decrece y la fase aumenta: la longitud sigue en disminucion hasta llegar á adquirir la elongacion su máximo valor, que es de unos $40^{\circ} 7', 5$, por término medio.

Al llegar é este punto parece que el planeta permanece estacionario hasta que vuelve á em.

prender su marcha en sentido contrario, aumentando sus longitudes y disminuyendo su elongación, hasta que se hace nula y vuelve á presentarse el planeta en conjunción. El diámetro mínimo corresponde á esa conjunción y es de 8'' á 9'', así como corresponde á ella también la máxima fase.

Las latitudes adquieren valores positivos durante una semi-revolución y negativos en el resto, pasando de uno á otro por el valor cero y oscilando sus valores entre dos límites, uno positivo y otro negativo, é iguales en valor absoluto.

Todo esto se explica suponiendo que Vénus y la Tierra describen dos órbitas concéntricas alrededor del Sol, de las que la de Vénus es interior, y se recorre por el astro en cuestión en el mismo sentido, pero con mayor velocidad que la que emplea la Tierra en recorrer la suya. La órbita de Vénus corta á la de la Tierra según un diámetro, pues las latitudes cambian de signo y sus máximos son iguales.

El movimiento aparentemente estacionario de un planeta depende de que su movimiento real se verifica en el sentido de la línea que une la Tierra con el planeta, lo que prueba que esa línea es tangente á la órbita del planeta en el punto correspondiente. De aquí se deduce que si suponemos circular la órbita de Vénus se podrá hallar un valor aproximado de su distancia al Sol multiplicando la distancia de éste á la Tierra por el seno del ángulo de máxima elongación. El valor de este ángulo oscila entre

$44^{\circ} 57'$ y $47^{\circ} 18'$, cuyo medio es $46^{\circ} 7',5$: luego la distancia media de Vénus al Sol será

$$R \text{ sen } 46^{\circ} 7',5 = R \times 0,72.$$

Lo que se ha dicho de Vénus puede aplicarse á Mercurio.

Tómese ahora un planeta superior, por ejemplo, Marte. Determinadas las longitudes, latitudes, diámetros aparentes y fases, se deducirá que este planeta puede estar en conjuncion y en oposicion, y que su elongacion pasa por todos los valores posibles desde 0° hasta 360° . Si se toma como punto de partida el momento de la oposicion en que su diámetro tiene el valor máximo de unos $23''$, se verá que este va disminuyendo, y que el movimiento es retrógrado hasta que, pasando cierto tiempo, dicho movimiento es estacionario, convirtiéndose en seguida en directo, y mientras el diámetro aparente sigue disminuyendo hasta que el planeta llega á estar en conjuncion, en cuyo caso adquiere el mínimo valor, que es de unos $3''$. Pasado el instante de la conjuncion el movimiento sigue siendo directo, se hace estacionario y luego vuelve á ser retrógrado hasta llegar otra vez á la oposicion y producirse los mismos fenómenos ya expresados. El diámetro va aumentado desde la conjuncion hasta la oposicion.

Las fases de Marte son mucho ménos notables que las de Vénus, pues se reducen á que el planeta presente un disco elíptico en las cuadraturas, mientras que en la conjuncion y oposicion parece perfectamente circular.

Estos fenómenos tienen una explicacion sen-

cilla, suponiendo que Marte describe alrededor del Sol una órbita de mayor radio que el de la órbita terrestre y con menor velocidad de la que la Tierra tiene en su órbita. Lo dicho para Marte se aplica á los demas planetas superiores.

En el movimiento de los planetas, así superiores como inferiores, se consideran tres clases de revoluciones: sinódica, sidérea y periódica.

Llámase revolucion sinódica el período de tiempo trascurrido entre dos conjunciones ó dos oposiciones sucesivas, es decir, entre dos posiciones iguales respecto á la Tierra. Revolucion periódica de un planeta es el tiempo comprendido entre dos posiciones consecutivas que tienen iguales longitudes heliocéntricas.

Y, por último, se entiende por revolucion sidérea al tiempo que pasa entre dos conjunciones con una misma estrella, esto es, entre dos posiciones absolutas iguales, suponiendo fijo el Sol y las estrellas.

El valor medio de la revolucion sinódica se halla observando dos conjunciones ó dos oposiciones en dos épocas muy distantes y dividiendo el tiempo trascurrido por el número de revoluciones sinódicas. Cuanto mayor sea este número, tanto más exacto será el resultado, pues los errores que acompañan á toda observacion se dividen en mayor número de partes.

Necesitaria yo ahora para seguir desarrollando la teoría de los planetas, que los lectores conocieran los aparentes misterios del cálculo, y entónces les diria cómo se deduce la revolucion periódica de la sinódica; cómo se pasa de la re-

volucion periódica á la sidérea, teniendo en cuenta un curioso fenómeno que se estudia en la mecánica celeste con el nombre de precesion de los equinoccios; cómo se determina la órbita de los planetas, estableciendo al paso fórmulas que traducidas al lenguaje vulgar demuestran aquellas famosas leyes de Kepler, enunciadas en la primera parte de este MANUAL, y que constituyen toda la esencia del gran sistema planetario. Los límites que me he impuesto detienen la pluma en mis manos.

El Sol.—Su constitucion física.—Su teoría.
—La teoría del Sol es la clave del sistema planetario.

La pequeña densidad media que presenta el Sol ha hecho creer á algunos que se componia de un núcleo sólido, relativamente pequeño y de mayor densidad que la Tierra, revestido de una atmósfera de gran espesor y mucha densidad, y envuelta á su vez por otra capa en ignicion ó fotosfera. Entónces las manchas que se perciben en el Sol se consideran como rasgaduras de la fotosfera, que dejan al descubierto la atmósfera interior no luminosa. La movilidad de las manchas se explica por la agitacion ó estado tempestuoso en que se suponen constantemente las capas solares.

Cuando en un eclipse solar total visible en Europa se observa el disco de la Luna en el momento de ocultarse completamente el Sol, se le ve rodeado de varias nubecillas, algunas de las que tocan al disco lunar, miéntras que otras se mantienen á cierta distancia. Al observar este

fenómeno, no bien examinado hasta hace poco tiempo, se dijo por algunos que las manchas eran verdaderas nubes, pertenecientes á una atmósfera solar diáfana que recubria la fotosfera, mientras que se pretendia por otros que tal fenómeno no era más que un efecto de difraccion producido por la luz al rozar el borde del disco solar. Por observaciones casi simultáneas en la India y en Inglaterra, se ha visto que la primera de estas opiniones debe prevalecer. Este descubrimiento ha operado un cambio completo en las hipótesis relativas á la constitucion física del Sol.

Ya se ha dicho que en la superficie del disco solar se perciben várias manchas: si se observan éstas diariamente, se nota que se mueven en la misma direccion, de oriente á occidente; que unas veces aparecen por el límite oriental, y despues de haber recorrido todo el disco se ocultan por el occidental, á los 14 dias próximamente de haber aparecido, para volver á salir al cabo de otros 14 dias casi por el mismo punto del limbo oriental y recorrer el mismo camino. Otras manchas, sin embargo, ménos constantes que éstas, aparecen por el limbo oriental y desaparecen ántes del occidental, ó no vuelven á aparecer despues de haberse ocultado por éste, y otras aparecen de repente en un punto del disco, emprendiendo el movimiento general. Estos hechos se explican, si se admite que el Sol tiene un movimiento de rotacion de este á oeste, en unos 28 dias, y que las manchas aparecen ó desaparecen en su superfi-

cie, pero sin tener un gran movimiento respecto á ella, porque hay que advertir que las trayectorias de las manchas son paralelas.

Si admitida esta hipótesis se examina la direccion en que van las manchas en las diversas épocas del año, se verá que no es la misma, si bien es constante de un año para otro en la misma época. Así la figura 12 representa el aspecto que ofrece el Sol en diversos meses del año: las líneas rectas, las trayectorias de sus manchas, y todo ello prueba que la rotacion se efectúa alrededor de un eje inclinado respecto al plano de la elíptica, é inclinado hácia los puntos que ocupa la Tierra en los meses de Marzo y Setiembre.

Por lo demás, la teoría del Sol es en el fondo sencilla. Algunas observaciones bastan para convencerse de que el Sol tiene un movimiento propio de occidente á oriente, sin más que comparar sus posiciones con ciertas constelaciones celestes.

Haciendo uso de los anteojos meridianos y consultando un péndulo sidéreo, no puede dudarse de que el Sol tarda en pasar por el meridiano de un lugar cada día 4' más que el día anterior; lo que demuestra la existencia de su movimiento propio. Por otra parte, el plano en que se mueve dicho astro no es paralelo al ecuador, porque las distancias zenitales no son constantes.

Lo primero que hacen los astrónomos en la teoría del Sol es determinar el plano de la trayectoria por medio de su interseccion con el plano ecuatorial y del ángulo de ambos. Sus

naturaleza de la curva trazada por el Sol en su camino, lo que se obtiene, en último resultado, sin más que fijar en varias épocas distintas posiciones solares. El estudio de estas posiciones conduce á los resultados siguientes:

Que el movimiento del Sol es de occidente á oriente.

Que las longitudes van creciendo.

Que la velocidad del Sol, medida por la diferencia de sus longitudes, no es constante ó uniforme.

Que los intervalos entre dos pasos consecutivos del Sol por los equinoccios son constantes.

Que la velocidad del Sol es máxima en Enero, mínima en Junio y media en los equinoccios.

Que á velocidad máxima, mínima ó media, corresponde diámetro solar también máximo, mínimo ó medio.

Que la velocidad máxima es de $61' 13''$, la mínima de $57' 14''$, el diámetro máximo de $32' 35'' 6$, el diámetro mínimo de $31' 31''$.

Que la órbita solar es una elipse de pequeña escentricidad.

Se ha visto que la velocidad del Sol no es uniforme. Sin embargo, si se imagina por un momento que el Sol tiene un movimiento uniforme sobre su trayectoria (fig. 13), los arcos AB , BC , CD , etc., descritos por este astro en el mismo tiempo, serán iguales, y por lo tanto, los ángulos AFB , BFC , etc., no lo serán, lo que nos dice que para los habitantes de la Tierra se presentará el movimiento del Sol irregular cuan-

do por hipótesis es uniforme. Conviene asegurarse de que la variabilidad que se nota en la traslación del Sol no es aparente, sino real. Obsérvese, para esto, que si el movimiento variado solar dependiera sólo de la causa ántes citada, siendo, por lo tanto variado nada más que en apariencia, se verificaria la proporcion $\frac{V}{V'} = \frac{R}{r}$, siendo V , V' las velocidades máxima y mínima del sol y R y r las respectivas distancias, cosa que no sucede, pues haciendo $V=61' 12''$, $r=1$ y $R=1,034162$ se tiene $V'=59' 11''$ y no $57' 14''$ como ántes se halló.

Cuando el Sol dista lo ménos posible de la Tierra se dice que está en su perigeo, y cuando su distancia á la Tierra es un máximo se dice que está en su apogeo. Las velocidades correspondientes á esos puntos se llaman perigeas y apogeadas.

Se llama año trópico, segun ya se sabe por la Cosmografía, el intervalo que media entre dos pasos consecutivos del Sol por el mismo equinoccio. Para deducir su valor con toda la exactitud posible conviene que trascurren muchísimos años entre las dos observaciones que se efectúen. Segun los datos que hoy se tienen, el año trópico consta de 365 dias y 0,24222 de dia, ó, lo que es lo mismo, de 365 dias, 5 horas 48' 48''. Fijado este número, es claro que si se deseara la velocidad media del Sol, bastaria dividir por él 360° .

Los astrónomos admiten, para muchas cuestiones, la existencia de un Sol ficticio que se

mueve en el ecuador con velocidad constante y que coincide en los equinoccios con el Sol verdadero.

Si se imagina que el equinoccio coincide con una estrella en el momento en que el Sol abandonando dicho punto sigue su curso, sucederá que este último astro encontrará al signo equinoccial ántes de volver á encontrar la estrella de que se ha hecho mérito, lo que sólo es posible experimentando el equinoccio un movimiento retrógrado y recorriendo un espacio en la trayectoria celeste. Así, pues, cuando se considera el intervalo que media entre dos pasos consecutivos del Sol por delante del signo equinoccial, se dice que se trata de una revolución sidérea; miéntras que cuando el intervalo es de 360° la revolución se llama trópica.

Definida la forma de la trayectoria solar, falta determinar en su plano la posición de la recta que va del apogeo al perigeo solar, ó, en otros términos, trazar en el plano de la eclíptica el punto correspondiente al perigeo y el relativo al apogeo. Esto puede hacerse valiéndose de la propiedad de que precisamente en dichos puntos las velocidades y los diámetros del Sol son un máximo ó un mínimo. Pero este máximo ó este mínimo son difíciles de hallar, porque dichas funciones varían por grados insensibles, y así el procedimiento indicado no puede considerarse más que como una primera aproximación.

Se llama anomalía el ángulo variable que un radio vector cualquiera forma con la línea apo-

geo-perigeo. Recibe el nombre de revolucion anomalística el intervalo trascurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el extremo del rádio vector correspondiente al perigeo.

Flamsteed observó la longitud del perigeo y la halló igual á $97^{\circ} 35' 10''$ en el año 1690; posteriormente, en el año 1780, se determinó dicha longitud en el mismo observatorio de Greenwich deduciendo el número $99^{\circ} 8' 20''$, de modo, que en 90 años la variacion fué de $1^{\circ} 33' 20''$, ó sea de $62''$, 2 al año; miéntras que si se debiera solo la variacion citada á la retrogradacion, sería de $50''$. Todos los puntos de la órbita solar van siendo sucesivamente perigeos y apogeos.

Mercurio.—Este precioso planeta de luz al parecer viva y brillante, ofrece curiosas fases que demuestran que carece de luz propia y que gira en torno del Sol, describiendo una elipse y sujetándose de todo en todo á las leyes de Kepler. Las fases de Mercurio son muy difíciles de observar por el pequeño diámetro del planeta.

El plano de la órbita de Mercurio forma con el de la eclíptica un ángulo de $7^{\circ} 0' 5''$. Mercurio tarda en recorrer su trayectoria 2 meses, 27 días, 23 horas, 15 minutos y 46 segundos; dista del Sol 17.746.000 leguas cuando está más apartado, y 11.666.000 cuando está más cerca de este astro, tomando las leguas de 4 kilómetros, para no tener que expresar las distancias en números fraccionarios; y le aparta, por último, de la Tierra, un espacio de 14.706.000 de leguas.

Como Mercurio presenta fases, no se puede tener idea clara de su forma sino examinando su paso sobre el Sol. Los astrónomos que le han estudiado en estas posiciones han medido *mícrométicamente* su diámetro. Este diámetro es de 1243 leguas, si se calcula por el término medio de los números dados por Bessel, Madler y Beer y Gambart.

Difícil es averiguar si Mercurio tiene atmósfera. Parece ser que la tiene. Así lo indica la formación que se observa por algunos, de bandas oscuras sobre su disco luminoso, y sobre todo, así lo confirman las investigaciones de Beer y Madler. Estos astrónomos calcularon la extensión de la fase de Mercurio en un día fijo, y encontraron que era superior á la fase real ó visible, fenómeno explicable sin más que admitir cierta falta de diafanidad en la atmósfera de Mercurio.

Otros muchos estudios se han hecho del planeta Mercurio: se ha tratado de averiguar, partiendo de una especie de truncadura que ofrece algunas veces uno de sus *cuernos*, la rotación de este planeta y varios detalles relativos á su geografía, estudios que casi pueden llamarse aventuras científicas, por más que los hayan emprendido sabios tan ilustres como Schræter, Harding y Kœhler.

Los egipcios llamaron á Mercurio Set y Horus, los indos Boudha y Rauhineya, los griegos Apolo y Mercurio.

Mæstlin, el maestro de Kepler, decia que si él conociera alguien que se ocupara de Mercurio,

le aconsejaria *caritativamente* que empleara mejor su tiempo. El mismo Mæstlin, sin embargo, dedicó á Mercurio largas vigiliias, y Le Verrier en nuestro siglo ha estudiado el planeta Mercurio con verdadero empeño.

El progreso de los medios de observacion va dilatando el horizonte de la Astronomía.

Vénus.— Tal vez de su hermosura procede su nombre, porque á la verdad es uno de los más bellos planetas que cruzan el cielo. Su luz no sólo es viva y brillante, sino que centellea. En sus movimientos presenta las mismas circunstancias que Mercurio, pero en mayor escala. La fig. 14 representa las fases de Vénus, su forma aparente y la de sus porciones luminosas y oscuras en varios puntos de su órbita.

La inclinacion del plano de la órbita de Vénus sobre el de la eclíptica es de $3^{\circ} 23' 27''$. Mercurio tarda en recorrer su trayectoria 7 meses, 14 dias, 16 horas, 47 minutos y 7 segundos; dista, por término medio del Sol, esto es, tiene por magnitud del semi-eje mayor de su órbita 0,723, tomando por unidad la distancia media de la Tierra al Sol; y, por último, su mínima distancia á la Tierra es 9.750.000 leguas, así como su máxima distancia 65.000.000. Entre los planetas principales es el que llega á estar más cerca de la Tierra.

Se calcula que el diámetro de Vénus es de 3.140 leguas. El volúmen de Vénus se aproxima mucho al de la Tierra, aunque es algo menor.

¿Tiene Vénus atmósfera? Esta pregunta ha producido las más empeñadas discusiones entre

los astrónomos. Muchos observadores han visto que la parte del planeta que está hacia el Sol es más brillante que la curva eclíptica que marca sobre Vénus la línea de separación de luz y sombra. Dejando á parte las explicaciones dadas por Herschel y otros investigadores de estos fenómenos, me concretaré á decir que Schröeter ha creído ver en ellas la demostración de que existe una atmósfera de Vénus.

No he de seguir en este MANUAL la discusión empeñada por ambos astrónomos, y sólo debo sentar que los dos están conformes, en cuanto á lo *sustancial* del fenómeno, por más que difieran en algunos de sus detalles y, sobre todo, en su explicación.

La generalidad de los astrónomos admite hoy la existencia de la atmósfera de Vénus.

La Hire, en 1700, es el primero que parece haber observado montañas en Vénus. Schröeter confirma esta idea. Son muchas, por otra parte, las razones de óptica-física y matemática que inducen á creer que Vénus no es un cuerpo pulimentado, no es una especie de inmensa bola de billar, sino un astro cubierto de montañas, como las de la Luna ó de la Tierra.

De observaciones muy delicadas se ha deducido que Vénus gira en torno de su eje, dando una vuelta completa en 23 horas, 21 minutos. Como Vénus se parece mucho á la Tierra, y ésta tiene un satélite, se han creído algunos autorizados para suponer que Vénus tiene otro. Pobre razón es esta de *analogía* ó de *simetría celeste*. Pero lo cierto es que Cassini mirando el 28 de

Agosto de 1684 una luz débil é informe con una fase análoga á la del planeta, Short divisando una estrella cerca de Vénus y siguiéndola en su marcha por espacio de una hora; Montaigne afirmando que habia visto el satélite en cuestion cuatro veces desde el 3 al 11 de Mayo de 1761; Radkier que asegura haberle observado en Copenhague, y Lambert discutiendo y analizando con habilidad suma los datos suministrados por todos, han hecho que se considere ya como *probable* la existencia del satélite de Vénus.

Vénus es el único planeta de que habla Homero. Se le ha llamado Juno, Isis, Vesper, Lucifer, Sukra ó brillante entre los indos. En algunos pueblos de España se le denomina tambien *estrella de los pastores*.

Vénus es uno de los planetas más conocidos por la generalidad de las gentes. Su estudio, el de sus fases, el de su satélite real ó imaginario, son de los más difíciles de la Astronomía. Los encantadores resultados á que conducen las investigaciones de la ciencia, no se pueden alcanzar sino tras de largo trabajo, tras de cálculos penosos, tras de la formacion de tablas de números, que no tienen por cierto nada de poéticas. No parece sino que el espíritu del hombre está condenado á descubrir las verdades de la naturaleza y á sorprender sus secretos sólo en el momento en que casi ha hecho aborrecible su belleza el cansancio que ha producido su conquista.

La Tierra.— Es el más estudiado de todos los planetas. Constituye la escena en que se des-

arrolla la vida humana. Su conocimiento es para el hombre del mayor interes.

Sólo bajo ciertos puntos de vista forma la Tierra parte de las investigaciones del astrónomo. Es, sin embargo, difícil trazar la línea divisoria entre las ciencias humanas, describir el círculo de atribuciones de cada orden de verdades: saber, en fin, dónde principia y dónde acaba en el caso presente, el dominio de la Astronomía. Procede tal vez la confusión del prolijo exámen que se ha hecho en todos tiempos y en muy diversos sentidos de nuestro globo: el matemático da las reglas para medirlo; el geodesta lo mide; el geólogo traza su historia; el naturalista investiga las partes que lo constituyen y describe los seres que lo pueblan; el filósofo y el político llevan su análisis al seno de las naciones....; pero el astrónomo prescinde de todo y olvida por un momento que se halla en la Tierra: necesita abstraerse, orientarse, medir el espacio insondable, volar en alas de la imaginación y contenerla dentro de la esfera limitadísima del humano espíritu.

Dividen algunos el estudio de la Tierra en estático y dinámico. La investigación de su forma, de su volumen, de su peso y de su masa; los círculos que se imaginan trazados en ella para comprender mejor el lugar que ocupa en el espacio; la manera como se reparten los continentes y los mares, la corteza sólida y la líquida, los valles y las montañas, la atmósfera y la parte sólida ó líquida de nuestro planeta: todo esto constituye el estudio estático de la Tierra. En cambio pertenece al estudio dinámico el exá-

nien de la órbita terrestre, de sus elementos, del giro y de la traslacion de nuestro globo, etc.

En general puede afirmarse que el estudio dinámico coincide con el astronómico de la Tierra; pero sólo en general, porque los límites que separan la Geografía, la Cosmografía y la Astronomía no se han trazado por nadie ni jamás podrán establecerse.

Las *grandes unidades* de la naturaleza no se fraccionarán por las *pequeñas clasificaciones* del espíritu. Toda clasificacion técnica es un sistema en cierto modo artificial para que lleguemos á conocer las verdades científicas. Su inexactitud es la consecuencia lógica de los límites del pensamiento.

Por esta razon, las propiedades llamadas estáticas en la Tierra influyen las más veces en las dinámicas. ¿Cómo no han de influir, si la forma, el volúmen y el peso de nuestro globo determinan, por decirlo así, su masa, y si la masa es en rigor la capacidad de resistencia de los sólidos al movimiento?

Se infiere de todo, que al elegir las verdades que han de integrar esta teoría de la Tierra, quizá se note por algun crítico severo algo de arbitrario. Procuraré que no se eche de ménos nada importante ni se advierta con razon algo supérfluo.

Puede considerarse la Tierra como una esfera de 6.366 kilómetros de radio; pero su forma efectiva es la de un elipsoide de revolucion.

Eje de revolucion ó polar es el diámetro más corto del esferoide terrestre. Plano del ecuador es el perpendicular al eje en su centro.

Polos son los puntos de intersección del *eje* con la Tierra, y *ecuador* el círculo según el cual la corta el plano del ecuador.

Toda recta que une un punto de la superficie de la Tierra al nivel del mar con el centro, es un *radio*. Prolongado éste resulta la *vertical* que marcan las plomadas. La *altitud* de un punto es su altura sobre el nivel del mar. Cualquier punto tomado sobre la vertical es el zenit del lugar. El plano tangente á la superficie terrestre en uno de sus puntos es su horizonte.

Los planos que pasan por el eje de revolución ó polar cortan á la esfera terrestre según círculos que se llaman *meridianos*. El arco de meridiano, comprendido entre el ecuador y un punto de la Tierra, se denomina su *latitud*. Tomando un meridiano como tipo, por ejemplo, el del Observatorio de Madrid, se llama *longitud* de un punto de la Tierra la distancia ecuatorial del pie de su meridiano al meridiano tipo.

La Tierra gira alrededor de su diámetro polar, efectuando una rotación completa en *un día sideral*, unidad fundamental de tiempo en Astronomía. Este día es más corto que el solar ó usual en 3 minutos 56 segundos por término medio.

El giro de la Tierra en torno de su eje es un fenómeno curiosísimo, clave de multitud de fenómenos físicos y naturales. De muchas y claras maneras se puede comprobar el movimiento terrestre de rotación, del que me ocupé ligeramente al principio de este MANUAL, cuando se trató de marcar las leyes fundamentales del movimiento diurno.

Foucault demostró en 1850 de una manera gráfica el movimiento de rotacion de la Tierra. Para ello colgó del centro de la cúpula del Panteon de París, por medio de un hilo, una bola de cobre que llevaba por su parte inferior un estilete y formó dos líneas de arena hácia los extremos de la oscilacion que hubo de comunicar al péndulo así construido. Cuando el estilete llegaba á las líneas de arena marcaba dos trazos que servian para determinar los *planos de oscilacion*.

No dejará de sorprender á los lectores que tengan algunas nociones de física ó de mecánica que se hable de *planos* de oscilacion de un péndulo cuando los péndulos no tienen más que un *sólo plano de oscilacion*. Pero el hecho es que las líneas de arena dispuestas hábilmente por Foucault indicaban con sus trazos que el plano de oscilacion sufría variaciones.

Por otra parte, si se enarenaba la parte del suelo comprendida entre las dos líneas extremas, se veía que las rayas sucesivas trazadas por la punta del péndulo se cruzaban todas en el centro.

¿Cuál es el origen de la desviacion del plano del péndulo? Nótese, para comprender el fenómeno, que si bien es cierto que no varía el plano de oscilacion, tambien lo es que gira el sustentáculo del péndulo, que gira, en otros términos, el punto de suspension del aparato, lo que produce una torsion en el hilo que no se haria perceptible jamás si no se tradujera en una desviacion aparente de este á oeste del plano

oscilatorio. El célebre constructor francés, Carlos Mancel, ha ideado dar otra forma curiosísima al experimento de Foucault. Imagínese que se ha descrito una esfera terrestre muy grande con el polo norte dirigido hacia la parte superior. Hágase oscilar el estilete del péndulo en un bastidor horizontal móvil: la desviación del plano de las oscilaciones produce al mismo tiempo la del bastidor en que oscila el estilete, y es claro que si del apoyo del bastidor que está encima del polo descienden unos indicadores que hagan las veces de meridianos movibles, se observará que los distintos continentes del globo pasan con lentitud por delante de los meridianos, á causa del movimiento diurno, pues los expresados meridianos ó indicadores estarán fijos como el plano de oscilación del péndulo.

Es evidente, sin embargo, que esta demostración del movimiento de rotación de la Tierra es exacta si se hacen las experiencias en el polo, imposible de realizar en el ecuador, en el que el plano de oscilación permanecería siempre inmóvil, y bastante perceptible, aunque no del todo rigurosa en nuestras latitudes, para las cuales la desviación se reducirá á una inclinación sobre los meridianos verdaderos.

Como quiera basta lo precedente para comprender que la Física viene con frecuencia y con éxito al auxilio de la Astronomía.

Examinando, por otra parte, la maravillosa perspectiva del Sol naciente, se nota que su origen muda ó cambia por grados. Márquese el si-

tio donde comienza el Sol á salir en la primavera y en el otoño: mírese despues cómo aparece en el verano más al norte y en el invierno más al mediodía. El observador deduce de todo que debe haber algun movimiento causa de tan frecuentes mutaciones. Le hay realmente; pero es un movimiento combinado. De un impulso primitivo y de la fuerza de atraccion, resulta la curva que describe la Tierra alrededor del Sol, como gira una honda cuando la agitamos con la mano.

