

B.P. de Soria



61112851  
D-1 1259

Signat. Top.

Est. 74

Tab. 1

Núm. 18

2851

D-1  
1259

TRATADO ELEMENTAL  
DE FÍSICA,

ESCRITO EN FRANCES

*por Mr. F. S. Beudant,*

Miembro de la Academia real de Ciencias, caballero  
de la Legion de Honor, y profesor de mineralogía  
de la facultad de Ciencias de Paris.

TRADUCIDO AL CASTELLANO,  
SEGUN LA CUARTA Y ULTIMA EDICION,

*por Don Nicolas Arias.*

BIBLIOTECA

DEL  
INSTITUTO PENINSULAR

SERIA

TOMO II.



MADRID:

IMPRENTA DE DON MIGUEL DE BURGOS,

noviembre 1830.



---

## ADVERTENCIA DEL TRADUCTOR.

---

*En este segundo volumen se presenta lo relativo al calórico, luz y electricidad. Según los últimos trabajos de Mr. Ampère el magnetismo no forma mas que una rama de la electricidad, y como tal explica Mr. Beudant sus fenómenos en un capítulo del libro VII. Con esto quedaba completa la traduccion de la obra de Mr. Beudant; pero como en algunos párrafos indica fórmulas algebraicas, sin deducirlas, he creido conveniente poner la deduccion de las mas interesantes, procurando siempre elegir las demostraciones mas sencillas para que puedan estar al alcance de todos. Esta es la razon por la cual no he puesto algunas demostraciones de estática y dinámica, cuya deduccion se hace por medio del cálculo diferencial. Me he limitado, pues, á entresacar de las obras de mecánica de Boucharlat, Francoeur, Fischer, Vallejo, y otras, las demostraciones mas sencillas del paralelógramo de las fuerzas, movimiento acelerado, curvilíneo y de proyeccion, péndulo, bombas y capilaridad, in-*

*cluyendo un extracto de la deducción de la fórmula barométrica para medir alturas por Mr. Biot. Bien quisiera que mi trabajo fuera lo mas perfecto posible; pero en la imposibilidad de serlo, espero que la indulgencia de los lectores suplirá las faltas en que haya podido incurrir, atendiendo al buen deseo con que presento al público la cordedad de mis tareas; deseo que no es otro que el de propagar mas y mas la afición á las ciencias naturales entre mis compatriotas.*

---

## INTRODUCCION

### AL ESTUDIO DE LOS FLUIDOS INCOERCIBLES.

---

462. Para explicar los fenómenos del calor, de la luz, de la electricidad y del magnetismo (\*), se han imaginado fluidos particulares, elásticos, sumamente sutiles, capaces de penetrar la mayor parte de los cuerpos con mucha facilidad, y cuya existencia no se manifiesta sino por sus efectos, por lo cual se les ha llamado *fluidos incoercibles*. También se les llama *fluidos imponderables*, porque no ha sido posible hasta ahora demostrar que sean pesados.

Por esta definicion se ve que los fluidos incoercibles difieren esencialmente de los cuerpos que hemos estudiado hasta aquí, y cuyas propiedades características consisten en la impenetrabilidad y la pesantez: pero á falta de estos caractéres por los cuales reconocemos ordinariamente los cuerpos, ¿cuáles son los que pueden conducirnos á admitir la existencia de los fluidos incoercibles? No hay otros sino los diversos movimientos que reconocemos en el estudio de los fenómenos.

---

(\*) No se habla aqui del *magnetismo animal*, nombre con el cual se designan algunos fenómenos muy extraordinarios que parecen verificarse en los cuerpos vivos; de cuyos fenómenos se ha apoderado frecuentemente el charlatanismo.

463. La experiencia nos enseña que la luz y el calor se propagan á grandes distancias del foco de donde emanan; que atraviesan ciertos cuerpos con facilidad, refractándose en algunos como hacen los sólidos en movimiento al atravesar un líquido ó un fluido aeriforme (385); que son reflejados en la superficie de otros, haciendo el ángulo de reflexion igual al de incidencia, exactamente lo mismo que los cuerpos sólidos elásticos (249). Desde los primeros experimentos de la electricidad y del magnetismo, se notan tambien movimientos de traslacion, fenómenos de acumulacion de fuerzas en un punto ú en otro, que atestiguan la existencia de un cuerpo aunque no nos sea posible verle ni palparle.

Otro fenómeno muy importante, resultado de la experiencia, nos enseña que estos movimientos son independientes de todos los cuerpos que conocemos; que no pueden ser ni producidos por ellos ni comunicados por su intermedio. En efecto, los fluidos aeriformes que en la produccion ó trasmision del sonido pueden presentar algunas relaciones con los fenómenos que acabamos de citar, no pueden de modo alguno causar el fenómeno de que se trata, ni ser su vehículo. Esto lo demuestra un experimento positivo, pues se reconoce que la luz, el calor, &c. se propagan en el vacío mas perfecto que se puede obtener, del mismo modo que en un fluido aeriforme, y tal vez con mayor facilidad.

Esta circunstancia nos obliga á admitir para explicar estos fenómenos la existencia de uno ó muchos cuerpos diferentes de los que hemos estudiado hasta aquí; estos cuerpos deben ser sumamente sutiles y dotados de elasticidad.

Todos los físicos están acordes en este punto, pero no todos conciben del mismo modo los diferentes fenómenos que presentan estos cuerpos: en efecto, pueden explicarse por dos hipótesis generales muy distintas y tan fecundas una como otra en aplicaciones.

464. 1.<sup>a</sup> *Hipótesis.* Se puede concebir que estos cuerpos particulares sumamente sutiles, están constantemente repartidos en todo el universo y en todos los cuerpos, donde no manifiestan ninguna propiedad mientras permanecen en reposo; pero producen fenómenos de diversos géneros, cuando se ponen en movimiento por varias causas. Ya es la simple pérdida del equilibrio la que produce movimientos de traslación, de donde nacen diversos fenómenos; ó ya son vibraciones de diferentes especies que producen ó provocan efectos de otro género, y que se propagan á distancia, como hemos visto en los cuerpos sólidos, líquidos y aeriformes.

Esta hipótesis, creada por Descartes, adoptada y desarrollada por Euler, es especialmente susceptible de aplicación á los fenómenos de la luz, y está admitida en el día por muchos sabios físicos como Arago, Fresnel, Young, &c. Se considera el foco de luz como un centro de vibraciones que son transmitidas por este fluido sutil, que en este caso se llama *eter*, y que se propagan hasta nosotros, del modo que las vibraciones de los cuerpos sonoros se propagan por intermedio del aire. Todos los fenómenos de la luz se explican entonces como en la teoría del sonido.

Los fenómenos del calor pueden explicarse por movimientos particulares de este mismo fluido;

desde luego se reconoce facilmente porque van tan frecuentemente acompañados de fenómenos luminosos, y como los efectos de estos dos géneros tienen entre sí tan grandes conexiones. Los fenómenos eléctricos no presentan mayores dificultades; se pueden tambien explicar por el fluido etéreo que está encerrado en todos los cuerpos. Basta para salvar toda dificultad mirar al eter como un cuerpo formado de otros dos fluidos, en los que es susceptible de descomponerse de diversos modos; estos fluidos son los que producen cuando estan libres todos los fenómenos eléctricos, los cuales se explican entonces por la teoría de Symmer adoptada generalmente en Francia.

Ademas, en lugar de suponer la existencia de un mismo fluido en estas tres clases de fenómenos, se pueden, si se quiere, suponer fluidos particulares para cada una de ellas. Estos fluidos estarán constantemente mezclados entre sí y se observarán diversos fenómenos, segun se ponga en movimiento uno ú otro. Puesto uno de ellos en movimiento por una causa cualquiera, podria hacer mover á su vez á los demas, y se concebiría así por qué los fenómenos de una de las tres clases se hallan muchas veces complicados con fenómenos que pertenecen á las otras; pero estas nuevas suposiciones son de todo punto inútiles.

465. 2.<sup>a</sup> *Hipótesi.* Admitiendo varios fluidos, se les puede considerar dotados inmediatamente de muchas propiedades que en la primera hipótesi se atribuían á sus movimientos. Se les puede mirar como luminosos, calientes, &c. por sí mismos, y considerar sus traslaciones y los diversos fenómenos mecánicos que presentan, no ya como pro-

ducidos por undulaciones análogas á las sonoras, sino por *emanaciones* reales y efectivas de partículas de un lugar determinado que les dá origen. Estas partículas lanzadas en el espacio con cierta velocidad, obran como otros tantos pequeños glóbulos en movimiento, se reflejan en la superficie de ciertos cuerpos, penetran en otros, atraviesan algunos refractándose, &c. Asi es como Newton estableció su teoría de la luz, considerando los fenómenos como producidos por un fluido particular luminoso emanado del foco de la luz, y arrojado al espacio en línea recta con gran velocidad, y cuyos movimientos podian ser modificados de diferentes modos en la superficie ó en el interior de los cuerpos.

Del mismo modo se concibió un fluido dotado de propiedades particulares para explicar los fenómenos del calor. Francklin concibió otro para los fenómenos eléctricos; y Symmer aun imaginó dos que forman hoy la base de la teoría eléctrica que está adoptada generalmente en Francia. Igualmente se ha admitido uno ú dos fluidos particulares para explicar los fenómenos magnéticos; pero veremos que se pueden mirar los efectos magnéticos como fenómenos particulares de la electricidad.

466. Tales son las hipótesis que se pueden hacer para establecer una teoría de los diversos fenómenos de la luz, del calor, de la electricidad y del magnetismo; ambas son admisibles en el estado actual de la ciencia, y explican casi igualmente los diferentes fenómenos. La mayor parte de las objeciones que pueden hacerse á una ú otra son mas especiosas que sólidas, y en general se refutan de un modo satisfactorio. Sin embargo, en el dia hay una objecion, bastante fuerte á la verdad,

contra la hipótesi de la emanacion adaptada á los fenómenos de la luz. Esta objecion nace de los experimentos que Fresnel ha verificado sobre la difraccion de la luz y que son de hecho inexplicables por la hipótesi de la emanacion, explicándose al contrario con gran facilidad en la hipótesi de las vibraciones.

Seria útil sin disputa por el interes de la ciencia presentar aquí las dos teorías, aplicando una y otra á los diferentes fenómenos; pero en la necesidad de optar para no alargar demasiado esta obra, hemos creído debernos limitar á una sola. Hemos elegido la de la emanacion, no porque se crea mas fundada, sino porque, dando por decirlo así, mas materialidad á los fenómenos, es quizá mas facil de comprender. Ademas, existe entre los fenómenos explicados de este modo un enlace íntimo, y una coordinacion que no han podido conseguirse adoptando la otra teoría.

---

---

# LIBRO QUINTO.

## Del calórico.

Se ha dado el nombre de *calórico* á un fluido elástico, imponderable, sumamente sutil que penetra todos los cuerpos con la mayor facilidad, y que se *supone* ser la causa de todos los fenómenos del calor.

Los manantiales del calórico son: 1.º El sol, que produce en general las diferencias de temperatura en los diversos paralelos: 2.º La combustión: 3.º Una multitud de operaciones químicas ó físicas de que tendremos ocasion de hablar.

El calórico no puede estar en equilibrio, á menos que no esté en el mismo grado de densidad en toda la extension del espacio y en todos los cuerpos que se hallan esparcidos en él. Si, cuando este equilibrio existe en un sistema de cuerpos por cualquier medio, sucede que se acumula una nueva cantidad de calórico en cualquiera de ellos, el fluido superabundante se distribuirá al momento con mas ó menos velocidad, tanto en forma de rayos como por el intermedio de los cuerpos en contacto.

## CAPITULO PRIMERO.

*Fenómenos del calórico radiante.*

467. *Reflexion del calórico en la superficie de los cuerpos pulimentados.* — El calórico al salir de un foco de calor en forma de rayos, tiene la propiedad de reflejarse en la superficie de los cuerpos pulimentados, haciendo el ángulo de reflexion igual al de incidencia. Para convencerse de esto tómese un espejo plano, colóquese delante de él formando ángulo agudo un tubo de alambre con carbones encendidos; determínese la direccion del rayo reflejado, tomando el ángulo de reflexion igual al de incidencia, y colóquese en esta direccion un termómetro y al momento se verá subir el instrumento muchos grados, al paso que otro termómetro colocado fuera de esta direccion quedará sensiblemente estacionario.

También puede hacerse el experimento de otro modo: dispóngase un cuerpo en combustion en A en frente de un espejo cóncavo (*fig. 173*); los rayos calóricos *Aa*, *Ab*, &c. salidos del cuerpo A se reflejarán en el espejo é irán á cruzarse todos sensiblemente en B; de suerte que si se coloca en este punto un cuerpo combustible, v. gr., yesca, se inflamará prontamente, mientras que no tendrá lugar el mismo efecto si se coloca en cualquier otro punto aunque esté mas próximo al cuerpo A.

La posicion del foco de los rayos reflejados varía con la posicion del cuerpo en combustion. Si este se colocase en B los rayos directos serian *Bb*, *Ba*, &c. y los rayos reflejados serian *aA*, *bA*, &c.

de suerte que el foco de reflexion se hallaría en A y un cuerpo colocado en este punto se calentaria considerablemente.

Los fenómenos que se obtienen aquí, desarrollando el calórico por la combustion de un cuerpo, se presentan igualmente cuando se coloca el espejo cóncavo de modo que reciba los rayos del sol. Los rayos de calórico emanados de este astro, y trasmitidos con la luz se reflejan en la superficie pulimentada, y se van á reunir despues de la reflexion en un centro comun. Si en este punto se coloca un cuerpo combustible, se le verá inflamarse como en el experimento anterior.

Saussure y Pictet dispusieron dos espejos cóncavos AB, CE (*fig. 174*) frente uno de otro á distancia de 4 metros (14 pies y 4 pulgadas españolas), colocaron un termómetro T en el foco de uno de los espejos, y en el foco del otro una bala F de 54 milímetros (2 pulgadas 4 líneas) de diámetro que habia sido calentada hasta enrojecerse, y luego dejada enfriar hasta que no daba luz en la oscuridad. Observaron entonces que el termómetro T subió  $10^{\circ}$  en 6 minutos, mientras que otro termómetro colocado á la misma distancia fuera de los espejos no subió mas que  $2^{\circ}$ . Asi, pues, el efecto del calórico reflejado fue elevar la temperatura del termómetro focal  $8,5^{\circ}$ . Pictet remplazó la bala con una botella de agua hirviendo, y obtuvo un efecto análogo. La *fig. 174* puede indicar bastante bien como los rayos partidos del punto F caen sobre el espejo AB en *a, b, c, d*, y despues son conducidos por la reflexion á *a', b', c', d'*, y de allí á T. Es preciso tener presente que el termómetro envia tambien rayos al cuerpo F; pero estando este últi-

mo mas caliente, el cambio es ventajoso al termómetro hasta que se establece el equilibrio de temperatura; desde entonces los dos cuerpos se envian mutuamente la misma cantidad de rayos caloríficos.

Sustituyendo á la bala una vasija llena de hielo se ve al momento bajar el termómetro. Algunos físicos han deducido de esto que existian rayos frigoríficos los cuales por reflexion iban á parar al termómetro; pero es facil concebir que lo que, pasa en este fenómeno es absolutamente idéntico á lo del anterior, con la única variacion de que siendo el termómetro el cuerpo mas caliente, es el que debe perder calórico hasta que se establece el equilibrio de temperatura.