Esa curva es una elipse que tiene el Sol en uno de sus focos, por lo que unas veces estamos más léjos y otras más cerca de aquel astro.

Pero la elipse que recorre la Tierra casi es un círculo, pues su excentricidad es sólo de 0,0167 tomando por unidad el semieje.

La línea de los *ápsides*, es decir, la que une el perihelio con el aphelio, se mueve lentamente en el espacio con una velocidad de 11' 7 de arco por año, por lo que la duracion de las cuatro *estaciones*, fenómeno de que voy á tratar en seguida, variará, si se permite la frase, al compás de la línea de los *ápsides*.

La Tierra posee una envoltura gaseosa, cuya altura se calcula en 200 kilómetros, y que se llama *atmósfera*. Su estudio corresponde á la Física, á la Química y á la Historia natural.

Estaciones.—La esplicacion de las estaciones se desprende del movimiento propio del Sol combinado con su movimiento diurno. Todo el mundo sabe que la eclíptica es la trayectoria ó

camino descrito realmente por la Tierra ó en apariencia por el Sol. Pues bien, los puntos en que la eclíptica corta al ecuador se llaman *equinoccios*. Como en los equinoccios el Sol está en el ecuador, y éste se halla dividido en dos partes iguales por el horizonte, es claro que en los equinoccios el día es igual á la noche en todas las partes de la Tierra.

A medida que el Sol se separa del equinoccio de primavera aumenta la longitud de los días. El máximo de esta longitud tiene lugar en el *solsticio* de verano, desde cuyo momento decrecen los días: llega el Sol al equinoccio del otoño, y siguen decreciendo hasta que alcanzan su mínimo en el solsticio del invierno, desde cuyo instante empieza su incremento.

La primavera es la estación comprendida entre el equinoccio de este nombre y el solsticio del verano. El intervalo entre este solsticio y el equinoccio de otoño, forma el verano. Entre éste último equinoccio y el solsticio de invierno se dilata el otoño. Por último, el invierno se encuentra limitado por el solsticio de invierno y el equinoccio de primavera.

La línea de los equinoccios tiene un movimiento retrógrado, en virtud del cual es algo variable la duración de las estaciones.

La presencia del Sol por encima del horizonte es la causa principal del calor para los habitantes de la Tierra. Teniendo en cuenta este principio evidente, ocurre preguntar, porqué la temperatura no es la misma en el verano que en la primavera, ni en el otoño que en el in-

vierno. La contestacion es sencillísima, pues basta para darla traer, á la memoria que la temperatura no es un efecto instantaneo de la presencia del Sol sino el resultado de su accion continuada.

Las diferentes alturas del polo, respecto á las distintas localidades, producen aquellos cambios de las estaciones que tanto sorprenden á los viajeros.

En el ecuador los polos están en el horizonte y las noches son iguales á los dias: en él puede afirmarse que hay dos veranos y dos inviernos todos los años.

Lo mismo acontece en todos los países en que la altura del polo es menor que la oblicuidad de la eclíptica.

A medida que una comarca se aproxima á los polos, la desigualdad de los dias se hace cada vez más perceptible. En fin, en el mismo polo, el horizonte se confunde con el ecuador: tanto en el polo boreal como en el austral, el año consta de un sólo dia que tiene seis meses de luz y seis de oscuridad ó de noche. Hasta la monótona luz que brilla por espacio de seis meses á la sombra de una larguísima noche, contribuyen á la palidez de la naturaleza en las regiones polares, naturaleza donde sólo parecen advertirse los últimos latidos de la vida, y donde los témpanos de hielo que se deslizan por el Océano, ceñidos allá en el cielo por las auroras boreales, forman el único espectáculo digno del estudio científico y de la investigacion ilustrada. Por lo demas hasta los seres organizados

sufren metamorfosis y cambios que dependen de las estaciones. Las investigaciones modernas sobre las mariposas llevadas á cabo por Hewitson y otros naturalistas confirman este aserto.

La Luna.—Es un satélite de la Tierra. Su distancia media á nuestro globo es de unas 94.000 leguas. La Luna, esta hija del cielo, coronada por los soles de la noche, como la llama Baour-Lormian, ha sido muy estudiada por los astrónomos. El vulgo conoce sus fases, definidas por el astrónomo como simples apariencias que presentan el disco lunar de diferente manera en el intervalo de unos veintinueve días y medio y que se reproducen en el mismo orden *periódicamente*. El *período* se llama *lunación* ó *mes lunar*: empieza y termina con la Luna nueva, en el instante en que la Luna desaparece envuelta en los rayos del Sol.

Dícese que hay Luna nueva cuando no es visible ni de día ni de noche. Esta desaparición de la Luna dura dos ó tres días, pasados los cuales se presenta en el cielo bajo la forma de una especie de sable turco, esto es, *con cuernos*. Se puede notar entónces, sin embargo, toda la parte oscura del disco lunar iluminada por una tenue lucecilla.

El horizonte cubre pronto y oculta la Luna que, arrastrada por el movimiento diurno, deja de ser visible; pero, en breve, el fenómeno se reproduce, aumenta la parte luminosa, y nuestro satélite, cada vez más distante del Sol, desaparece un poco más tarde.

Al paso que aumenta la extension de la parte brillante de la Luna, la luz ténue de que ántes se ha hablado, esa luz casi cenicienta, va disminuyendo en intensidad, hasta que por último se apaga del todo en el *primer cuarto*; fase durante la que aparece la Luna como una semicircunferencia iluminada que se proyecta en el cielo. Esta evolucion requiere siete ú ocho dias. Entre el primer cuarto y la Luna llena trascurren otros siete dias.

A los quince dias de su *nacimiento* la Luna se nos presenta completamente iluminada. Fases inversas, de origen idéntico al que se acaba de exponer, ofrece la luna desde que se nos figura un círculo de fuego hasta que la oculta la *pantalla de luz* que forman los dorados rayos del astro del dia.

La sucesion de las fases, reproducida siempre del mismo modo, es una consecuencia del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra.

La Luna se aproxima mucho á ser una esfera que recorre su órbita elíptica, y que se encuentra unas veces en conjuncion, otras en oposicion con el Sol, otras, en fin, á 90° de este astro. Cada una de estas posiciones tiene un nombre especial é indica ó revela una fase determinada, como se manifiesta en el siguiente cuadro:

La Luna está respecto al Sol	{	En conjuncion-Luna nueva.	}	Sicigias.	
		En operacion.-Luna llena.			
	{	$\Delta 90^\circ$	{	Primer cuarto.....	}
			Segundo cuarto.....		

El disco lunar contiene muchas manchas invariables, que han sido observadas con gran cuidado y descritas con una precision admirable. Las manchas brillantes constituyen las partes sólidas de las altas montañas que reflejan fácilmente los rayos solares: otras partes oscuras, se supone por algunos, que son mares ó lagos, y por otros, quizá con mejor acuerdo, cavernas ó valles muy profundos.

El análisis y el exámen continuado de la Luna prueban que al mismo tiempo que este astro gira mensualmente en torno de la Tierra, tiene otro movimiento de rotacion alrededor de su eje. A la vez ocurre una coincidencia singular, á saber: que el intervalo de su rotacion es igual al de su movimiento de revolucion. Hay, pues, en la Luna como en la Tierra polos, ecuador, círculos meridianos y paralelos.

La rotacion de la Luna es fácil de comprobar por lo muy estudiada que está su topografía. Las cartas fotográficas que se han hecho de nuestro satélite en estos últimos tiempos, desembarazan mucho este camino. La fig. 17 representa una fotografia de la Luna debida al profesor Enrique Draper.

Comparando la Luna con una estrella que esté más al oriente, la distancia que separa los dos astros disminuye con rapidez: luego la Luna tiene un movimiento propio de occidente á oriente.

El tiempo que tarda la Luna en volver á pasar por delante de una estrella se llama *revolucion sideral*. Este intervalo era de 27, 32 dias solares en los albores de nuestro siglo. La revolucion

sideral varía con el tiempo: de siglo en siglo ha ido disminuyendo. Este resultado curioso se debe al astrónomo Halley. La mecánica celeste demuestra que la aceleración en el movimiento de la Luna está encerrada entre límites muy próximos, y que á la aceleración de ahora sustituirá en breve una aceleración negativa ó un retraso.

El tiempo que la Luna tarda en volver al círculo horario móvil del Sol es la *revolución sinódica*, de unos 29,53 días actualmente, y variable como la sideral.

Se puede suponer que la Luna se mueve en un plano á su vez móvil, que forma con el plano de la elíptica un ángulo casi constante, de unos 5° .

El movimiento propio angular de la Luna, considerado en su órbita móvil, no es uniforme.

La distancia del foco de la elipse en que está situada la Tierra al centro de la curva descrita por la Luna, esto es, la *excentricidad*, es 0,0548442, expresada en partes del semi-eje mayor.

Comparando las posiciones imaginarias que debería ocupar la Luna, según las leyes del movimiento elíptico, con las que realmente tiene en el cielo, se notan algunas diferencias que se reproducen con regularidad. Una de ellas lleva el nombre de *evección*, tiene por valor máximo $1^{\circ} 20'$ y está ligada por una fórmula muy sencilla á la distancia de la Luna al Sol. La segunda irregularidad ó diferencia es la *variación* que alcanza un valor máximo de medio grado cuando la distancia angular del Sol y de la Luna es de 45° . La tercera de las grandes anomalías, que

alteran el movimiento elíptico de la Luna, es la *ecuacion anual* que tiene por máximo 11' 10". Este incremento ó anomalía proviene de las variaciones que experimenta el movimiento angular de la Luna, segun la posicion de la Tierra en la órbita que describe alrededor del Sol.

El descubrimiento de la eveccion y el de la ecuacion es uno de los grandes títulos de gloria de Tolomeo.

Los primeros estudios acerca de la variacion se atribuyeron á Tycho-Brahe, pero M. Sediouot ha encontrado notables investigaciones acerca de este fenómeno en un manuscrito de Aboul Wefa, que vivió seis siglos ántes que el célebre astrónomo de Uransbourg.

La luz de la Luna procede del Sol. En efecto, las situaciones relativas del Sol, de la Luna y de la Tierra concuerdan con la forma de la parte luminosa del disco ó con las dimensiones de las fases. El astrónomo caldeo Béroze consideraba la Luna como un globo dividido en dos partes iguales, una luminosa y otra oscura. Es claro que hubiera comprendido Béroze lo erróneo de su hipótesis sin mas que examinar las posiciones que ocupan sus manchas principales en el trascurso de una lunacion entera. Con el auxilio del telescopio se comprueba fácilmente que la luz de la Luna procede del Sol, porque los muchos puntos elevados ó salientes que tiene la Luna proyectan sobre su suelo sombras que se acortan ó se alargan al compás de la oblicuidad de los rayos solares.

Ademas de la luz clara y perceptible que la

Luna ofrece en casi todas sus fases, se advierte en algunas de ellas, unos días ántes ó despues de la Luna nueva, por ejemplo, otra *luz cenicienta*. Los antiguos la consideraban como una fosforescencia lunar. La mayor parte de los astrónomos atribuyen su explicacion á Mastlin que reconoció en 1596 que la luz cenicienta era la misma luz de la Tierra reflejada sobre la Luna. El célebre pintor Leonardo de Vinci habia descubierto la causa de este fenómeno 100 años ántes que Mastlin.

Las fases terrestres son de la misma naturaleza que las lunares; pero inversas.

La Luna examinada con el telescopio fig. 17, ofrece un espectáculo admirable. Adviertense multitud de cavidades de forma circular ú oval y de dimensiones muy várias. La forma circular es la que afectan realmente dichas cavidades: la elíptica ú oval es tan sólo una apariencia que proviene de que cada círculo se halla sobre posiciones distintas de una esfera. Se explican estas configuraciones admitiendo picos de montañas, grandes circos ó pequeños cráteres de volcanes, que han recibido nombres distintos: así se habla de los cráteres de Copérnico, de Aristarco, de Kepler, etc.

Suponiendo que la Luna es una esfera resulta que tiene una superficie de 38 millones de kilómetros cuadrados, lo que da 19 millones para la superficie del hemisferio lunar visible. Las tres décimas partes de ésta área son llanuras, mares ó lagos: las otras siete décimas regiones montañosas ó alpestrés.

Tiéndose por muy elevadas algunas cordilleras lunares, El monte llamado Leibnitz alcanza una altura de 7.600 metros. Y si se considera la pequeña magnitud relativa del radio de la Luna resulta que la superficie de este astro debe ser muy escabrosa.

Nada se puede saber por ahora respecto al hemisferio lunar invisible. Laplace ha demostrado que la causa que ha establecido una igualdad perfecta entre los movimientos medios de rotación y de revolución de la Luna impedirá siempre á los habitantes de la Tierra contemplar el otro hemisferio de la Luna.

De la geología lunar no diré sino que el origen de montañas lunares parece á todas luces volcánico.

Nada diré de las mareas atmosféricas y subterráneas, porque muy poco es lo que la ciencia ha podido averiguar en este árido terreno. Algo conviene saber, en cambio, de las mareas oceánicas.

Mareas.—El fenómeno de las mareas es curiosísimo. A primera vista parece inexplicable. Las leyes de la hidrostática y de la hidrodinámica, esto es, las leyes que presiden el equilibrio y el movimiento de los líquidos están ~~con-~~culcadas para el que no medita y reflexiona con tino, por este fenómeno sorprendente. Y es que para estudiarle no bastan los principios de la Física ni de la Mecánica: se requieren además los datos de la Astronomía.

Véase ante todo qué dice la observacion.

Analícense los hechos y despues vendrán las explicaciones y las teorías.

En los *mares de gran extension* la superficie de las aguas está alternativamente más alta y más baja que una *altura media*. Este movimiento oscilatorio es de tal naturaleza que se produce *dos veces* en unas *veinte y cinco* horas.

La máxima elevacion de las aguas en este movimiento oscilatorio se llama *alta mar, plea ó plena mar*, y la mínima *baja mar*.

De la misma índole del fenómeno se deduce que en cierto período de tiempo las aguas experimentan un ascenso (*flujo*) y en otro un descenso (*reflujo*.)

Se llama *marea* la diferencia entre las alturas de las aguas en la plea mar y en la baja mar, diferencia que no es constante.

Las mareas no han tenido explicacion alguna hasta que se descubrió la gravitacion universal. ¡Hé aquí una consideracion verdaderamente admirable! La mayor parte de los movimientos de las aguas se explican por la fuerza de la gravedad. La lluvia descende, porque las partículas acuosas condensadas en las nubes son atraídas por la Tierra, esto es, por la fuerza de la gravedad; el agua corre por los rios, porque descende por el plano inclinado de su cauce, esto es, por la fuerza de la gravedad; los surtidores arrojan los filetes líquidos hácia el cielo, porque ha adquirido antes cierta velocidad merced á una pendiente ó á una diferencia de niveles, esto es, por la fuerza de la gravedad. Luégo las mareas parecen una excepcion evidente

y anómala de la regla: segun ellas el agua sube sobre cierto nivel, y sube dos veces cada dia, y sube sin adquirir antes una velocidad que la impulse, y sube sin que la gravedad pueda considerarse como la causa, sino antes bien como una rémora del fenómeno. Sin embargo, jamás pudo afirmarse, con más razon ni motivo, que las excepciones confirman las reglas generales.

No es la *gravedad* la causa de las mareas; pero lo es la *gravitacion*.

Descartes tuvo por primera vez la idea de buscar en los astros la explicacion de las mareas. Newton dió ya una teoría racional de este fenómeno.

Desde luégo se nota cierta relacion entre las mareas y los movimientos lunares. En efecto, el paso de la Luna por el meridiano se retrasa cada dia unos cincuenta minutos y el instante en que se verifican las pleas mares se retrasa tambien cada dia otros cincuenta minutos. Cuando la Luna está en su perigo las mareas son más fuertes que en cualquiera otra época y son menores cuando la Luna está en su apogeo. En cada lunacion las mareas mayores ocurren en las sizigias y las menores en las cuadraturas. Estando el Sol en su perigeo (hácia fines de Diciembre) se observa un aumento en la marea. Por último, las mareas más intensas tienen lugar hácia los equinocios, y son tanto más grandes cuanto más cerca está la Luna del Ecuador y mas inmediata se halla á su perigeo.

¿Quién dudará, conociendo estos hechos, que

el Sol y la Luna, sobre todo, ejercen una influencia clara sobre las mareas?

Se comprende inmediatamente, según el principio de la gravitación universal, que las atracciones luni-solares harán oscilar de una manera periódica las moléculas acuosas de nuestro globo.

Usando el cálculo, se resuelve con exactitud el problema general de las mareas. Puesto que el fenómeno de las mareas depende, ó es una consecuencia, de las atracciones combinadas de la Luna y del Sol, prescindiendo de la acción infinitamente pequeña de los planetas, es claro que se pueden deducir sus circunstancias de las posiciones relativas de aquellos astros.

Si la Tierra fuese una esfera sólida, cubierta de una capa líquida, el problema de las mareas ofrecería menos dificultades; pero la forma irregular de los mares, las grandes corrientes del Océano, los vientos y otros meteoros atmosféricos complican mucho la cuestión. Entrar en más detalles me haría salir del círculo que me he impuesto,

Se comprende que sólo sean perceptibles las mareas en los grandes Océanos. ¿Por qué, sin embargo, no se transmiten las mareas del Océano á nuestro Mediterráneo, por ejemplo? El Estrecho de Gibraltar no es bastante ancho para que las mareas del Océano puedan influir en el Mediterráneo. Por esto en las costas españolas de levante apenas se conoce el fenómeno de las mareas.

La mayor parte de las investigaciones del

hombre son inexactas porque son incompletas. La Tierra no se puede estudiar aisladamente, porque los demas astros influyen mucho en sus fenómenos. Por esta razon el análisis de la Luna y de sus propiedades completa el conocimiento de la Tierra.

Los relojes de sol.—Como una de las aplicaciones de la teoría del Sol y de la Tierra, se puede citar la medida del tiempo por medio de los relojes de Sol.

El tiempo y el espacio son los dos grandes misterios de la mente humana. La medida del tiempo, en la acepcion vulgar, es una de las necesidades más imperiosas de la vida social, y en el sentido científico es el objeto de toda la Astronomía. Cuando el astrónomo *sabe* la hora que es en un sitio y en un momento dado *lo sabe todo*.

El *dia sidéreo* es el intervalo de una rotacion terrestre sin ninguna otra complicacion extraña.

El *dia solar*, cerca de cuatro minutos más largo que el sidéreo, es el tiempo necesario para que se verifique la rotacion aparente del Sol.

No hay que confundir el *dia solar verdadero* con el *dia solar medio, astronómico ó civil*. El primero comienza cuando el centro del Sol pasa por el meridiano, y el segundo empieza, segun la época del año, un poco ántes ó un poco despues. Se ha introducido el dia medio en la Astronomía, porque el verdadero dia solar es de longitud variable en las diversas épocas del año, por lo que se ha creido más expedito para la medida del tiempo igualar todos los dias de que

consta un año, formando los días *solares medios*, algunos segundos más largos ó más cortos que los verdaderos.

Se denomina *ecuacion de tiempo* la cantidad que debe agregarse ó restarse al momento en que empieza el día medio para obtener la hora del paso del Sol por el meridiano.

Los relojeros tienden á imitar el movimiento uniforme y ficticio del Sol medio. Los mejores cronómetros señalan tiempo *sidéreo ó solar medio*.

Los relojes de Sol miden el tiempo por la dirección de la sombra que proyecta una barilla sobre un plano. Un distinguido poeta contemporáneo, con cuya amistad me honro, me ha citado algunas veces este curioso verso que leyó en un reloj de Sol de una de nuestras poblaciones de la costa de levante y que define perfectamente los instrumentos de que se trata:

Cuando el sol la luz envia
yo, con mi lengua de hierro,
trazo palabras de sombra
con las cuales mido el tiempo.

Los relojes de Sol tienen una historia muy antigua.

El capítulo XX del *Libro de los Reyes*, habla ya de la sombra del reloj de Achaz, rey de Judá, 742 años ántes de Jesucristo.

En Grecia existió un famoso reloj de Sol colocado por Anaximandro en Lacedemonia, unos 545 años ántes de Jesucristo.

Plinio dice, que el primer reloj de Sol de

Roma se debe á Papirius Cursor, 306 años ántes de Jesucristo, y que luégo se construyó otro en el Foro, 276 años ántes de la venida del Redentor del mundo.

Afirma, con razon, M. Arago, que muchas personas no comprenden la utilidad de la Astronomía más que por los servicios directos que presta á la medida del tiempo y á la determinacion de las posiciones relativas de los lugares en la superficie de nuestro planeta.

Sería, pues, imperdonable, que no se indicaran en este MANUAL algunas aplicaciones de los métodos astronómicos á las necesidades de la vida.

Determinaban los antiguos el tiempo, no sólo por los relojes de Sol sino tambien por los clepsidros, aparatos que median las horas por la duracion de ciertos fenómenos hidráulicos, tales como la salida del agua de vários depósitos. Llegó á ser famoso el clepsidro de Ctesibus, que funcionaba hácia la mitad del segundo siglo anterior á la era cristiana. Demóstenes y Ciceron aluden en sus discursos á esta clase de instrumentos.

Pero si los clepsidros no existen ya sino en el gabinete de algunos curiosos ó de algun anticuario, los relojes de Sol se ven todavía con frecuencia, y no dejará de tener utilidad el estudio de su construccion, siquiera sea ligerísimo y como de paso.

Si este MANUAL, aunque popular, hubiera de ser muy extenso, se indicaria tambien la base astronómica de los principios en que se apoya

el arte ó la industria de la relojería, que necesita hoy, para ser cultivado con fruto, el conocimiento de la Astronomía, de la Física y de la Mecánica. Desde Breguet acá, los adelantos que ha tenido la construcción de los relojes merece un exámen atento.

En Suiza principalmente y en otras naciones, en que ciertos conocimientos cosmográficos y astronómicos son familiares, suelen construirse tableros de mármol que, puestos horizontalmente sobre mesetas ó pilares de piedra, indican los rumbos de la localidad, las distancias del punto de estación á las principales poblaciones del globo, la meridiana y algunas veces las horas en cuadrantes solares, como los que ahora nos ocupan.

Cerca de nuestra frontera, en el muelle de San Juan de Luz, existe un reloj de Sol, que además de indicar las horas por la dirección de una sombra proyectada, marca los meses del año por la longitud de la misma sombra.

En España son muchos los relojes de Sol que se observan en los muros de algunos edificios y en otras partes. El Ayuntamiento de San Sebastian, población que va sobresaliendo entre nosotros por su amor á la cultura, ha determinado con bastante exactitud la meridiana en uno de los montículos del parque que está formando entre la Concha y la calle de Hernani; ha construido esa meridiana sobre una magnífica losa de mármol negro, en la cual se han fijado las direcciones y las distancias de varias capitales; y, por último, ha hecho grabar las horas que

señalan los relojes de algunas poblaciones importantes cuando son en San Sebastian las doce en punto.

Veamos ya cómo se construyen los relojes de Sol.

La determinacion de la *meridiana* es el primer elemento de los relojes solares.

Meridiana es la línea recta, interseccion de estos dos planos, el plano meridiano y el del horizonte. Su construcción ofrece algunas dificultades. Hé aquí algunos de los medios más sencillos y expeditos, ya que no más exactos, para determinar la meridiana.

1.º Sobre un plano horizontal levántese un estilete vertical, cuyo pié llamaremos *A* (el lector puede construir fácilmente la figura). Márquese la sombra del estilete en un momento fijo de la mañana: sea *B* el extremo de esta sombra. Trácese una circunferencia, cuyo centro esté en *A*, y cuyo radio sea *AB*. Señálese por la tarde el punto *C* del arco *AB*, que indica el extremo de la sombra del estilete, cuando dicha sombra vuelve á tener la longitud que alcanzaba cuando se examinó por la mañana. Pues bien, la bisectriz del ángulo *BAC* será la *meridiana*, con tanta más aproximación cuanto más cerca de los solsticios esté el día en que se hayan observado el estilete y su sombra.

2.º Elíjase para las operaciones uno de los dos días equinociales. Levántese al horizonte (figura 20) la perpendicular *EC*. Esta línea determinará la posición de un estilete, que proyecta en los días mencionados sombras diversas, cu-

yos extremos estan en línea recta ó, como dicen los geómetras, tienen por lugar geométrico una línea recta tal como AB . Desde el pié C del estilete bájese la CD perpendicular á AB . La línea CD será la meridiana.

Este método me servirá, dentro de poco, para explicar sucinta y claramente la construcción de los cuadrantes solares.

Ambos procedimientos se deducen de las ideas que se han expuesto al tratar de la teoría de la Tierra, del problema de la *orientación*.

Si se observan las sombras proyectadas por el estilete EC en un día cualquiera del año, y se unen por una línea continua sus extremos, se notará que resulta una curva. ¿De dónde nace la curva? ¿Cuál es su naturaleza? La forma y el origen de la curva en cuestión se comprenden reflexionando, que si el Sol describe próximamente una circunferencia en el cielo, la línea imaginaria, que va desde el punto E hasta el Sol, enjendrará un cono, y su prolongación otro cono. Luego existen dos conos opuestos (si vale esta expresión tan poco técnica como gráfica), cortados ambos por el mismo plano, el plano del horizonte, puesto que, respecto al primero el Sol sale y se pone, lo que no podría ocurrir si su base no estuviera cortada por el horizonte y, respecto al segundo, la intersección de que se trata es la curva cuya naturaleza se quiere deducir. Ahora bien, la geometría analítica demuestra que una curva que resulta de la intersección de un mismo plano con *dos conos*

opuestos, tiene dos ramas, y es la que se denomina *hipérbola*.

Refiriéndome, pues, á la fig. 20 y observando un día de los equinoccios, se tendrá que el plano BAE es el plano sobre el cual ha hecho el Sol su movimiento en dicho día. Una perpendicular levantada en E al plano ABE marcará el tiempo por medio de sus sombras sobre este plano.

Cuando la sombra de la perpendicular coincida con ED serán las doce. Dividiendo ahora cada cuadrante en arcos de 15° en la circunferencia E y trazando los radios correspondientes, se tendrán las líneas que indican las direcciones de las sombras: $E 1$ marcará la 1, $E 2$, las dos, etc.

Si se une el punto S con los $D, 1, 2$, etc., las líneas $SD, S1, S2$, etc., establecerán las direcciones de las sombras sobre el plano horizontal ABS , á las 12, á la 1, á las 2, etc.

La evaluación del ángulo CED , que es la clave del problema, es fácil, porque

$$\operatorname{tg} CED = \frac{\text{sombra meridiana equinoccial}}{\text{altura del estilo perpendicular}}$$

Del plano tipo ABE se puede deducir con mucha facilidad la construcción de los relojes de Sol que se construyen sobre las paredes de los edificios.

Marte —La luz de Marte es rojiza. Este planeta tarda en pasar dos veces consecutivas por delante de las mismas estrellas del firmamento un año, 10 meses y 21,98 días. La inclinación de la órbita de Marte sobre el ecuador terrestre

es de $24^{\circ} 44' 44''$. Su distancia média al Sol es 1.524 tomando por unidad la distancia média del Sol á la Tierra. Su volúmen viene á ser $\frac{14}{100}$ del de la Tierra.

Marte presenta fases muy perceptibles cuando se examina en sus cuadraturas con el auxilio de un buen antejo. Galileo en 1610 y Riccioli en 1638, sospecharon ya la existencia de las fases de Marte.

Del estudio de las manchas permanentes de Marte se ha inferido su movimiento de rotacion. Juan Dominico Cassini empezó este género de trabajos, continuados despues por Maraldi, Herschel, que determinó el eje de rotacion del planeta, Madler y Beer, y otros muchos astrónomos.

Es el único de los planetas superiores que presenta fases.

Ya se recordará que Marte sirvió á Kepler para deducir sus famosas leyes. No puede considerarse como una redundancia exponer aquí que Copérnico, si bien demostró que los planetas giran en torno del Sol, conservaba la hipótesis de las excentricidades y de las epiciclóides superpuestas, por medio de las cuales explicaban los antiguos astrónomos las desigualdades aparentes de los movimientos planetarios. Al discutir Kepler las observaciones de Tycho-Brahe, reconoció que era imposible admitir que Marte describiera un círculo: que su trayectoria debía ser una elipse que tuviera el Sol en uno de sus focos, idea que generalizó más tarde.

Marte tiene, pues, en la historia de la Astronomía, una importancia de primer orden. Pero además se debe á Marte otro servicio no menor, cual es haber hecho fácil el conocimiento de la paralaje solar y, por consiguiente, la medida de la distancia de la Tierra al Sol, base de no pocas medidas y cálculos astronómicos. A mediados del siglo XVIII, Lacaille, en el Cabo de Buena-Esperanza, y Lalande en Berlin, escogieron la época en que se reduce á su mínimo la *distancia* de Marte á la Tierra, y evaluaron esta magnitud, tomando por base la distancia que los separaba. Determinaron después la paralaje de Marte y, conociendo la relación de las distancias á la Tierra de ese planeta y del Sol, dedujeron la paralaje solar, operación que se repitió en 1862 con muchos más elementos, y por lo tanto, con mucha más exactitud.

Las observaciones de Hooek (1665), las de Cassini y Herschel sirvieron para determinar, por el movimiento de las manchas de Marte, su rotación en torno de su eje, que se verifica por completo en 24 horas 40 minutos.

Dos manchas *blancas y permanentes* situadas en sus regiones polares, constituyen el más notable de los fenómenos de Marte hasta ahora estudiados. Estas manchas fueron perfectamente observadas por el P. Secchi durante la oposición del astro en 1856, quien hubo de notar un sensible aumento de la mancha que no estaba expuesta á la acción directa de los rayos solares y una perceptible disminución en la otra, lo que indica que tales manchas son de nieves

ó hielos. Demostró además aquel gran astrónomo, que los centros de las manchas no coinciden con los polos. Las otras manchas de Marte parecen fijas también, y como resultantes de algo adherido á su superficie. Las ideas é indicaciones del P. Secchi han sido confirmadas por los estudios hechos por los ingleses durante la nueva oposición de Marte de 1862.

Marte posee dos satélites ó lunas recientemente descubiertas. Según las observaciones de los hermanos Henry, del Observatorio de Marsella, el satélite más próximo al planeta dista de él más de 30.000 leguas, y el más lejano unas 50.000.

Planetas pequeños comprendidos entre Marte y Júpiter.—Artemidoro de Efeso sostenía, un siglo ántes de Jesucristo, que hay infinitos planetas; Demócrito creía que el número de los planetas es grande, aunque no infinito; y Kant explicaba cómo y por qué no se descubría planeta ninguno entre Marte y Júpiter.

Titius trató de averiguar si las distancias de los planetas al sol obedecen á ciertas leyes. Después de muchos ensayos formó la serie

0 3 6 12 24 48 96 192

en la que, desde el tercer término, cada número es doble del precedente. Añadiendo ahora 4 unidades á cada uno de los términos de la serie anterior, resulta ésta:

4 7 10 16 28 52 100 196

en la cual, siendo 4 la distancia de Mercurio al Sol, 7 era la de Vénus, 10 la de la Tierra, 16 la

de Marte (prescindase del número 28, término, por decirlo así, *singular* ó *anómalo* de la serie), 52 la de Júpiter, 100 la de Saturno y 196 la de Urano.

Titius no conocia al planeta Urano; pero desde luégo se advierte que está comprendido en su ley. No le sucede lo mismo á Neptuno. Muchos dan á la *ley empírica* de Titius el nombre de ley de Bode, astrónomo de Berlin, que se ha ocupado mucho de este asunto.

La *singularidad* ó *anomalía* del número 28 en la serie de Titius ó de Bode desapareció cuando á principios de este siglo se descubrieron los pequeños planetas comprendidos entre Marte y Júpiter: el número 28 representa, en efecto, sus distancias al Sol. Como dato curioso de cronología, consignaré aquí que uno de los más notables de estos pequeños planetas, *Céres*, fué descubierto por Piazzi de Palermo el 1.º de Enero de 1801.

Herschel estudió los pequeños planetas con gran ahinco y los llamó *Asteróides*. Thomason criticó apasionadamente la denominacion de Herschel. Los Asteróides más estudiados y conocidos son Céres, Palas, Juno, Vesta, Astrea, Hebe, Iris, Flora, Victoria, Egeria, Irene, Fortuna, Themis, Euterpe, Urania, Leda, Dafne, Isis, etc., etc.

Con razon se llaman *pequeños* los planetas comprendidos entre Marte y Júpiter, porque algunos tienen ménos superficie que ciertas *naciones europeas*. Por esto se nota en los hombres científicos, que preven la existencia de masas

cósmicas todavía menores, el convencimiento de que los meteoros que tanto preocuparon á los antiguos tienen más fácil y lógica explicacion, acudiendo á las leyes generales del sistema del mundo, que á los efectos del rayo ó á condensaciones, despues de todo problemáticas, de vapores metálicos.

Las piedras meteóricas ó *aereolitos*, que llegan á la superficie de la Tierra, los globos de fuego llamados *bóidos*, que aparecen y desaparecen repentinamente, y las estrellas cadentes no parecen ser más que cuerpos errantes en el espacio encontrados por la Tierra en su peregrinacion planetaria.

El mayor de todos los asteróides ó pequeños planetas, llamados tambien *planeta telescópicos*, es *Vesta*, que tiene 420 leguas de diámetro, y el menor, ó uno de los más pequeños, *Hesnia*, que tiene 24 leguas de diámetro.

En el dia van descubiertos 186 asteróides.

Júpiter.—Los egipcios le llamaban *brillante* y Osiris, los griegos *Faeton*, los indos vrihaspati (amo, dueño, señor del crecimiento). El centelleo de Júpiter es muy poco perceptible. Su revolucion sideral es de 4.332 dias y 0,58, es decir, de 11 años, 10 meses y 17,6 dias. La inclinacion de la órbita de Júpiter sobre el plano de la eclíptica es de $1^{\circ} 18' 52''$. Su distancia media al Sol es de 5. 203, siendo 1 la del Sol á la Tierra.

El volúmen de Júpiter es unas 1.414 veces mayor que el de la Tierra.

Por el estudio de las manchas se deduce que

Júpiter gira en torno de su eje de occidente á oriente, efectuando una revolucion en 9 horas 55 minutos. El eje de rotacion de Júpiter casi es perpendicular al plano de la órbita que este planeta describe alrededor del Sol.

La rotacion de Júpiter fué descubierta en Italia por Cassini en 1665. Este sabio se valió para sus investigaciones, de una mancha especial. No conducen á los mismos resultados los cálculos hechos con distintas manchas, por lo que parece indudable la movilidad de las manchas de Júpiter, y, en su consecuencia, el nacimiento de las manchas de que se trata no en la superficie de Júpiter, sino en su atmósfera.

Pero el fenómeno *característico* de Júpiter son sus *bandas*. Existen sobre su disco bandas oscuras que le rodean por completo. Son paralelas entre sí y perpendiculares al eje de rotacion

Envuelven al planeta materias oscuras que tienen la tendencia de formar bandas paralelas. Hay, sin embargo, dos de estas bandas oscuras, centrales y permanentes, si no en absoluto, con respecto al ménos á las otras bandas accidentales que con frecuencia aparecen y desaparecen. Cassini (1691) habla ya de estas bandas permanentes. La fig. 15 representa á Júpiter visto con el gran telescopio de Washington y dibujado por el Sr. Holden. La fig. 16 representa á mismo planeta observado con el telescopio de lord Rosse.

Huygens, que veia en su tiempo las bandas en cuestion más *brillantes* y no más *oscuras* que el resto del disco, atribuia su origen á nu-

bes paralelas al ecuador de Júpiter. Cassini, Fontenelle y otros sabios, han dado del fenómeno explicaciones varias, todas más ó ménos problemáticas.

Júpiter no presenta fases sensibles. Es fácil demostrar, sin embargo, que no tiene luz propia. En efecto, Júpiter va seguido ó acompañado de cuatro satélites que cuando pasan entre él y el Sol, proyectan su sombra sobre el planeta, en cuyo caso los habitantes de Júpiter verán eclipses de Sol. Las sombras de los satélites de Júpiter, que por su limpieza, su redondez y el intervalo de su duracion, perfectamente calculable, **no** se pueden confundir con las *manchas* ni con las *bandas*, prueban que Júpiter carece de luz propia, y no dispone más que de la que recibe del Sol.

El 7 de Enero de 1610 descubrió Galileo los satélites de Júpiter. Kepler apreció en todo lo que valian las observaciones del astrónomo de Florencia, pues aquellos cuatro astros diminutos que seguian á Júpiter en su movimiento eran *todo el mundo de Copérnico en miniatura*; pero algunos otros sabios desdeñaron las investigaciones de Galileo, y hasta hubieron de atribuir sus resultados á efectos de óptica producidos por el antejo. Clavius, por ejemplo, decia en 1610, que para ver los satélites de Júpiter era preciso *construir un antejo que los engendrara*. Horcky preguntaba con mucha formalidad para qué servian en *Astrología* los cuatro satélites de Júpiter, á lo que contestó Woderbonius, publicista escocés contemporáneo de Galileo,

que para confundir á Horky y á todos los astrólogos supersticiosos.

Numerando los satélites de Júpiter por el orden de sus distancias á este planeta resultan dos leyes:

1.^a El movimiento medio del primer satélite, más dos veces el del tercero, es igual á tres veces el movimiento medio del segundo.

2.^a La longitud media del primer satélite, ménos tres veces la del segundo, más dos veces la del tercero es próximamente igual á 180° .

De esta última ley se deduce. que los tres primeros satélites de Júpiter no pueden eclipsarse á la vez.

Galileo, Peyresc, Vendelinus, Cassini, Wargentin, Delambre y Laplace constituyen *como los eslabones de oro de la cadena de sabios*, por donde se ha llegado desde la simple noticia de la existencia de los satélites de Júpiter el conocimiento precioso de su leyes.

Saturno.—Desde la más remota antigüedad le llamaron los indos sanaistchara, que significa de movimiento lento, los griegos nemesis y los egipcios el *astro aparecido*. Brilla en el cielo como las estrellas de primera magnitud; pero no centellea.

La revolucion sideral de Saturno es de 29 años, 5 meses y 16 días. El plano de su órbita elíptica forma con el plano de la ecíptica un ángulo de $2^{\circ} 29' 36''$. Tomando por unidad la distancia media del Sol á la Tierra, es de 9.539 $\frac{1}{2}$ de Saturno al Sol.

La masa de Saturno referida á la del Sol, tomada por unidad, es de $\frac{1}{3.500}$.

El diámetro de Saturno es 9.022, escogiendo por unidad el de la Tierra.

El anillo de Saturno es la particularidad más notable de este astro, puesto que aparece como un fenómeno *único* en el sistema solar. Ese anillo es de forma plana, dista mucho del astro que rodea y su plano está inclinado unos 28° respecto al de la órbita de Saturno. La fig. 18 representa á Saturno y á su anillo.

Para un observador situado en la Tierra, el anillo de Saturno jamás se presenta de frente: aparece como elíptico y de una dimension trasversal variable: su menor diámetro aparente nunca excede al semidiámetro mayor.

El estudio y la consideracion atenta de las sombras arrojadas por el anillo sobre el planeta y por el planeta sobre su anillo, basta para demostrar que ni el uno ni el otro tienen luz propia, sino reflejada del Sol.

El anillo de Saturno no es contínuo, sino que está dividido en dos, cuya separacion se halla más cerca de su borde externo que del interno. Algunos astrónomos han creído en la existencia de cuatro ó cinco anillos concéntricos situados casi en el mismo plano.

Herschel llevó á cabo en 1790 varias observaciones del anillo, y dedujo que la masa anular, ya se compusiera de uno sólo, ya de varios anillos, hacía una revolucion sobre un centro en 10 horas 32 minutos 15 segundos. Estudios

delicadísimos posteriores prueban que no coinciden los centros del planeta y del anillo: aquel está, en efecto, un poco más cerca del borde occidental que del borde oriental del anillo.

Por lo demás, la separación de los dos anillos, ó mejor dicho, de los dos bordes del anillo, es de 723 leguas, y el espesor anular de unas 100 leguas.

Las consideraciones que preceden, unidas á estudios é investigaciones muy modernas, que todavía están en embrion, inducen á creer que Saturno es teatro á la hora presente de grandes revoluciones de la materia.

No se crea, sin embargo, que el anillo de Saturno carece de historia científica. Galileo no pudo tener una idea clara de Saturno y de su anillo. En una curiosísima carta escrita por aquel sábio el 13 de Noviembre de 1610 á Gugliano de Médicis, embajador en la corte de Austria, se lee entre otras cosas: con un anteojo de gran poder se me figura Saturno una estrella que tiene á sus lados otras dos, especies de *servidores* que ayudan al viejo Saturno en su peregrinación por el espacio... Empleando un anteojo menor, Saturno parece una aceituna. Pero más tarde notó Galileo que los *dos servidores* de Saturno habian desaparecido, lo que le llenó de asombro, desanimándole tanto que abandonó por completo el estudio de este planeta.

Huygens sentó la base de la teoría del anillo de Saturno; Riccioli la modificó en parte; Picard suministró datos para perfeccionarla; Azout percibió por vez primera la ~~sombra~~ de

Saturno sobre su anillo en 1662; Vico, en 1842, y la mayor parte de los astrónomos romanos sobre todo, han completado el trabajo de sus predecesores.

La fig. 19 representa distintas observaciones de Saturno y de su anillo en la serie del tiempo. La primera corresponde á Galileo (1610); la segunda á Scheiner (1614); la tercera á Ricciolus (1640); la cuarta, quinta, sexta y séptima á Hevelius; la octava y la novena á Ricciolus (1649); la décima á un jesuita; la oncená á Fontana; la duodécima á Gassendi y la décimatercera á Ricciolus.

Necesitaria demasiadas páginas para expresar todo lo que han observado los astrónomos y deducir la verdadera naturaleza de las bandas negras que dividen el anillo. Parecen huecos, tanto si se miran en aquellos pocos y rápidos instantes en que las bandas en cuestion se proyectan sobre estrellas, como si se considera el paso de Saturno por la Vía Láctea. Todo cuanto pudiera yo decir acerca de este particular, sería en extremo aventurado. Paso á otro asunto.

Hay otro fenómeno en Saturno tan curioso por lo ménos como el de su anillo. Me refiero á sus bandas. Estas son curvilíneas, paralelas y no permanentes: nacen, pues, en una atmósfera que debe rodear á Saturno.

Saturno tiene un movimiento de rotacion; da una vuelta entera en 10 horas 24 minutos. Rodean al planeta de que se trata ocho satélites que circulan á su alrededor en órbitas elípticas,

en uno de cuyos focos se halla Saturno. Casi todos los satélites se mueven en curvas paralelas al plano del anillo.

Tanto en los satélites de Saturno, como en la Luna, como en los satélites de Júpiter, aparece con los caracteres de una ley general que el tiempo de la rotacion de un satélite alrededor de su eje es igual al de su revolucion en su órbita.

Herschel (Juan) dedujo que numerados los satélites de Saturno por el orden de sus distancias á este astro, el tiempo de la revolucion del tercero es doble del tiempo de la revolucion del primero, y el intervalo de la revolucion del cuarto, es doble del de la revolucion del segundo.

El anillo de Saturno impide observar los eclipses de sus satélites.

Los aficionados á los estudios cosmológicos esperan con verdadero afan investigaciones y datos acerca de Saturno. Las particularidades de este astro, su larga historia (pues se conoce hace muchos siglos), la corta historia, en cambio, de su colosal anillo, ciertas anomalías que respecto á su forma creyó notar el célebre Herschel (aunque hoy se supone que serian sólo apariencias debidas á causas físicas), y otra multitud de razones, entre las que se alega su numeroso cortejo de satélites, ofrecen á la imaginacion dilatado campo, y fomentan la esperanza de descubrir alguna verdad que sirva de base á las teorías sobre la constitucion del mundo. Y es indudable que Saturno señala, por de-

cirlo así, el camino para esta clase de conocimientos. Sin cerner el espíritu en aquellas regiones imaginarias en que lo cernia sir Humphry Davy, en el viaje en el mundo de Saturno, ni soñar en grandes y trascendentales descubrimientos hechos de un golpe allá en los últimos límites de la cosmología, cabe tener esperanza en la continuidad lenta, pero segura, del humano progreso.

La esperanza en el logro de la verdad y el trabajo, no siempre conducen al triunfo que se desea; pero llevan indefectiblemente á algun triunfo, que no por ser distinto del que se anhe-la es ménos glorioso.

Urano.—Se le ha llamado tambien Georgiumsidus y Herschel. Fué descubierto el 13 de Marzo de 1781. En este dia examinaba el astrónomo Herschel una constelacion, y de repente apareció en el campo de su telescopio un astro de gran diámetro. ¿Sería este astro un cometa, ó sería una estrella de magnitud extraordinaria? Tales fueron las dudas que asaltaron á Herschel. Para resolverlas, sustituyó el ocular del antejo por otros oculares de mayor aumento, y observó muy pronto que crecia el diámetro del astro en cuestion con una rapidez inmensa si se la comparaba con el incremento que tenían en igual caso las estrellas. Por otra parte, durante los experimentos, la imagen de las estrellas permanecía fija y segura, miéntras que la del astro de que se trata variaba y sufría una especie de deformaciones.

Por un procedimiento experimental, ingenio-

so, que no es ahora del caso, dedujo Herschel que aquel astro era un cometa, y dió cuenta de su descubrimiento en las *transacciones filosóficas*.

Se trató de calcular su trayectoria; pero los trabajos que hicieron en este sentido Lemonnier, Lalande, Reggio, Bode y otros, fueron inútiles, porque casi todos partían del error fundamental de que el astro era un *cometa*. Las investigaciones de Lexell y de Laplace, hicieron ver que no se trataba de una estrella, ni de un *cometa*, sino de un *planeta*, cuya órbita, casi circular, tenía un radio igual á 19 veces la distancia del Sol á la Tierra. Este planeta es Urano. No prevaleció el nombre de Georgiussidus que quiso darle Herschel para perpetuar en la historia de la Astronomía al soberano que tanto le protegió. Tampoco hizo fortuna el de Neptuno de Jorge III, propuesto por Lexell con el pueril intento de recordar la gran armada inglesa. Laplace deseaba que, siguiendo una costumbre adoptada por los anatómicos y los botánicos, se le llamára Herschel. Lichtenberg decia con gracia, que siendo el planeta que se trataba de *bautizar* el más lejano de la Tierra, su nombre más lógico era el de Astrea, porque claro es que no habiendo podido establecer la diosa de la justicia su reinado sobre la Tierra, el despecho la habrá llevado á los últimos confines del mundo planetario. Ni faltó quien, invocando razones mitológicas de peso, hablára de que se debía denominar el nuevo astro Neptuno ó Cibeles. Ello es, que, por últi-

mo, se adoptó por todos el nombre de Urano, en memoria del más antiguo de los dioses, idea que se debe á Bode. Así, cuando el paganismo perdió todo su favor en la Tierra, hubo de buscar un refugio en el sistema planetario del Cielo. El volúmen de Urano viene á ser 82 veces el de la Tierra. Su revolucion sideral es de unos 84 años. Dista del Sol, por término medio, una magnitud lineal unas 20 veces mayor que el radio vector de la Tierra. El plano de la órbita forma con la elíptica un ángulo de $46^{\circ} 28'$.

Urano despidе una luz análoga á la de una estrella de sexta magnitud. Este astro carece de fases. Tiene Urano satélites difíciles de observar. Ocho son los satélites de Urano que aparecen como bien comprobados. Si se numeran segun el órden de sus distancias al planeta, resulta que los dos más visibles son el cuarto y el sexto.

Los satélites de Urano recorren sus órbitas elípticas con un movimiento de los llamados retrógrados, esto es, de oriente á occidente. Los movimientos propios de estos astros se verifican en sentido contrario á los de todos los planetas principales, de sus satélites y de todos los movimientos de rotacion conocidos. Estos movimientos de los satélites de Urano y los de la mayor parte de los cometas dificultan en extremo las teorías cosmogónicas.

Los astrónomos más escrupulosos no admiten, sin embago, más que cuatro satélites de Urano.

Neptuno.—Fué descubierto en Berlin por Galle el 25 de Setiembre de 1846. Su descubri-

miento es uno de los mayores triunfos de la ciencia. Para explicar la discordancia entre las antiguas y las modernas observaciones de Urano concibieron algunos astrónomos, como Hansen (1829) y Bessel (1840), la existencia de un planeta desconocido hasta entónces, y que perturbaba la marcha de aquel astro. Adams y Le Verrier calcularon la posición que debía ocupar el astro imaginario, y Galle, en Berlin, lanzando su mirada en el cielo hácia el punto indicado por aquellos célebres astrónomos, descubrió al planeta Neptuno.

Se mueve Neptuno lentamente en una órbita que forma con el plano de la eclíptica un ángulo de $1^{\circ} 46' 59''$. La duración de la revolución sideral es de 164 años y 266 días. Su distancia media del Sol es 30.04, siendo 1 la distancia media de la Tierra al Sol.

El volúmen del planeta Neptuno es 110 veces mayor que el de la Tierra.

Tiene un satélite Neptuno perfectamente observado y descubierto por Lassell. No se ha podido comprobar otro satélite que el mismo Lassell creyó ver en el cielo.

Cometas.—El vulgo llama cometas á las estrellas que van seguidas de una especie de cabellera luminosa. El astrónomo denomina cometa á todo astro dotado de movimiento propio y que en algunos momentos deja de ser visible por la extraordinaria extensión de su trayectoria. Los cometas son, pues, verdaderos astros y no meteoros engendrados en nuestra atmósfera.

El Sol ocupa siempre uno de los focos de la órbita elíptica de cada cometa.

Aparecen por lo tanto los cometas cuando *deben aparecer*, en virtud de su trayectoria y de su velocidad, y no merced á causas morales más ó ménos misteriosas, como han creído en su infancia la mayor parte de los pueblos y como siguen opinando las personas ignorantes.

La trayectoria de los cometas es una elipse, como ya se ha indicado; però una elipse de tan inmensa excentricidad, que se confunde en sus porciones más próximas al Sol con una parábola. De aquí que los astrónomos calculen los *elementos parabólicos* de los cometas: bastan tres observaciones para determinarlos.

Una de las primeras cuestiones que se presentan cuando aparece un cometa es averiguar si los habitantes de la Tierra le han visto alguna otra vez.

El brillo de los cometas, el tinte de su luz, la intensidad, la forma y hasta la direccion de su cabellera, varían con frecuencia en el mismo astro, y sólo en el intervalo de algunos dias, por lo que no es fácil determinar un cometa por sus *señas particulares*. En cambio existen Catálogos de cometas que consignan los ya conocidos y perfectamente determinados por el cálculo, á los que se puede acudir con el objeto de que se trata, pues los caracteres matemáticos que los definen no dejan lugar á dudas.

Si del estudio de los elementos parabólicos de un cometa resulta que no se halla en el Catálogo de los cometas, es lógico inferir que

nuestros antepasados no le *vieron*, ó que por lo ménos no le *estudiaron*. Combinando la observacion directa del cometa con sus posiciones, calculadas sobre trayectorias hipotéticas, se deducirá si la curva descrita probablemente por el astro se asemeja más á una elipse ó á una parábola, lo que dará una idea de la magnitud del tiempo de retorno, ó en términos más precisos, de si el cometa será ó no periódico: Si es una elipse la órbita, se averiguará la longitud de su semi-eje, y como la tercera ley de Kepler liga los cubos de los ejes de las órbitas á los cuadrados de los tiempos de revolucion, se calculará inmediatamente el tiempo de la revolucion del cometa que se considere.

Existe, por ejemplo, bien comprobada la periodicidad de cuatro cometas, á saber: el de Halley, el de Encke, el de Gambart y el de Faye. El primero se presentó en 1682, y fué estudiado por Halley, segun el método de Newton y las observaciones de La Hire, Picard, Hévelius y Flamsteed. El segundo fué descubierto el 26 de Noviembre de 1818, en Marsella, por Pons, y calculado por Bouvard. El tercero fué visto en Kohannisberg el 27 de Febrero de 1826 por Biela, y diez dias despues en Marsella por Gambart. El cuarto se debe á Faye: fué calculado y visto por este astrónomo el 22 de Noviembre de 1843.

El estudio de los cometas y el de sus predicciones es sorprendente. Fijándome en el cometa de Halley, diré algo para que se pueda tener una idea de este género de investigaciones.

Ya he manifestado que Halley observó un cometa en 1682. Pues bien, Kepler y Longomontanus observaron al parecer *otro* cometa en 1607. Los elementos de ambos cometas aparecidos en el cielo con un intervalo de 75 años, resultaron casi idénticos, una vez hecho el cálculo. Por otra parte, 76 años ántes, esto es, en 1531 Apian vió *otro* cometa en Ingolstadt. Las observaciones de Apian fueron calculadas por Halley, y los elementos del cometa de Ingolstandt resultaron muy parecidos á los de los cometas que observaron Kepler y Halley.

¿Quién no descubre, dados estos antecedentes, la identidad de los tres astros? Halley no vaciló en establecerla; y lanzándose por el camino de las predicciones, más grato todavía que el de la historia, anunció que aparecería un cometa en el cielo á últimos del año 1758 ó á principios del 1759. Los astrónomos creyeron que era demasiado vaga esta indicacion, y se propusieron precisarla. Cuando la Astronomía profetiza, quiere profetizar con exactitud matemática. Clairant resolvió este problema. Advirtió para ello, que los planetas atraerian al cometa, y que por efecto de esta fuerza retardatriz, el astro en cuestion emplearia en volver al punto en el cual fué por última vez observado 618 dias más que en la revolucion precedente, en esta forma: 100 dias á causa de Saturno, y 518 por la accion de Júpiter. Segun estos cálculos, el paso de que se trata debia ocurrir á mediados de Abril de 1759. Añadió,

además, Clairant, que la premura del tiempo le habia obligado á despreciar ó á prescindir de algunos términos de sus fórmulas que podrian alcanzar en más ó en ménos á 30 dias en 76 años.

Así las cosas, apareció el cometa el 12 de Marzo de 1759. ¡Qué exactitud tan admirable!

Desde entónces los procedimientos astronómicos se han perfeccionado mucho.

El cometa de Encke se llama tambien de período corto, porque en efecto, su revolucion es de 3 años y 3 décimas.