468. *Absorcion del calórico por los cuerpos de superficies mate ó deslustradas.* — Cuando los rayos de calórico en vez de caer sobre una superficie pulimentada, caen sobre una superficie mate ó deslustrada, son absorvidos en una parte muy considerable. Cúbrase, v. gr., (*fig. 173*) el espejo con negro de humo; cuélguese igualmente en A un cuerpo en combustion, y se verá colocando un termómetro en B que hay muy pocos rayos reflejados. En este caso el espejo se calentará con mas prontitud que cuando su superficie cóncava estaba limpia. En general los cuerpos cuya superficie está poco pulimentada ó de un color obscuro se calientan mucho mas pronto que aquellos cuya superficie es blanca y brillante.

Se nota tambien que la facultad de emitir el calórico es mas grande en un cuerpo cuya superficie está mate, que en otro de la misma naturaleza, pero cuya superficie está pulimentada; de suerte que en el primer caso el cuerpo se enfria con

mucha mas rapidez que en el segundo. Resulta por experimentos muy exactos hechos al mismo tiempo por Leslie y Rumfort, que en los cuerpos de la misma naturaleza la facultad emisiva y la absorbente siguen en todos los casos la misma ley.

Si se ponen en la superficie de la nieve pedazos de tela negros y blancos, se observará que la nieve no se derretirá bajo la tela blanca, porque ésta reflejará los rayos de calórico; y al contrario, se derretirá sensiblemente bajo la tela negra que los absorve. Los montañeses de muchos parajes de Europa tienen la costumbre de cubrir la nieve con tierras negras para apresurar su derretimiento y adelantar así considerablemente el tiempo de la labranza y sementera de los campos.

Los vestidos negros son cálidos al sol y frios á la sombra. En el primer caso absorven el calórico y le comunican al cuerpo; en el segundo roban el calórico al cuerpo y lo trasportan al aire y á los cuerpos circunvecinos. Conviene, pues, para estar al sol en el verano vestirse de blanco, y para estar-se á la sombra durante el invierno sería preciso hacer otro tanto.

Quando se construye una chimenea es preciso guarnecer el interior de azulejos blancos que reflejaren el calórico hácia el aposento, y no ennegrecerla como hacen comunmente los obreros. Si se quiere calentar un cuarto por medio de una estufa, deberá conservarse todo lo mas que se pueda su superficie exterior negra y mate.

469. *Propagacion del calórico por medio de los cuerpos diáfanos.* — La experiencia diaria nos enseña que los rayos caloríficos solares se transmiten al traves de los vidrios, lo mismo que los rayos

luminosos; como puede observar cualquiera colocándose detras de una vidriera expuesta al sol: experimentos muy exactos hechos por Laroche han demostrado que sucedia lo mismo con el calórico emanado de los cuerpos que se calientan hasta un grado de color obscuro que sea superior al del agua hirviendo. Los efectos se observan con tanta mayor facilidad quanto la temperatura de los cuerpos con que se hace el experimento se aproxima mas á aquella en que se principia á producir luz; de suerte que las propiedades del calórico parecen modificarse gradualmente hasta hacerse idénticas á las del fluido luminoso. Esta es una observacion sumamente importante en la teoría de las vibraciones, donde se admite el mismo fluido para el calor y para la luz.

470. *Refraccion del calórico.* — Cuando el calórico radiante producido por un cuerpo de una temperatura bastante elevada llega á una superficie diáfana en una direccion oblicua, penetra en este cuerpo y se refracta mas ó menos segun su naturaleza. Esta refraccion no se verifica lo mismo que la de un cuerpo sólido que atraviesa un líquido (385); pues el rayo calorífico hace el ángulo de refraccion mas pequeño que el de incidencia, lo que se puede atribuir á la atraccion que el cuerpo ejerce sobre el fluido. Si se presenta al sol un lente de cristal, los rayos de calórico asi como los de luz, se refractarán y se reunirán juntos en un punto que se llama *foco*; de suerte que si se coloca en este punto un cuerpo combustible como la yesca, se inflamará prontamente; experimento que todo el mundo puede hacer. Si no se obtienen idénticamente los mismos efectos con el fuego de nuestras

hógueras, ó con un cuerpo puesto en un grado de calor oscuro, aunque sea bastante elevado, es porque el centro de emanacion no tiene bastante actividad: sin embargo, existe en este caso una refraccion de calórico, pues el calor es realmente mas fuerte en el foco del lente que en los demas puntos; de lo que puede cualquiera convencerse por medio de un termómetro muy sensible.

471. *Variaciones de calor de un extremo al otro del espectro solar.* — La refraccion de los rayos caloríficos se manifiesta de un modo aun mas notable en el experimento que se hace para descomponer la luz blanca en rayos coloreados. Cuando un hacesillo de luz solar que pasa por un pequeño agujero circular hecho en la ventana de un aposento oscuro cae sobre un prisma triangular ABC (*lám. 11, fig. 230*) se refracta en el interior del cuerpo, despues sale y se refracta de nuevo en el exterior, como lo veremos mas adelante. Adquiere entonces caracteres particulares, pues ya no es un hacesillo blanco, sino un haz de partículas coloreadas, de las cuales cada rayo sufre una refraccion particular. Todas estas refracciones se verifican en un mismo sentido trasversal al prisma, y resulta de ellas que el hacesillo se halla considerablemente dilatado en esta direccion; de suerte que, si se le recibe en un plano á alguna distancia, dá una imagen prolongada en vez de una imagen circular. Esta imagen está vivamente coloreada con diferentes tintas dispuestas en bandas trasversales; los colores se suceden con este orden: *rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violado*; estos últimos, que estan en la extremidad mas alta cuando el prisma está dispuesto como en la figura,

se ve que son los mas refrangibles, y el hacecillo de moléculas caloríficas que acompañan á la luz, presenta un fenómeno del mismo género. Está dilatado del mismo modo á la salida del prisma, y la intensidad del calor en las diversas bandas coloreadas disminuye sucesivamente desde la banda coloreada de rojo donde está en el máximo, hasta el violado, en cuya extremidad está en el mínimo. Estos resultados notables descubiertos por Herschel, y confirmados por muchos físicos, nos prueban que los rayos caloríficos estan sujetos á las mismas leyes que los luminosos. Se pueden obtener tambien, aunque con bastante dificultad, con cuerpos de un color oscuro sumamente intenso.

472. *Polarizacion del calórico.* — Los fenómenos del calórico radiante nos han presentado ya en los párrafos anteriores una grande analogía con los fenómenos de la luz; pero esta analogía llega á causar mucha mas admiracion en la polarizacion, ya sea por reflexion ó por refraccion; la del calórico se verifica absolutamente lo mismo que la de la luz. La polarizacion que ha sido primeramente observada en la luz, consiste en cierta modificacion del rayo luminoso, que es tal, que puede ser enteramente reflejado cuando cae sobre un cuerpo trasparente y reflectante, por un lado determinado y bajo cierto ángulo, mientras que es enteramente refractado cuando bajo el mismo ángulo cae sobre el mismo cuerpo por otro lado situado á  $90^\circ$  del primero. En todas las posiciones intermedias es en parte reflejado y en parte refractado. Esta propiedad notable, que examinaremos en la óptica, puede ser comunicada al rayo por refraccion ó por reflexion: por refraccion pasando al través de una

sustancia dotada de la doble refraccion, como el *espato de Islandia*; por reflexion cuando cae sobre un cristal haciendo un ángulo de  $35^{\circ} 25'$ .

Los mismos fenómenos se verifican con el calorífico: desde luego se puede experimentar con los rayos emanados del sol, que por consiguiente estan acompañados de luz. Si se hace reflejar este rayo sobre un cristal bajo el ángulo de  $35^{\circ} 25'$  y se le presenta despues bajo el mismo ángulo otro cristal dispuesto de tal modo que pueda girar al rededor sin mudar de inclinacion, describiendo por consiguiente un cono, se hallarán puntos situados á  $90^{\circ}$  uno de otro, donde la luz sufrirá el maximo de reflexion y el mínimo de refraccion. Pero en este caso todas las moléculas caloríficas son tambien reflejadas ó refractadas del mismo modo, y por consiguiente el rayo calorífico es polarizado lo mismo que el luminoso.

Berard, á quien se debe esta notable observacion, ha hallado el mismo fenómeno con el calorífico enteramente oscuro. En efecto, si se hace caer sobre un cristal bajo el ángulo de  $35^{\circ} 25'$ , el calorífico emanado de un cuerpo caliente, se le observa polarizado como la luz, es decir; que presentándole en seguida un segundo cristal, como en el experimento precedente, hay reflexion completa de calor en todos los puntos donde habria reflexion completa de luz, y refraccion completa en todos los puntos donde la luz sufriria tambien el maximo de refraccion.

## CAPITULO II.

*Equilibrio de temperatura entre los cuerpos en contacto. Propagacion del calor por intermedio de los cuerpos.*

473. *Equilibrio de temperatura.*— Cuando dos cuerpos de temperatura diferente estan en contacto, el mas caliente reparte su calórico con el mas frio, ya sea por una emision de rayos caloríficos, ó ya por una propagacion de inmediato á inmediato, y despues de un tiempo mas ó menos considerable se establece un equilibrio de temperatura. Esta circunstancia nos explica las diversas sensaciones de calor y de frio que experimentamos algunas veces en el contacto de algunos cuerpos. En efecto, si tocamos á un cuerpo cuya temperatura es mas baja que la nuestra, el establecimiento de equilibrio exige que este cuerpo nos robe calórico y nos haga sentir la sensacion de frio. Si al contrario tocamos á un cuerpo cuya temperatura es mas alta que la nuestra, este cuerpo nos comunica calórico, y experimentamos entonces la sensacion del calor.

Esta es la razon por la cual las cuevas nos parecen calientes en invierno y frias en verano. El calor de estos subterráneos es casi siempre constante; pero estando en invierno nuestro cuerpo mas frio, roba calórico al aire de la cueva, y en el verano al contrario le comunica parte del suyo.

Resulta de algunos experimentos hechos por Bertholet, Pictet y Biot que el choque determina

una mas pronta comunicacion del calórico que el simple contacto.

474. *Leyes de la propagacion del calor al través de los cuerpos.* — Supongamos una varilla metálica de tres á cuatro varas de longitud puesta en comunicacion con un foco perene de calor; supongamos esta vara atravesada de agujeros llenos de mercurio en donde se hayan sumerjido termómetros, y que disten cada uno un pie.

Tomando la diferencia entre la temperatura del aire y la de los diferentes termómetros, se tendrá la de la barra de pie en pie.

Las distancias respectivas del foco de calor forman aquí una progresion aritmética; y se encuentra por el experimento que la temperatura forma una progresion geométrica decreciente, á contar desde el foco. El decrecimiento del calor es tan rápido que no se hallaría medio de aumentar en un solo grado la temperatura del extremo de una barra de hierro de siete á ocho pies de longitud, calentándola en el otro extremo, pues el calor que sería necesario para ello, sería mucho mas fuerte que el necesario para fundirla.

475. *Facultad conductriz de los cuerpos.* — No todos los cuerpos gozan en el mismo grado la facultad de conducir el calórico. Si se expone al fuego el extremo de una varilla de hierro, y el de una varilla de madera del mismo grandor, y se aplica la mano á los extremos opuestos, se reconocerá que adquieren temperaturas muy diferentes, de suerte que es imposible tener por una punta la varilla de hierro de algunas pulgadas de largo, cuando está roja en el extremo, al paso que se puede tener impunemente una varilla de madera de algunas líneas,

aunque esté ardiendo en el otro extremo. Es preciso concluir de este experimento, que el calórico no es conducido igualmente por los dos cuerpos, y de aquí viene la distincion que se hace de los cuerpos en *buenos y malos conductores del calórico.*

*La mayor parte de los metales son buenos conductores;* hay sin embargo entre ellos diferencias muy marcadas. La platina es muy mal conductor, de suerte que se puede tener en la mano una lámina de platina muy pequeña por un extremo, aunque esté roja en el opuesto: el hierro, el acero, el plomo conducen el calórico mucho mas mal que el oro, la plata, el cobre y el estaño; las *pedras*, los *ladrillos*, el *vidrio*, la *madera*, el *carbon*, la *seda*, la *lana*, &c. son en general malos conductores.

*Los líquidos son malos conductores del calórico.* — Por ejemplo, si despues de haber puesto mercurio en un vaso se derrama agua hirviendo encima, se verá que el líquido inferior no se calienta sino con mucha lentitud. Se puede notar en los rios, mares, &c. que la temperatura del agua es mas elevada en la parte superior que á algunas varas de profundidad, lo que procede de que el líquido calentado en su superficie por los rayos del sol no comunica sino con mucha dificultad su calor á las partes inferiores.

Se podría objetar á esto, que cuando se pone al fuego un vaso lleno de agua, este líquido no tarda en entrar en ebullicion; sin embargo, se podrá notar aun en este caso que la parte superior está mas caliente que la inferior. Pero aqui se observan otros fenómenos, que no tardaremos mucho en explicar.

*Los cuerpos gaseosos son quizá los peores con-*

*ductores*, y á lo que parece tanto peores cuanto mas enrarecidos están. La rarefaccion del aire es una de las causas del frio excesivo que reina en las regiones altas de la atmósfera.

Rumfort probaba la poca conductibilidad del aire por un experimento bastante notable, que no se puede olvidar una vez visto. Hacia colocar un queso helado en medio de un plato, en seguida vertia por encima huevo batido, y formando entonces una espuma que encerraba una gran cantidad de aire, ponía sobre el plato un horno de campaña bien caliente para hacer cuajar rápidamente el huevo, y obtenía de este modo una tortilla bien caliente, en medio de la cual se hallaba un queso helado. En esta operacion el aire encerrado en la espuma impide suficientemente al calor propagarse hasta el centro del plato.

Sin embargo, puede observarse que los cuerpos gaseosos se calientan, y aun muy prontamente; pero esto procede de dos causas: 1.<sup>a</sup> de fenómenos de dilatacion que excitan en la masa corrientes ascendentes, como sucede en los líquidos: 2.<sup>a</sup> de que el calórico radiante puede introducirse con la mayor facilidad entre sus moléculas que están siempre muy separadas unas de otras.

476. *Aplicacion de la facultad conductriz de los cuerpos.*—La diversidad de facultades conductoras suministra aplicaciones útiles á nuestras necesidades habituales. Si se quiere concentrar el calor sobre una sustancia, es menester servirse de un hornillo construido con cuerpos malos conductores, como los ladrillos. Si al contrario, se quiere calentar un aposento por medio de una estufa, es preciso servirse para su construccion de cuerpos buenos

conductores; así pues una estufa de hierro fundido calienta mucho mejor que una estufa de loza. Cuando se quiere conservar el calor del cuerpo, conviene vestirse de lana ó de otra tela de materia poco conductora; en el caso contrario conviene vestirse de lino, cáñamo, &c. Esto lo ha enseñado la experiencia muchos años antes que se tuviesen ideas exactas sobre el calor. Lo mismo hay que hacer cuando se quiere poner un cuerpo al abrigo del calor de la atmósfera, es decir, que es menester envolverle en una sustancia poco conductriz. Algunas veces se practica esto en el transporte del hielo durante los calores del verano: se envuelve este en una gran manta de lana que no deja pasar sino con mucha dificultad el calórico de que está cargado el aire exterior.