El cometa de Gambart efectúa su revolucion en 6 años y 3 cuartos. Respecto á este astro se habló mucho cuando de las observaciones verificadas por Olbero, astrónomo de Bremen, resultó que el 29 de Octubre de 1832, una porcion de la órbita de la Tierra se debia encontrar comprendida en la parte nebulosa del cometa. Pero lo importante no era esto: lo importante consistia en saber dónde se hallaria la Tierra cuando el cometa estuviera tan cerca de nuestra órbita. Se hizo este cálculo y se llegó al satisfactorio resultado de que la distancia más corta entre el cometa de Gambart y la Tierra, sería de 20.000.000 de leguas.

La revolucion del cometa de Faye es de 7 años y medio.

Satisfechos los astrónomos por haber descubierto la marcha de los cometas, continuaron sus observaciones cada vez con mayor entusiasmo. Messier descubrió un cometa en el mes de Junio de 1770, el cual fué estudiado por Lexell:

se fijó su revolucion en 5 años y medio. Se predijeron, pues, sus frecuentes apariciones, pero todo fué inútil, porque el tal cometa no volvió á presentarse. Esos hombres que se llaman á sí mismos *prácticos*, y que las más veces niegan la ciencia por la sencilla razon de que la desconocen, tuvieron con estos hechos un motivo para calificar de nuevo de pretenciosos á los astrónomos.

El culto de la ciencia sigue sin cuidarse de sus detractores. La Astronomía investigó las causas de la desaparicion del cometa, y no tardó en obtenerlas. Cálculos prolijos demostraron:

1.º Que el cometa de Lexell no se vió ántes de 1770, porque su órbita era entónces distinta de la que recorrió más tarde.

2.º Que el cometa no pudo verse en 1770 porque pasó de dia cerca del Sol.

3.º Que ántes de la revolucion siguiente fué alterada la forma de la órbita de tal modo por la atraccion planetaria, que si el cometa hubiera sido visible desde la Tierra, no se le hubiera podido reconocer.

Se llaman cometas interiores aquellos cuya mayor distancia del Sol se proyecta dentro de la órbita de Neptuno. En este caso se encuentran los de Encke, de Gambart, de Faye y otros que no se citan por falta de espacio.

La historia registra várias apariciones de cometas visibles aún á pesar de la luz del Sol. Séneca describe el cometa que apareció 146 años ántes de nuestra era. Justino recuerda otro que

se vió 70 días, 134 años ántes de Jesucristo. Dion Cassius dice que 53 años ántes de la venida del Redentor del mundo, una lámpara encendida en el cielo pasó del mediodía hácia el oriente. Los romanos consideraron como una metamorfosis del alma de César otro cometa que apareció 10 años despues del que cita Dion Cassius. En el año 400 de nuestra era; en el 1006; en el 1106; en el 1402; en el 1532; en el 1577; en el 1744 y en el 1843, se presentaron en el cielo cometas que hirieron la imaginación de las generaciones contemporáneas de tal modo, que su memoria ha llegado hasta nosotros.

Difícil es predecir las apariciones de los cometas. En la mayor parte de los casos esta tarea es imposible.

Los astrónomos predicen con exactitud los eclipses de Sol, las ocultaciones de las estrellas y de los planetas por la Luna; pero querer que la astronomía de los cometas marche al compás de la astronomía planetaria, y que los conocimientos que tenemos de aquellos astros fugaces, observados por el hombre en algunos rápidos momentos, se puedan comparar á las investigaciones seculares que se han practicado cerca del Sol, de la Luna y de las estrellas, es pedir un imposible. El astrónomo no es un adivino, sino un *matemático*.

Todos los cometas tienen un *núcleo*. Ese núcleo ¿es opaco á diáfano? ¿es sólido ó gaseoso?

Cuando un cometa, una estrella y nuestro globo están en línea recta, se puede juzgar de la

naturaleza del cometa mejor que en cualquier otra posición; lo que demuestra que la región del espacio en la que percibimos los movimientos de los cometas está mucho más cerca de nosotros que la sideral.

Las observaciones que se han reunido hasta hoy sobre los cometas parecen suministrar datos para que se pueda contestar en cualquier sentido á los puntos precedentes. En una palabra, unos cometas tienen el núcleo opaco, otros diáfano, unos sólido, otros gaseoso.

Al núcleo de los cometas rodea cierta *nebulosidad* más ó menos definida. Hévelius sostiene que el diámetro de la nebulosidad de los cometas aumenta á medida que se alejan del Sol. Newton trató de explicar el descubrimiento de Hévelius por una teoría física.

Además del *núcleo* y de la *nebulosidad* hay que estudiar en los cometas la *cabellera*, porción interesantísima de estos astros. La gente del pueblo llama muchas veces á los cometas *estrellas de rabo*.

Según Eduardo Biot, los astrónomos del Celeste Imperio habían observado desde el año 837 que la cola ó cabellera de los cometas tenía una dirección opuesta á la del Sol. Entre los astrónomos modernos este descubrimiento no se hizo hasta el año 1531. Para algunos la cola de los cometas es una especie de cono hueco. Estos estudios se hallan todavía muy atrasados.

Por lo mismo que se sabe poco acerca de la cabellera de los cometas, se ha dado de este fenómeno numerosas explicaciones.

Aristóteles consideraba los cometas como meteoros sublunares engendrados en nuestra atmósfera.

Sabios tan profundos como Cardan, Tycho-Brahé, Kepler y Galileo suponían que la cabellera de los cometas resultaba, de que refractados los rayos del Sol á través del núcleo diáfano de estos astros, como á través de una lente, formaban un haz de rayos luminosos como los que vemos de ordinario en tales casos, como los que hacen perceptibles esas moléculas ó partecillas de polvo que voltean por el aire.

Más tarde Kepler desechó la explicación de Cardan y sostuvo en sus obras que la cola de los cometas resulta de una materia que es *parte intrínseca* del cometa, trasportada al lado opuesto del Sol por los rayos solares. Dió autoridad á esta teoría el que la sustentaron Riccioli, Newton y Euler. Modificaron algo esta teoría, aunque manteniéndola en su esencia Gregory, Pingre, Laplace y Delambre. La verdad es que acerca de este punto, como acerca de tantos otros, nada concreto ha podido descubrir la Astronomía. El resultado que parece más probable es que la mayor parte de las colas de los cometas son cilindros ó conos huecos. Ni una palabra más dicen la observación y el cálculo: ni una palabra más dice la ciencia.

Con la misma duda se deben recibir las observaciones practicadas para saber si los cometas giran sobre sí mismos. La opinión más autorizada se inclina á admitir la revolución de los cometas alrededor de un eje.

Es de un alto interes científico el averiguar si los cometas tienen luz propia ó reflejada del Sol. El medio de conocerlo parece sencillo, es, á saber: ¿Tienen fases los cometas, cuando ocupan respecto al Sol y á la Tierra, una posicion conveniente?

A Cassini le pareció observar que el cometa de 1744 tenía fases. Pero lo que á Cassini le parecieron fases ¿no podrian ser irregularidades del astro?

El planeta Vulcano.—Examinando Le Verrier las observaciones hechas por Mr. Lescarbault, médico de Orgères, muy aficionado al estudio de la Astronomía, que creia tener la seguridad de haber visto por delante del disco solar una manchita redonda que se podia tomar por el disco de un planeta, dió por establecida é indudable la existencia de un planeta nuevo que recibió el nombre de Vulcano.

La observacion de Mr. Lescarbault tuvo lugar el 26 de Marzo de 1859; y Mr. Liais, que analizó detenidamente el disco solar en el mismo instante en el Brasil, negó la exactitud de los hechos aducidos por el astrónomo y médico de Orgères.

Entónces los astrónomos dudaron, y el nombre de Vulcano no hubiera sonado en la Astronomía á no ser por la autoridad científica de Le Verrier.

Le Verrier, astrónomo francés muy distinguido, miraba con igual predileccion las especulaciones más abstrusas de la ciencia que los detalles prácticos.

Al mismo tiempo que los cálculos más intrincados le conducían á producir un planeta, creaba en el Observatorio de París el servicio de aviso á los puertos, que puede salvar de tantos azares y peligros al marino, y el de los despachos agrícolas que actualmente cubren toda la Francia y que serán, imitados en las demas naciones, la base del estudio de los grandes movimientos de la atmósfera.

Manifestaré, para concluir lo que me he propuesto exponer tocante al sistema solar, algo de lo mucho que en estos últimos tiempos han dado que decir las investigaciones del célebre Le Verrier.

Ya he consignado que Le Verrier ha sido realmente un astrónomo de grandes conocimientos. Aunque no se tuvieran en cuenta más que sus estudios de mecánica celeste, su reputacion sería inmensa. Newton, el famoso investigador de las leyes de la gravitacion universal, expuso más de una vez sus temores de que las atracciones de los diversos planetas entre sí deformaran las órbitas y produjeran á la larga la destruccion del sistema planetario. Laplace, Lagrange y Poisson discutieron ámpliamente un problema de tan alta importancia. Le Verrier continuó los cálculos de sus predecesores, y demostró, hasta donde lo permite la situacion actual de la ciencia, la estabilidad del sistema del mundo.

Con la tenacidad propia de los hombres científicos eminentes, persiguió á Vulcano Le Verrier, ya en una, ya en otra forma. Por consejo de

Arago trató de perfeccionar la teoría de Mercurio, é infirió de sus profundas investigaciones matemáticas, que existen dentro de la órbita de Mercurio uno ó varios planetas muy pequeños. Confirman estos resultados algunas observaciones del astrónomo alemán Weber de Peckeloh, y del astrónomo Watson durante la momentánea oscuridad del eclipse de Sol ocurrido el 29 de Julio de 1878.

La verdad es que no hay todavía nada concreto y rigurosamente averiguado respecto al famosísimo planeta Vulcano, más famoso que por otra causa, por la de haber sido su *inventor* un astrónomo francés, y todo el mundo sabe cuán celosos son nuestros vecinos de allende los Pirineos de sus glorias nacionales.

No es reprehensible el celo por la gloria de los conciudadanos. Algo más digno de vituperio es el abandono con que solemos mirarle por desgracia los españoles. Bueno será decir á este propósito, que también España tomó parte en la discusión científica promovida con el descubrimiento de Vulcano.

Por una parte, uno de los astrónomos del Observatorio de Madrid, el Sr. Ventosa, observador asídúo del Sol, dedujo de su cuaderno de observaciones, que la mancha citada por Weber no podía ser debida, dada su permanencia y por consideraciones que no son ahora del caso, á la interposicion de ningun planeta entre la Tierra y el Sol. Airy, director del Observatorio de Greenwich, confirmó, por el exámen de las fotografías solares, las indicaciones tan

atinadas como modestas de nuestro ilustrado compatriota.

Pero hay más todavía. En una de las ciudades más importantes de la provincia de Tarragona, en Tortosa, reside D. José J. Landerer, que desde la oscuridad de su retiro cultiva las ciencias exactas, físicas y naturales con el más puro entusiasmo. Mi amistad con el Sr. Landerer me obligaría á no decir una palabra de sus investigaciones, pues conozco su delicado empeño de pasar desapercibido. Sin embargo, él mismo hubo de publicar en Diciembre de 1878 una hoja titulada «Nota sobre los planetas intramercuriales Vulcano y Pluton,» que tuvo la bondad de remitirme, y de la que juzgo conveniente recoger algunas ideas.

Entre los problemas astronómicos modernos está, por decirlo así, sobre el tapete, la cuestion de los planetas intramercuriales. El Sr. Landerer ha estudiado este asunto minuciosamente, y ha creído probable la existencia de dos planetas, á saber: Vulcano y Pluton.

Envuelta en otras consideraciones atinadas y juiciosas, hace el Sr. Landerer esta indicacion digna de exámen. Los números 0.38, 0.64, 1.08, 1.83, 3.12, 5.30, 9.00, 15.30, 26.00 pueden representar aproximadamente lo que distan del Sol los astros siguientes: Mercurio, Vénus, Tierra, Márte, Asteroides, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

Esos números forman una progresion geométrica muy sencilla, cuya razon es 1.7, y es de advertir que sus diferencias con los que marcan

las distancias verdaderas, siempre muy pequeñas, son tanto menores cuanto más cerca está del Sol el planeta que se considera.

No es aventurado suponer, por lo tanto, que aquella progresion dibuja, permítase la frase, la *silueta de una ley de arreglo de los cuerpos del sistema planetario*.

Llamando D al semi-eje de la órbita de un planeta, y n su número de orden, si se empieza á contar desde Mercurio, se tiene

$$D = 0.38 \times 1.7^{\pm (n-1)}$$

Se toma el signo $+$ ó el signo $-$ segun que el astro de que se trate esté fuera ó dentro de la órbita de Mercurio.

Ahora bien; considera el Sr. Landerer como una mancha solar ordinaria la observacion de Weber, y se fija, en cambio, en los puntos negros que se han visto pasar por delante del Sol, y cuya importancia se ha reconocido por la generalidad de los astrónomos. Son esos números los que corresponden á las siguientes fechas de observacion: 10 de Octubre de 1802; 8 de Octubre de 1819; 12 de Febrero de 1820; 2 de Octubre de 1837; 11 de Mayo de 1845; 12 de Marzo de 1849, 26 de Marzo de 1859; 20 de Marzo de 1862, y 8 de Mayo de 1865.

Estas observaciones se pueden distribuir en los dos grupos que indican los cuadros que se insertan á continuacion:

10 Octubre 1802.	2 Octubre 1839.
2 id. 1839.	12 Marzo 1849.
8 id. 1819.	12 Febrero 1820.
12 Marzo 1849.	26 Marzo 1859.

PRIMER CUADRO.

12 Febrero 1820.		2 Marzo 1862.
20 Marzo 1862.		8 Mayo 1865.
12 Febrero 1820.		11 id. 1845.
26 Marzo 1859.		20 Marzo 1862.

SEGUNDO CUADRO.

Ahora bien; las diferencias de fechas de una sola línea en el cuadro primero, arrojan respectivamente:

13.506 días	=	321	×	42.075.
3.492	=	83	×	42.072.
126	=	3	×	42.000.
3.667	=	87	×	42.149.

Si se agregara á las observaciones del cuadro primero la de Watson (27 de Julio de 1878), se tendría además :

De 1849 á 1878=10.731 días=255×42.082.

¿No se vislumbra, pues, del cuadro primero, la existencia de un astro, interior á la órbita de Mercurio, que verifica su revolucion sinódica en 42.073 días?

Por el mismo camino el cuadro segundo nos conduce á este resultado:

15.277 días	=	900	×	17.085.
1.145	=	67	×	17.089.
9.220	=	54	×	74.031.
1.070	=	64	×	17.031.

De aquí se infiere la existencia de otro astro cuya revolucion sinódica parece ser de 17.084 días,

No conviene al caso presente detenerse más en este género de ideas. Tal vez he dicho demasiado de un astro como Vulcano, cuya existencia, después de todo, es hipotética; pero se me presentaba la ocasión de citar con elogio algunos trabajos españoles, y no era cosa de desperdiciarla. Después de todo, si esto constituye una digresión, se puede perdonar lo que tenga de inoportuna por lo que tiene de patriótica.

Eclipses de Sol y de Luna.— Conocidas las dimensiones del Sol, de la Tierra y de la Luna; averiguada por los astrónomos la forma de estos tres astros, y sabida también la naturaleza de sus trayectorias y de sus movimientos, la cuestión de los eclipses de Sol y de Luna es un problema de geometría del espacio. Fácil sería, adoptando escalas convenientes, representar, por los procedimientos de la Geometría descriptiva, aquellos tres globos, saber las sombras arrojadas y proyectadas, y dar idea clara de los eclipses por este sistema gráfico. No se puede, sin embargo, seguir este camino, dados los escasos conocimientos que se deben suponer en la generalidad de los lectores de este MANUAL.

Pero todo el mundo sabe que el Sol, la Tierra y la Luna cruzan el espacio en muy distintas y varias direcciones. La Tierra gira alrededor del Sol, describiendo su trayectoria elíptica en 365 días, 6 horas, 9 minutos, 10,75 segundos. La Luna, como satélite de la Tierra, gira en torno de nuestro planeta, empleando en re-

correr su órbita 27 días, 7 horas, 43 minutos, 11,5 segundos, prescindiendo del movimiento de la Tierra.

Estos movimientos de la Tierra y de la Luna son reales. No se debe olvidar que las trayectorias son curvas ideales que la imaginación construye para darle cuenta al espíritu del movimiento, que es, en nuestro juicio, un fenómeno compuesto. De manera que la Luna que nosotros concebimos sobre una curva circular, ó mejor dicho, casi circular, recorre en torno del Sol y con relación á él otra curva diferente, de índole muy distinta á la elipse, curva cuya investigación no me propongo ahora. Baste recordar que la Luna gira alrededor de la Tierra como ésta en torno del Sol, y que el ciclo lunar completo es de 29 días, 12 horas, 44 minutos, 2,9 segundos si se refieren los cambios de situación de la Luna á la línea imaginaria que une la Tierra con el Sol.

Si el Sol, la Tierra y la Luna se movieran sobre una línea recta, los eclipses constituirían el estado normal de la Tierra y de la Luna, puesto que, en rigor, la palabra eclipse quiere decir ocultación: significa el acto de quedar *tapado* un astro por otro que obra como una pantalla.

Aquella hipótesis, extraña por completo á la realidad de las cosas, y por cierto absurda, se puede sustituir por otra un poco más verosímil, es, á saber, la de que las dos órbitas de la Tierra y de la Luna estuviesen en el mismo plano, sin dejar de ser por esto elípticas. ¿Qué suce-

¿Cuántas veces se interpondría la Luna entre la Tierra y el Sol? ¿Cuántas veces pasaría la Luna por detrás de la Tierra y quedaría oculta en el manto de sombra que tiende por el espacio nuestro globo?

Para contestar á estas preguntas basta traer á la memoria los tiempos de las revoluciones ó de los giros de la Tierra y de la Luna respecto al Sol. Desde luégo se comprende que el movimiento de la Luna es doce veces más rápido que el de la Tierra, y que, por lo tanto, doce veces en el curso del año se interpondría la Luna entre nuestro globo y el Sol, quedando éste oculto ó eclipsado en totalidad ó en parte, y que, por último, otras tantas veces pasaría por detrás de la Tierra, al través de la sombra, del cono de sombra que proyecta ó lanza nuestro globo por las inmensidades del espacio.

En rigor de verdad, las trayectorias de la Tierra y de la Luna son planas; pero sus planos no coinciden, sino que forman un ángulo diedro de unos $5^{\circ} 8'$. Esta circunstancia altera ya mucho las circunstancias de la hipótesis anterior. Hay más todavía. La línea recta, intersección de los planos que contienen la órbita terrestre (eclíptica), y la órbita lunar, no siempre está próxima á la recta determinada por estos dos puntos: la Tierra y el Sol. Cuando la Luna se dirige de la region inferior de su órbita á la superficie ó viceversa, y no tropieza ni se aproxima á la recta que une la Tierra y el Sol, son imposibles los eclipses. Ocurren, por el contrario, cuando coinciden las dos líneas rectas de

que se ha hecho mérito, ó cuando están muy próximas y la Luna se halla en *oposición* ó *conjunción*, lo que, traducido allenguaje vulgar significa al verificarse las *lunas llenas*, ó *nuevas*.

Eclipse de Luna es aquel en que la Luna desaparece. La Tierra es entónces la *pantalla* que desvia los rayos del Sol. En tales condiciones la Luna se oculta. Este astro nos envia por las noches como una especie de reflector, los rayos que le manda el Sol; pero en el momento del eclipse no llegan á él los rayos solares, y los que caen sobre la Tierra son reflejados hácia el espacio. No se crea, sin embargo, que al penetrar la Luna en el cono de sombra que constituye ó forma la Tierra siempre alumbrada por el Sol, pierde su brillo de repente. Piérdelo, sí, pero de una manera continua y por grados, que la naturaleza no procede jamás bruscamente y como por saltos: piérdelo, ademas, sin llegar á oscurecerse ó eclipsarse nunca por completo. Es natural que así ocurra, porque la Tierra, en su movimiento de traslación y á medida que avanza, es una pantalla que se mueve, que va creciendo por momentos, que oculta porciones de Sol cada vez mayores y en su totalidad luégo: por esto la oscuridad se difunde por grados continuos é insensibles sobre la superficie de la Luna: por esto el fenómeno de los eclipses de Luna es tan difícil de observar: por esto la apreciacion de cuándo empieza y cuándo acaba es delicadísima aún disponiendo de los cronógrafos preciosos contruidos en Suiza por el Sr. Hipp.

Todo esto sin tener en cuenta los efectos de

la atmósfera terrestre, pues cuando ya no llega á la Luna ni un sólo rayo de Sol, las capas gaseiformes que rodean nuestro globo, que son al fin y al cabo de bastante transparencia y refringentes, actúan sobre la luz como un prisma, ó mejor, como una lente convexa, difunden sobre la Luna una ténue claridad, un tinte rojizo, luminoso y característico.

Los eclipses de Sol obedecen en el fondo á las mismas leyes físicas que los de Luna. Deberían llamarse realmente *eclipses de Tierra*, porque despues de todo el Sol no se eclipsa ni puede eclipsarse jamás. Si cuando la Luna deja de recibir los rayos solares por la interposicion de la Tierra el eclipse se llama *de Luna*, claro es que cuando la Tierra deja de recibir los rayos solares por la interposicion de la Luna, el eclipse habria de llamarse *de Tierra*. En efecto, un observador de la Luna que pensase como los de la Tierra y adoptara nuestra nomenclatura, llamaria *eclipses de Sol á los de Luna y eclipses de Tierra á los de Sol*. De esta manera los nombres no dependerian de la naturaleza intrínseca del fenómeno, sino de la posicion del observador.

El afan de nuestra especie de referirlo todo á su manera especial de ver ó de apreciar, ha sido la causa de la nomenclatura de los eclipses. Este afan conduce no pocas veces á grandísimos errores. En Astronomía la excesiva importancia que gratuitamente se ha dado el hombre á sí mismo, y por extension á la Tierra que habita, entorpeció largos años el verdadero conocimiento del mundo.

Tampoco en los eclipses de Sol sobreviene la oscuridad de una manera súbita y como por encanto: tampoco queda la Tierra, ni por un momento, rodeada de tinieblas. La Luna se interpone paulatinamente entre el Sol y la Tierra: la inmensa pantalla lunar ó selenita se mueve, avanza ocultando cada vez una parte mayor del disco solar, y cuando la oscuridad llega á su máximo, aparece una corona de luz en torno de los dos astros que se proyectan sobrepuestos en la bóveda del cielo, corona de luz que nos manda en aquellos críticos momentos (que tanto terror infundieron á las generaciones antiguas), una ténue claridad que ilumina la superficie de de nuestro globo.

Las consideraciones expuestas se refieren á los *eclipses totales*. He empezado por ellos porque en los *parciales* las apariencias son las mismas, salvo el grado de intensidad. Los primeros raràs veces ocurren: los segundos son mucho más comunes.

Ya he dicho al principiar este ligero estudio acerca de los eclipses, que la cuestion es en el fondo de Geometría descriptiva, de perspectiva y de sombras. Manifestaré algo respecto á la extension de las sombras arrojadas por la Tierra y la Luna.

Siendo la Tierra de mucho mayor volúmen que la Luna y estando este astro cerca de aquél, el cono de sombra proyectado por la Tierra es bastante grande para ocultar en su ancho seno todo nuestro satélite, por lo que, cuando la Luna penetra en la sombra terrestre, gradual y

ténuamente se apaga, desapareciendo de la vista de cuantos observadores la contemplan, y quedando privados de su luz todos los que la miran sobre su horizonte ó casi la mitad de la Tierra.

Por el contrario, si el eclipsado es el Sol, el fenómeno se percibe sólo en una corta region del globo terrestre, porque la sombra proyectada por la Luna es de tan pequeñas dimensiones relativas, que apenas alcanza á nuestro globo, el cual no puede quedar envuelto en aquella, á no ser en muy pequeña parte. En otros términos; en el eclipse de Luna hay *inmersión* de la Luna en el cono de sombra de la Tierra: en el eclipse de Sol hay *intersección* de la Tierra con el cono de sombra de la Luna.

Eclipsados el Sol, ó la Luna en un instante dado, el eclipse será visible desde un punto de la Tierra; pero despues los lugares del eclipse variarán entre límites más ó ménos extensos, segun los casos, en virtud de los movimientos de traslación de la Tierra y de la Luna, así como de la rotación terrestre. Los eclipses de la Luna son por lo general visibles sobre más de un hemisferio terrestre, desde que empiezan hasta que terminan, y los de Sol en una region de bastante amplitud, y por lo comun, de pequeña anchura.

En general hay más eclipses de Sol que de Luna, si se considera el conjunto de nuestro globo; pero los eclipses de Luna son visibles desde mayor número de puntos, que vale tanto como decir que los eclipses de Luna son más comunes en cada país que los de Sol. El número

de eclipses de una y otra especie que ocurren todos los años suele variar de 2 á 7.

Determinar un eclipse no sólo es conocer su naturaleza, su extension, y los lugares de la Tierra en que aparece visible, sino tambien el intervalo de tiempo que dura, cantidad muy variable por la latitud ó posicion del observador y por otras causas. Un eclipse de Luna no puede durar más de 4 horas, y uno de Sol más de 4 horas 30 minutos, esto es, media hora más. La oscuridad total no excede nunca de 7 minutos y 58 segundos.

Ademas de los eclipses de Sol y de Luna, hay eclipses de planetas y de estrellas por la Luna, eclipses de planetas entre sí y de estrellas por planetas. Su estudio daría un carácter demasiado científico á este pequeño libro.

Terminaré indicando que los eclipses y las ocultaciones han servido á veces en la cronología.

CAPITULO II.

CONSIDERACIONES VÁRIAS MÁS Ó MÉNOS RELACIONADAS CON EL SISTEMA SOLAR.

El universo contemplado desde puntos de vista diferentes.—Las apariencias de los objetos varían segun los puntos de vista desde los cuales se contemplan. Lo mismo que con un objeto cualquiera sucede con el universo. El modo que tiene de presentarse el universo, visto desde

astros más ó ménos distantes de la Tierra, es una especie de complemento y á la vez una sorprendente aplicacion del sistema planetario. De aquí que tenga su cabida natural en este sitio.

Para un observador situado en el centro del globo solar todas las estrellas parecerian incrustadas en una esfera celeste, como las vemos nosotros desde la Tierra, pero con la diferencia de que el cielo del habitante del Sol está inmóvil, al paso que el nuestro gira de oriente á occidente.

En la hipótesis de que se trata, las fases de Mercurio y de Venus no existirian para estos dos planetas ni para los demas; no habria medio de averiguar si los planetas tienen luz propia; los movimientos de los planetas á través de las constelaciones se harian en el mismo sentido, pero con velocidades desiguales; estos astros no estarian sujetos en su carrera á las irregularidades que tanto embarazaron á los astrónomos antiguos y á los observadores modernos.

El astrónomo situado en el Sol no tendria ningun medio para determinar las distancias absolutas ni las relativas de los astros: las leyes de Kepler serian para él letra muerta; carecerian de sentido.

Nada, pues, más imperfecto ni más sencillo que la *ciencia astronómica* para un observador situado en el *centro del globo solar*.

Para un observador colocado sobre Mercurio, el Sol se presentaria como un disco plano y

luminoso, cuya superficie sería á la del disco solar que distinguimos desde la Tierra, como 6,7 es á 1.

La temperatura, debida principalmente á los rayos solares, sería mucho más elevada en Mercurio que en la Tierra.

El habitante de Mercurio verá girar el cielo estrellado de oriente á occidente: la revolucion será de 24 horas, 5 minutos; y valuará su año solar en 88 de nuestros dias.

Desde Júpiter, el Sol se presenta como un disco de 5 minutos 46 segundos de diámetro.

La cantidad de calor y de luz enviada por el Sol á la superficie de Júpiter está, respecto á la que una porcion idéntica de superficie recibe á la distancia de la Tierra, en razon inversa de los cuadrados de las distancias, ó como 0,037: 1.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que tales números no bastan para comparar los climas de Júpiter y de la Tierra, sino con ciertas salvedades que se deben hacer tambien respecto á lo que ántes dije al ocuparme de la temperatura de Mercurio. En efecto, los planetas están rodeados de ciertas envolventes gaseosas cuyas propiedades físicas, cuya diafaneidad y cuya atermancia pueden influir en los climas acaso más que los mismos rayos solares.

Las estrellas, vistas desde Júpiter, salen por el oriente y se ponen por el occidente; su revolucion completa es de un poco menos de diez horas, y el Sol parece recorrer, para el habitante de Júpiter, la esfera celeste, con un movimiento de occidente á oriente, tardando en pa

sar delante de las constelaciones zodiacales 11 años, 10 meses y 17,6 dias.

El ecuador de Júpiter coincide casi con el plano de su órbita, con su eclíptica. De aquí se infiere que en el planeta Júpiter no hay cambio de estaciones. Disfrutan sus habitantes de una sola estacion, de una primavera perpétua en el sentido técnico, no en el vulgar de esta palabra, ó en otros términos, la accion luminosa y calorífica del Sol es siempre la misma en cada punto determinado del planeta, si bien es variable de un punto á otro.

Los satélites ó las lunas de Júpiter giran á su alrededor en mucho ménos tiempo del que emplea la Luna en hacer su revolucion en torno de la Tierra. De aquí podria sacar útiles medios el habitante de Júpiter para perfeccionar su geografía y su navegacion..... Por este camino iríamos pronto á sustituir el rigor de la Astronomía por las conjeturas absurdas del astrólogo.

Respecto á Saturno, se podria llegar á consecuencias parecidas á las que se han expuesto tocante á Júpiter. Añadiré tan sólo que algunos han sostenido que la naturaleza como causa inmediata, ó la Providencia como causa mediata, rodeó á Saturno de su anillo para suplir la debilidad de los rayos solares. Esta idea, infundada en la esfera especulativa, es de todo punto inadmisibile en el campo de la observacion, pues el anillo de Saturno no se ve en dos grandes zonas de ese planeta que se extienden desde los polos y tienen una dimension en latitud de $23^{\circ} 24'$.

Voy á terminar estas ligeras consideraciones indicando cómo se presentarían los fenómenos astronómicos á un observador colocado sobre la Luna.

Hay en la Luna dos hemisferios, uno visible y otro invisible para los habitantes de la Tierra. Para el observador que ocupa el hemisferio de la Luna visible desde la Tierra, las estrellas se mueven de oriente á occidente, pero con una lentitud tal que la velocidad de los astros siderales próximos al ecuador lunar no debe ser mayor que la de la estrella polar para un habitante de la Tierra.

El movimiento aparente del Sol es tambien muy lento. En un lugar cualquiera de la Luna, tras un dia de una duracion de unos quince dias terrestres, vendrá una noche de igual amplitud. Júzguese del intenso calor de los dias lunares y del extremado frio de sus noches.

Pero lo que á los habitantes de la Luna les sorprenderá sobre todo, si los hay, es el aspecto de la Tierra, es la multitud de fenómenos admirables que les ofrece nuestro globo. Desde la Luna se verá efectivamente la Tierra como un astro brillante, cuyo diámetro será cuatro veces mayor que el de la Luna vista desde nuestro globo, y que tendrá fases idénticas á las que nosotros percibimos.

Examinada la Tierra por un habitante de la Luna con un gran telescopio, aparecerá como un globo dotado de un movimiento de rotacion sobre su centro de 24 horas, y como en una especie de sorprendente cosmorama, pasarán de-

lante de su vista los continentes y los mares, que podrá distinguir, si no por su naturaleza, por su brillo: las partes más brillantes correspondrán á los continentes y las más oscuras á los mares.

Reflexiónese además sobre los fenómenos que se ofrecerán al habitante de la Luna, al *selenita*, como le llaman algunos, cuando viaje allá en su astro y pase del hemisferio desde el que se ve la Tierra al opuesto, y al contrario, y no se podrá ménos de inferir que los espectáculos que presenta nuestro globo al exámen de los selenitas constituyen una las primeras bellezas de la Creacion.

Resúmen general.—La etimología de la palabra *Astronomía* define bien esta ciencia: *astron*, astro; *nomos*, ley. Parte de la observacion, pero requiere, más todavía que un exámen detallado del cielo, un razonamiento vigoroso del espíritu. Cada progreso astronómico aparece como un esfuerzo del hombre para separar en cada fenómeno lo subjetivo de lo objetivo, lo que está en el *observador* de lo que está en lo *observado*.

El astrónomo ha fijado las grandes leyes de la Creacion y su *permanencia*. Al golpe de luz que vierten estas leyes sobre nuestro espíritu desaparece lo sobrenatural en lo que tiene de supersticioso; sustituyen los grandes fenómenos cósmicos á la milagrería; y todo aparece gobernado por el freno que puso á la materia la Divinidad.

La Astronomía primitiva, fundada en el exá-

men directo ó en la inspeccion ocular de los astros, tuvo por límite la idea del *Zodiaco*, faja celeste en la que se hallaban inscritos el Sol, la Luna y los planetas entónces conocidos.

La Astronomía china constituyó siempre una funcion del Estado. Ha servido en el celeste imperio para preparar todos los años el calendario que, trasmitido por el Fa—sse (Gran historiador) á los altos empleados, les proporciona la base para escoger un orden administrativo. Predice ademas los fenómenos más curiosos. Las primeras observaciones chinas de utilidad astronómica son de Tcheou-Kong, príncipe que vivía 1100 años ántes de la era cristiana.

La Astronomía caldea tiene un antiquísimo abolengo; pero las primeras observaciones caldeas que han llegado hasta nosotros son de 720 años ántes de nuestra era. Los caldeos comprendieron con bastante claridad lo que eran los cometas, y algunos aseguran que midieron la Tierra con mucha exactitud.

La Astronomía egipcia está envuelta en el mayor misterio. Un anuario astrológico recogido por Champollion en los sepulcros de Ramsés VI y de Ramsés IX, prueba que los egipcios no tenían una idea muy equivocada del movimiento del Sol.

La Astronomía de los indos es en realidad la Astronomía griega de la escuela de Alejandría.

La Astronomía griega antigua representada por Thales, Anaximandro, Anaximeno, Anaxágoras, Pitágoras, Demócrito, Eudoxo y Me-

ton se propuso primero un objeto más bien civil que científico. El último de estos sabios es conocido por su observacion del solsticio de verano el año 432, que le permitió introducir en el calendario griego el ciclo de 19 años, correspondiente á 235 lunaciones; ciclo que, terminado, marcaba la coincidencia en el cielo del Sol y de la Luna con sus primitivas posiciones. Doce de esos años eran de 12 meses y 7 de 13. Entre estos meses 110 eran de 29 dias y 125 de 30. Este arreglo, propuesto por Meton á la Grecia en los juegos olímpicos, fué recibido con general aplauso, y adoptado por todas las poblaciones y colonias griegas. Equivalia el arreglo propuesto por Meton á suponer que el año solar era de 365 dias, 6 horas y 19 minutos; error que puso en claro la experiencia. El gnomon fué el único instrumento conocido por Eudoxo.

La Astronomía griega desde la fundacion de la Escuela de Alejandría hasta los árabes, ofrece ya un sistema combinado de observaciones hechas con instrumentos propios para medir ángulos. Hasta entónces casi no se habian estudiado más fenómenos que las *estaciones* y los *eclipses*. Desde Aristóteles y Timocharis, primeros observadores de la Escuela de Alejandría, empiezan á rectificarse los antiguos errores. Aristarco imaginó un método ingenioso para calcular las distancias relativas de la Tierra al Sol y á la Luna. Hipparco determinó la duracion del año, construyó las primeras tablas solares que se conocen, descubrió la para-

lage de la Luna y la precision de los equinoccios. Tres siglos separan á Hipparco de Tolomeo, el autor del célebre sistema que no hay para qué recordar ahora.

La Astronomía desde Tolomeo hasta el renacimiento de las letras europeas fué cultivada casi exclusivamente por los árabes. A mediados del siglo VIII el califa Almanzor impulsó mucho el estudio de los astros. A fines del siglo XIII Ko-Cheou-King, hizo construir aparatos astronómicos que se esparcieron por los pueblos orientales.

La Astronomía de la Europa moderna recopiló la herencia de los árabes. Nuestro rey Don Alfonso el Sabio criticaba la organizacion del mundo; pero del mundo tal como lo imaginaba Tolomeo. Purbach, Regiomontanus, Waltherus, y sobre todo Copérnico, produjeron una revolucion astronómica. Kepler (1571-1631), Galileo (1564-1642), Huyghens (1629-1695) y Newton (1642-1727), son las grandes columnas en que descansa el colosal edificio de la Astronomía moderna.

Parece que con Newton ha terminado la evolucion histórica de la Astronomía: los descubrimientos posteriores á Newton son simples mejoras, pero no ideas nuevas ni fundamentales. Copérnico abre y Newton cierra un período único en la esfera del humano espíritu: único por la alteza de los objetos estudiados y de los resultados obtenidos. La Geometría y la Mecánica han sido las escalas por donde han subido aquellos sabios al conocimiento del mundo planetario.

La Astronomía sideral es la Astronomía del porvenir. ¿Quiénes serán el Copérnico y el Newton de la Astronomía sideral?

La Cosmogonía tal vez sea el eterno misterio del orden astronómico para la mente humana.

Los filósofos españoles también se ocuparon de Astronomía. El célebre libro intitulado «Los problemas de Villalobos,» propone, entre otras cuestiones, las siguientes:

¿Por qué el Sol desde su esfera
hace un día natural
menor que otro que es su igual,
siendo toda una carrera?
Y ¿por qué sus compañeros,
Mercurio y Venus, con él,
delanteros ó zagueros,
tampoco se apartan dél?

Poco más adelante dice el mismo autor:

¿Por qué la Luna, dotada
de belleza y señorío,
no tiene de su navío
claridad sino prestada?
¿Y se hace en todos meses
cuarta y media, y toda entera
por una y otra ladera,
con otros mil entremeses?

Las explicaciones de Villalobos y de sus contemporáneos, las de Raimundo Lulio en sus artificiosas producciones, y las de otros escritores que se pudieran citar, prueban que la As-

tronomía no fué muy cultivada por nuestros antepasados. Los poetas entonaron en España bellísimos cantos al Sol, á la Luna y á las estrellas. Los eruditos se ocuparon de lo que los astrónomos extranjeros hacían; pero el cultivo de la *ciencia astronómica* estuvo abandonado. A nuestros héroes no ha gustado por lo común «la perezosa diligencia de los estudios.»

Observatorios. —La célebre torre de Belus fué un observatorio de los astrónomos caldeos; el sepulcro de Osymandias lo fué de los egipcios; en la isla de Rodas tuvieron el suyo los griegos y en él trabajó Hipparco; sobre la Biblioteca de Alejandría hubo otro de que fué director Eratóstenes; en China existieron observatorios desde la más remota antigüedad, observatorios que sirvieron luego de base para formar los del Colegio de los jesuitas portugueses, de las misiones francesas y el de San José.

Los árabes fundaron los observatorios del monte Mokattam (principios del siglo X), de Meragah (1250), de Samarcanda (1475) y otros de no tanta nombradía.

En 1561 se construyó el observatorio de Cassel por Guillermo IV de Hesse. Tycho-Brahe hizo en el estrecho de Sund, entre Elseneur y Copenhague, el magnífico observatorio de Uranienborg ó Uranienberg, metrópoli durante 17 años de la Astronomía europea. El observatorio de Copenhague se terminó en 1656.

Bien pronto se hicieron notables los observatorios creados en París por Luis XIV en 1672 y en Stockolmo. En este último se distinguieron

Longomontanus y Ræmer. Cárlos II de Inglaterra costeó en 1675 el observatorio de Greenwich, cerca de Lóndres, al que han hecho famoso Flamsteed, Halley, Bradley, Herschel, etc. En Nuremberg se levantó en 1678 el observatorio de Eimmart. El observatorio de Berlin (1711), del que fué Director Bode, cuya ley empírica (ley de Titius) se ha citado en este MANUAL.

Han contribuido sucesivamente al progreso de la Astronomía, en mayor ó menor escala, los observatorios de Gœttinga (1734), célebre por los trabajos de Tobías Mayer; de Viena (1755), debido á la reina María Teresa; de Upsal (1739), en que tantas investigaciones llevó á cabo Celsius y en el que estudió Warguetin con gran ahinco los satélites de Júpiter; de San Petersburgo (1725, incendiado en 1742 y restaurado en 1748); el de Palermo (1787), inaugurado por Piazzi con el descubrimiento de Cérés; de Leide (1690); de Altorf (1713); de Bolonia (1714); de Varsovia; de Grodno; de Posen (1725); de Utrech (1726); de Lisboa (1728); de Pisa (1730); de Roma; de Parma; de Venecia; de Murano (1739); de Giessen (1740); de Kremsmunster (1748); de Gratz; de Mittau; de Wilna; de Greiffswalden; de Lund; de Sevilla (1760); de Praga (1760); de Milan (1765); de Wurtzbourg (1768); de Richmond; de Méjico (1770); de Carlserona (1771); de Oxford; de Manheim; de Florencia (1772); de Lambach (1778); de Buda (1780); de Erlan (1781); de Malta (1783); de Cracovia (1787); de Hall; de Gotha; de Leipzig; de Lilienthal (1788), etc., etc., etc.

En nuestros días las naciones más cultas se dedican con entusiasmo á la Astronomía y pueblan su suelo de observatorios. En Inglaterra hay *once* observatorios públicos (Greenwich, Liverpool, Oxford, Ports-mouth, Cambridge, Chatham, Durham, Dublin, Armagh, Edimbourg, Glasgow), y veinte y seis privados, de los que se ha hecho célebre el de Lockyer. Posee además Inglaterra muchos observatorios en sus colonias, tales como el del Cabo de Buena Esperanza, el de Bombay, el de Madras, el de Trevandrum en la India, los de Willamstown y de Sydney en la colonia Victoria (Nueva Gales del Sud) y el de Hobart,—Town, en Van-Diemen.

Alemania tiene quince observatorios públicos y dos privados. Son los más dignos de mencionarse los de Berlin, Kœnigsberg, Bónn, Leipzig, Munich, Dessau y Bilk.

En Austria hay los notabilísimos observatorios de Viena, Praga, Olmutz, Trieste, Kremsmuster y Buda.

Rusia cuenta establecimientos tan sobresalientes como Pulkowa-Dorpat-Kasan, Kiev, Wilna, Varsovia, Nicolaïef, Mittau y Helgsinfors.

En Roma son dignos de estudio los dos observatorios de Roma (Colegio y Universidad), y los de Florencia, Milan, Nápoles, Pádua, Módena, Turin, etc.

Francia apénas cuenta con otros observatorios que los de París y Marsella.

Suiza tiene los observatorios de Berna, Génova y Zurich.

Los Estados Unidos ofrecen á los aficionados á esta clase de estudios diez y seis observatorios públicos y siete privados. Los más importantes son los de Ann-Arbor, Cambridge, New-haven, Washington, Filadelfia y Cincinnati.

España cuenta con dos observatorios astronómicos: el de Madrid y el de San Fernando.

Don Carlos III, monarca cuyo celo por las ciencias y las artes es de todos bien conocido, ideó el establecimiento en Madrid de un observatorio astronómico. Al efecto encomendó al arquitecto D. Juan Villanueva los planos del edificio; pero desgraciadamente falleció muy en breve. Carlos IV dispuso que se llevase á cabo el proyecto y que se eligiera el sitio más á propósito. Designó Villanueva con acierto el cerri- llo de San Blas, y se empezaron las obras del observatorio en 1789. El edificio no quedó concluido hasta los primeros años del siglo actual.

Antes de que se concluyera el observatorio se organizó el personal científico, y se adquirieron instrumentos astronómicos. Los aparatos se instalaron provisionalmente en una construcción que se levantó para este objeto cerca de San Jerónimo, donde se ejecutaron las primeras observaciones. Los observadores eran además catedráticos y explicaban Trigonometría esférica, Geografía, formación del calendario, Meteorología, cálculo diferencial é integral, Mecánica racional y Astronomía, bajo la inteligente dirección del abate D. Salvador Jimenez de Cisneros.

En 1796, y para llevar á cabo el levantamien-

to del mapa de España, se creó el cuerpo de Ingenieros cosmógrafos, cuyos jefes eran el Director y los Astrónomos del observatorio. En 1864 fué suprimido este cuerpo, cuando apenas habia tenido tiempo más que para la organizacion de sus trabajos. Poco más tarde se recibió de Lóndres, donde hubo de construirse, un gran telescopio de Herschel, de 40 piés de distancia focal, que fué instalado cerca del observatorio, bajo una cúpula giratoria.

Durante la guerra de la Independencia los franceses se apoderaron del observatorio, lo convirtieron en cuartel, destruyeron los instrumentos, la biblioteca y archivo, rompieron las puertas, las ventanas y hasta los capiteles y cornisas del edificio: solo se salvaron los dos grandes espejos metálicos del telescopio de Herschel.

Por último, despues de algunas tentativas infructuosas, hechas en 1819, 1835 y 1841, nada se consiguió hasta que se emprendieron las obras de restauracion en 1847.

En 1851 se empezaron á adquirir los instrumentos de primer orden con que cuenta hoy el observatorio de Madrid, en el que los medios de que dispone el personal no están á la altura de su indisputable competencia.

La fábrica del observatorio de San Fernando se terminó el año de 1789. Entónces fuéron trasladados á él los libros que existian en el observario de marina de Cádiz. Más tarde, don Gabriel Ciscar envió instrumentos de París y cuatro colecciones del sistema métrico de pesas

y medidas, como resultado del Congreso reunido en el Instituto de Francia.

Sucesivamente se ha ido enriqueciendo el observatorio de San Fernando hasta contar aparatos tan notables como el círculo meridiano de Troughton y Simms, la ecuatorial de Brunner, el círculo mural y anteojo de Jones, el péndulo de Dent y varios instrumentos meteorológicos autógrafos.

Aquí doy por concluida la tercera parte de las cuatro que forman este MANUAL.

El sistema planetario es en rigor toda la Astronomía. Su estudio exige grandes conocimientos. Quien sólo conozca del Sol y de los planetas lo que se consigna en las páginas que preceden, habrá tal vez aprendido únicamente á admirar á Dios por el camino de la ciencia.

P A R T E I V .

Universo estelar.

La ciencia no se detiene ante el espectáculo del Universo estelar: la imaginación se pierde buscando una ley que lo sintetice; la vista se fatiga si trata de contar los astros que lo pueblan; el espíritu se aparta involuntariamente como delante de un abismo insondable... el pensamiento, sin embargo, analiza y no retrocede jamás.

A. SECCHI.

CAPÍTULO PRIMERO.

OBSERVACIONES PRELIMINARES.

La Astronomía sideral.—La Astronomía sideral es la parte más bella del estudio de los cielos.

Distan de conocerse las propiedades de las estrellas como las de los planetas. Y como donde no llega la razón alcanza la fantasía, los más audaces pensadores han dejado en esta parte de la ciencia las huellas indelebles de su genio. La

Astronomía sideral es la novela de la Astronomía.

Rápida ojeada sobre la estructura del universo estelar.—Se ha examinado en el capítulo tercero el sistema que forman los cuerpos inmediatos al Sol. A pesar de las inmensas distancias á que se hallan unos de otros, es lo cierto que se les puede suponer próximos cuando se les compara con las estrellas fijas, pues mirados todos reunidos desde la bóveda celeste, aparecen como un sólo punto que flota en el universo.

El espacio que separa la órbita de Neptuno de las estrellas fijas y las estrellas fijas entre sí, carece de materia visible si se exceptúan algunos fragmentos de nebulosa.

En el sistema constituido por el Sol, los planetas y los satélites, reina el orden más admirable: la fuerza de la gravedad y la centrífuga retienen á los astros en su órbita. Nada más sorprendente que semejante fuerza centrífuga, lo mismo en el mundo moral que en el mundo de la materia. Montesquieu decia, que así como el mundo político se sostiene por el deseo interior é inquieto de cada uno por salirse de su esfera, el mundo físico subsiste porque cada partícula tiende á alejarse del centro. Es imposible concebir una comparacion más bella ni más exacta.

Ocurre preguntar ahora si los millones de sistemas análogos al planetario que se nos figura ver en el cielo, obedecen á las mismas leyes y guardan en su constitucion reglas precisas. En

otros términos, ¿cuál es la estructura del universo estelar?

El estudio del sistema planetario revela que la Tierra es tan sólo uno de los ocho planetas que giran alrededor del Sol, y por cierto de los de menores dimensiones. Extendiendo más allá el exámen de los cielos, se descubre que el Sol que nos alumbra es uno de los innumerables soles que pueblan el espacio, y que el sistema planetario es tan insignificante respecto á la Creacion, como la Tierra respecto al sistema solar.

Los antiguos creian que en el firmamento se hallaban incrustados los astros, y que detras de él se extiende el empíreo ó region del fuego. Galileo y Kepler sustituyeron á esta idea fantástica la realidad de las cosas. El primero descompuso la Vía Láctea en estrellas por medio del telescopio; y el segundo, sentó que el Sol era simplemente una de las innumerables estrellas que surcan el espacio y que se distingue de las demas en su mayor proximidad á la Tierra.

Las dificultades que ofrece la resolucion de los problemas del universo estelar son tan grandes, que puede asegurarse que, discutiéndolas, nos encontramos frente á frente del infinito en el espacio y en el tiempo, sobre todo cuando se desea conocer ademas del sistema del mundo la historia del universo.

Esta parte de la Astronomía carece del rigor de las precedentes. Gran número de sus investigaciones son, por decirlo así, ultracientíficas

CAPÍTULO II.

LAS ESTRELLAS TALES COMO SON.

Número y órdenes de estrellas y de nebulosas.—A simple vista se pueden contar en la esfera celeste unas 5.000 estrellas. Es claro que este número varía con el observador, con el estado de la atmósfera y con otra porción de circunstancias. El telescopio descubre millares de estrellas demasiado diminutas para ser notadas á simple vista, sin el auxilio de instrumentos físicos. Tal vez excedan de 50 millones las estrellas conocidas.

Desde la más remota antigüedad clasificaron los astrónomos las estrellas más notables segun su brillo aparente en órdenes ó magnitudes. Admitieron seis magnitudes por de pronto. Las más brillantes corresponden á la primera magnitud.

El número de estrellas de cada magnitud entre el polo norte y el círculo 35° al sud del ecuador, se expresa en el siguiente cuadro:

De	1. ^a	magnitud.	14	estrellas.
—	2. ^a	—	48	—
—	3. ^a	—	152	—
—	4. ^a	—	313	—
—	5. ^a	—	854	—
—	6. ^a	—	2.010	—

Total de estrellas perceptibles á simple vista.. 3.391 —

Estos números, en los que se comprende que hay mucho de apreciación, han sido dados por el astrónomo alemán Heis.

El sistema de expresar la importancia de las estrellas que se pueden observar á simple vista por una serie de números se ha extendido también á las estrellas que no son visibles sin el empleo de telescopios. Si se forma una larga serie de estrellas por el orden de su magnitud, á medida que se desciende en la escala resulta, entre ciertos límites, que la cantidad de luz emitida disminuye en razón geométrica. Digo entre ciertos límites, porque el arreglo de magnitudes se hace en virtud de apreciaciones individuales.

Muchos estudios se han realizado sobre las series de magnitudes de estrellas; pero yo prescindiré de ellos, porque la verdad es que dicha clasificación en órdenes ó magnitudes es puramente artificial. Las estrellas varían de magnitud y de brillo según gradaciones insensibles: no hay órdenes, no hay magnitudes: hay continuidad. Muchos astrónomos admiten, en efecto, décimas de orden, y entre las estrellas de 6.^a y de 7.^a magnitud, citan otras del orden ó de la magnitud

6.1,....6.2.....6.3.....6.9.

Es natural que se haya tratado de determinar la intensidad de la luz de las estrellas, primer elemento de su brillo, de su magnitud, de su orden.

El problema es más difícil de lo que á prime-

ra vista parece. Lo que desde luégo se necesita es un fotómetro adecuado al objeto.

Para comparar la luz de las estrellas el fotómetro más en uso es el de Zöllner. Por medio de este instrumento la luz de las estrellas, tal como aparece cuando se examinan á través de un telescopio pequeño, se compara (en color y en intensidad) con la luz de una estrella artificial que puede variarse voluntariamente. Una serie completa de medidas con aquel instrumento, que abraza las estrellas más brillantes, es una de las necesidades de la Astronomía moderna. El astrónomo que más ha trabajado en este sentido es el profesor Seidel, de Munich, que ha hecho sus estudios en 209 estrellas. Uno de sus resultados más interesantes es que Sirio emite por lo ménos cuatro veces más luz que ninguna otra estrella visible en nuestra latitud.

Catálogos de estrellas.—En casi todas las épocas en que ha florecido la Astronomía se han formado catálogos de estrellas que dan sus posiciones en el cielo y sus magnitudes respectivas. El primero de los catálogos de estrellas que ha conseguido llegar hasta nosotros es el de Hipparco, que se publicó en el Almagesto de Tolomeo; Hipparco vivió 150 años ántes de la era cristiana. El catálogo de Hipparco contenía sólo 1.080 estrellas. El número de estrellas consignado en el Almagesto es únicamente de 1.030.

Al catálogo de Hipparco le sigue en antigüedad el de Ulugh Beigh, hijo del monarca tártaro Tamerlan. Casi todas las estrellas son

las mismas del catálogo de Tolomeo, pero sus lugares fueron corregidos por las observaciones de Samarcand. Consta de 1.019 estrellas. Después del catálogo de Ulugh aparece en el orden cronológico el de Tycho Brahe, que contiene 1.005 estrellas.

Los catálogos modernos se pueden dividir en dos grupos, á saber: aquellos en los que la posición de cada estrella en la esfera celeste se fija con absoluta precisión, y aquellos en que se determina aproximadamente sólo el sitio de cada estrella: lo bastante, sin embargo, para distinguirla de las que se hallan á su alrededor. Los catálogos del primer grupo son muy numerosos, pero necesariamente incompletos por el gran trabajo que exige la determinación exacta de la posición de una estrella. Acaso no pasarán de 12.000 las estrellas cuyas posiciones se han determinado con exactitud astronómica. Uno de los mejores catálogos es el Sternverzeichniss de Argelander, que enumera las estrellas comprendidas entre el polo y dos grados al sud del ecuador, hasta la novena magnitud. Consta de más de 300.000 estrellas. Esta especie de *gran censo de estrellas*, se ha continuado hácia el polo sud por las observaciones llevadas á cabo por el Dr. Gould en Córdoba, en la América Meridional.

Division en constelaciones.—Las estrellas no aparecen distribuidas con regularidad en el cielo. Por el contrario, están agrupadas con cierto desorden: los grupos que forman se denominan *constelaciones*. Trazando líneas ideales que cir-

cunscriban dichos grupos de estrellas resultan figuras caprichosas que, con un poco de buena voluntad ó de imaginacion creadora, representan animales. Por esto, sin duda, en las más apartadas edades de la historia recibieron las constelaciones los nombres de ciertos animales, fabulosos unos, reales otros, nacidos todos en la época heroica ó mítica de la Grecia, y que recuerdan muchos la célebre expedicion de los argonautas.