477. *Explicacion de diversos fenómenos.* — Las varias sensaciones de calor y frío que experimentamos por el contacto de cuerpos de diversa naturaleza, aunque al mismo grado de temperatura, se explica tambien por la mayor ó menor facultad conductriz de los cuerpos. Todo el mundo sabe que, si durante el verano y á la sombra se toca un pedazo de madera, apenas se percibe ninguna sensacion de frío ni de calor; al paso que si, en las mismas circunstancias se toca un pedazo de hierro, se nota una sensacion de frío mas ó menos fuerte: esto nace de que, siendo la madera mal conductor, no puede robar á la mano gran cantidad de calórico mientras que el metal, como es muy buen conductor, le roba prontamente el calórico que comunica á toda su masa. La sensacion del frío es sumamente notable cuando se sumerge la mano en un baño de mercurio, que está á la misma temperatura que los

cuerpos circunvecinos, porque este metal líquido es mejor conductor que la mayor parte de los cuerpos que tocamos generalmente.

Si tocamos madera y hierro expuestos al sol, el hierro, en virtud de su facultad conductriz, nos comunica mucho mas calórico que la madera.

Si las monedas en los bolsillos nos parecen mas calientes que nuestros vestidos, es porque el metal de que se componen es mejor conductor que la lana ó cualquiera otra de las telas de que estamos cubiertos.

478. *Leyes del enfriamiento de los cuerpos.* — Antes hemos visto la ley de la propagacion del calor en un cuerpo. Respecto al enfriamiento se habia creído por las observaciones de Krafft, Richman, Rumford y Dalton, que formando los tiempos una progresion aritmética, los grados de enfriamiento seguian una progresion geométrica; pero por los excelentes trabajos de Dulong y Pettit se ha visto que esta ley no es verdadera sino en un cuerpo que se enfria en el vacío ó en un recinto privado absolutamente de calor ó de la facultad de irradiarle; es decir, que esta ley no es exacta sino para el enfriamiento por irradiacion. En las circunstancias comunes es menester tener en consideracion á la vez las pérdidas ocasionadas por la irradiacion, y las ocasionadas por el contacto del aire, y entonces resulta una ley sumamente complicada. Dulong y Pettit han buscado con sumo cuidado la ley de los efectos que son debidos aisladamente, ya á una ó á otra de las dos causas; pero es imposible reducir estas leyes á un simple enunciado que pueda representar el conjunto. Las investigaciones de dichos sabios han conducido á los resultados siguientes:

*Enfriamiento por irradiacion.*

1.º Si se pudiese observar el enfriamiento de un cuerpo colocado en un espacio vacío, terminado por un recinto absolutamente privado de calor ó de la facultad de irradiarle, las velocidades del enfriamiento (\*) decrecerian en progresion geométrica cuando las temperaturas disminuyesen en progresion aritmética.

2.º En una misma temperatura del recinto vacío en la cual esté colocado un cuerpo, las velocidades del enfriamiento para excesos de temperatura en progresion aritmética, decrecen como los términos de una progresion geométrica disminuidos en un número fijo. La relacion de esta progresion geométrica es la misma para todos los cuerpos, é igual á 1,0077.

3.º La velocidad del enfriamiento en el vacío para un mismo exceso de temperatura crece en progresion geométrica, creciendo la temperatura del recinto en progresion aritmética. La relacion de esta progresion es tambien 1,0077 para todos los cuerpos.

*Enfriamiento por contacto de un cuerpo.*

4.º La velocidad del enfriamiento debida á solo el contacto con un gas, es enteramente independiente de la naturaleza de la superficie de los cuerpos.

(1) Dulong y Pettit entienden por esta expresion los grados á que bajaria la temperatura de los cuerpos durante un intervalo infinitamente pequeño y constante.

5.º La velocidad del enfriamiento debida á solo el contacto con un gas varia en progresion geométrica, variando el exceso de temperatura, tambien en progresion geométrica. Si la razon de esta segunda progresion es 2, la de la primera es 2,35 cualquiera que sea el gas y su fuerza elástica.

Esta ley puede ser enunciada diciendo que la cantidad de calor robada por un gas es en todos los casos proporcional al exceso de temperatura de los cuerpos, elevado á la potencia 1,233.

6.º Este poder refrigerante ó enfriador de un fluido elástico disminuye en proporcion geométrica cuando su tension disminuye tambien en progresion geométrica, y si la razon de esta progresion es 2; la de la primera es 1,366 para el aire; 1,301 para el hidrógeno; 1,431 para el ácido carbónico; 1,415 para el gas oleoso.

Se puede tambien presentar esta ley del modo siguiente: El poder refrigerante de un gas es, cuando todas las demas circunstancias son iguales, proporcional á cierta potencia de la presión. El exponente de esta potencia, que depende de la naturaleza del gas es 0,45 para el aire, 0,315 para el hidrógeno, 0,317 para el gas ácido carbónico, 0,501 para el gas oleoso.

7.º El poder refrigerante de un gas varía con la temperatura de tal modo que, si este gas puede dilatarse, y conserva siempre la misma fuerza elástica, el poder refrigerante se hallará disminuido por la rarefaccion del gas, tanto cuanto se halle aumentado por su calentamiento; de suerte que en último resultado no depende sino de su tension.

## CAPÍTULO III.

*Dilatacion y contraccion de los cuerpos por la mudanza de temperatura.*

El calórico, introduciéndose en los cuerpos á favor de sus poros imperceptibles, produce sobre ellos efectos análogos á los que hemos notado por la introduccion de los líquidos en los cuerpos sólidos (147). Estos cuerpos aumentan de volumen en todas sus dimensiones.

479. *Ejemplos de la dilatacion y contraccion.*—Tómese una placa de hierro que tenga un agujero, en el cual entre ajustado un tapon de lo mismo; hágase calentar este tapon, y se verá que no podrá entrar ya en el agujero.

Si se toma un tubo pequeño de vidrio terminado por uno de sus lados en una bola, y se introduce en ella un líquido cualquiera, se verá, poniéndole al fuego, que la columna líquida aumenta de longitud, y tanto mas cuanto mas considerable sea el calor. Sin embargo, es preciso observar que muchas veces la columnita líquida disminuye de altura en el primer momento; pero esto es debido á que el vidrio se dilata, y por consiguiente la capacidad de la bola se hace mayor; pasado este primer efecto el líquido principia á aumentar de volumen.

Si se toma una vejiga llena de aire frio en sus tres cuartas partes, y bien cerrada se pone al fuego, se le verá inflarse considerablemente.

Todos estos cuerpos al enfriarse disminuyen de

volumen, y cuando llegan á la temperatura que tenían antes del experimento, recobran el primitivo. Si se continúa enfriándolos mas, disminuyen aun de volumen hasta el infinito, segun parece probar los actuales conocimientos.

480. *Dilatacion de los sólidos.*— Los cuerpos sólidos son muy poco dilatables, porque la fuerza de cohesion de que están dotados se opone á la accion del calórico, reteniendo las moléculas unas junto á otras. Quanto mas considerable es la fuerza de cohesion, tanto mas pequeña debe ser la dilatacion á cierto grado de calor. Hasta estos últimos tiempos se ha creido que los cuerpos sólidos se dilataban uniformemente desde 0° hasta una temperatura muy alta; es decir, que á cualquiera temperatura que esté un cuerpo, la adiccion de un grado de calor le dilataba siempre en la misma cantidad; pero Dulong y Pettit han demostrado por experimentos muy exactos que no es así. La dilatacion no es la misma en cada grado de calor, sino que crece con la temperatura; de suerte, que la variacion es mas notable para cada grado comprendido entre 200° y 300°, que entre 100° y 200°; mas entre estos dos últimos términos que entre 0° y 100°, &c. Sobre todo, este aumento se hace mas sensible hácia el punto de fusion en los cuerpos que son capaces de ella.

Las dilataciones ya variables en el mismo cuerpo, segun el grado de temperatura en que se verifica la operacion, varían tambien considerablemente de un cuerpo á otro. Se han hecho respecto á este asunto muchos experimentos, cuyos resultados tienen poca conformidad entre sí. Anotaremos aquí con preferencia los que han sido obteni-

dos por Lavoisier en union con Laplace, en los cuas estos sabios hallaron que entre  $0^{\circ}$  y  $100^{\circ}$  se dilatan los cuerpos por cada grado de temperatura las cantidades siguientes:

Flint-glass ó cristal ingles. . . . .	0,000811
Vidrio frances con plomo. . . . .	0,000872
Vidrio sin plomo (en tubos). . . . .	0,000897
Platina (segun Borda). . . . .	0,000856
Acero sin templar. . . . .	0,001079
Hierro dulce forjado. . . . .	0,001220
Acero templado recocado has- ta $65^{\circ}$ . . . . .	} 0,001239
Oro. . . . .	0,001466
Cobre. . . . .	0,001717
Laton. . . . .	0,001878
Plata de copela. . . . .	0,001909
Estaño de Indias. . . . .	0,001935
Plomo. . . . .	0,002848

481. *Dilatacion de los liquidos.*—Los diversos liquidos son todos desigualmente dilatables. Tómense, por ejemplo, muchos tubos de termómetros iguales, que contengan uno espíritu de vino, otro agua, otro mercurio, &c., y sumérjaseles en un vaso lleno de agua, que se haga calentar, y se verá que el espíritu de vino se saldrá por la parte superior del tubo, cuando el agua está muy distante de llegar á ella, y mucho mas el mercurio, &c.

A medida que se calienta un líquido, disminuye la fuerza de cohesion de sus moléculas, y opone desde luego menos resistencia á la expansion que solicita el calórico. Asi es que, á varias temperaturas, la adiccion de un grado de calórico no

ocasiona el mismo grado de dilatacion. Cuanto mas se acerca un líquido al término de ebullicion, mayor es la dilatacion que experimenta por la adiccion de un grado de calor; y al contrario, cuanto mas lejana está la temperatura del término de ebullicion, mas pequeña es la dilatacion. El mercurio, el aceite de linaza presentan menos variaciones que el agua, el alcohol, &c., y por esta razon es por la que se emplea generalmente el primero de aquellos líquidos para los termómetros divididos en partes iguales  $0^{\circ}$  hasta  $100^{\circ}$ , aunque sea cierto segun los experimentos de Dulong y Pettit que esta division es algo inexacta. Newton empleó por la misma razon el aceite de linaza.

Se ha hallado por experimentos muy exactos, que para cada grado de calor desde  $0^{\circ}$  hasta  $100^{\circ}$  el aumento de volumen es el siguiente:

En el mercurio. . . . .	0,0182	Dulong y Pettit.
En el agua. . . . .	0,0466	Dalton.
En el aceite de linaza. . . . .	0,800	Id.

#### 482. *Dilatacion de los fluidos aeriformes.*—

Los fluidos aeriformes se dilatan todos igualmente, y su dilatacion es uniforme é igual para cada grado del termómetro, lo que parece proceder de que siendo nula en estos cuerpos la fuerza de cohesion, nada puede contrariar en igual caso la fuerza elástica del calórico.

Resulta de los experimentos hechos al mismo tiempo por Gay-Lussac en Francia, y por Dalton en Inglaterra (\*), que todos los fluidos aeriformes,

---

(\*) Los dos físicos trabajaban sin noticia uno de otro, y han obtenido una uniformidad de resultados sumamente preciosa en experimentos tan delicados.

ya sean gases permanentes ó ya vapores, calentados desde  $0^{\circ}$  á  $100^{\circ}$ , se dilatan en razon de 100 á 137,5. Por consiguiente, el aumento de volumen es de 37,5, y dividiendo por 100, resulta 0,375 para cada grado del termómetro, y haciendo el volumen á la temperatura  $0^{\circ}$  igual á la unidad, resulta 0,00375 para cada grado del termómetro.

Segun Dalton el aumento para cada grado seria 0,00372; pero parece mas exacta la primera cantidad, pues habia sido hallada mucho tiempo antes para el aire, y los gases insolubles por Charles.

Resulta de estos experimentos, que si un fluido aeriforme á la temperatura cero tiene un volumen  $v$ , tendrá un volumen  $v(1 + 0,00375x)$  á la temperatura  $x$ .

483. *Máximo de densidad de los cuerpos.*—Ya que el volumen de los cuerpos muda, segun los diferentes grados de temperatura, resulta que su densidad es sumamente variable. Parece que en los cuerpos sólidos el máximo de densidad se halla en el máximo de frio que podemos producir. Parece ser lo mismo respecto á los líquidos que no son susceptibles de solidificarse, cualquiera que sea la baja de temperatura que se logre en ellos. En los líquidos que son susceptibles de solidificarse se nota que el máximo de densidad se halla á algunos grados mas abajo del punto de congelacion; por ejemplo, el agua llega á este máximo á  $4,5^{\circ}$ , y cuando se la enfria mas, aumenta de volumen, lo que parece provenir, de que las partículas que tienen una tendencia á reunirse en masa sólida, se colocan de modo que hay mayor grado de separacion entre ellas.

Todo el mundo ha podido observar este au-

mento de volumen cuando pasa al estado de hielo. Por ejemplo, cuando este líquido está encerrado en un vaso bastante fuerte para resistir al esfuerzo que produce el aumento de volumen, y está abierto en su parte superior y exactamente lleno, se ve el hielo encorvarse, y formar un capillo semiesférico encima de la boca. Por ser el hielo menos denso que el agua, es por lo que flotan los témpanos de hielo en la superficie del agua.

Reaumur se aventuró á decir en las memorias de la Academia, año 1725, que el hierro, el bismuto y el antimonio eran mas voluminosos en el estado sólido que en el líquido: es probable que suceda lo mismo con el laton y el bronce, y quizá con otros muchos cuerpos; pero no hay todavía nada de exacto sobre este punto.

Los cuerpos gaseosos permanentes disminuyen tanto mas ymas de volumen, quanto mas y mas se baja su temperatura.

*Explicacion de algunos fenòmenos que resultan de la dilatacion y contraccion de los cuerpos por el calor.*

484. *Rotura de los cuerpos producida por su contraccion.* — La contraccion en ciertos casos puede producir una rotura en los cuerpos: asi sucede algunas veces en tiempo de las heladas fuertes con las barras de hierro de las ventanas, y la causa es muy facil de adivinar. Si se han colocado estas barras en los calores fuertes del verano, mientras estaban dilatadas, y se las ha fijado sólidamente por sus extremos á las paredes, es claro que cuando se contraigan, harán esfuerzo por acercar estas pare-

des, y si son bien resistentes, el esfuerzo obrará sobre las moléculas de la barra, y podrán llegar á romperla. Si se quiere impedir que las barras de las rejás se rompan, puede lograrse poniéndolas de modo que solo estén sujetas por un extremo, y el otro quede libre. Si las barras de hierro se han puesto en los grandes frios, y por consiguiente contraídas, puede suceder que se encorven al alargarse durante los grandes calores.

485. *Rotura producida por el paso repentino de una temperatura á otra.* — Se sabe que los utensilios de vidrio ó vidriados se rompen á menudo cuando se les hace pasar muy repentinamente de una temperatura á otra muy diferente. Para concebir este efecto es menester notar que el vidriado y el vidrio son malos conductores del calórico, y si el vaso que se usa tiene partes gruesas, y partes débiles, sucede que las últimas se dilatan ó contraen mas pronto que las primeras, y resulta de ello en la masa una tirantez desigual que produce la rotura.