Alfabeto de las estrellas.—Es difícil designar individualmente las estrellas dentro de cada constelacion. En los catálogos antiguos se conseguia este fin expresando la parte de la constelacion que ocupá cada estrella. Así se decia: el ojo del Toro, la cola de la Osa mayor, la espalda de Orion, etc. Los árabes, cuya astronomía fué tan estudiada por nuestro D. Alfonso el *Sabio*, adoptaron el sistema de dar nombres especiales, de origen griego, á las estrellas más brillantes, como, por ejemplo, Sirio, Arturo, Procion, Aldebarán, etc. El método más en uso en la actualidad fué ideado por Bayer, astrónomo de Augsburg, en 1610, quien le dió á conocer publicando un mapa estelar, en el que las estrellas de cada constelacion se designaban por las letras α , β , γ , etc., del alfabeto griego. Las primeras letras representan las estrellas más brillantes. Cuando el alfabeto griego se agota en una constelacion sin incluir todas las estrellas notables, se acude al alfabeto latino.

El sistema de Bayer se aplica á todas las estrellas que él marcó: otras estrellas se designan

por números establecidos en el catálogo de Flamsteed: otras, en fin, por los números que las acompañan en cualquier otro catálogo bien conocido. Cuando estos medios no se pueden aplicar, es indispensable fijar en el cielo la posición del astro, por el empleo de sus coordenadas.

La Vía Láctea ó el camino de Santiago.— ¿Quién no ha oído hablar de la Vía Láctea ó del camino de Santiago? No sólo en el estudio de la cosmografía, sino también en las más vulgares conversaciones y hasta en los cuentos infantiles, se citan hechos y cosas más ó menos exactas, más ó menos maravillosas, acerca de la Vía Láctea.

¿Qué es la Vía Láctea? A simple vista, la Vía Láctea aparece como un camino en la bóveda celeste, como un arco de nubes, que tiene sus estribos en dos puntos opuestos del horizonte, y que levanta su clave á mayor ó menor altitud según la posición de la esfera celeste respecto á la del observador. De una vez no se puede contemplar más que la mitad de la Vía Láctea, porque sólo esa mitad está por encima del horizonte: la otra mitad está debajo de él y es opuesta á la mitad visible. Si la Tierra fuera trasparente, la Vía láctea aparecería como un cinturón que la rodeara.

El telescopio demuestra que la Vía Láctea proviene de la luz de miríadas de estrellas tan diminutas que no se perciben separadamente á simple vista.

Las observaciones modernas demuestran que

las estrellas telescópicas, en vez de estar distribuidas con más ó ménos regularidad en un número determinado de constelaciones, están principalmente condensadas en la region de la Vía Láctea. Esta circunstancia sirve de base á las teorías de que luégo hablaré sobre la estructura del universo.

Grupos de estrellas.—A pesar de la condensacion gradual de estrellas hácia la Vía Láctea, existen tambien grupos de estrellas, por decirlo así, independientes. Entre estos grupos los hay, como el de las Pleiades, compuestos de estrellas visibles sin el auxilio de instrumento alguno, al paso que otros constan de centenares y aún millares de estrellas sólo perceptibles por medio de buenos telescopios. El grupo Próesepea, en la constelacion Cáncer, aparece en una buena noche como una masa nebulosa de luz. Teniendo á mano un pequeño telescopio uno de los más preciosos grupos de estrellas que se pueden observar está en la constelacion Perseo.

Quizás no haya fenómeno celeste más digno de atencion que los grupos de estrellas: algunos, en efecto, se hallan tan lejos, que hasta con el auxilio de los telescopios de mayor poder no aparecen sino como ténues manchas de luz difusa. Su distancia á nosotros, no sólo es difícil de medir, sino casi imposible de expresar. La imaginacion descubre en esos grupos de estrellas reuniones de planetas, tal vez tan grandes ó mayores que el nuestro, tal vez como él habitados..... especie de *colonias* de vida en los

límites extremos de la creacion, iluminadas por sus correspondientes soles, desde las cuales aparecerá nuestro sistema planetario como una tenue nube luminosa. Para los habitantes de cada astro, de cada grupo de estrellas, el problema de la pluralidad de mundos será tan irresoluble como para nosotros.

Juan Herschel hizo en el Cabo de Buena Esperanza estudios de gran mérito sobre los grupos de estrellas.

Nebulosas.—Se llaman nebulosas ciertas masas de luz difusa. Examinadas con telescopios poderosos se resuelven á veces en grupos de estrellas. Sin embargo, no todas las nebulosas pueden considerarse como resolubles, pues muchas son masas gaseiformes globulares, segun demuestra el espectróscopo.

Entre las nebulosas notables se puede citar la de Orion, estudiada por Messier, los dos Herschel, Rosse, Struve y otros observadores. Su espectro fué analizado en el invierno de 1864 á 1865 por Secchi, y Huggins aisladamente, de cuyo análisis se dedujo que la nebulosa de Orion es una mezcla de hidrógeno y ázoe. Tambien es digna de llamar la atencion la gran nebulosa de Andrómeda, que parece un objeto traslúcido iluminado: se nota á simple vista; pero si se observa con telescopio y otros aparatos, se demuestra que es un esferoide sólido ó líquido. Indicaré, por último, algo acerca de la nebulosa anular de Lyra. Su forma general es la de la fig. 21, segun el profesor E. S. Holden. Con telescopios imperfectos, aparece como

un anillo, y con otros de mas alcance como de forma elíptica.

Algunas nebulosas han cambiado de aspecto.

El número de nebulosas suele ser mayor cuanto menor es el de estrellas. Por el contrario, cerca de la Vía Láctea, el número de nebulosas disminuye.

Movimiento propio de las estrellas.—Sin echar mano de procedimientos científicos ingeniosos, sería imposible sostener que las estrellas se mueven. Parece, en efecto, que las estrellas conservan la misma posición relativa en la esfera celeste, generación tras generación. Si Job, Hipparco ó Tolomeo se hubieran podido transmitir sus impresiones respecto al cielo, se vería que eran idénticas: de igual modo contemplaron sin duda los tres á Aldebarán á Orion y á las Pléiades, sin que una sola estrella mudara de sitio. Los métodos delicados de la Astronomía moderna, demuestran que la invariabilidad de las estrellas no tiene nada de real: que las estrellas se mueven actualmente..... Tan cierto es, que el movimiento continuo, absurdo de la Mecánica, es la ley del mundo. Todos los astros se mueven, y se mueven continuamente.

El movimiento de las estrellas, llamadas fijas con inexactitud notoria, es lentísimo: para observarle se necesitan á veces miles de años. Es preciso, en efecto, tomar períodos de centenares de miles de años, para que se observe un cambio sensible en el aspecto de las constelaciones.

En la Astronomía como en la Geología, el factor tiempo ejerce una gran influencia. Un pe-

ríodo inmenso, un lapso considerable de tiempo, impresiona las más veces al hombre, quien compara este lapso ó aquel período con la corta duracion de su vida; pero la naturaleza, respecto á la cual son infinitos el espacio y el tiempo, usa del uno y del otro sin medida ni límite en los colosales procesos de su historia.

Las estrellas más brillantes tienen los movimientos más perceptibles. Esta regla general otrece, sin embargo, excepciones. La estrella de movimiento propio más notable, á saber, la Groombridge, 1.830, es tan sólo de sétima magnitud. Sigue á esta estrella, por la rapidez del movimiento, el par 61 del Cisne, astros que son de sexta magnitud. El cuadro siguiente proporciona más datos de este fenómeno, indicando los movimientos ánuos de algunas estrellas:

Groombridge 1.830.	7". 0	Lalande 21.258.....	4". 4
61 Cisne.....	5". 2	o ² Eridani.....	4". 1
Lalande 21.185.....	4". 7	μ Casiopea.....	3". 8
ε Indi.....	4". 5	α Centauro.....	3". 7

La primera de estas estrellas, á pesar de ser la de mayor movimiento propio, necesita 185.000 años para recorrer el circuito del cielo: la μ Casiopea 340.000. En general las estrellas de cuarta, quinta y sexta magnitud, se mueven únicamente unos cinco segundos en cien años, y necesitan muchos millones de años para recorrer el circuito celeste.

Lo cierto es, que si cada estrella se mueve en una órbita determinada, esta órbita es tan inmensa que no se percibe ninguna curvatura en el pequeño arco que se puede trazar por la deter-

minacion de las posiciones observadas. Mädler deducia equivocadamente del movimiento propio de las estrellas, que todo el universo estelar gira alrededor de la estrella Alcion, una de las del grupo de las Pléiades. Lo peor es, que este error de Mädler, se extendió á muchos escritos populares de Astronomía: yo he tenido ocasion de verle consignado en algunos libros de los que se destinan á ciertas escuelas norte-americanas.

Hoy por hoy no se advierte regularidad ninguna en los movimientos propios de las estrellas. Estas se mueven en cualquier parte del cielo en todas direcciones y con muy variables velocidades.

El movimiento aparente de las estrellas es más fácil de observar que su movimiento propio: aquél se debe al Sol y al sistema solar probablemente.

Las investigaciones relativas á las estrellas, así como los estudios modernos acerca del Sol, prueban que las estrellas se mueven en direccion á la constelacion Hércules. Los astrónomos que han tratado de fijar con más empeño el punto del cielo hácia el cual se mueve el Sol, son Argelander, Struve, Lundahl, Galloway, Mädler y Airy, los cuales han obtenido puntos distintos, pero bastante próximos, tanto, que todos ellos caen dentro de la constelacion Hércules, como habia indicado Herschel. En algunos casos se notan grupos de estrellas que tienen un movimiento propio, distinto del de los astros que los constituyen y de las que los rodean. En este caso se halla la constelacion Táuro. Mu-

chas de las estrellas más brillantes de la region comprendida entre Aldebaran y las Pléiades, tienen un movimiento comun de unos diez minutos por siglo hácia el este. El astrónomo Proctor ha observado que cinco de las siete estrellas de la Osa mayor están ligadas por un movimiento comun.

Hasta hace muy poco tiempo no se pensó jamás en determinar el movimiento propio de las estrellas, sino cuando ése movimiento consistia realmente en una desviacion y se acusaba por el cambio del punto en que aparece la estrella en la esfera celeste. Pero ¿cómo se podrá conocer si una estrella se aproxima ó se aleja de nosotros? En otros términos, ¿cómo se podrá conocer si un astro se mueve en la línea recta que le une á la Tierra? El que haya visto una noche avanzar el farol rojo de una locomotora que camina largo rato en línea recta, fenómeno que se puede observar en muchas estaciones de la Mancha, habrá adquirido idea de lo difícil que es apreciar el movimiento de un punto que avanza en línea recta y sin desviacion alguna hácia el observador.

Cuando los movimientos de los astros se traducen ó consisten despues de todo en un cambio de direccion basta un telescopio, ó mejor dicho, un goniómetro, esto es, un aparato medidor de ángulos, para hacerlos constar. ¿A qué método se podrá recurrir para estudiar los movimientos rectilíneos y sin desviacion de los astros?

Con este objeto ha practicado investigaciones ingeniosísimas, fundadas en la teoría ondu-

latoria de la luz, el astrónomo Huggins, en Inglaterra. Diré algo de su procedimiento.

Segun la teoría de la luz, generalmente aceptada, que lo es la de las ondulaciones, la impresion luminosa de un cuerpo incandescente resulta de las vibraciones comunicadas por él al éter que llena el espacio. Si el cuerpo de que se trata es gaseoso, se admite que las moléculas del gas vibran con cierta ley, comunicando por esta causá vibraciones perfectamente definidas al éter. La ley de vibracion se determina por la posicion de la línea brillante en el espectro de gas. Si el cuerpo que vibra, ó mejor dicho, que hace vibrar el éter se mueve á traves de él, los rayos luminosos que despide detras serán más largos y los que arroja delante más cortos de de lo que hubieran sido si el cuerpo permaneciera quieto. El resultado de este hecho será que en el primer caso las líneas espectrales serán ménos refrangibles, ó estarán muy próximas al extremo rojo del espectro, y en el último estarán situados cerca del extremo azul. La aparicion de la raya espectral hácia el extremo azulado prueba que el astro en cuestion se aproxima á la Tierra, y su traza hácia el otro extremo que se aleja.

Se presenta, sin embargo, esta dificultad, ¿cómo se puede conocer si una línea procede de un gas mientras no se vea si se halla en la posicion exacta y precisa que al gas corresponde? ¿cómo se sabrá si la línea espectral se debe tal vez á algun otro gas que emite luz de muy distinto poder refringente al del astro que

se considere? En este punto no es posible llegar á una certeza absoluta; pero el exámen de un gran número de estrellas hace *probable*, sino *indiscutible*, el fundamento del sistema del astrónomo Huggins. En efecto, si todas las rayas espectrales, correspondientes á diferentes estrellas, se desviarán en la misma dirección, podría inferirse que alguna sustancia desconocida era la causa de semejante fenómeno. No sucede nada de esto. Por el contrario, examinando diferentes estrellas, las líneas de que se trata se dibujan ya á un lado, ya á otro de su posición normal. Luego bajo toda probabilidad el movimiento de las estrellas es la causa de la desviación de las rayas espectrales.

El método de Huggins ha sido adoptado por el profesor Airy en el Real Observatorio de Greenwich. Los señores Christie y Maunder han hecho numerosas observaciones en este sentido, por el espacio de dos años. A continuación se exponen dos cuadros que indican los resultados obtenidos por Huggins y por los dos observadores de Greenwich, respecto á las estrellas cuyo movimiento es más perceptible.

Estrellas que se alejan de nosotros.

	<u>Por segundo.</u>	<u>Por segundo.</u>
Sirio.	20 millas.	25 millas.
α Orionis.	22 —	76 —
ε Orionis.	15 —	" —
α Geminorum.	25 —	25 —
α Leonis.	15 —	30 —

Huggins. Christie—Maunder.

Estrellas que se aproximan á nosotros.

	Por segundo	Por segundo.
Arcturus.	55 millas.	41 millas.
α Lyreæ.	50 —	36 —
α Cigni.	39 —	41 —
β Geminorum.	49 —	" —
α Ursæ majoris.	46 —	" —

Huggins. Christie—Maunder.

Várias razones, por decirlo así, accesorias ó incidentales, confirman estos resultados. Entre ellas, la de que las estrellas próximas á Hércules son las que se aproximan á la Tierra, y las distantes de esa constelacion las que se alejan; la de que las cinco estrellas de la Osa mayor, que tienen un movimiento común, se mueven tambien en el sentido de la visual del observador, y otras várias.

La discordancia entre las observaciones de Huggins, y las que se llevaron á cabo en Greenwich, prueban lo delicado y difícil del método espectral que se ha descrito.

Del movimiento rectilíneo de las estrellas se infiere que si su brillo propio no cambia, aquellas que se alejan de nosotros irán apareciendo cada vez como de luz ménos intensa, y que, en cambio, las que se aproximan á la Tierra brillarán más de día en día. Es tan inmensa la distancia de las estrellas, que se necesitan muchos miles de años para que se produzca, por esta causa, un cambio sensible ó apreciable en el brillo de los astros siderales. Dadas estas ideas,

es curioso el hecho de que, según las determinaciones de más confianza, Sirio, la estrella que quizá más brillante, sólo dista de nuestro sistema un millón de radios de la órbita terrestre.

No estará por de más advertir que las velocidades determinadas por el método de Huggins, no son las velocidades totales con que se mueven las estrellas, sino sus componentes en la dirección de la línea visual del observador. Si se quisiera deducir la velocidad total, sería preciso hallar la resultante de la velocidad del método de Huggins y de la que podríamos llamar, imitando á ciertos autores ingleses, velocidad telescópica.

La mecánica celeste descubre, al llegar á este punto, un horizonte dilatado. La aplicación del cálculo nos conduciría ahora á consecuencias extraordinarias. El carácter de este MANUAL me obliga á dar por terminado este capítulo.

CAPÍTULO III.

LA ESTRUCTURA DEL UNIVERSO.

Preliminares.—Recogidos los datos que la Astronomía viene acumulando en el trascurso del tiempo, ¿se podrá tener á la hora presente idea exacta de las estrellas del universo?

Este problema es, por decirlo así, el límite de los conocimientos humanos. Reunir ciertas verdades acerca de los astros más próximos á la Tierra; saber algo del globo que habitamos

ha costado siglos..... ¡cuantas centurias costará probablemente penetrar en el seno misterioso, infinito y eterno del espacio!

La primera cuestion que se presenta es la siguiente: ¿cómo están distribuidas las estrellas?

Se conoce la distribucion de los astros que forman el sistema solar ó planetario; se sabe que la inmensa mayoría de las pequeñas estrellas, sólo visibles con el auxilio de grandes telescopios, constituyen la zona ó banda celeste conocida con el nombre de Vía Láctea; pero se ignora la posicion absoluta de las estrellas: para determinarla sería preciso averiguar la distancia y la direccion de cada estrella, problemas irresolubles matemáticamente en el estado actual de la ciencia.

Teorías de los astrónomos anteriores á Herschel.—Antes de la invencion del telescopio no era posible que se atinara con una opinion fundada sobre la estructura del sistema sideral. Quien tuvo en este largo período ideas ménos erróneas fué Kepler.

Kant y Lambert, sin haberse dedicado á la Astronomía tanto como Kepler, establecieron teorías ingeniosas.

No dejará de sorprender á los que sólo conocen á Kant como filósofo, ó mejor dicho, como metafísico, el que haya ideado uno de los sistemas estelares más curiosos en la historia de la Astronomía. Y, sin embargo, el sistema de Kant, con ligerísimas modificaciones, fué aceptado largo tiempo en las escuelas. No era una obra de pura imaginacion, sino que arrancaba

de los conocimientos astronómicos entónces conocidos.

Del exámen de la Vía Láctea dedujo Kant que el sistema estelar se extiende mucho más en el sentido que marca en el cielo esa banda de infinitos astros que en cualquier otra direccion: supuso que las estrellas estaban distribuidas en una especie de capas ó estratos, en cuyo centro se halla el Sol del sistema planetario. Cuando se mira, pues, ese conjunto de globos que están situados como las letras en las hojas de un libro, del grande, del inmenso libro de la naturaleza, son innumerables, tal vez infinitas las estrellas que se divisan en la direccion de las capas, de las hojas de astros siderales; pero en el sentido perpendicular á los estratos se observan muchas ménos. El mismo Kant atribuye la primer idea de esta teoría á Wright, de Durham, en Inglaterra, escritor, cuyas obras son desconocidas.

Los estratos mencionados sugirieron á Kant el pensamiento de ciertas analogías entre el sistema solar y el sideral. En efecto, la pequeña inclinacion de las órbitas planetarias demuestra que los cuerpos que forman nuestro sistema están colocados segun el orden indicado por Kant. Y para que la semejanza hiera más al espíritu, basta recordar la zona de pequeños planetas entre Marte y Júpiter, que representa en el sistema solar como una especie de *Vía Láctea planetaria*.

Como los planetas están retenidos en sus órbitas por su fuerza centrífuga y por la atraccion

solar, supuso Kant que las estrellas, cuya analogía con los planetas era cada vez más evidente, giraban alrededor de un centro comun. En la época en que floreció aquel gran metafísico, los movimientos propios y reales de las estrellas eran casi desconocidos. Se le objetaba por lo tanto, al astrónomo-filósofo que las estrellas estaban fijas en el cielo, que carecian de todo movimiento, que no se podia, segun esto, admitir que las estrellas efectuaran ciertas revoluciones en torno de un centro tan misterioso como ignorado. No era Kant hombre para detenerse en los primeros obstáculos: dotado como todos los genios de cierta audacia científica, donde necesitaba un fenómeno le inventaba: no parece sino que sometia á su espíritu la naturaleza. Para contestar á la objecion de que se trata, Kant dijo que el tiempo de la revolucion de las estrellas era tan grande y su movimiento tan pequeño, que no era posible observarlos con los medios imperfectos de que se disponia entónces. Adivinó, pues, Kant el movimiento propio de las estrellas, confirmado luégo por los astrónomos modernos; pero á la verdad, el movimiento real que imaginó no es de la índole del que tienen efectivamente. Segun la teoría kantiana, todas las estrellas se mueven en direcciones casi paralelas á la Vía Láctea, como en el sistema solar los planetas se mueven á su vez en direcciones casi paralelas á la eclíptica. Lo cierto es que no existe semejante paralelismo; que los movimientos propios observados en los astros siderales no tienen una direccion comun,

si se exceptúa aquella especie de movimiento simultáneo hácia la constelacion Hércules que se atribuye al movimiento de nuestro Sol hácia ese punto del espacio; y que, por lo tanto, el sistema kantiano carece de realidad. Todavía pueden sostener sus ideas Kant y sus partidarios, porque despues de todo, las estrellas cuyos movimientos propios se conocen, no son muchas y están demasiado cerca de nosotros para que se induzcan de su exámen reglas generales en bastante número para fundar ni para destruir una teoría.

Completó Kant sus *hipótesis* (que de hipótesis más que de teoría se puede calificar su sistema) estableciendo que las nebulosas no formaban parte de aquella especie de inmenso libro de astros en que representó al universo. Cada nebulosa era, segun él, otro nuevo y distinto universo, ó para expresarme con más exactitud, una Vía Láctea imperceptible, pero de tanta realidad, por lo ménos, como el camino de Santiago. Esta idea de que las nebulosas son verdaderas Vías Lácteas fué difundida por muchos escritores populares, hasta que la refutaron por completo las observaciones del espectróscopo, que demuestran que las nebulosas son, en su mayor parte, masas globulares gaseosas. Los primeros estudios científicos acerca de esta materia se deben á Herschel.

Merece tambien una rápida exposicion el sistema de Lambert. Pocos años despues de haberse publicado el libro de Kant, en el que se consignaron sus teorías astronómicas, vió la luz

el sistema de Lambert. Imaginó este sabio que el universo estaba constituido por grupos de diferentes órdenes de astros. El grupo menor, el grupo elemental, si vale la frase, es el que resulta de un planeta y sus satélites. Siguen á este grupo en magnitud el sistema solar, formado por varios planetas y satélites, primera integración del elemento simple universal. Por otra parte, cada una de las estrellas del cielo es un sol al que rodean planetas y satélites, de donde resultan una especie de *sistemas solares de estrellas*. Agrúpanse luégo estos sistemas en el orden aparente que se ha indicado en la teoría kantiana, segunda y total integración del elemento astronómico á que dá origen siempre un planeta y su correspondiente séquito de satélites. Hé aquí el sistema de Lambert, reducido á su esencia. Asi como los planetas son mayores que sus satélites, y los soles mayores que los planetas, admite Lambert que cada grupo de estrellas tiene un gran cuerpo central, alrededor del cual gira todo el sistema solar, cuerpo invisible, y que, por lo tanto, Lambert supuso opaco y sin luz propia. Todo el universo de Lambert estaba sujeto á las leyes de la gravitación universal. El sistema de Lambert carece de fundamento científico.

Investigaciones de Herschel y de sus sucesores.—Herschel, ménos filósofo que Kant y que Lambert, analizó sin embargo el mundo con tanto celo científico como fortuna. Comprendía Herschel que sólo por el camino de la observacion se puede llegar al conocimiento del

universo, y dejando á un lado las hipótesis, sustituyó las teorías por las investigaciones. Se propuso averiguar las estrellas visibles con un buen telescopio, esto es, las contenidas en la *masa de universo* encerrado por el cono imaginario que hace perceptible el telescopio, ó en otros términos, si no más claros, más precisos para los lectores que tengan algunos conocimientos de la nomenclatura matemática, se propuso determinar el número de estrellas proyectadas cónicamente en una figura determinada del cielo. Ahora bien, como los volúmenes de dos conos que se pueden considerar el uno como prolongación del otro (permítase esta frase más vulgar que científica), son entre sí como los cubos de sus alturas, resulta que cuando Herschel notaba en cierta dirección que había ocho veces más estrellas, por ejemplo, que en otra, deducía, con cierta apariencia de exactitud, que el sistema estelar se extiende el doble en la primera que en la segunda región.

Dirigió Herschel numerosas punterías al cielo, y contó en cada una de ellas los astros visibles.

Los *arreglos* de estrellas que hizo, arbitrarios después de todo, no merecen una detallada exposición.

Las investigaciones de Herschel, las que luego han hecho Wilson y otros astrónomos sobre los grupos de estrellas y las estrellas dobles que aparecen como recorriendo órbitas hiperbólicas, indican cuánto falta que descubrir en las apartadas regiones del cielo que constituyen el objeto de la Astronomía estelar.

Sistemas estelares.—Kant y Lambert, discurrendo por analogía, creyeron que el universo estelar obedece á un plan: que cada estrella tiene su órbita: que el sistema planetario es como una muestra de los sistemas siderales. No se aventuraron á tanto Herschel y Struve, que opinaban que era preciso determinar ante todo la posición de las estrellas en un instante dado, problema más difícil de lo que parece en el estado actual de la ciencia.

El análisis y la discusión de todos los datos que han recogido los astrónomos inclina el ánimo hácia la opinión, de que la *estabilidad* de los sistemas estelares es de un orden muy distinto, por todo extremo diferente á la estabilidad del sistema planetario. Esta depende principalmente de la existencia de un gran cuerpo central que desarrolla bastante fuerza para mantener en sus órbitas los planetas. Pero, ¿tienen las estrellas centros de atracción en torno de los cuales giran formando sistemas, grupos ó colecciones siderales? ¿Retiene algún colosal dentro de ciertos límites geométricos, los innumerables astros del universo visible?

Estas atrevidas preguntas que hace el profesor de New York, Simon Newcomb, resúmen todas las cuestiones que se ventilan actualmente en el dilatado campo de la Astronomía sideral. Bajo toda probabilidad se puede contestar á ellas de una manera negativa. En efecto, si existen aquellos *soles siderales* ¿dónde están? Parece que su brillo debería ser extraordinario, que habría de ser fácil distinguirlos de las es-

trellas que llevan, por decirlo así, uncidas á su carro. Y, sin embargo, la observacion no los descubre. Pudieran existir, á pesar de todo, inmensos cuerpos oscuros como imaginó Lambert, y así como en el sistema planetario el Sol tiene luz propia, y no la tienen los astros que giran á su alrededor, tal vez en los confines del Universo, en los sistemas estelares, carezca el Sol de luz propia y la posean las estrellas que le rodean. Ya se comprende cuán poco *probable* es todo esto.

La demostracion más científica y concluyente de que las estrellas no giran en torno de centros de atraccion (*soles*), es la variedad é irregularidad de sus movimientos propios. Sobre la ley de estos movimientos, nada concreto sabe la ciencia: este es el gran horizonte de la *Astronomía del porvenir*.

CAPÍTULO IV.

LA COSMOGONIA.

Generalidades.—La idea de que el mundo no fué creado de un golpe tal como aparece ahora es muy antigua: brotó en la mente de todos los pueblos: constituye parte de las tradiciones de todas las razas: es una conviccion profunda de la humanidad. El caos de los griegos representa de un modo imperfecto las masas nebulosas de la Astronomía moderna. El célebre poeta Milton, en el segundo libro del Paraíso perdido, describe el caos con tanto acierto como

podiera hacerlo un astrónomo respecto á una nebulosa.