Del mismo modo, suponiendo que el vaso tenga por todas partes el mismo espesor, si se dirige el calor á un solo punto, siendo la materia mal conductor no se dilatará sino en este punto, y resultará tambien la misma tirantez que producirá una rotura.

En general, para los utensilios de vidrio que deben estar al fuego, es menester escoger aquellos cuyas paredes sean delgadas, y que tengan sobre poco mas ó menos el mismo grueso: para los de vidriado es menester escoger aquellos cuya materia parezca mas porosa; pues propagándose el calórico mas facilmente en su interior, y pudien-

do las partículas en cierto modo resbalar mas facilmente unas sobre otras, no se ocasionará tan facilmente la tirantez y la rotura.

486. *Fenómenos que resultan de la variación de la pesantez específica segun el grado de calor.* — Cuando para hacer calentar un líquido se dispone la parte inferior del vaso que le encierra en un foco de calor, las moléculas líquidas que tocan al fondo del vaso, se calientan las primeras, y se dilatan; adquieren entonces una ligereza específica, en virtud de la cual se elevan á la superficie, y son remplazadas por las moléculas mas frias que llegan de la parte superior. Si la acción del calor es continúa, se establece en la masa líquida un movimiento de circulación, por medio del cual el calórico es llevado á todos puntos. Asi es que el líquido se calienta muy prontamente sin dependencia alguna de su mayor ó menor facultad conductriz.

Para observar los movimientos de circulación basta hacer flotar en el líquido que se hace calentar, cuerpecillos cuya pesantez específica difiera poco de la suya; entonces se les verá moverse mas ó menos rápidamente unos de arriba á abajo, y otros de abajo á arriba.

Resulta de lo que hemos dicho, que la parte mas caliente de un líquido se halla siempre en la superficie. Bonnemain partiendo de este hecho ha empleado ingeniosamente el efecto de la circulación para llevar facilmente agua caliente á las diferentes piezas de una casa. El agua contenida en una caldera ABCD (fig. 176) se calienta por la parte inferior; al nivel del líquido hay un tubo horizontal CE que comunica por EF con otro con-

ducto FB. A medida que el líquido se calienta en el interior de la caldera, la parte mas caliente se eleva á la superficie, pasa al conducto CE, y se encuentra reemplazada por el agua mas fria encerrada en EFB. Se establece entonces una circulacion, y el conducto CE se halla lleno de agua caliente continuamente renovada.

*En un aposento donde hay lumbre*, el aire mas caliente ocupa la parte superior en virtud de la ligereza que ha adquirido. Si puede entrar aire fresco por cualquier punto, se establecen en el aposento dos corrientes en sentidos contrarios, uno de aire frio en la parte inferior, y otra de aire caliente en la superior. La primera se dirige hácia el hogar, y la segunda se va hácia afuera. Todo el mundo sabe que estando arrimado al fuego de una chimenea se siente en las piernas un aire frio que se introduce por debajo de las puertas; para evitarlo se disponen mamparas.

Puede convencerse cualquiera facilmente de la existencia de las dos corrientes, colocándo cerca de la puerta una luz en el suelo, y otra en la parte superior, y se verá á las dos llamas agitarse en sentidos contrarios.

Junto á los conductos de una estufa hay siempre una corriente de aire dilatada ascendente; esta corriente es la que hace girar las bandas de papel ó molinetes que ponen los niños en los conductos con alambres.

El aire dilatado es el que, elevándose en el conducto de una chimenea, lleva consigo el humo y las diversas sustancias volátiles que salen del combustible: desde luego se concibe facilmente que debe haber alguna relacion entre la anchura del con-

ducto, y el grado de calor que se desarrolla en el hogar, para que esté bien construida la chimenea. Es bueno en general que el conducto sea muy estrecho, porque así se escapa el aire dilatado con mas velocidad.

En muchos parages se *renueva el aire de las minas* estableciendo una circulacion facticia por medio de un hornillo colocado á la entrada de un pozo que comunica con una galería abierta en la ladera de una montaña. Se citan minas en las cuales se verifica la circulacion naturalmente en un sentido durante el invierno, y en otro durante el verano: basta para esto que en una de las estaciones el aire esté mas caliente en la entrada del pozo que en el exterior, y que en la otra se verifique lo contrario. En Italia se citan cavernas donde se observan efectos semejantes. Durante el verano el viento que sale de ellas es muy fuerte, y durante el invierno el aire caliente del exterior se introduce en ellas. Las dilataciones y condensaciones del aire, en diferentes puntos de nuestra atmósfera, parece son el origen y *causa general de los vientos*.

Sobre la ligereza específica del aire dilatado por el calor se funda la invencion de la *Mongolfiera* compuesta de una cubierta ligera bajo la cual se enciende fuego: el calor dilata el aire encerrado naturalmente en la cubierta, que desde luego se infla y muy pronto adquiere una ligereza específica en virtud de la cual se eleva la máquina en la atmósfera, llevando consigo el hornillo y los combustibles que deben alimentarle (427).

*Aplicacion de la dilatacion y contraccion de los cuerpos por el calor.*

(A) *De los termómetros.*

487. Sobre la propiedad que posee el calórico de dilatar todos los cuerpos se ha fundado la construccion de todos los instrumentos que sirven para valuar las temperaturas y compararlas entre sí. Estos instrumentos que se llaman *termómetros* (de θερμος *calor* y μετρον *medida*) se construyen con cuerpos sólidos, líquidos ó gaseosos. Segun lo que hemos dicho sobre la dilatacion de los cuerpos, se debe conocer al momento que hay muchas dificultades en esta construccion. No dilatándose los diferentes cuerpos de que podemos valernos uniformemente segun la elevacion de temperatura, es claro que los diferentes termómetros que se construyen no pueden presentar los mismos resultados, á no ser que, habiendo sido bien calculadas las relaciones de dilatacion, hayan sido dispuestas arregladamente las divisiones de las escalas. Ademas de esto, no siendo tampoco uniforme la dilatacion en los sólidos y líquidos, sería preciso conocer rigurosamente la ley que sigue esta dilatacion para dividir las escalas. En fin, los cuerpos líquidos, ó aeriformes deben estar necesariamente encerrados en vasos, y desde luego los resultados que ofrecen se complican por la dilatacion de los dos cuerpos que sirven para la composicion de un termómetro. De todos estos instrumentos el que presenta desde luego mas facilidad en corregir sus errores es el termómetro de gas ó aire, porque los fluidos

aeriformes se dilatan uniformemente, y por consiguiente no es necesario mas que conocer la ley de las dilataciones de la cubierta. Mas adelante veremos otra causa de error procedente de la capacidad para el calórico que varia en los diferentes cuerpos.

488. *Los termómetros líquidos* son los que estan mas en uso: en su construccion se pueden emplear líquidos de diferentes especies, pero el que tiene la preferencia es el mercurio: 1.º porque no se pega á las paredes del tubo: 2.º porque sufre antes de hervir una temperatura mucho mas alta que los otros líquidos: 3.º porque, siendo mejor conductor del calórico que otros muchos, se pone mas pronta y facilmente en equilibrio de temperatura; y 4.º porque las irregularidades que manifiesta en su dilatacion se compensan sensiblemente con las variaciones correspondientes al tubo de vidrio que le contiene entre las temperaturas del hielo derretido y el agua hirviendo.

489. Para construir un termómetro es menester elegir desde luego un tubo capilar, perfectamente cilindrico, á fin de que, dividiéndose en partes iguales, cada division tenga la misma capacidad (\*). Se terminará este tubo por una bola ó por

---

(\*) Cuando no puede obtenerse tubo exactamente cilindrico se logrará dividirlo en porciones iguales, introduciendo en él una gotilla de mercurio, y marcando cuidadosamente los puntos á donde llegan sus extremos: se la hace en seguida resbalar sobre otros tantos puntos, de modo que un extremo coincida con el de la operacion anterior, y se señala el otro extremo, y asi sucesivamente. Por este medio se obtiene una primera escala de partes iguales. Hecho esto, se quita un poco menos de la mitad del mercurio, y se hace resbalar la columnita que queda entre dos divisiones de las anteriores: se la hace coincidir con una de ellas y se señala

una espiral (*fig.* 177 y 178); despues se introducirá el mercurio, teniendo cuidado de purgarle bien de aire. Pero como seria imposible introducir este líquido en un tubo tan estrecho por medio de embudo, se calienta la bola ó espiral para dilatar el aire que encierra y hacerle salir; se sumerge en seguida el extremo abierto en mercurio bien puro, seco y caliente. Este líquido se introduce en virtud de la presion de la atmósfera, á medida que el tubo se enfria. Lleno asi el tubo se le calienta bien fuertemente para dilatar el mercurio y hacerle salir, de modo que cuando el resto vuelva á la temperatura ordinaria no ocupe mas que una parte del tubo; se funde el tubo en su extremo abierto, mientras que el mercurio dilatado llega todavía al mismo, quedando de este modo herméticamente cerrado.

490. *Graduacion del termómetro.*—El tubo se gradua segun la especie de termómetro que se quiere obtener. En Francia y en la mayor parte de Europa el termómetro mas usado tiene dos términos fijos, el del hielo derretido, y el del agua hirviendo. Para fijar estos dos términos se sumerge desde luego el instrumento en agua en estado de hielo que se derrite, y teniéndole allí hasta que el equilibrio de temperatura esté bien establecido, se

---

el otro extremo; se la hace coincidir con la otra, y se marca lo mismo su extremidad. Asi se obtienen dos puntos que estan equidistantes de los extremos de la primera division; y siendo el intervalo entre los dos puntos sumamente pequeño, se puede considerar la capacidad que le corresponde como cilindrica, y se toma el medio, y de este modo se tiene dividido el primer espacio en dos partes de la misma capacidad. Se dividirán y subdividirán los nuevos intervalos por el mismo medio tanto como se quieran.

marca con una rayita el punto donde se detiene el mercurio. En seguida se sumerge el tubo en agua hirviendo bajo la presion atmosférica de 763 milímetros (32 pulgadas 10 líneas), señalando con una nueva rayita el parage donde el mercurio queda estacionario. Hecho esto, si el tubo es cilíndrico, no falta mas que dividir el intervalo entre estos dos términos en un cierto número de partes iguales, pudiendo continuarse la division mas allá de los dos puntos fijos.

No se toman los mismos puntos fijos en todas partes para la escala termométrica. El *termómetro* de Farenheit, que se usa en Inglaterra, tiene por punto fijo inferior el grado de congelacion forzada producida por la mezcla de sal amoniaco y hielo, y por punto fijo superior el grado de agua hirviendo. El *termómetro de Delisle*, que se usa en Rusia, no tiene mas punto fijo que el del agua hirviendo.

Estos diferentes modos de fijar los puntos de partida, asi como las divisiones de las escalas, constituyen la diferencia de los termómetros mas usados, que son cuatro.

El *termómetro* llamado de *Reaumur*, que se debería llamar mejor de Deluc, porque el de Reaumur, que era de espíritu de vino, diferia totalmente del que lleva su nombre hoy dia, está dividido en 80 partes iguales desde el término de hielo derretido donde está el cero, hasta el de agua hirviendo.

El *termómetro de Celsio*, ó *centígrado*, usado hace largo tiempo en Suecia y actualmente en Francia, está dividido en 100 partes entre los mismos puntos fijos.

El *termómetro de Farenheit* tiene dividido en 212 partes el intervalo entre los dos puntos fijos; el cero del termómetro centigrado coincide con el 32° de este, lo que da 180 partes desde este término hasta el del agua hirviendo.

El *termómetro de Delisle* tiene el cero en el punto fijo, que es el término del agua hirviendo. Los grados en que está dividido por bajo de este cero son diez milésimas partes de la capacidad de la bola y del tubo. El cero del termómetro centigrado corresponde al 150° de esta escala descendente.

Es sumamente fácil el pasar de una escala termométrica á otra, comparando sus respectivas divisiones. Los grados de Reaumur comparados con los del termómetro centigrado dan la siguiente proporción:

$$1.^{\circ} \text{ cent} : 1.^{\circ} \text{ Rea} :: 100 : 80; \text{ ó } :: 5 : 4.$$

Luego  $1.^{\circ} \text{ cent} = \frac{5.^{\circ}}{4} \text{ Reaumur.}$

Así, para convertir un número cualquiera de grados de Reaumur en grados centigrados se multiplicará por  $\frac{5}{4}$ .

Para los grados centigrados comparados con los de Farenheit se tiene  $1.^{\circ} \text{ cent} : 1.^{\circ} \text{ Far.} :: 100 : 180 :: 5 : 9$ . Luego  $1.^{\circ} \text{ cent.} = \frac{5.^{\circ}}{9} \text{ Far.}$

Por consiguiente, para convertir un número de grados de Farenheit en grados centigrados, se restarán primeramente 32 para ponerse en el cero de la escala, y del resto se tomarán los  $\frac{5}{9}$ . Es fácil observar de este modo que 50° de Farenheit corresponden á 10° centigrados.

Para el termómetro de Delisle se tiene

1.º cent: 1.º Del. :: 100 : 150 :: 2 : 3 = luego

1.º cent. =  $\frac{2}{3}$  de Delisle.

Así, pues, si se quiere convertir cierto número de grados de Delisle en grados centesimales se tomarán las dos terceras partes. Pero como la escala de Delisle es descendente, se les restará en seguida de 100, y el resto será el grado de nuestra escala: por este medio se hallará que el 135º de Delisle corresponde al 10º de nuestro termómetro.

Después de haber hecho un termómetro con todo el cuidado posible, nos puede servir como de marco para hacer tantos como se quieran, que costarán menos trabajo, pues se podrá tomar un tubo cualquiera con tal que no sea muy irregular, y después de haberle llenado de mercurio bastará para dividirle compararle exactamente con el primero. Sin embargo, vale siempre más determinar directamente los dos puntos fijos del hielo derretido y agua hirviendo, y determinar en seguida otros puntos por comparación con el marco. Los espacios intermedios, si son algo considerables, pueden ser divididos en partes iguales si el tubo no es demasiado irregular.

491. *Termómetro de aire.* — Este instrumento inventado por Amontons es un tubo de vidrio (fig. 179) cuya bola está en gran parte llena de aire: lo demás está ocupado por un líquido que se eleva también por el brazo A. Cuando el aire de la bola está caliente se dilata y empuja el licor en el brazo A. Este termómetro es sumamente sensible y puede indicar las más mínimas cantidades de calórico. Además, como el aire se dilata uni-

formemente en todos los grados de temperatura, parece susceptible de muchísima exactitud, corrigiendo sin embargo la dilatacion del vidrio. Los experimentos de Gay-Lussac han hecho ver que la marcha de este termómetro es sensiblemente igual á la del termómetro de mercurio, á lo menos desde 0° hasta 100°.

El *termoscopio* (fig. 180) es tambien una especie de termómetro de aire, pero que no señala mas que las diferencias de temperatura; ha sido imaginado por Rumford para los experimentos que hizo sobre el calórico radiante, y que hemos indicado en el número 468. Es un tubo de vidrio terminado en dos bolas llenas de aire; encierra una gota de licor coloreado *a*, que se llama índice. Si las dos bolas estan igualmente calientes, hallándose el aire en el mismo grado de elasticidad, el índice queda estacionario; pero si una de las bolas se calienta mas que la otra, el índice es empujado del lado de la bola mas fria en virtud de la diferencia de las fuerzas elásticas. Este instrumento es sumamente sensible y muy á propósito para indicar los mas débiles grados de calor acumulados en un punto, antes que el aire ambiente se halle afectado de ellos. Presentando la mano á una de las bolas á una distancia de una vara, se ve al índice marchar al momento al lado opuesto. El efecto se hace mas notable si la bola á que se acerca la mano está cubierta con negro de humo ó cualquiera otra materia negruzca. Leslie que ha inventado un instrumento semejante, á lo menos en la forma, para los experimentos que hizo sobre el calórico al mismo tiempo que Rumford, ha empleado despues este instrumento como *fotómetro*, valuando

asi la viveza de la luz por el calórico radiante que parece serle proporcional.

492. *Termómetro sólido.* — Tambien se han construido diversos termómetros con metales sólidos. El mas sencillo consiste en una lámina de latón aplicada sobre otra de vidrio. El metal alargándose ó acortándose hace mover una aguja, cuyo extremo describe arcos de círculo bastante grandes, y marca los grados sobre una escala circular.

Tambien se hacen termómetros metálicos combinando metales diferentemente dilatables. Se hacen en forma de resorte en el cual el metal mas dilatable está en el exterior, y resulta que, cuando el calor aumenta ó disminuye, alargándose ó acercándose la parte exterior, determina al resorte á cerrarse ó á abrirse mas ó menos: estos movimientos se trasmiten á una aguja que señala los grados sobre un limbo. En Alemania se construyen instrumentos de esta especie cuyo resorte está compuesto de latón y acero; el latón está en el exterior. Están montados en cajitas, semejantes á los relojes de bolsillo, y arreglados á buenos termómetros de mercurio. Son muy exactos y muy fáciles de trasportar: el único defecto que he hallado en los que he usado ha sido el ser un poco tardos en obtener el equilibrio de temperatura.

Breguet ha construido un termómetro metálico del mismo género, que es sumamente sensible. La pieza principal es un resorte espiral, ó un *resorte de tambor* compuesto de tres metales ligados juntamente (*platina, oro, plata*); la plata, como el metal mas dilatable forma la parte exterior de la espiral; una pequeña aguja colocada en el extremo del resorte indica sus variaciones sobre una escala

circular dividida en grados en forma de muestra.

Este termómetro está construido en pequeñas dimensiones, lo que le hace sumamente portátil, y además es poco capaz de romperse ni descomponerse. Breguet ha puesto algunos en cajitas redondas del diámetro y espesor de un peso duro, y aun ha puesto algunos en sortijas de la magnitud de una peseta. Pero la extrema sensibilidad de este instrumento, y alguna irregularidad en su marcha impiden servirse de él tan facilmente como de los menos perfeccionados construidos en Alemania. Sin embargo, es sumamente cómodo para los experimentos en que es preciso hacer ver al momento las mas mínimas variaciones de temperatura.

#### (B) *De los pirómetros.*

493. Se llaman *pirómetros* (de *πῦρ* fuego y *μέτρον* medida) unos instrumentos destinados á medir los grados superiores de calor. Los hay de muchas especies; pero quizá no hay uno que llene completamente el objeto á que se destina. Los grandes defectos de la mayor parte de ellos son: 1.º no poderse trasportar facilmente: 2.º no prestarse tan cómodamente á las observaciones, como el termómetro ordinario que se pone facilmente en contacto con cualquier cuerpo; y 3.º no poderse comparar con el termómetro.

Los *pirómetros metálicos* son bastante semejante á los termómetros de la misma materia. El primer termómetro metálico que hemos descrito anteriormente puede servir de pirómetro, con tal que se le construya de un metal poco fusible y poco alterable, tal como el platino, y que se fije la *lámi-*

na metálica en otra de materia menos fusible que el vidrio.

Los pirómetros fundados en la ley de la propagacion del calor que se han intentado usar serian sin duda los mas exactos; pero este medio no es practicable en general, porque el foco del calor está casi siempre lejos del parage en que se pueden hacer los experimentos.

La dilatacion del aire ha sido empleada como medio pirométrico. — Este género de pirómetros consiste en una bola llena de aire que se sumerge en un foco de calor; esta bola comunica con un depósito cerrado lleno de mercurio, en el cual está sumerjido un tubo de vidrio. Dilatándose el aire en la bola ejerce una presion sobre el mercurio, y hace subir á este líquido en el tubo de vidrio, y la altura á que llega indica el grado de calor. Pero este medio es sumamente malo, porque al llegar al calor rojo apenas existe aire en la bola; de suerte que los grados superiores al calor rojo no pueden ser medidos.

Se sirven generalmente los fisicos del pirómetro de *Wedgewood*, cuya pieza principal es un cilindrito de arcilla que puede resbalar por entre dos láminas metálicas colocadas bajo cierto ángulo entre sí, y en las cuales está trazada una escala. El cero se halla en el punto en que el cilindro puede colocarse en su estado natural; corresponde al grado de calor en que el hierro aparece rojo de dia, lo que equivale segun se cree á 380°.

La arcilla tiene la propiedad de contraerse por el fuego, de suerte que, despues de haber estado en él, baja el cilindro mas adelante en la escala, indicando de este modo el grado de calor del hogar ó foco.

Existen aun muchas irregularidades en este instrumento; de suerte que en último resultado se puede asegurar que no se ha hallado todavía el medio de hacer un buen *pirómetro*.

(C) *Máquinas diversas.*

494. *Péndulo de compensacion.*—Las dilataciones y contracciones de la varilla del péndulo simple durante las variaciones de la temperatura causan bastantes desigualdades en los relojes, porque las oscilaciones se retardan ó aceleran por esta causa. En 1783 Julian Le-Roy, relojero frances, y Ellicor ingles llegaron al mismo tiempo á corregir esta causa de error, por una construccion particular que pone en contraposicion las dilataciones de los metales, y de la cual vamos á dar una idea.

Sean (*fig. 181*) CDEF un bastidor de acero, y GH una *lámina* de metal que reuna dos varillas de cobre GI, HK, fijadas sólidamente sobre DE en I y K. La varilla OP, que es el péndulo, y termina en la lente P, está fija en O por medio de un tornillo, y se mueve libremente en una abertura hecha en medio de DE. AB es el resorte de suspension.

Quando el calor dilata este conjunto, el centro P de la lente procura alejarse del punto de suspension A; pero al mismo tiempo las dos varillas de cobre GI, HK, que se alargan tambien, y no pueden hacerlo sino de abajo arriba, hacen subir la travesa GH, y levanta asi el centro P. No se trata ya sino de combinar las longitudes de las varillas de modo que haya una exacta compensacion del alargamiento de alto abajo de las de acero con éi

de abajo arriba de las de cobre, lo cual es facil de ejecutar consultando las tablas de dilatacion formadas para los diferentes grados de calor.

495. *Uso del esfuerzo producido por la dilatacion ó contraccion de los cuerpos.*—Hemos dicho en el número 147 que podia algunas veces emplearse con ventaja la fuerza con que se dilatan los cuerpos cuando embeben ciertos líquidos. Ahora hallamos aqui la aplicacion de un efecto análogo producido por la accion del calórico sobre los cuerpos. Aunque este fluido, segun la hipótesi que hemos admitido, sea sumamente sutil, sin embargo, al introducirse en los cuerpos es capaz de dilatarlos, y producir un esfuerzo sumamente grande, que puede utilizarse de diversos modos.

Se ha empleado, por ejemplo, para imprimir medallas, disponiendo á este efecto una barra de hierro entre dos paredes muy fuertes; se colocaba el *cuño* y los *punzones* entre una pared y el extremo de la barra; despues se hacia enrojecer esta barra, que alargándose obligaba á los punzones á imprimirse en la pieza de metal.

Bonnemain, mecánico distinguido, ha empleado las dilataciones y contracciones producidas alternativamente en un cuerpo por las variaciones de temperatura, para conseguir un movimiento de vaiven. Su máquina se componia de un cilindro atravesado por varillas de hierro, y en la cual hacia pasar alternativamente agua caliente y fria. Se juzgó capaz su máquina de producir facilmente el efecto de un hombre, lo que puede ser sumamente ventajoso en muchas circunstancias.

496. *Usos de la fuerza elástica que los gases adquieren por el calor.*—Los efectos de la pólvora

y de las máquinas de vapor no son sino resultados de la fuerza elástica del calórico. Cuando la pólvora se inflama se desarrolla una gran cantidad de fluido aeriforme, que se dilata por el calor, y cuya fuerza elástica arroja con ímpetu todo lo que encuentra por delante. Como esta fuerza se ejerce en todos sentidos, se debe á ella el que reculen las armas de fuego al dispararlas.

La fuerza elástica de la pólvora, aunque muy considerable, cede á la fuerza elástica del vapor; pues en el momento de la ebullicion se dilata el agua de repente, de modo que ocupa un espacio 1668 veces mayor que el que ocupaba á 4°. Según Vauban 70 kilogramos (152 libras castellanas) de agua reducida á vapor, pueden producir un esfuerzo capaz de hacer volar una masa de 38500 kilogramos (cerca de 83700 libras castellanas) mientras que la misma cantidad de pólvora no produciría este efecto sino sobre una masa de 15000 kilogramos (32600 libras).

Se emplea á menudo en la química la fuerza elástica que comunica el calórico á los cuerpos gaseosos para descomponer diversas sustancias. Un cuerpo sólido ó líquido puede permanecer combinado con un gas mientras que el calor á que está expuesto no es demasiado considerable; pero si llega á elevarse la temperatura, puede suceder que el cuerpo gaseoso adquiera bastante elasticidad para triunfar de la atraccion de combinacion y volatilizarse. Esto se ve diariamente en la calcinacion de las piedras calizas, y en otro sin número de operaciones.

497. *Máquinas de vapor.* — Una de las mejores aplicaciones de la fuerza elástica del vapor es la que se ha hecho para producir el movimiento

en varias máquinas que en general se llaman *máquinas de vapor*, y algunas veces *bombas de fuego*, que son capaces de los mayores efectos. La idea de emplear el vapor como fuerza motriz es ya muy antigua; se halla en una obra de Salomon de Caus, ingeniero frances al servicio del elector Palatino, impresa en 1615. No era entonces mas que una especie de fuente de compresion, en la cual el vapor comprimia la superficie de un líquido, y le obligaba á salir por un tubo adicional. En otra obra impresa en Roma en 1629 por Giovanni Branca, se describia otra máquina en la cual, saliendo el vapor con impetuosidad por un tubo conductor, daba inmediatamente en las aletas de una rueda que comunicaba el movimiento á las muelas de un molino de pólvora.

Pero estos primeros ensayos lo mismo que los del marques de Worcester, de Papin, &c. eran de muy poca importancia: se necesitaban nuevas combinaciones para llegar á la perfeccion que sucesivamente han ido adquiriendo estas máquinas. La idea fundamental de todas estas perfecciones se han atribuido á un ingles llamado Savary; en seguida fue extendida y modificada por Newcomen y Caweley; despues por Watt, á quien se deben las bellas máquinas que se emplean en el dia en tan diferentes usos.

498. Se concibe que introduciendo vapor bajo el émbolo de una bomba, este émbolo será empujado con fuerza hasta cierta distancia, y se mantendrá con ella mientras que conserva el vapor su fuerza elástica; pero si el vapor se condensa, se formará un vacío bajo el émbolo que desde luego volverá á entrar en su lugar en virtud de la presion atmosférica, y tambien en virtud de su peso si

obra verticalmente de alto abajo. Haciendo entrar nuevo vapor se reproducirán los mismos efectos, y se obtendrá así un movimiento de vaiven que se podrá convertir en cualquier otro que se desee. Tal es la primera idea de aquellas poderosas máquinas que han acarreado tantas perfecciones á las artes. Se condensaba el vapor por medio de una inyección de agua fría en el mismo hueco del conducto en que se desprendía el vapor.

Esta primera máquina sumamente viciosa se perfeccionó en manos de Watt, que por una serie de experimentos combinados con mucha destreza llegó á reconocer todas las modificaciones que era necesario introducir para obtener el máximo de efecto.

1.º Hizo la inyección de agua fría en un conducto separado colocado al lado del cuerpo de bomba con quien comunicaba. Por este medio el cuerpo de bomba se halla siempre en el mismo grado de calor que el vapor, el cual por consiguiente no se desperdicia inútilmente.

2.º Suprimió la acción de la atmósfera, é hizo llegar alternativamente el vapor por encima y por debajo del émbolo. De aquí nace el nombre de máquina de doble efecto.

3.º Dispuso las válvulas y las llaves de modo que la máquina misma las hiciese mover; de suerte que no se necesita para manejarla mas que un hombre que mantenga en la caldera el combustible necesario.

Tales son las perfecciones principales introducidas por Watt en la máquina de vapor, cuyo conjunto se ve en la *fig.* 182. A es la caldera, B un conducto que lleva el vapor al cilindro C. Este

vapor se introduce por la válvula *a* sobre la cabeza del émbolo, y por la válvula *c* bajo el mismo émbolo; *b* y *d* son válvulas que hacen comunicar el vapor del cilindro C con el condensador colocado á su lado, y en el cual se ve un chorro de agua que está siempre en actividad. EF es la varilla del émbolo de una bomba pequeña destinada á extraer el agua del condensador, y llevarla á un depósito *g*, de donde la bomba *f* la eleva, llevándola por *ii* al depósito V, volviendo á la caldera por el conducto *q*, que llega hasta el fondo de la misma. K es otro cuerpo de bomba que alimenta el depósito, en que está fijado el condensador, con agua fria. Todos estos émbolos se mueven por la gran palanca R S. La fuerza de esta palanca es la que se emplea para dar movimiento á una máquina cualquiera. La figura representa la comunicacion de este movimiento á un sistema de ruedas.

A la varilla EF están fijados en *o* y *p* palancas que hacen abrir las válvulas *a* y *d*, *c* y *b*; mientras que el vapor caliente entra por *a* sobre la cabeza del émbolo, el que está debajo se escapa por *d*. Lo mismo se verificará con *c* y *b*.

Para que la varilla D esté siempre perpendicular se han imaginado las articulaciones paralelas que se ven por encima, que han sido modificadas despues de diversos modos.

Para que la elasticidad del vapor no se haga demasiado grande en una caldera, lo que podria causar su rotura con gran perjuicio, se ha colocado una válvula *z* que se abre de fuera á dentro á una tension determinada. De la fuerza elástica de esta válvula depende la del vapor, y por consiguiente la energía de la máquina en un tamaño determinado.

Durante largo tiempo la elasticidad de esta válvula era tal en las máquinas, que el vapor no tenía mucha mayor fuerza elástica que el aire atmosférico; pero de pocos años acá se ha imaginado darle mucha mas fuerza, de suerte que el vapor pueda tomar una tension dos ó tres veces mayor que la de la atmósfera; y asi es que con el mismo combustible, ó á lo menos con muy poco mas, se obtiene de la misma máquina una fuerza infinitamente mayor. Las máquinas donde se ha introducido esta mejora toman el nombre de *máquinas de altas presiones*: obran sin condensacion del vapor, y son adaptables mas particularmente á los barcos y á los carruages de vapor.