En tres grupos clasifican los astrónomos las hipótesis sobre la Cosmogonía. El primero abraza las anteriores al descubrimiento de la gravitación universal. El segundo, las que apoyándose en la doctrina de Newton, desconocen las investigaciones modernas sobre la conservación de la fuerza. El tercero, por último, supone averiguadas las leyes de la gravitación universal y de la conservación de la fuerza.

Las ideas antiguas sobre el origen del mundo, pertenecen á la historia de la Filosofía y no á la ciencia astronómica, porque la verdad es que por aquellos tiempos los estudios eran especulativos, y los hombres, faltos de la base de la observación, buscaban en la mente lo que no habían descubierto en la realidad.

El concepto que los indos tenían del mundo: aquella famosa hipótesis oriental que supone á Brahma á la sombra de un árbol frondoso, meditando durante largos años hasta que produjo un huevo de oro que abarcaba todo el universo, era una de las teorías imaginarias, sin apoyo en la observación, sin más origen que el espíritu y la tendencia especulativa del pueblo indo. La Cosmogonía judáica es la expresión de las convicciones monoteístas de los judíos y de la identidad entre su Dios tutelar y el Creador del cielo y de la Tierra.

Hipparco y Tolomeo dieron una gran prueba de su talento científico, dedicándose al examen del universo *tal como es*, sin hacer ningun es-

fuerzo vano y estéril para *trazar su origen*.

La hipótesis moderna de las nebulosas.—

Realmente Kant es el fundador de esta teoría, porque consideró como puntos de apoyo de su método, el sistema solar por una parte y la gravitación mútua de la materia por otra.

Manuel Kant debió razonar en estos ó parecidos términos:

Examinando el sistema planetario se observan dos cosas notabilísimas que á continuacion se expresan.

1.^a Seis planetas y nueve satélites (únicos astros del sistema solar entónces conocidos) se mueven alrededor del Sol, no tan sólo en la misma direccion en que el Sol gira en torno de su eje, sino casi en el mismo plano. Esta manera comun de ser del movimiento de cuerpos tan importantes no puede resultar de una casualidad: es lo probable, por el contrario, que derive de una causa general que obró primitivamente sobre todos los planetas.

2.^a Los espacios en que se mueven los planetas están vacíos ó llenos de una materia tan ténue que no produce efecto alguno en los movimientos planetarios.

Luego todo induce á creer que los diversos materiales que constituyen los astros de nuestro sistema planetario estaban aislados en el principio de las cosas, y en esa forma llenaban el espacio del universo que ahora ocupa el sistema solar.

Como las densidades de los diversos materiales que fluctuaban en el cáos eran distintas,

se agruparon así las moléculas en colecciones de astros.

Esta explicación, no sólo es difícil de comprender, sino científicamente falsa. En efecto, la mecánica moderna demuestra que en el caso de ser real el aislamiento de los materiales planetarios en el espacio no hubieran resultado los cuerpos de nuestro sistema solar, sino un sólo y único Sol formado por la combinación de todos ellos.

Hipótesis de Herschel.—Dícese que la idea de la trasmutación ó del cambio gradual de las nebulosas en estrellas le fué sugerida á Herschel por el exámen de las nebulosas y no por el estudio inmediato y directo del sistema planetario.

Observando varias nebulosas notó que aparecían como masas inmensas de vapor fosforescente, y se le ocurrió que aquellas masas se iban condensando por grados, ya en torno de su centro, ya alrededor de algunas de sus porciones más densas, produciendo ora una sola estrella, ora un grupo de astros siderales. Los estudios espectrales han confirmado las apreciaciones de Herschel.

Ideas de Laplace acerca de las nebulosas.—Laplace llegó á la hipótesis nebular por un camino análogo al que expuso Kant pocos años ántes. Le había impresionado á Laplace el pensamiento de Kant de que la notable uniformidad entre las rotaciones de los planetas no puede resultar de casualidades, sino de alguna causa importante. ¿Cuál era esta causa? Hé aquí el origen de las investigaciones de Laplace.

Dejó á un lado la explicacion Kantiana del fenómeno, porque no era compatible con las leyes de la mecánica celeste, que son, en último resultado, las mismas de la mecánica racional, é imaginó que no era otra que la atmósfera solar que rellenaba, en los tiempos llamados caóticos por Kant, el espacio que ahora ocupan los planetas.

Pero ¿cómo es la atmósfera del Sol el origen de los planetas? ¿Cuáles eran las relaciones primitivas entre el Sol y su atmósfera?

¡Cuántos problemas de esta índole quedan por resolver! No sólo hay que esperar para discutirlos al nacimiento de hombres eminentes, de verdaderos genios, sino que además se necesita el trascurso del tiempo y la evolucion fecunda de los siglos. De intento llamo fecunda á esta evolucion, porque cuando de fenómenos astronómicos se trata, nada más fecundo que la observacion durante siglos de los hechos que necesitan los más delicados medios de análisis. Jamás se ha podido decir de ciencia ninguna con más propiedad que de la Astronomía que no pertenece á un hombre, por grande que sea su genio, sino que es el patrimonio de la humanidad.

Laplace imaginaba la formacion de anillos de vapor en torno de la masa solar, los cuales se iban condensando segun sus densidades y sus movimientos. De los anillos gaseosos procedian: el *anillo de Saturno*, si la homogeneidad de la materia cósmica era grande, los asteróides si la homogeneidad no era tan perceptible, y los pla-

netas ordinarios cuando la masa de vapor era muy poco uniforme.

Trabajos de Augusto Comte, de Lenglet, de Morin, de Angelot y de Bouchepon.—Augusto Comte se ha limitado á someter al cálculo las hipótesis de Herschel y de Laplace, y ha deducido que nuestro mundo planetario ha logrado alcanzar la última y la más permanente de las evoluciones cósmicas.

Lenglet parte de la existencia primitiva de la *materia vaporizada*, y explica, sin más que apoyarse en este dato, por qué están dirigidos en el mismo sentido los movimientos de traslacion y de rotacion, por qué la densidad es menor y la rotacion más rápida en los planetas superiores que en los inferiores, por qué la densidad de los satélites es menor que la de los planetas, etc., etc.

Morin indicó ya que el calor central de la Tierra y de otros astros provenia de una rápida concentracion de las moléculas materiales.

Angelot trae á la memoria, que siendo la gravitacion *la única ley universal de la materia* de las conocidas hasta hoy, debe servir de fundamento á las teorías cosmológicas. Imagina luégo las moléculas como *equidistantes é isotermas* en su estado inicial (*homogeneidad estática de la materia y de la temperatura en el espacio*). Y, como segun la teoría que los químicos llaman *atomística*, todos los átomos de la materia ponderable tienen igual calórico específico, supone que allá, en el seno de aquel estado inicial, empieza á manifestarse la atraccion; las

partículas materiales, dotadas de la *fuera atractiva*, empezaron á formar centros de atraccion, que constituyeron más tarde sistemas solares enteros.

Bouchepon desecha las hipótesis de Laplace; hace ver que si concuerdan los grandes movimientos de los planetas, hay, en cambio, desacuerdo entre sus movimientos de rotacion, puesto que tienen lugar en sus planos ecuatoriales que forman ángulos muy diversos con la eclíptica; recuerda que los satélites vuelven siempre la *misma cara* hácia su respectivo planeta, lo que demuestra que existe una ley general de los satélites para los planetas, y acusa, en cierto modo, la *individualidad* propia de cada planeta con su cortejo de satélites; y deduce, por último, de todo esto, que los planetas tienen un origen extraño por completo al Sol en torno del que se mueven.

A medida que la ciencia progresa en el camino de la observacion, la fantasía retrocede en el camino de las especulaciones.

Cambios progresivos de nuestro sistema.— Durante el corto período de tiempo en el que se han hecho las observaciones humanas, ningun cambio *permanente* se ha notado en nuestro sistema. La Tierra, el Sol y los planetas tienen la misma magnitud y ofrecen el aspecto de siempre. Las estrellas conservan su brillo y la mayor parte de las nebulosas su forma. No se ha notado la menor variacion en el calor del Sol, ni en los *núcleos* y *penumbras* de sus manchas, ni en sus *fáculas* ó porciones más res-

plandecientes. Y, sin embargo, un exámen atento del mundo prueba que varía, y que llegará un tiempo en que la manera de ser del universo habrá cambiado totalmente.

Parece que las múltiples operaciones de la naturaleza conspiran á una sola: á la transformacion *constante* de movimiento en calor y á la *constante* pérdida de calor en virtud de la radiacion en el espacio, operacion ó fenómeno que ha sido denominado por Thomson *disipacion de la energia*.

Así como los químicos han sentado el principio de que la materia ni se pierde ni se crea, los físicos han demostrado que la fuerza ni se pierde ni se crea. Tanto la materia como la fuerza no pueden hacer más que una cosa: *transformarse*. Hay, sin embargo, entre ambas una diferencia esencial. La materia consta, por decirlo así, de *partes individuales*, en virtud de las que se la reconoce á través de sus cambios. En una palabra, la identidad de la materia es de fácil comprobacion. Pero en la fuerza, por el contrario, no existe nada tangible que demuestre su permanencia en el seno de sus mutaciones.

Aclararé la idea con un ejemplo. Si coloco una gota de agua sobre la mano y la veo desaparecer á causa de la evaporacion, le será fácil á cualquiera seguirla mentalmente bajo la forma de vapor sostenida por el aire, trasportada por el viento, condensada, en fin, dando tal vez origen al rocío de la mañana. El espíritu no concibe, pues, la destruccion de la mate-

ria, ni aún cuando se trata de los fenómenos químicos: arde una bujía esteárica: se producen entónces multitud de fenómenos químicos, porque una bujía en combustion es una *fábrica de gas del alumbrado en miniatura*: desaparece la bujía, la materia sólida; mas lo que sucede en realidad es, que la estearina se resuelve en ciertos gases que es fácil recoger y analizar.

La desaparicion de la fuerza, su *aniquilamiento* absoluto no repugna tanto al espíritu como la de la materia. Un cuerpo caliente se enfria. Preguntad al vulgo qué se ha hecho de aquel calor, y os contestará sin escrúpulo de ninguna clase, que se ha *perdido*.

La doctrina de la conservacion de la fuerza es, á la hora presente, una de las bases fundamentales de las ciencias físicas.

Parece lo más probable que el calor irradiado al espacio, ya por el Sol, ya por los demas astros, se difunda con arreglo á las leyes de la disipacion de la energía.

Estas leyes, así como el concepto del espacio, nos llevan á creer, que el calor irradiado por el astro del día puede volver á él, ya por la misma *forma del espacio*, ya por la naturaleza del *éter interestelar*, ya en virtud de alguna causa ignorada todavía por la ciencia. Kie-mann ha estudiado concienzudamente estos delicadísimos problemas.

Como quiera no se debe olvidar que *el tiempo*, esa *gran coordenada del espíritu*, entra por miles de millones de siglos en cada evolucion sidérica ó planetaria.

Las fuentes del calor solar.—Es un hecho perfectamente observado que el Sol viene irradiando durante muchísimos años su calórico, sin que se note disminución alguna en su potencia calorífica. Era imposible dar una explicación satisfactoria de este fenómeno ántes del descubrimiento del principio de la *conservación de la fuerza ó de la energía*.

Como se ignora la naturaleza del Sol, es preciso partir de alguna ó de algunas hipótesis racionales. ¿Cuál es el calórico específico del Sol? Hé aquí un dato indispensable. Si ese calórico específico fuese el del agua, la temperatura irradiada por el Sol anualmente sería de $2\frac{1}{2}^{\circ}$ del termómetro de Fahrenheit: si no fuera el del agua, sino alguno de los que corresponden á la mayor parte de los cuerpos que se hallan en el globo terrestre, la temperatura irradiada por el Sol oscilaría cada año entre 5° y 10° . En cualquiera de los dos casos (que abrazan todos los casos probables), basta el trascurso de algunos millares de años para enfriar por completo un astro de las condiciones del Sol, si no viene á mantener su temperatura otra causa distinta de su calórico inicial.

¿Qué género de lámpara es la que nos ilumina desde la bóveda celeste? ¿De dónde viene la masa enorme de combustible que necesita para no apagarse jamás? ¿No ha pensado el lector en el espectáculo que ofrece esa luz, al parecer no alimentada, pero nunca extinta ni siquiera momentáneamente oscurecida? Para comprender el origen, y sobre todo la permanencia

del calor solar, les ha sido preciso á los hombres de ciencia buscar una explicacion distinta de la que proporcionan los cuerpos que vemos arder en la superficie de la tierra.

La física y la mecánica modernas han demostrado la equivalencia entre el calor y el movimiento. Todo movimiento se puede transformar en calórico y viceversa. Luégo al observar un gran fenómeno calorífico la mente descubre otro gran fenómeno mecánico. ¿Cuál es el fenómeno mecánico que se advierte detras del Sol?

Si un cuerpo cae sobre el Sol desde una gran altura, toda la fuerza que origina ó produce la caída se transforma en calórico, y el calórico así desarrollado es mucho mayor del que se obtendría por la combustion del cuerpo de que se trata. Este no es un aserto gratuito. Experimentos de un órden especial de verdades, que ha recibido el nombre de *termodinámica*, lo demuestran claramente. Dejo á un lado la *termodinámica*, pues no encuentro medios de presentar sus teoremas con la debida sencillez, y me limito á la enumeracion de aquellos hechos que pueden ser comprobados por todo el mundo. Las estrellas cadentes y los aereolitos que atraviesan nuestra atmósfera, raras veces alcanzan una velocidad de cuarenta millas por segundo, segun las observaciones más acreditadas de los astrónomos ingleses y norte-americanos, y, sin embargo, el calor que desarrolla su movimiento es tan grande, que basta para consumirlos y hacerlos desaparecer en la inmensidad del espacio. Júzguese cuál será el calórico producido por esos

cuerpos cayendo sobre el Sol con una velocidad en muchos casos de 280 millas por segundo y en algunos de 350.

Tal es el fundamento de la *teoría meteórica* sobre la conservación del calor solar, reducida en último término á establecer que el calórico del Sol se mantiene por el choque de materia cósmica, de una ú otra manera condensada, sobre aquel gran astro luminoso.

He notado que la teoría meteórica inspira cierta desconfianza al vulgo, quizá por el carácter demasiado científico de los primeros principios que la informan. Para la generalidad de las gentes, esa lluvia de astros ó de meteoros astronómicos, si no se les quiere llamar astros, esa lluvia de astros sobre el Sol es un fenómeno improbable.

Reflexionando, sin embargo, sobre la circunstancia de que la Tierra en su movimiento alrededor del Sol encuentra cada día millones de aereolitos y otros cuerpos de esta naturaleza, se deduce que todo el sistema planetario está inundado por esas estrellas cadentes que describen trayectorías erráticas. ¿Quién hallará extraño que la inmensa mayoría de la materia cósmica de que se trata caiga sobre el Sol, engendre su calor y su luz, la conserve y mantenga por lo ménos? El cálculo se ha llevado también á esta preciosa teoría y el análisis, ha demostrado que para conservar el calor del Sol bastaría que cayera cada siglo sobre su superficie una cantidad de materia igual á la del globo terrestre.

Otra ingeniosísima teoría para explicar la

conservacion del calor solar, es la de la *contraccion*. Lo más sencillo es siempre lo que está más cerca de la verdad. Y no cabe duda de que la teoría de la contraccion es más sencilla que la meteórica. No es preciso imaginar que el Sol recibe calor de fuentes extrañas, para tener una explicacion de la permanencia de su calórico. En efecto, á medida que el globo solar se enfria, se contrae, y el fenómeno de la contraccion engendra calórico. Así lo demuestran las leyes de la materia: así lo confirman las investigaciones matemáticas. Despues de todo, esta teoría es una fase de la trasformacion de la fuerza en calor, sino que aquí se trata de fuerzas moleculares de contraccion.

Conociendo la cantidad anual de energía que consume el Sol bajo la forma de calórico, es fácil calcular lo que llaman los termodinámicos el *equivalente mecánico* del calor y deducir entónces la contraccion solar necesaria. Por este camino se infiere que basta que el diámetro del Sol se acorte ó contraiga 220 piés al año, para que se produzca todo el calor que irradia ese astro en dicho tiempo, lo que equivale en números redondos á una milla en veinte y cinco años ó á cuatro millas en un siglo.

Desde luego se comprende que el que se eleve ó descienda en lo sucesivo el calor solar resultará, si se admite esta teoría, de que la masa interior de aquel astro sea gaseoso, sólido ó líquido. Uno de los principios á que se halla sujeta la contraccion de los cuerpos gaseosos es que una masa aeriforme incandescente pierde tanto más

calor cuanto más elevada es su temperatura inicial. La pérdida de calórico de una masa gaseosa produce siempre una *contraccion*; pero el calórico engendrado por dicha *contraccion* excede al que se perdió al originarla. Esta ley notable fué descubierta por J. Homer Lane, de Washington, quien hizo en el año 1870 un estudio precioso sobre la temperatura teórica del Sol. Cuando la masa gaseosa en cuestion empieza á liquidarse ó á solidificarse, por efecto de la *contraccion* continuada, la ley de Homer Lane deja de ser aplicable y empieza el período del enfriamiento. ¿Ha llegado para el Sol este período? En otros términos, ¿ha principiado la masa solar á liquidarse ó á solidificarse? Porque despues de todo, el proceso de la vida solar, de la planetaria y hasta de cualquier astro, es el siguiente: 1.º masa cósmica gaseosa; 2.º paso de la materia nebular á líquido; 3.º transformaciones sucesivas hasta que resulta el astro definitivamente constituido, y revistiendo la figura de los sólidos geométricos de revolucion.

Pues bien, carecemos de los datos indispensables para saber el estado presente de la evolucion solar.

La teoría de la *contraccion* suministra más medios para la *crítica histórica del Sol*, si así vale decirlo, que para entrar por el camino de las predicciones acerca de su porvenir. Aceptando esta ingeniosa teoría, la imaginacion vislumbra los apartados y remotos siglos en que todo el espacio que ahora ocupa el sistema planetario estaba lleno, inundado por el Sol, entónces

gaseoso, y en que por una serie de contracciones sucesivas fué reduciéndose poco á poco hasta su volúmen actual.

No discurrían de otra manera Kant y Laplace cuando exponían sus hipótesis acerca de las nebulosas; pero estos grandes pensadores desconocían las leyes naturales en que se funda la teoría de la *contraccion*. Cuanto más se medita sobre la obra de Dios, sobre el universo, se comprende mejor que la *creacion* no es un *acto* sino una *evolucion*, ó en otros términos, una sucesion ó un germen de varios actos.

Si se considera la teoría de la contraccion del Sol, como la explicacion segura de los fenómenos caloríficos solares, se puede valuar el incremento de temperatura debido á la contraccion necesaria para que alcance el Sol un volúmen determinado. Estos cálculos, que han hecho populares á ciertos astrónomos americanos, tienen que partir de bases inseguras. En efecto, la radiacion solar pudo ser distinta en otras épocas que ahora: nadie conoce la ley de relaciones ó dependencia entre el calórico emitido por el Sol y los períodos de su historia: nadie sabe, para valermé del tecnicismo de las matemáticas, qué clase de *funcion* del tiempo es el calórico solar. Los datos que la *historia humana* pueden suministrar á este propósito no bastan, tanto por lo imperfectos que eran los antiguos medios de observacion, como porque la *historia humana* es un pequeño, es un diminuto fragmento de la *historia universal* (1).

(1) Tomo aquí las palabras *historia universal* en el senti-

Ni el hombre, ni la *humanidad entera* pueden servir de testigos para dar fe de los fenómenos naturales en sus aspectos cosmológicos.

Enfriamiento secular de la tierra.—Intimamente unida á la cuestion del calor solar está la del enfriamiento de la Tierra. Todo el mundo sabe que nuestro globo tiene una temperatura en su interior muy elevada. Esta y otras razones inducen á creer que la Tierra fué allí en otros tiempos una esfera incandescente. ¿Cuál es el origen de este calor? Segun algunos, la Tierra tuvo al principio una gran cantidad de calórico, fué una especie de *obra de fundicion*, y segun otros, recibe su calor de fuentes externas. Entre los que participan de ambas opiniones y las ensalzan se halla Poisson, que sostiene que la Tierra vino de un lugar del espacio á otro, enfriándose en el tránsito por tener en su primera situacion una temperatura más elevada que en la segunda. No parece aceptable, sin embargo, esta doctrina, porque no se concibe, segun *el equilibrio móvil de la temperatura*, que ciertas regiones del espacio estén más calientes que otras, y porque si un astro se hubiese aproximado á la Tierra lo bastante para calentarla, hubieran sido perturbadas las órbitas de los planetas y destruidos los seres que pueblan el globo.

Lo más probable es que la Tierra tenga como el Sol su origen en una masa gaseosa y nebulosa sujeta á las leyes generales de la *con-*

do de *historia del universo*, que es el que aceptan la mayor parte de los historiógrafos alemanes modernos.

traccion. Decir en qué período de la historia cósmica se formó la costra de nuestro globo téngolo por aventurado. Tal vez haga centenares de millones de años. No se arredran, sin embargo, ante las dificultades del problema ciertos atrevidos cosmólogos, y con el campás de la geometría en la mano tratan de medir hasta el número de años que han de pasar para que se halle el Sol en las condiciones físicas de la Tierra. Valúan ese número en 12.000.000 de años.

Terminaré estas ligeras indicaciones acerca del enfriamiento de la Tierra manifestando que parece una ley general, á la que no puede menos de sujetarse nuestro globo, que no solamente el fenómeno del enfriamiento, sino todas las metamorfosis planetarias se verifican en un período tanto más largo cuanto mayor es la masa de los planetas.

La pluralidad de mundos.—Así como hay teorías astronómicas que no pueden tener cabida en un pequeño MANUAL como éste, ya por su elevacion y dificultad, ya porque necesitan para ser abordadas con fruto el auxilio del cálculo, ya por sus conexiones con la mecánica celeste, hay en cambio algunas otras que no deben formar parte de una obra didáctica, de un tratado de astronomía propiamente dicho. La seriedad de la ciencia, en efecto, rechaza todos cuantos estudios no han recibido la sancion de las demostraciones físicas ó matemáticas. A este orden pertenecen las investigaciones relativas á la pluralidad de mundos, tan propias de

una obra de carácter popular como inoportunas en un libro de astronomía.

El fenómeno de la vida es de tal importancia, que cuando se deduce que los planetas son mundos como el nuestro y que las estrellas son soles acompañados de su cortejo de planetas, brota en la mente la idea de que la vida, y sobre todo, la vida inteligente, no es el patrimonio exclusivo de la Tierra, y que de allá en los demas infinitos globos que pueblan el espacio, tiene la vida su natural asiento. ¿Quién, áun desde niño, no se ha hecho la pregunta de si hay habitantes en la Luna?

Por otra parte, los más árdulos problemas filosóficos y áun religiosos están ligados á esta cuestion delicada de la pluralidad de mundos, que, una vez resuelta, nos daría la medida del lugar ocupado por el hombre en la creacion: en ella aparece la Astronomía como el medio de que se ha de valer el filósofo en estos estudios.

Muchos hombres pensadores consideran como el último triunfo del telescopio el descubrimiento de trazas ó señales de vida en otros mundos. ¿Será cierto que podrán los telescopios rasgar el velo que cubre nuestros sentidos é impedir que veamos la forma que reviste la vida en los planetas y en los astros siderales?

El mineral, la planta, el animal y el hombre, constituyen grados cada vez más superiores. La Tierra es, á juicio del hombre, el teatro en que se representa el drama de la vida. Pero si se piensa que nuestro globo no es aquel astro pri-

cial que soñó Tolomeo, alumbrado por el Sol y adornado por las estrellas, que apenas tenían por entonces otra misión que mandarnos su luz ó entretenernos con un espectáculo agradable las noches serenas, sino que, por el contrario, es uno de los más pequeños, de los más insignificantes, de los menos perceptibles astros que flotan en el espacio, la imaginación no tarda en representar más amplias y completas manifestaciones de la vida en otros planetas ó en otros astros siderales.

Y sin embargo, el problema de la pluralidad de mundos ha sido abandonado por los astrónomos. El espíritu de la ciencia moderna, respecto á las cuestiones especulativas que no se pueden resolver con la severidad de las matemáticas, es completamente hostil á este orden de análisis é investigaciones. Preguntadles á los astrónomos qué saben respecto á la pluralidad de mundos, y os contestarán que saben lo mismo que los que no son astrónomos: os contestarán que su telescopio les ha dicho respecto á la vida lo mismo que á los anatómicos el escalpelo respecto del alma.

¡Quién sabe si lo que se revela con más facilidad al espíritu es lo ménos visible y demostrable por los procedimientos de la materia?

Como quiera no cabe duda de que si la ciencia de los astros no resuelve la cuestión de los mundos habitados, puede servir de guía para resolverla. Veamos de qué manera.

Ante todo sabemos que se mueven alrededor del sol planetario ocho grandes astros, en uno

de los cuales vivimos. El telescopio descubrió la existencia de otros soles..... ¿qué digo de otros soles? de muchos millones de otros soles. ¿Son estos soles, como el sol planetario, centros de sistemas de astros? Si los telescopios de que disponemos fueran bastante poderosos para el exámen de los cielos, y penetraran el sistema solar, y descubrieran los órdenes ó grupos siderales, y analizaran la constitucion íntima de las nebulosas, sería fácil, ó hacedero al ménos, resolver este problema. Sólo el pensarlo es, sin embargo, un delirio. Agotados los recursos de la Astronomía, se debe acudir á las investigaciones cosmológicas.

Si nuestro sistema planetario brotó de una nebulosa que hubo de resolverse, la misma causa que rodeó al Sol de planetas, debió circundar de planetas tambien los soles siderales. Pero la simetría de forma y de arreglo que revelan los astros planetarios, no es de esperar cuando se resuelvan las nebulosas conocidas, en su mayor parte irregulares por todo extremo. El estudio de la órbita de las estrellas dobles confirma esta idea.

Tal vez la excepcion en el universo sean los astros planetarios que nos son más familiares, y que describen órbitas elípticas.

Sentada esta consideracion, ó mejor dicho, esta conjetura de carácter general, la lógica lleva como por la mano á examinar si existen habitantes en el astro que tenemos más cerca y que nos es más conocido: en la Luna. Este cuerpo carece de aire y de agua, por lo que es

posible que contenga organismos, al ménos en la forma y segun las determinaciones terrestres de la vida. Pero hay que tener en cuenta que desde nuestro globo siempre se observa un mismo lado de la Luna, y que ignoramos las condiciones y propiedades físicas de la parte oculta, respecto á la cual, cualquier afirmacion no puede ménos de ser aventurada y todo vuelo de la fantasía verdaderamente peligroso.

Los planetas, por otra parte, se hallan á tal distancia de nosotros que apénas disponemos de medio alguno para formar idea de la naturaleza de su superficie y de la índole de su atmósfera, primer dato para conocer las condiciones de *habitabilidad*, y estoy por decir, de *vitalidad*, si se me permiten estas gráficas palabras.

Marte, que se parece á la Tierra bajo muchos puntos de vista, carecerá probablemente de habitantes, puesto que todo induce á creer que no tiene atmósfera. La mayor parte de los demas planetas aparecen rodeados de inmensas atmósferas, atravesadas por columnas de vapores; que impiden formar idea de su naturaleza y de sus condiciones físicas.

Lo más probable es que haya muchos cuerpos celestes que no se hallen poblados por seres de orgauizacion analoga á los que vemos en la Tierra. Adviértase, con todo, que la vida puede aparecer bajo diversas formas en distintos astros. Sin salir de nuestro globo saben, los que han cultivado la Geología, que han desaparecido floras y faunas enteras para ser reemplazadas por otras.