En la máquina que representa la figura hay todavía algunos detalles minuciosos que dar á conocer; *m* es una piedra colgada de una cadena que está atada á una palanca pequeña, á cuya extremidad hay un contrapeso que equilibra á la piedra. Una válvula colocada en el extremo del conducto *g* comunica con la palanca *l* por una cadena. Esta válvula tiene cierto grado de abertura para dejar introducir en la caldera una cantidad de agua igual á la que se reduce ordinariamente á vapor. Si la evaporacion es demasiado fuerte, de manera que el nivel baje en la caldera, la piedra *m* bajará por este lado. Entonces se abrirá mas la válvula y dejará pasar mas agua; si al contrario, el nivel se eleva en la caldera, la piedra se levantará tambien, y entonces la válvula se cerrará y dejará pasar menos agua. Por este ingenioso mecanismo permanece siempre constante el nivel del agua en la caldera.

Las máquinas de vapor, ya sean simples ó ya sean de alta presion, se emplean en una multitud

de usos. Se pueden hacer de todas dimensiones, desde la fuerza de un hombre hasta la de 1000 caballos. En Inglaterra es donde deben verse sus principales aplicaciones. Las descripciones de los efectos que producen parecen en cierto modo maravillosos. Tambien se sirven de ellas hace mucho tiempo en Francia, pero hace algunos años que su uso se extiende cada vez mas. Se las emplea en todas las ocasiones y han reemplazado en gran número de parages, en donde se pueden obtener combustibles facilmente á las máquinas movidas por corrientes de agua, por la fuerza del viento, por caballos, &c. Se emplean en las minas para sacar los minerales del fondo de los pozos, y para extraer el agua que filtra en los trabajos. Se las ha empleado para dar movimiento á los molinos de trigo, á las máquinas de hilados de algodones, á las sierras de planchas metálicas, &c. Un gran número de máquinas de la fuerza de dos ó tres hombres se emplean en muchos casos; aquí para conducir el agua á un taller, allí para embalar géneros, acá para hacer mover las prensas de una imprenta, acullá para hacer obrar los fuelles y martinets de los herreros, &c., &c. Se sabe que se han aplicado hace algunos años para conducir los barcos que se llaman *de vapor*, y que son de un uso general en Inglaterra y América. La máquina se construye en ellos del modo mas á propósito para que ocupe el menor espacio y produzca el mayor efecto posible. Igualmente se las ha aplicado á los carruages que se hacen marchar sin caballerías para trasportar cargamentos muy considerables, ó mejor para arrastrar tras de sí un número mayor ó menor de carruages ordinarios cargados de todas mer-

cancias, ó de otra clase de objetos. En fin, sin entrar en mayores detalles, una vez adquirida la fuerza con un aparato poco voluminoso, es claro que se puede emplear en el uso que se quiera.

## CAPITULO IV.

*De la absorcion del calórico durante la dilatacion de los cuerpos. — Desprendimiento de este fluido mientras la condensacion.*

499. *Produccion del frio mientras se dilatan los gases.* — Los fluidos aeriformes son los que presentan los mas notables efectos de la especie que vamos á mencionar. Despues de haber encerrado en un cilindro provisto de un émbolo, cierta cantidad de aire ó de cualquiera otro fluido aeriforme, y haber dejado establecer el equilibrio de temperatura, si se levanta el émbolo y se aumenta así el espacio que ocupaba el gas, se produce al momento una baja de temperatura en los cuerpos circunvecinos; lo cual puede observarse por medio de un termómetro puesto en contacto con el cilindro.

Para explicar este efecto es preciso notar que, cuando el equilibrio de temperatura está establecido, los poros de todos los cuerpos estan llenos de calórico que por todas partes tiene el mismo grado de elasticidad. Pero si en un cuerpo se logra aumentar la extension de los poros por la dilatacion, el calórico se dilata tambien, y el equilibrio se destruye. Por consiguiente, los cuerpos que estan en contacto con el cuerpo de que hablamos, deben

perder algo de su calórico hasta que el equilibrio se vuelva á restablecer.

Antes se usaba en las minas de Schemnitz, en Hungría, una máquina para agotar el agua, en la cual se empleaba como motor el resorte de una masa de aire comprimida por una columna de agua de 40 ó 50 varas. Para divertir á los que iban á visitar las minas, abrían una llave que daba salida al vapor y presentaban el gorro de un minero al orificio. Al momento la superficie interna del gorro se cubria de pedacillos de hielo sumamente compactos. Este fenómeno es facil de concebir: el aire comprimido salia rápidamente por la abertura llevándose consigo cantidad de vapor acuoso. A su salida se dilataba rápidamente para equilibrarse con el ambiente, y por consiguiente debia robar mucho calórico á los cuerpos circunvecinos; y particularmente al vapor con quien estaba en contacto le robaba bastante cantidad para hacerle pasar con rapidez del estado gaseoso al estado sólido.

500. *Produccion del calor durante la compression.*— Cuando en vez de dilatar un gas se le comprime, entonces sucede precisamente lo contrario de lo que acabamos de ver. Por la compresion se disminuye la extension de los poros; por consiguiente el calórico, adquiriendo mas elasticidad que la que posee en los cuerpos circunvecinos, debe escaparse y manifestar su presencia por la elevacion de temperatura. Así es que cuando se comprime el aire en un tubo por medio de un émbolo, se desprende tan considerable cantidad de calórico, que un pedazo de yesca puesto en el fondo del aparato se enciende instantáneamente. En esta propiedad se funda la construccion de los *eslabo-*

*nes de bomba* que se han usado hace algunos años, y que han sido reemplazados ventajosamente en el dia por otros muchos de diferente género, especialmente por los *eslabones oxigenados*.

Se ha explicado tambien por la disminucion de volumen la produccion de calor que se verifica en varias ocasiones, como vamos á manifestar ligeramente.

501. *Produccion del calor cuando se forjan metales en frio.* — Todo el mundo puede observar que batiendo un metal en frio, v. gr. el plomo, se calienta considerablemente. La mayor parte de los autores han atribuido este fenómeno á la aproximacion de las partículas metálicas ocasionada por la accion del martillo; pero esta explicacion no puede satisfacer sino á lo mas para aquellos metales susceptibles de comprimirse: pero en cuanto al plomo y demas metales que no son susceptibles de compresion sensible, puesto que no aumentan de pesantez específica por la accion de ninguna fuerza mecánica (174), parece bien dificil el dar cuenta de lo que sucede suponiendo la materialidad del calórico, y solo en la hipótesi de las vibraciones es como puede explicarse facilmente. En efecto, la fuerza mecánica que se emplea solicita las moléculas del cuerpo á desunirse y rodar unas sobre otras, y se puede concebir como este movimiento interior puede poner al fluido etéreo en vibraciones calorificas. Rumford se apoyó particularmente en este experimento para justificar la hipótesi de las vibraciones que habia adoptado.

502. *Produccion del calor por el rozamiento.* — Otro fenómeno muy notable es el desprendimiento del calórico que se verifica por efecto del

rozamiento. Todo el mundo sabe que los carros demasiado cargados suelen incendiarse por el rozamiento de sus ejes con los cubos de las ruedas. También se sabe que en los molinos se evita el incendio que necesariamente resultaría del rozamiento de la muela con las maderas, poniendo una campanilla para advertir al mozo que no hay más trigo en la piedra.

Los indios y otros pueblos encienden fuego á menudo frotando uno contra otro dos pedazos de madera seca. Rumford ha hecho bastantes experimentos sobre el calor producido por el rozamiento. Ha hecho ver que los experimentos producen su efecto en el vacío, en el agua y en todos los líquidos. También ha demostrado que el calor varía según la naturaleza del cuerpo frotante siempre que sea el mismo el cuerpo frotado.

Esta producción de calor es tan difícil de explicar, como la anterior en la hipótesis de la materialidad del calórico. En vano se ha supuesto que los cuerpos se comprimirían durante el rozamiento, porque luego no se ha visto en ellos ninguna señal de esta compresión que parece debía ser bastante fuerte para producir tal grado de calor. También se ha pensado que serían los fluidos ambientes los que se comprimirían; pero esta suposición no resiste á un examen serio. Solo la hipótesis de las vibraciones es la que puede dar algunas ideas satisfactorias.

503. *Producción de calor ó frío por la mezcla de diversas sustancias.* — Todavía hay algunas otras circunstancias en que se desprende gran cantidad de calor: por ejemplo, mezclando agua y espíritu de vino, ó agua y ácido sulfúrico, se ve que la

temperatura de la mezcla se eleva bastante considerablemente. Si se mezcla una parte de hielo y cuatro de ácido sulfúrico, ambas á 0°, el líquido que resulta se halla en la temperatura de 100°. Al contrario, si se mezcla una parte de ácido sulfúrico y cuatro de hielo, la temperatura baja hasta 20° bajo cero.

Se observa que, en el caso de la produccion de calor, el volumen de la mezcla es mas pequeño que la suma de los volúmenes particulares, y á esta disminucion de volumen se atribuye el desprendimiento de calórico; pero esta disminucion es evidentemente demasiado pequeña para ser la sola causa de este fenómeno. Se ha buscado otra causa en la capacidad para el calórico, de que hablaremos mas adelante, suponiendo que la capacidad para el calórico del líquido resultante de la mezcla, era mayor ó menor que la de cada uno de los cuerpos componentes; de suerte que en el primer caso habia desprendimiento de calor, y en el segundo absorcion. Pero parece que este es el hecho mismo, y no su explicacion, y por consiguiente es preciso confesar, asi en este caso como en otros, que la teoría está muy poco adelantada para explicar estos fenómenos, cualquiera que sea la hipótesi fundamental que se adopte.

## CAPÍTULO V.

*Del calórico combinado.*

504. Acabamos de ver en los capítulos anteriores introducirse el calórico en los cuerpos y producir la separacion de sus partículas: meditando un poco sobre el resultado de esta observacion, se puede concebir mecánicamente la fusion de los cuerpos y su paso al estado de vapor. En este caso se concebiría que los cuerpos estan en estado sólido, líquido ó aeriforme, segun la relacion entre la fuerza de cohesion que une sus partículas integrantes y la fuerza repulsiva del calórico. Cuando esta última fuerza es superior á la otra, los cuerpos son líquidos ó aeriformes; líquidos, cuando las moléculas se hallan en los límites de su esfera de actividad de su cohesion; y aeriformes, cuando pasan de ella.

Este modo mecánico de mirar el fenómeno, adoptado por muchos físicos, puede tener sus ventajas; pero no da una razon satisfactoria de las diversas circunstancias que acompañan la mudanza de estado en los cuerpos. Estas circunstancias en la hipótesi de la materialidad del calórico, parecen mas bien indicar una combinacion real y efectiva de este fluido con el cuerpo.

505. *Fusion y gasificación de los cuerpos considerados como combinaciones químicas con el calórico.*—Se halla por experiencia que en el paso de un cuerpo sólido al estado líquido, ó de un líquido al estado aeriforme, se absorve una gran cantidad de calórico que no influye en nada para ele-

var su temperatura, lo cual hizo observar hace muchos años el doctor Black. Por ejemplo, mezclando una libra de agua á  $75^{\circ}$  con otra de hielo ó nieve á  $0^{\circ}$ , se obtienen dos libras de agua á  $0^{\circ}$ , luego los  $75^{\circ}$  se han empleado enteramente en fundir el cuerpo sin tener ninguna influencia sobre la temperatura. Esta experiencia parece conducir naturalmente á adoptar la idea de una combinacion del cuerpo con el calórico, que pierde entonces la propiedad de calentar, precisamente del mismo modo que los cuerpos que se combinan entre sí pierden por lo regular sus propiedades individuales. Resultan de esto nuevos cuerpos cuya temperatura puede estar elevada ó rebajada cuando una cierta cantidad de calórico libre se les añade ó se les quite. Debe, pues, ser considerado el estado líquido como cierta combinacion determinada de un cuerpo sólido con el fluido calórico, y el estado aeriforme como una combinacion de otro orden. Mirado el fenómeno de este modo, adoptaremos aquí las expresiones de *calórico combinado* y *calórico libre* que manifiestan al momento el estado en que se halla el fluido calórico en un cuerpo; pero es necesario advertir que, no admitiendo la mayor parte de los físicos una combinacion, han adoptado otras expresiones: designan con el nombre de *calórico latente* la cantidad de fluido calorífico que puede ser absorbida por un cuerpo, sin que resulte ninguna influencia en su temperatura, siendo en cierto modo empleado únicamente en su dilatacion: indican al contrario con el nombre de *calórico sensible* al que manifiesta su presencia en un cuerpo por una elevacion sensible de temperatura.

## ARTÍCULO I.

*De la fusion de los cuerpos.*

A medida que el calórico se acumula en un cuerpo sólido, aparta sus moléculas y disminuye por consiguiente la fuerza de cohesion. Cuando este cuerpo se ha calentado hasta cierto grado, mas ó menos elevado segun su naturaleza, se halla dispuesto á entrar en combinacion con el calórico: absorve entonces una cantidad de calórico, mayor ó menor, y pasa al estado líquido.

506. *Grados diferentes de fusibilidad de los cuerpos.*—No entran en fusion todos los cuerpos al mismo grado de calor, lo que puede atribuirse á la fuerza de cohesion que une sus particulas, la cual exige una temperatura mas ó menos elevada para ser contrabalanceada suficientemente y permitir la combinacion. La tabla siguiente indica el punto de fusion de diversas sustancias de las mas conocidas, referido al termómetro centígrado.

Mercurio. . . . .	— 39°
Hielo. . . . .	0°
Aceite comun. . . . .	+ 10°
Manteca de puerco. . . . .	27°
Sebo. . . . .	33°
Fósforo. . . . .	43°
Esperma de ballena. . . . .	45°
Cera. . . . .	68°
Azufre. . . . .	170°
Estañó. . . . .	210°
Bismuto. . . . .	256°
Plomo. . . . .	360°

Cobre...	27°	Wedgwood ó .	2530°
Plata. . .	28°		2602°
Oro. . . .	32°		2894°
Hierro. . .	130°		9970°

Hay cuerpos, tales como el platino, varias especies de piedras, &c. que no se funden sino por el mas violento calor que pueda producirse. Tambien hay otros absolutamente infusibles hasta el dia.

507. *Diferencias en el modo de fundirse.*— Todas las materias crasas antes de pasar al estado líquido comienzan á ablandarse considerablemente, como lo vemos todos los dias en nuestras casas. Ya hemos visto que el vidrio, el hierro y otros cuerpos adquieren la ductilidad á una temperatura mas ó menos elevada que la habitual: otros hay que pasan del estado sólido al líquido, sin presentar blandura notable; pero otros muchos hay que se rompen mas facilmente cuando estan próximos á fundirse, que en la temperatura ordinaria; lo cual anuncia una desintegracion ó desunion de las partículas: tales son, por ejemplo, casi todas las aleaciones metálicas.

Los cuerpos sólidos que son buenos conductores del calórico se funden casi tan pronto por el interior como en la superficie, con tal que no tengan mucho volumen. Al contrario, en los cuerpos que son malos conductores, la superficie se funde mucho tiempo antes que el interior; lo que se ve con las grasas, el hielo, &c. Estos cuerpos nos suministran el medio de observar que una vez llegados al grado de calor que necesitan para pasar al estado líquido, todo el calórico que se acumula en ellos entra en combinacion y no tiene ninguna influencia sobre su temperatura. Tómese, por ejem-

plo, hielo á *cero*, y póngase á una temperatura mas elevada, tal que tienda á derretirle ó fundirle, y sumérjase un termómetro en el agua que resulte, y se verá que el instrumento marcará constantemente  $0^{\circ}$ , mientras haya la mas mínima partícula de hielo; porque todo el calórico absorvido entra en combinacion. El mismo experimento se puede observar en todas las materias crasas, pues se sabe que todas ellas fundidas en una sartén no principian á enrojecerse y cubrirse de espuma sino cuando toda la masa sólida se ha derretido.

508. *Cantidad de calórico combinado durante la fusion.*—La cantidad de calórico que cada cuerpo exige para pasar al estado líquido despues de haber sido puesto de antemano en el grado de dilatacion necesario, es, por decirlo asi, desconocida. El doctor Irvine y su hijo William han hecho muchos experimentos sobre la cantidad de calórico absorvido durante el paso de varios cuerpos al estado líquido; pero no ha resultado nada que sea enteramente positivo, y solo con respecto al hielo se manifiesta la experiencia de un modo decisivo. Hemos dicho ya que, mezclando una libra de hielo á  $0^{\circ}$  con otra de agua á  $75^{\circ}$ , se obtenian 2 libras líquidas á  $0^{\circ}$ ; luego el hielo exige para fundirse la combinacion de una cantidad de calórico capaz de elevar á  $75^{\circ}$  la misma cantidad de agua.

509. *Baja de temperatura que produce la fusion de un cuerpo en los que le rodean.*—Se ve por lo que precede que siempre que un cuerpo sólido pase al estado líquido debe haber una baja de temperatura en los cuerpos circunvecinos. Asi, pues, cuando se derrite un pedazo de hielo en la mano se experimenta un frio bastante intenso, porque el

hielo para pasar al estado líquido roba el calórico á todo lo que le rodea, y por consiguiente á la mano con quien está en contacto.

Cuando se derrite una sal en el agua, casi siempre hay baja de temperatura, porque el cuerpo sólido al pasar al estado líquido roba calórico al agua con quien está en contacto. Se puede observar este efecto haciendo disolver en agua sal comun, ó mejor sal amoniaco.

Mezclando sal marina con nieve ó hielo machacado, se produce un frio considerable; en este caso hay dos causas para ello: la sal que para derretirse absorve calórico, y la nieve que para pasar al estado acuoso absorve tambien mucho. Los botelleros se sirven de esta mezcla para helar las bebidas y ponerlas en el estado de helados y sorbetes. Basta para esto encerrar las bebidas en un vaso de estaño bien cerrado, que se llama *garrafa*, y rodearle por todas partes con la mezcla citada que se renueva sucesivamente á medida que se derrite. Es preciso remover á menudo la bebida para dar al hielo la consistencia pastosa que tiene.

La nieve, echada bajo cierta proporcion en una cantidad dada de ácido nítrico ó sulfúrico, produce una baja considerable de temperatura. Despues de haber bajado la temperatura de un cuerpo sumerjiéndole en una mezcla frigorífica, se puede bajar aun mas sumerjiéndole en otra; y por este medio se puede obtener una temperatura de  $60^{\circ}$  ú  $80^{\circ}$  bajo cero. Se vé que en estos experimentos no sirve el termómetro de mercurio para valuar la temperatura, porque este metal se solidifica á  $-39^{\circ}$ ; se usa entonces de un termómetro de alcohol graduado con sumo cuidado por medio de otro de

mercurio, para las temperaturas donde el alcohol pueda servir de medida, y en las demas indefinidamente, suponiendo la dilatacion constante.

## ARTÍCULO II.

*Regreso de los líquidos al estado sólido.*

510. *Desprendimiento de calor en el paso del estado líquido al estado sólido.* — Cuando un cuerpo sólido ha sido convertido en líquido, el calórico que le llega de los demas cuerpos circunvecinos eleva su temperatura y le dilata sucesivamente, como lo hemos visto en el capítulo anterior; pero cuando el cuerpo líquido se halla en presencia de otros cuerpos mas frios, les cede su calórico. Si sucede que, despues del restablecimiento del equilibrio, el cuerpo se halla todavía en el grado de calor necesario para su fusion, conserva su estado; pero si se halla en un grado inferior, la atraccion de cohesion se hace preponderante y se solidifica, dejando en libertad todo el calórico que le tenia en disolucion: este fluido manifiesta entonces su accion sobre todos los cuerpos que le rodean.

Ya se sabe cuánto calórico dejan libre los metales fundidos al pasar al estado sólido. Tambien puede cerciorarse cualquiera de que el agua al pasar al estado de hielo deja escapar gran cantidad de este fluido. Tómese, por ejemplo, un vaso lleno de agua pura en el cual se sumerja un termómetro; rodéese este vaso con una mezcla frigorífica (509); permaneciendo el líquido perfectamente tranquilo le enfriará sin elevarse hasta algunos grados bajo  $0^{\circ}$ , como lo veremos pronto. Dese al va-

so un ligero movimiento de vibracion y se verá una parte del líquido pasar instantáneamente al estado de hielo, y se notará que la temperatura del líquido restante se eleva á 0°, lo que no puede provenir de otra cosa sino del calórico puesto en libertad por la solidificacion de una parte del agua.

511. *Desprendimiento de calórico durante la combinacion de un liquido con otro cuerpo.* — Puede suceder tambien que un cuerpo sólido puesto en presencia de un cuerpo líquido, con el cual tenga su base mas afinidad que con el calórico, se descomponga, y que el fluido del calor se vea entonces en libertad. Esto se verifica cuando se echa agua sobre la cal viva. Hay entonces un gran desprendimiento de calórico, y aun algunas veces de luz. El resultado de esta operacion es un polvo seco que es una combinacion de la cal con la base del cuerpo líquido. Hay gran número de cuerpos que son susceptibles de obrar esta descomposicion mas ó menos rápidamente y por procedimientos diferentes.

Una circunstancia semejante es la que se presenta cuando se disuelve en el agua una sal que admite agua en su composicion y de la cual se la ha privado de antemano por la calcinacion. Se produce entonces una elevacion de temperatura debida al calórico que deja marchar el agua que entra en combinacion antes que la sal pueda disolverse.

512. *Circunstancias en que los cuerpos conservan el estado líquido mas abajo del término de congelacion.* — Fahrenheit fue el primero que observó que en ciertos casos la temperatura del agua podia llegar á muchos grados por debajo de cero, término ordinario de la congelacion de este líquido. La

casualidad le hizo ver que un ligero sacudimiento bastaba para determinar al momento la congelacion de parte del líquido asi enfriado. Blagden hizo muchos experimentos sobre este punto, y logró bajar la temperatura del agua hasta  $11,66^{\circ}$  bajo *cero* antes de helarse. Notó que para lograr el experimento era preciso valerse de agua bien pura (agua destilada bien privada de aire) y determinó cuales eran los movimientos mas propios para producir la repentina congelacion. Los movimientos vibratorios que obran sobre todas las partículas líquidas son los que desarrollan esta especie de fenómeno con mas seguridad, y si puede variarse la especie de vibracion, se determinarán diversos centros de cristalización en la masa líquida.

La posibilidad de bajar la temperatura del agua algunos grados bajo el término ordinario de la congelacion parece provenir de que la forma de las partículas acuosas es diferente de la forma de las de hielo. Pero mientras las partículas acuosas están en equilibrio, y tienen entre sí ciertas posiciones respectivas, la solidificacion no puede verificarse sino cuando este equilibrio se perturbe por un medio cualquiera, ó se rompa por una gran preponderancia de la atraccion de cohesion.

Blagden ha notado en la serie de sus experimentos, que el agua que tiene partículas cenagosas en suspension es susceptible de helarse mas pronto que el agua perfectamente pura. Efectivamente, estos cuerpos extraños deben destruir el equilibrio prontamente en algunos puntos de la masa. Las aguas que han hervido se hielan ordinariamente mas pronto que las que no han sufrido esta operacion. Se atribuye este efecto á que durante la ebu-

llicion las sales que tiene el agua en disolucion se han precipitado y enturbiado la trasparencia del liquido.

El punto de congelacion del agua suele estar muchos grados sobre cero cuando el líquido contiene ciertas sales en disolucion; pero hay en esto la particularidad de que, cuando el agua llega á solidificarse pierde toda la sal que encerraba; el hielo se halla dulce, y el líquido remanente contiene toda la sal de que aquel está despojado. En los países frios se emplea la congelacion para concentrar las aguas saladas, y por este medio economizar una gran cantidad de combustible que seria necesario para la evaporacion.

513. *Aumento ó disminucion de volumen en el paso del estado líquido al estado sólido.*— Cuando los cuerpos pasan del estado líquido al estado sólido, sus particulas toman una colocacion particular. Si la masa al solidificarse se hace compacta como en los metales sumamente ductiles, v. gr. el plomo, estaño, oro, &c. el volumen disminuye. Si al contrario, la masa solidificada se compone de agujas ó laminitas agrupadas irregularmente, el volumen aumenta, como se verifica en el hierro, bismuto, antimonio, bronce, &c. El agua al solidificarse produce tambien el mismo efecto, y como se puede seguir su solidificacion paso á paso, se puede dar facilmente razon de ella. En efecto, cuando una masa de agua se hiela tranquilamente, se ven desde luego formarse varias agujitas en su superficie; estas se multiplican en la masa, se cruzan y concluyen por formar un solo cuerpo: al aumento de volumen del agua al solidificarse es á quien se debe la rotura de los vasos en que se verifica, por-

que el esfuerzo producido es sumamente considerable: si el vaso es bastante fuerte y abierto en su parte superior, se hincha la masa sólida en su superficie.

El aumento de volumen produce necesariamente una disminucion de peso específico, lo cual es sensible particularmente en el hielo. Segun Tomson la pesantez específica del hielo á 15,55° es de 0,92, siendo 1 la del agua. Por razon de esta ligereza flotan los témpanos de hielo en la superficie del agua.

## ARTÍCULO III.

*Paso de los líquidos al estado aeriforme.*

514. Cuando un cuerpo sólido ha sido convertido en líquido, el calórico que absorve para equilibrarse con los cuerpos que le rodean eleva su temperatura, y le dilata sucesivamente; pero bien pronto una nueva porcion de calórico se combina con algunas de sus moléculas, y las hace pasar al estado aeriforme; de suerte que este líquido *se evapora* sucesivamente.

Parece que en general los cuerpos que habitualmente son líquidos producen vapor á todas las temperaturas, cosa que todo el mundo ha podido observar con el eter, el espíritu de vino y el agua, los cuales disminuyen bastante rápidamente de peso cuando están al aire libre en vasos abiertos. Aun es este fenómeno mas notable con respecto al agua, pues se evapora aun en estado de hielo, lo cual puede observarse durante un tiempo seco y frio, en que las nieves y hielos esparcidos por el campo concluyen por desaparecer enteramente.

Todo el mundo ha podido observar tambien que los líquidos son mas volátiles unos que otros: así es que el eter y el espíritu de vino son mas volátiles que el agua: lo mismo sucede con los cuerpos que parecen fijos en la temperatura ordinaria: tales como los aceites crasos, el mercurio, &c. Su apariencia de fijos parece proceder sin duda de que estos líquidos exigen mas calórico que los otros para pasar al estado aeriforme, del mismo modo que las sales exigen mas ó menos agua para disolverse.

515. *Evaporacion en el vacío.*—Cuando uno de los cuerpos habitualmente líquidos se halla colocado en un espacio vacío (v. gr. una campana purgada de aire) se forma repentinamente cierta cantidad de vapores que varía segun el espacio, segun la temperatura, y segun la naturaleza del líquido.

*Segun el espacio;* á una temperatura dada no se desarrolla en un espacio dado sino cierta cantidad de vapores. Apenas se forma cuando cesa la evaporacion, si la temperatura permanece fija; pero si el espacio se aumenta y crece, por ejemplo, como los números 1, 2, 3, &c. la cantidad de vapor aumenta y crece del mismo modo. Si el espacio se hiciese infinito, la cantidad de vapor lo sería igualmente; pero pronto se formaría una atmósfera que retardaría la evaporacion, como veremos sucede en la atmósfera terrestre.

Si cuando un espacio está lleno de todo el vapor posible se logra disminuirle, una parte del vapor pasa de nuevo al estado líquido, y no queda mas que lo que puede contener el nuevo espacio á la temperatura ordinaria.

Montgolfier se aprovechó hace mucho tiempo

de la facilidad con que se evaporan los líquidos en el vacío á una temperatura corta, para quitar la humedad que tienen naturalmente las sustancias alimenticias, y desecarlas hasta el punto de poderse conservar facilmente, sin hacerlas perder casi nada de su gusto. Para este efecto se servia de la máquina neumática, de donde sacaba sucesivamente el vapor; pero este procedimiento exige el empleo de una fuerza mecánica considerable. Desormes y Clement han propuesto que una vez hecho el vacío se emplease el ácido sulfúrico para absorver el vapor acuoso, á medida que se formase.

*Segun la temperatura.*—Quedando el mismo el espacio, la cantidad de vapor que se desarrolla crece con la temperatura; pero si ésta crece como los números 1, 2, 3, la evaporacion aumenta en una relacion mucho mayor, de suerte que se evapora mucho mas líquido entre 10° y 20° que entre 0° y 10°.

*Segun la naturaleza del líquido.*—La experiencia nos enseña que todos los líquidos no dan la misma cantidad de vapor en el mismo grado de temperatura, es decir, que no todos los líquidos son igualmente volátiles.

El eter da un vapor mas denso que el agua, el agua le da mas denso que el mercurio, &c. En la temperatura ordinaria el vapor mercurial es tan raro que no es posible demostrar su existencia, y solo puede advertirse la evaporacion por la disminucion que experimenta á la larga una cantidad dada de este metal expuesto en vasos abiertos. Tambien parece que los aceites crasos dan poquísimo vapor á la temperatura ordinaria. Otros muchos cuerpos habitualmente líquidos están en el mismo caso.

En cuanto á los cuerpos que no se liquidan sino á temperaturas elevadas, se ignora si despues necesitan mucho calor para evaporarse de un modo sensible. Aunque se han hecho experimentos, como no pueden verificarse sino en vasos abiertos, el cuerpo se combina bien pronto con el oxígeno de la atmósfera. Sin embargo, se sabe que los metales poco oxidables, como la plata y el oro, se volatilizan en parte á una temperatura sumamente elevada.

516. *Elasticidad del vapor acuoso formado á diversas temperaturas.* — El vapor que se desprende de un líquido dado á un cierto grado de temperatura no difiere del vapor que se forma á una temperatura mas baja ó mas elevada, sino en la fuerza elástica de que está dotado. Dalton ha reconocido que á 0° el vapor de agua es capaz de sostener una columna de mercurio de 6 milímetros, ó 3,1 líneas españolas de altura; á 18,75° puede sostener una de 13 milímetros ó 6,7 líneas; á 50° sostiene una de 38 milímetros ó 19,60 líneas españolas, &c.