¿Quién pondrá límites al Creador en esto de adaptar la vida á las diversas condiciones físicas?

El globo terrestre, constituyendo un verdadero planeta, viene moviéndose en su órbita unos diez millones de años, dentro de los límites probables de que son susceptibles estos cálculos. La vida humana tiene una existencia de unos diez mil años, según los más autorizados datos de los naturalistas. El abolengo de la civilización no es más que de unos cuatro mil años. Los telescopios se descubrieron hace dos siglos. Estos números dan una idea de lo mucho que le falta estudiar al hombre en la materia de que se trata, y le animan en su empresa recordándole el escaso tiempo que ha dedicado todavía la humanidad á esta clase de cuestiones.

Concluiré indicando que todo conduce á creer que sólo el menor número de los planetas están habitados por seres inteligentes; pero cuando se reflexiona y se advierte que existen centenares de millones de planetas, el *menor número* de que ántes se ha hablado puede ser muy considerable, y ¿quién sabe si algunos astros están habitados por seres superiores á nosotros en la escala de la inteligencia? En este punto la imaginación puede volar libremente, sin recelo alguno, en la confianza de que la ciencia no conoce medios de comprobar ni de rechazar sus atrevidas excursiones.

Morfología astronómica.— En medio de la múltiple diversidad de los fenómenos astronómicos, sorprende la sencillez de la forma de los

astros. Todos ellos son *elipsóides de revolución*, esto es, tienen el aspecto de una inmensa naranja. Y si por una rara y singular excepcion descubrimos un trozo de materia cósmica, como el anillo de Saturno, no se tarda en advertir que tambien afecta, si no la forma de un *elipsóide*, por lo ménos una figura de revolución.

Las formas de los cuerpos son una consecuencia lógica y natural de las fuerzas á que han estado sometidos: pero así como el problema de averiguar la forma que adquiere una masa sólida, líquida ó gaseosa, sujeta á fuerzas conocidas, suele ser *determinado*, es lo comun que sea *indeterminado* el problema recíproco. De no, el estudio de la morfología podria llevarnos como por la mano al conocimiento de las *primeras causas* (1), de las primitivas *fuerzas naturales*.

Por desgracia no es así. Las hipótesis probables de la Cosmología definen el problema en cuestion, ya de una, ya de otra manera.

La forma de los seres organizados depende de la *fuerza* más poderosa y eficaz á que se hallan sujetos, es á saber: de la *vida*. Cuando ésta se pierde, la forma del sér orgánico desaparece.

En cambio la materia inorgánica está some-

(1) Los físicos modernos han extendido cada vez más el alcance de la palabra *fuerza*. Fuerza no es ya lo que produce ó tiende á producir un movimiento. Para la ciencia contemporánea son casi sinónimas las voces *fuerza* y *causa*. Por lo demas, al hablar ahora de *primeras causas*, quiero decir las primeras en el orden de la materia, prescindiendo por completo del orden suprasensible, pues en rigor, la única primera causa es la *divinidad*.

tida siempre á otras fuerzas distintas de la vida, de las que provienen sus múltiples formas.

Si se supone la materia cósmica desagregada por completo en el origen de los tiempos, y distribuida en grupos por el espacio, sin que fuerzas especiales y *externas*, si vale la palabra, vengan á perturbarla, los astros hubieran llegado á ser *cristales mineralógicos*. Los *elipsóides* que flotan por el mundo hubieran sido reemplazados por *poliedros*.

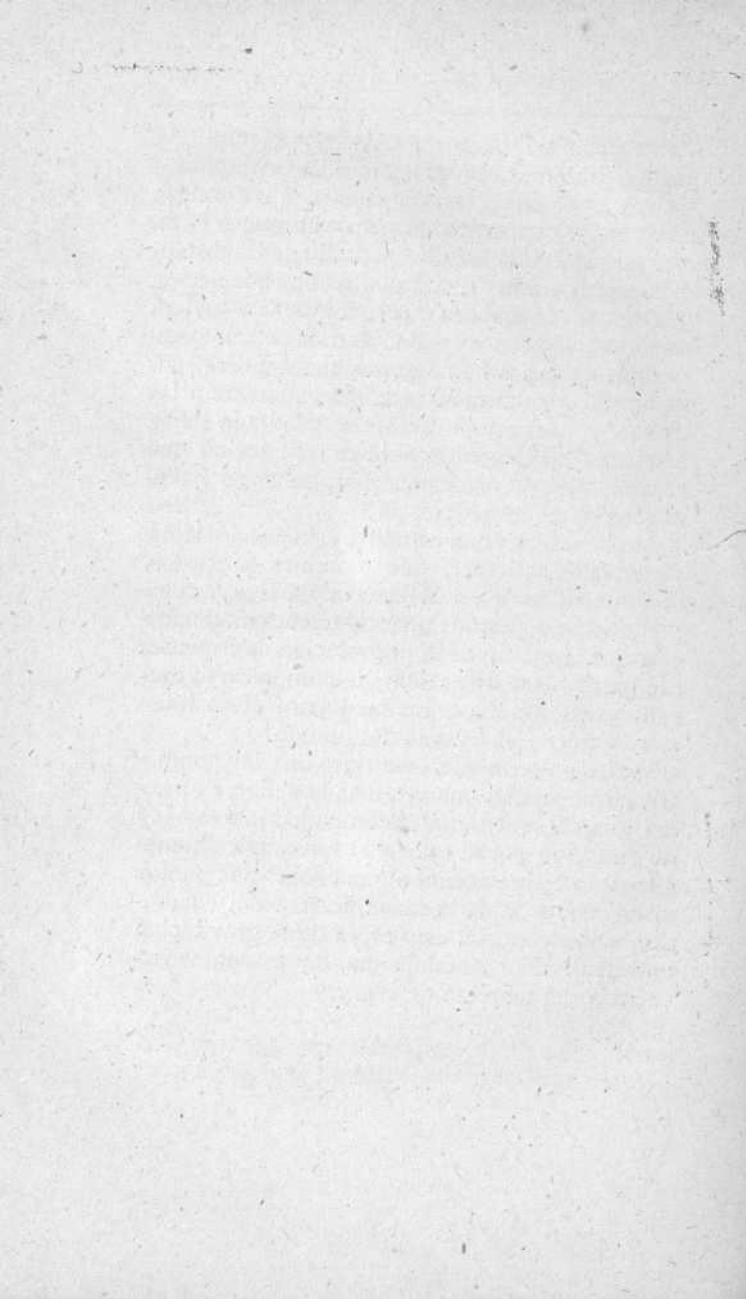
Pero este caso en que la masa flúida ó nebulosa está sometida únicamente á la afinidad y á la cohesion, es imaginario. El movimiento diurno y todos los fenómenos estudiados en este MANUAL á propósito del sistema planetario, demuestran que las moléculas de la masa flúida nebulosa se atraen mutuamente y están animadas por un movimiento de rotacion uniforme. Cuando el flúido es homogéneo y la atraccion molecular está en razón inversa del cuadrado de la distancia la figura de un *elipsóide de revolucion*, satisface las condiciones indispensables para obtener el equilibrio de la masa flúida ó nebulosa que se considere. Así lo prueba la Hidrostática, pues la propiedad que se acaba de traer á la memoria es un caso del teorema de Jacobi, que con sumo ingenio establece las fuerzas que producen el equilibrio en una masa flúida que tenga la forma de un elipsóide cuyos tres ejes sean desiguales.

Tomando la forma de los elipsóides como la más adecuada á los cuerpos celestes, se descubren leyes muy curiosas que rigen los efectos de

La atracción de los astros. Así, por ejemplo, la mecánica demuestra que un sólido compuesto de capas esféricas homogéneas, de naturaleza diferente, y cuyos puntos atraen un punto exterior en razón inversa del cuadrado de las distancias, ejercen sobre dicho punto la misma acción que si toda la materia que le compone estuviera reunida en su centro. Además, dos esferas compuestas de capas homogéneas cualesquiera, cuyos puntos se atraen proporcionalmente á las masas, y en razón inversa del cuadrado de la distancia, ejercen entre sí la misma acción que si la materia de que están compuestas se hallara reunida en su centro.

Me llevarían estos estudios demasiado lejos. Baste saber al lector, que teoremas preciosos, debidos á Charles, á Maclaurin y á Ivory, completan este género de investigaciones matemáticas, que constituyen la preparación indispensable para entrar en el dilatado campo de la mecánica celeste, base racional para el exámen astronómico del sistema del mundo.

Antes de terminar, enunciaré una ley geométrica, que prueba una vez más la sublime armonía y la *difícil sencillez* del mundo: la única ley de atracción por la que una capa esférica homogénea no ejerce acción alguna sobre sus puntos interiores, es la de la razón inversa del cuadrado de la distancia, esto es, la de la gravitación universal. Esta notabilísima ley es una consecuencia del teorema de Ivory.



APÉNDICE

La Astronomía en sus relaciones con la Meteorología.

Discutir sobre Meteorología es
perder el tiempo.

MARCO AURELIO.

CAPÍTULO ÚNICO.

Generalidades.—No dejaba de tener alguna razón Marco Aurelio cuando afirmaba que discutir sobre Meteorología es perder el tiempo, porque á la verdad ni en su época se conocían ni hoy se conocen los principios de aquella ciencia lo bastante para teorizar con fruto.

La observación y la experiencia arrojarán mucha luz sobre la Meteorología; pero mientras llega ese dichoso momento no vacilo en sostener que la Meteorología sólo constituye una reunión de datos empíricos y de hechos disgregados.

La frecuencia lamentable con la que confunden el vulgo y las personas que pasan por ilustradas la Astronomía con la Meteorología, me

mueve á terminar este MANUAL con algunas consideraciones que sirvan para definir ambos órdenes de conocimientos.

A poco que se reflexione, se advierte que, así como la Astronomía es una ciencia exacta, la Meteorología es una ciencia física: la una tiene por base principal el cálculo, la otra la observacion.

Los fenómenos meteorológicos son muy complejos. Resultado de concausas á las que no liga para la ciencia contemporánea ley alguna, desde luégo se comprende que su estudio está en la infancia.

La prediccion del tiempo es una ilusion de los ignorantes ó un ardid de los especuladores.

La Astrología ó Astronomía judiciaria.—La supremacía que en todos tiempos se ha atribuido el hombre como rey de la creacion, creyendo que todo lo existente estaba subordinado á sus necesidades y á su capricho, la importancia que por lo mismo se daba antiguamente al globo que habita, considerándolo como centro del universo y de los movimientos de los cuerpos celestes, la idea exigua que se tenía de la magnitud y distancia de los astros, derivada de la dependencia en que se les suponía del globo terrestre, la falta de conocimientos sobre la constitucion física y química de la atmósfera, de su extension y de sus límites, todo hacía creer á los antiguos astrónomos que los astros, particularmente los que forman nuestro sistema, estaban destinados á influir físicamente en los fenómenos meteorológicos y áun moralmente

en nuestros destinos, de cuya creencia se derivó la Astrología ó Astronomía judiciaria. De todos los planetas que nos rodean, la Luna, por ser el más cercano y de mayor magnitud aparente, por los cambios frecuentes de aspecto que presenta en el corto período de su revolución, se creía que era el que más debía influir en los fenómenos meteorológicos; y la coincidencia casual de sus fases con algunos de ellos pudo haber dado lugar en tiempos remotos á ciertas reglas ó aforismos que se hicieron vulgares y tradicionales para la prevision del tiempo, reservándose para los grandes planetas y las constelaciones la influencia sobre los grandes acontecimientos de la vida de los pueblos y de los individuos.

La Astronomía racional ó matemática.—La Astronomía racional ó matemática limitó su tarea á la determinacion exacta de los movimientos aparentes de los cuerpos celestes, á la investigacion de sus movimientos verdaderos y de las leyes que los rigen, elevándose finalmente al descubrimiento de los grandes y sencillos principios mecánicos á que están subordinados. Con estos poderosos elementos pudo predecir con exactitud asombrosa los fenómenos celestes, y se desentendió de las supersticiosas elucubraciones de la Astronomía judiciaria. Tambien se descartó de la Meteorología soltándose los lazos ficticios que habian unido estas dos ciencias ó que habian mantenido á la segunda bajo la dependencia de la primera.

Renacimiento de la Meteorología.—La me-

teorología renació más tarde para vivir con vida propia y con elementos más seguros y positivos. El impulso dado por el canciller Bacon á la observacion y á la experiencia, únicas fuentes de conocimientos en la ciencia de la naturaleza, los progresos de la física y el descubrimiento del barómetro y del termómetro, dieron una direccion segura á los estudios meteorológicos, y pusieron en manos del físico instrumentos exactos de observacion, de los que hasta entónces habia carecido. Por esto decia Arago que no era extraño que la Meteorología no hubiese dado un paso en la senda del progreso racional ántes del descubrimiento de los dos instrumentos citados.

Separada la Meteorología de la Astronomía, perdió las bases arbitrarias en que se habia apoyado hasta entónces. Entrando en la esfera modesta, pero segura, de las ciencias de observacion, vióse obligada á crearse por medio de un trabajo minucioso, multiplicado y sostenido los datos en que debia cimentar las leyes fundamentales de los fenómenos atmosféricos. En esta nueva fase de su existencia la marcha de la Meteorología debia ser precisamente lenta y laboriosa, pero los resultados debian ser seguros.

Al renunciar, sin embargo, á lo ménos por un largo plazo, á la emision de los pronósticos, constituyéndose en ciencia de observacion de lo presente, ántes que en ciencia de la prevision del porvenir, perdió precisamente la Meteorología su prestigio con el vulgo, que con-

tinuó prestando el mismo crédito á los pronósticos de los almanaques populares, los que han continuado dando pábulo á este deseo innato en el hombre de leer en el porvenir, y á esta propension á creer todo lo que está envuelto en el misterio, ó fuera del alcance de su inteligencia. Y no han faltado hombres que, sensibles al halago de la popularidad, más aún que al deseo del lucro, han dado pasto á la credulidad del pueblo, y buscando sistemas más ó ménos especiosos, ó reglas empíricas basadas en hechos locales, incompletos y en número insignificante, han empezado por engañarse á sí mismos ántes de engañar á los demas. La mayor parte de los medios empleados por esos vates modernos, no merecen los honores de la discusion. Sin embargo, los triunfos accidentales que alguna vez han obtenido, han sido pregonados, y han llegado á conmover á las personas sensatas y medianamente instruidas, dando lugar á que se plantease en el terreno de la buena fe y de la ciencia la siguiente cuestion: «¿Existe una correlacion necesaria entre los fenómenos astronómicos y los meteorológicos, en virtud de la cual, pudiéndose predecir los primeros con toda exactitud, pueden tambien predecirse los segundos?»

Esta cuestion puede discutirse en el terreno de la teoría para resolverla definitivamente en el terreno de la experiencia. Empecemos por la Luna, que es el astro á que se ha dado mayor importancia, bajo este punto de vista, y veamos de qué manera puede influir en los fe-

nómenos meteorológicos, resumiendo en la última parte de este MANUAL lo que se dijo en el capítulo primero á este propósito.

Las acciones que ejerce la Luna sobre la atmósfera terrestre, se reducen principalmente á tres como las del Sol, á saber: la de la luz, la del calórico que nos envia, y la atraccion sobre la masa misma de la atmósfera. En cuanto á la intensidad de la radiacion luminosa, es ésta en la superficie del globo 300.000 veces menor que la del Sol, de donde se deduce la gran inferioridad de la Luna comparada con el Sol bajo este punto de vista. La intensidad de la radiacion calorífica es aún, si cabe, menor y se necesita el termomultiplicador de Melloni para reconocerla y apreciarla. Exceptuando la accion específica de la luz sobre las plantas, podemos decir que una y otra especie de rayos producen definitivamente por su absorcion efectos caloríficos, y estos han de ser insignificantes con los que determina la radiacion solar.

Resta la influencia de la atraccion. Esta es comparable por sus efectos á la que ejerce sobre las aguas del Océano, debiendo producir verdaderas mareas atmosféricas, que han de elevar las capas de aire, particularmente las superiores, y cuya existencia deberia revelarnos el barómetro.

Arago, deseoso de poner en claro la existencia de este fenómeno, encontró, reasumiendo la discusion de las observaciones barométricas de Flaugergues y otros físicos, que la altura media barométrica observada al mediodia durante una

série de años, era mayor en las cuadraturas que en las zizigias, siendo la diferencia poco considerable, de unos 0,42 milímetros; pero tambien halló que la diferencia entre el primer cuarto y el segundo era de 0,83 milímetros, y por consiguiente, mayor. Por otra parte, comparando la altura de las 9 de la mañana con la del medio dia, halló que el descenso era de 0,37 milímetros en las cuadraturas y de 0,33 milímetros en las zizigias. Pero en el primer caso la marea atmosférica debia ser ascendente durante dicho período y descendente en el segundo, y esta oposicion de efectos debia aparecer en uno y otro caso sobre el descenso producido por la calefaccion del aire. La diferencia es, sin embargo, pequeníssima, de 0,04, poco más del décimo del efecto producido por la accion calorífica de los rayos solares.

Resulta de lo expuesto, que la única influencia que racionalmente puede atribuirse á la Luna, si bien aparece confirmada por algunas observaciones, se halla reducida á tan exiguas proporciones, que puede casi considerarse como nula.

Y sin embargo, no lo piensan así ni el vulgo ignorante, ni los que, destituidos como él de fundamentos científicos, van en busca de claves ó sistemas de prevision por medio de tanteos ó de combinaciones empíricas. Y no deja de ser singular que siendo tan manifiesta la accion del Sol sobre el equilibrio atmosférico, la generalidad de las gentes le atribuya exclusivamente la accion calorífica, y ponga las demas in-

fluencias que la física demuestra se derivan de la primera á cargo de la Luna, bien agena en su modesta posicion de la importancia que se le da y de la responsabilidad que se le impone. La única explicacion plausible de esta preocupacion tan general, y que los progresos de las ciencias físicas no han podido desvanecer, es que la imaginacion está siempre dispuesta á suplir lo que no alcanza la inteligencia, y los mitos ó causas misteriosas ejercen sobre ella una fascinacion que prevalece muchas veces sobre la conviccion que llevan consigo las verdades científicas y hasta las de sentido comun. Por otra parte, es la Luna el astro en cierto modo más familiar para los habitantes del globo, la subordinacion manifiesta hasta á los ojos del vulgo de sus movimientos al globo terrestre, la sucesion de sus fases, todo contribuye á que se consideren íntimamente ligados sus destinos con los de nuestro planeta. Sus fases se han considerado como épocas críticas para los cambios atmosféricos, y esta es una de las tradiciones más arraigadas. Y sin embargo, las fases no constituyen en rigor un fenómeno astronómico. Que la Luna nos presente su faz oscura, parcial ó totalmente iluminada, esto no modifica la accion atractiva que ejerce sobre el Océano ó sobre la atmósfera, la que depende exclusivamente de la masa y de la distancia. La única influencia que podrán ejercer las fases de la Luna depender á de la combinacion de su atraccion con la del Sol, cuya resultante se modifica por la posicion relativa de los dos astros, y ya hemos

visto que las mareas atmosféricas ejercen una acción apenas sensible sobre el barómetro, que es el instrumento más á propósito para revelarlas su existencia y su intensidad.

Sin embargo, las fases de la Luna han servido de punto de partida, no sólo para predecir los movimientos atmosféricos, si que tambien otros fenómenos meteorológicos, sobre los cuales es incomprendible que pueda ejercer la Luna una acción directa. En efecto, ¿cómo puede modificar la Luna el estado higrométrico del aire dando lugar á períodos de humedad y de lluvia, ó de sequía, según las circunstancias, la hora, por ejemplo, en que se verifica una de sus fases? Es sabido que el estado higrométrico del aire y los meteoros acuosos dependen de las variaciones de temperatura, y sobre todo de las corrientes atmosféricas. Sería, pues, más racional limitar su influencia á lo verosímil, y enunciar los fenómenos consecutivos como colorarios. Pero todos los inventores de sistemas de prevision buscan los medios empíricos más sencillos y de fácil aplicación, por destituidos que sean de fundamento, erigiendo en reglas infalibles relaciones puramente arbitrarias accidentalmente encontradas en un limitado número de casos. Si los hechos posteriores las desmienten, modificanlas gradualmente hasta llegar á un grado de vaguedad y de incertidumbre que la excepción está siempre dispuesta á librarles de compromisos.

Esto es lo acontecido con los pronósticos del célebre Mathieu de la Drome. Otros, como

Raspail, hacen intervenir en sus pronósticos las indicaciones del barómetro y el estado del cielo, pero esta combinación, aunque parece más racional, fundándose por punto general en relaciones completamente arbitrarias, no puede dar mejores resultados.

El mismo Raspail ha reproducido también un sistema que había ya sido abandonado sin duda porque la experiencia había demostrado su inexactitud. Tal es el de los ciclos lunares. Partiendo siempre del supuesto de que la Luna dirige los fenómenos atmosféricos y determina su naturaleza é intensidad, se creyó, que reproduciéndose de diez y nueve en diez y nueve años las fases de la Luna en unas mismas épocas, era consiguiente que se reprodujesen los mismos fenómenos meteorológicos. Este sistema, si fuese exacto, sería sin duda el más cómodo y seguro, porque después de diez y nueve años de observaciones se tendría un verdadero programa cuya repetición se verificaría infaliblemente en los períodos sucesivos. Arago manifiesta en sus *Notices scientifiques* lo erróneo de este sistema, citando datos sobre la temperatura y la lluvia tomados á intervalos de diez y nueve años, y que están en completo desacuerdo. Hay otro período lunar que también había sido preconizado, y es el de la revolución del eje mayor de la órbita lunar que se verifica en nueve años. Este período tiene algún fundamento; porque así como la distancia de la Luna á la Tierra influye en la intensidad de las mareas oceánicas, puede suponerse que ejercerá una influencia parecida en

las mareas atmosféricas. Esto supuesto, si el eje de la órbita lunar emplea unos nueve años en recorrer todos los signos del zodiaco, al cabo de este tiempo las fases de la Luna se reproducirán exactamente con las mismas distancias del satélite á la Tierra, y por lo tanto los cambios atmosféricos que de dichas distancias dependan se sucederán en el mismo orden. Tampoco halló Arago que este sistema fuese confirmado por la experiencia, y no es extraño atendida la pequeñísima amplitud de las mareas atmosféricas.

Es probable que los pronósticos del antiguo zaragozano estuvieran fundados en los ciclos lunares, porque es general la creencia de que un pariente suyo se los habia legado calculados con muchos años de anticipación.

Prevision de los fenómenos meteorológicos.— En vista de lo dicho, ¿debemos considerar como de todo punto imposible la prevision de los fenómenos meteorológicos? A esta pregunta es preciso contestar con un distingo: la prevision á corto plazo es asequible: la prevision á largo plazo está fuera del alcance de la ciencia en su estado actual, y lo estará probablemente siempre. En efecto, los fenómenos meteorológicos son el resultado, no sólo de las causas que obran sobre la atmósfera en el momento de su aparicion, si que tambien, y muy particularmente del estado prévio en que ésta se encuentra y de los fenómenos anteriores. Así es que no hay metéoro que no tenga su precursor, y entre todos el que influye más en los fenómenos con-

secutivos, dando lugar á todos ellos, es el viento ó las corrientes atmosféricas. Es necesario, además, tener en cuenta las causas locales que suelen modificar la marcha general del fenómeno, y por lo tanto es preciso eliminarlas. Para esto hay dos medios: ó multiplicar las observaciones en varios puntos diversamente situados de la region más ó ménos extensa que se trata de estudiar, ú observar á grandes alturas donde las influencias locales no se hacen sentir, del mismo modo que para determinar la direccion y velocidad de una corriente no hay que operar en la orilla, donde la resistencia del suelo disminuye la velocidad, donde pueden producirse remolinos que cambien la direccion. Esta es la dificultad, por cuanto la region en que nosotros podemos operar es la más baja, y por consiguiente más sujeta á influencias perturbadoras. Hay que apelar para ello á medios indirectos. La direccion de las nubes, cuando son bastante elevadas, es generalmente distinta de la del viento en la parte inferior, y es indicio de la corriente general reinante en aquella region, corriente que en otra localidad bajará al nivel del suelo, y lo verificará tambien más tarde en el lugar de la observacion.

Coulvier Gravier ha encontrado un medio tan ingenioso como imprevisto de determinar la direccion de las corrientes en las regiones superiores de la atmósfera; tal es el de observar la trayectoria de las estrellas fugaces que atraviesan dichas regiones. Y hé aquí un fenómeno cósmico que ha venido en auxilio de la Meteo-

rología, no como causa ó agente, sino como indicador de lo que pasa en regiones inaccesibles á nuestros instrumentos.

Conclusion.—Estas ligeras indicaciones bastan para trazar la línea divisoria entre la Astronomía y la Meteorología, así como para hacer su paralelo.

El astrónomo es en realidad un geómetra. Sus puntos son los astros, sus arcos las trayectorias que recorren; su compás los telescopios que sirven para observarlos. Pero si el geómetra en vez de trazar sus líneas en el papel las traza en el espacio celeste, necesita de la física para construir las figuras y para verlas. Cuando la física llegue al grado de progreso que alcanza la geometría, la ciencia de los astros habrá rasgado el velo de sus secretos.

FIN DE LA OBRA.



ÍNDICE.

Páginas.

Advertencia.	5
----------------------	---

PARTE I.

Exposicion histórica del sistema del mundo.

CAPÍTULO I.

GENERALIDADES.

Doble objeto del estudio de la Astronomía.	7
La Astronomía es una parte de la Mecánica.	7
Carácter de los fenómenos astronómicos.	8
La primera causa de los fenómenos astronómicos.	8

CAPÍTULO II.

EL SISTEMA DEL MUNDO.

Historia de la Astronomía.	9
El universo aparente.	12
La Luna.	14
El sistema de Tolomeo.	19
El Calendario.	21
El Universo real.—Copérnico.	25
Kepler.	28
Desde Kepler hasta Newton.	29
La gravitacion universal.	29

PARTE II.

Astronomía práctica.

CAPÍTULO I.

INSTRUMENTOS ASTRONÓMICOS.

Objeto de la Astronomía práctica.	33
Aparatos antiguos.	33

	Páginas.
Telescopios	34
Telescopios por reflexion.	36
Telescopio por refraccion.	38
Aparatos astronómicos de uso frecuente	39

CAPÍTULO II.

APLICACIONES DE LOS INSTRUMENTOS ASTRONÓMICOS
Y ESTUDIOS QUE SE RELACIONAN CON ELLOS.

Determinacion de longitudes.	42
La luz.	46
El espectróscopo ó espectróscopio.	52
La Fotografía	54

PARTE III.

Sistema solar.

CAPÍTULO I.

ESTRUCTURA DEL SISTEMA SOLAR.

Razon del método.	57
Posiciones de los astros.	58
La teoría de los Planetas.	59
El Sol —Su constitucion física.—Su teoría.	66
Mercurio.	72
Vénus.	74
La Tierra.	76
Estaciones	82
La Luna.	85
Marcas.	91
Los relojes de sol	95
Marte.	101
Planetas pequeños comprendidos entre Marte y Júpiter.	104
Júpiter	106
Saturno	109
Urano.	114
Neptuno.	116
Cometas.	117
El Planeta Vulcano.	126
Eclipses de Sol y de Luna.	132

4.55¢