517. *Evaporacion en un intermedio aeriforme de cierta densidad.* — Cuando el líquido que se evapora está rodeado de un fluido aeriforme que no obra sobre el vapor, la evaporacion se hace con mas lentitud que en el vacío, y tanto mas lentamente cuanto mas denso es el fluido ambiente; pero lo que hay de notable es que, en un espacio dado ya ocupado por un fluido aeriforme de una densidad cualquiera, y á una temperatura dada, se desprende precisamente tanto vapor como en el vacío; de donde es preciso concluir que el fluido ambiente no ejerce ninguna presion sobre el vapor. Tales son los resultados obtenidos por Saussure, Deluc,

Volta y Dalton, de los cuales puede cualquiera convencerse, disponiendo un barómetro en un balon donde se haga entrar una cantidad mayor ó menor de aire en medio del cual se pone un paño empapado en agua. Haciendo este experimento se notará, despues del tiempo necesario para el desprendimiento total del vapor, que la elasticidad del aire está aumentada precisamente con la que tendria el vapor en el vacío. Asi es que á la temperatura  $18,75^{\circ}$  la altura del barómetro se halla aumentada 6,7 líneas, y á  $50^{\circ}$  se aumentaria 19,6 líneas españolas mas de lo que corresponde á la elasticidad propia del aire.

Es preciso concluir de estos experimentos que la evaporacion de un líquido es debida enteramente al calórico, y que no influye de modo alguno la presencia ni la ausencia del aire en la cantidad de vapor producido. Unicamente se observa la diferencia de que en el vacío la evaporacion es instantánea mientras que en un medio resistente es mas ó menos larga, lo que proviene del obstáculo mecánico que opone el fluido ambiente á la diseminacion de las partículas de vapor entre las suyas propias. Esta diseminacion no puede verificarse sino con el auxilio de los innumerables intersticios de que está plagado el aire, es decir, por su porosidad.

En igualdad de temperatura la evaporacion al aire libre es tanto mas abundante cuanto mayor superficie presenta el líquido, porque entonces los puntos de comunicacion con el aire son tanto mas numerosos. La evaporacion es tambien mas abundante en un aire agitado, que en un aire tranquilo, porque entonces ofrece el aire á cada instante nue-

vos puntos libres de facil acceso en los nuevos intersticios que presenta.

El vapor se mezcla con el aire del mismo modo que los fluidos aeriformes se mezclan entre sí, es decir, que las moléculas de vapor cuya afinidad para el aire es sumamente pequeña se aproximan á las moléculas de este fluido hasta la distancia que establece el equilibrio entre la presion total y el esfuerzo del calórico. Resulta que la mezcla es capaz de sostener una presion igual á la suma de las fuerzas elásticas particulares, como se ha visto por los experimentos anteriores, y por consiguiente necesita de esta presion para mantenerse en el mismo espacio. Si sucediese que la presion fuese menor, ó si fuese igual á la que sufría el aire antes de formarse el vapor, la mezcla se dilataria hasta que su elasticidad se disminuyese lo suficiente para producir el equilibrio. Esto es lo que sucede en el aire libre.

518. *El aire mezclado con vapor es mas ligero que el aire atmosférico.* — De los experimentos de Saussure resulta que el peso específico del vapor bajo la presion atmosférica media, está con el del aire puro en razon de 10 : 14. Gay-Lusac ha hallado que esta razon es 10 : 16. Resulta de aqui que el aire mezclado con vapor es específicamente mas ligero que el aire seco en igualdad de densidad. Así pues en los tiempos en que la atmósfera está cargada de vapores acuosos, el barómetro se mantiene mas bajo que cuando está seca ; pero esta circunstancia no puede de ningun modo indicar la lluvia, como se cree generalmente.

519. *Ebullicion de diversos líquidos.* — A pesar del obstáculo que los fluidos aeriformes circunveci-

nos oponen á la evaporacion, llega el momento en que el vapor se desprende tan rápidamente en un medio aeriforme de una densidad cualquiera, como en el vacío; esto sucede cuando la temperatura es bastante elevada para que el vapor que se forma tenga la misma elasticidad que el fluido ambiente: este es el punto en que un líquido entra en ebullicion. Cuando se hace hervir un líquido trasparente en un vaso de cristal se ven formarse unos gruesos glóbulos de vapor en el punto á donde está aplicado el calor mas particularmente. Estos glóbulos se elevan al través del líquido, van á reventarse en la superficie, y producen movimientos violentos tan conocidos de todo el mundo bajo el nombre de *ebullicion ó hervidero*.

Los globullillos que se desprenden del agua antes de la ebullicion, y que producen una especie de estremecimiento son debidos al aire contenido en el líquido, que se dilata por el calor. El agua destilada, y el agua que proviene del derretimiento del hielo no producen este efecto.

La experiencia prueba que bajo la presion media de la atmósfera todos los líquidos no principian á hervir al mismo grado de temperatura. El eter nítrico, el eter muriático son tan volátiles, que el solo calor de la mano basta para hacerlos hervir. Se ha hallado que bajo la presion media de la atmósfera

El eter sulfúrico hierve á la tem-	} 33°
peratura de. . . . .	
El alcohol ó espíritu de vino á. . . . .	79°
El agua á. . . . .	100°
El azufre á. . . . .	200°

El aceite de trementina á. . . . .	293°
El aceite de linaza á. . . . .	315°
El mercurio á. . . . .	350°

Los cuerpos extraños que los líquidos tienen en disolucion influyen mucho sobre el grado de temperatura necesaria para la ebullicion; retardan constantemente la ebullicion de los líquidos mas volátiles que ellos: por esto el agua cargada de sal tarda mas en hervir que el agua pura.

Se concibe facilmente que bajo una presion menos considerable que la media de la atmósfera, los líquidos deben hervir á temperaturas mas bajas, porque basta que el vapor que se forma tenga el grado de elasticidad del fluido ambiente. Efectivamente esto es lo que sucede: el eter sulfúrico hierve á la temperatura 0° en el vacío de la máquina neumática: el agua hierve entonces facilmente á la temperatura 30°, y si se absorve el vapor, á medida que se forma, el líquido restante se halla bien pronto á algunos grados bajo cero, y continúa hirviendo.

Cuando, al contrario, se aumenta la presion en la superficie de un líquido, es menester un grado mas alto de calor para producir ebullicion: esto es lo que sucede en la *marmita de Papin*, que es una olla de metal de paredes muy gruesas, provista de una cobertera que cierra exactamente por medio de un tornillo de presion. Cuando un líquido encerrado en esta vasija se expone al fuego se forma desde luego cierta cantidad de vapor; pero adquiriendo este una fuerza elástica considerable, ejerce una fuerte presion en la superficie del líquido, y le obliga á calentarse extraordinariamente. Se sirven de

esta máquina para extraer la gelatina contenida en los huesos y convertirla en caldo.

520. *Cuando un líquido comienza á hervir, su temperatura no aumenta ya de ningun modo.* — Así es que el agua hierve á la temperatura de  $100^{\circ}$ , y es imposible hacerla tomar bajo la presión ordinaria de la atmósfera una temperatura mas elevada: un termómetro colocado en el líquido queda entonces estacionario, lo que indica que el calor es absorbido por el vapor: por otra parte, se puede convencer cualquiera de que el vapor no se halla tampoco mas que á  $100^{\circ}$ ; luego en esta operacion el calórico ha perdido su propiedad de elevar la temperatura del cuerpo. Pueden hacerse iguales observaciones con otros líquidos.

521. *Cantidad del calórico combinado en el paso de un líquido á estado de vapor.* — La cantidad de calórico que el vapor absorbe al formarse en el momento de la ebullicion es mas ó menos considerable sin duda segun los diversos líquidos; pero sobre este punto no se tienen mas experimentos que los hechos con el agua. Se puede calcular esta cantidad de calórico de diversos modos; así hizo el doctor Black cuando estableció su teoría del calórico latente. Segun Clemente y Desormes el agua, evaporándose á la temperatura de  $100^{\circ}$ , absorbe una cantidad de calórico igual á mas de cinco veces y media la que se necesita para elevarla de  $0^{\circ}$  á  $100^{\circ}$ .

En el caso de calentarse agua en la marmita de Papin, si se presenta una salida al vapor al momento en que el líquido se halle elevado á una temperatura muy alta, sale inmediatamente en grande abundancia, y el líquido que queda en el fondo del vaso se halla al instante á  $100^{\circ}$ .

522. *Frio producido por la conversion de los líquidos en fluidos aeriformes.*—De todo lo que acabamos de decir resulta que, siempre que un líquido pasa al estado de fluido aeriforme, absorve calórico y necesariamente le toma de todos los que le rodean; por consiguiente debe haber produccion de frio en los cuerpos en contacto.

Dando un baño de un líquido facilmente evaporable, sobre todo de eter, á la bola de un termómetro, se ve prontamente bajar el mercurio considerablemente hácia el cero, porque el líquido evaporándose roba el calórico á la bola con quien está en contacto. Por una razon semejante es por la que se experimenta un frio bastante grande cuando se echan en la mano algunas gotas de eter ó de alcohol; y por la misma experimenta toda persona al salir de un baño una sensacion de frio, la cual es debida á la evaporacion de la pequeña capa de agua que queda adherida al cuerpo.

*De los vasos refrigerantes.*—Si en la superficie de un vaso lleno de un líquido cualquiera, se renueva constantemente una pequeña capa de humedad, su evaporacion robará sucesivamente al calórico al vaso, y refrescará el licor. En este principio está fundado el uso de los vasos que sirven en España y otros países para refrescar el agua. Estas vasijas que son nuestras famosas *alcarrazas*, son de un barro muy poroso, para que el agua penetre al través, y forme continuamente en la superficie una pequeña capa húmeda, que evaporándose roba el calórico á la vasija, y al líquido que contiene. Fourmy ha fabricado en Francia estas vasijas con nombre de *hidroceramas* (sudadoras de agua): ciertos pucheros de barro pueden producir igual efecto.

Rodeando una botella llena de agua con un trapo empapado en eter, el frio que se produce es bastante fuerte para pasar el líquido á estado de hielo.

523. *Experimentos de Leslie sobre la congelacion del agua.* — El frio producido en un líquido por la evaporacion que se verifica en su superficie ha suministrado á Leslie, profesor en Edimburgo, la idea de producir la congelacion del agua en una atmósfera cuya temperatura esté mucho mas elevada que aquella en que se forma el hielo naturalmente. Para producir este efecto se colocan en el recipiente de la máquina neumática dos vasos, uno lleno de agua, y otro de una sustancia que la absorva bien, v. gr. ácido sulfúrico concentrado; se enrarece en seguida el aire en el recipiente, y cuando se ha reducido la columna de mercurio á 7 milímetros (3,6 líneas españolas) se cierra la comunicacion con el cuerpo de bomba, y se dejan las cosas en este estado: poco tiempo despues se congela el agua.

En este experimento el vaso que encierra el agua produce desde luego vapor que llena el recipiente; pero este vapor es absorbido inmediatamente por el ácido sulfúrico, de suerte que se forma un nuevo vacío que es pronto ocupado por nuevo vapor, y así sucesivamente. Esta evaporacion forzada hace perder al agua porciones sucesivas de su calórico, hasta que al fin la obliga á pasar al estado de hielo.

Si, despues de la formacion del hielo, se deja continuar la operacion, se verá que el hielo concluirá por desaparecer enteramente, lo que es una prueba de su evaporacion: por un experimento se-

mejante se reconoce que el hielo sigue evaporándose aun á la temperatura de  $40^{\circ}$  bajo cero.

## ARTÍCULO IV.

*Regreso de los fluidos aeriformes al estado líquido ó sólido.*

524. *Desprendimiento de calor en el paso de un fluido aeriforme al estado líquido ó sólido.*— Cuando la temperatura de un fluido aeriforme está suficientemente rebajada para que la atracción de las moléculas del líquido que le sirve de base se haga preponderante, este fluido regresa al estado líquido, y el calórico se queda libre. Si se hace pasar vapor de agua á  $100^{\circ}$  por agua á  $0^{\circ}$  este vapor se condensa, y el líquido se calienta prontamente hasta hervir. De los experimentos de Clement y Desormes, resulta que el vapor á  $100^{\circ}$  absorbe cinco veces y media mas calórico que lo que seria necesario para elevar el agua hasta  $100^{\circ}$  (521). Luego si se hace pasar una libra de vapor á  $100^{\circ}$  por 5,5 libras de agua á  $0^{\circ}$  se obtendrán 6,5 de líquido á  $100^{\circ}$ . Este es un medio bien sencillo para calentar el agua de un baño. Eduardo Adam lo ha aplicado á la destilacion de los vinos que ha perfeccionado considerablemente: su ingenioso aparato se emplea con éxito en muchos parages del medio dia de la Francia. Rumford ha propuesto casi al mismo tiempo el servirse del vapor para calentar los talleres, y su método se adoptó por muchos operarios en Francia; pero en Inglaterra se emplea hasta en el interior de las habitaciones para calentar las salas y escaleras.

Todos los cuerpos gaseosos no son mas que combinaciones de una base sólida con el calórico. Cuando un gas se disuelve en un líquido, el calórico que le mantenía en estado aeriforme se hace libre: cuando un gas se combina con un cuerpo sólido, se desprende tambien una cantidad enorme de calórico, de lo cual tenemos un ejemplo diario en la combustion que es producida por la combinacion del oxígeno del aire con el cuerpo combustible. En estas circunstancias teniendo el oxígeno mayor afinidad para con el combustible que para con el calórico, se combina con aquel, y deja á este en estado libre.

528. *Nieblas y nubes.*—Cuando el vapor repartido en la atmósfera sufre una disminucion de temperatura, regresa al estado líquido; pero el aire en medio del cual están alojadas estas partículas es un obstáculo para su reunión en masa líquida; de suerte que se forman una multitud de globulillos de agua sumamente pequeños, separados unos de otros por una capa de aire sumamente pequeña. Este conjunto de globulillos forma las nieblas y nublados que flotan en nuestra atmósfera; bajan en seguida, y se depositan lentamente en la superficie de la tierra en forma de rocío, ó se resuelven en lluvia. Saussure dice haber observado que estos globulillos de agua están huecos, y por eso ha dado á su conjunto el nombre de *vapor vesicular*; pero parece sumamente difícil el asegurarse de este hecho.

Todo el mundo sabe que el aliento de los hombres y de los animales es visible durante el invierno. Es facil dar razon de este fenómeno. Siendo el aire mas frio que el vapor respirado le roba el ca-

lórico, y le obliga á pasar al estado líquido, y se forma entonces una porcion mayor ó menor de los globulillos acuosos, cuya reunion produce la neblina observada.

526. *Humedad que se deposita en los cuerpos frios colocados en una atmósfera caliente, y cargada de vapor.* — Cuando un cuerpo frio se halla en medio de una atmósfera caliente se establece á su rededor un equilibrio de temperatura; pero el vapor contenido en el aire pasa prontamente al estado acuoso, y se deposita sobre el cuerpo. A la vista tenemos siempre ejemplos marcados de estos fenómenos: cuando se lleva una botella desde una cueva á un parage caliente, se sabe que se cubre pronto de humedad: tambien se puede notar la cantidad de agua que se deposita sobre una garrafa que tenga agua de nieve.

En el invierno los vidrios de un aposento en que hay lumbre están interiormente cubiertos de agua, porque el vapor que se halla en el aposento pasando por los vidrios pierde en ellos su calórico, y se reduce á agua que se deposita en su superficie. Esta agua continuamente refrescada se suele convertir en hielo, segun las leyes de afinidad que le hacen tomar formas particulares; de aquí nacen las ramificaciones cristalinas que aparecen sobre los vidrios en las mañanas de los dias muy frios.

*La humedad de las paredes en el deshielo se explica con la misma facilidad.* Durante todo el tiempo que el frio ha reinado, se han refrescado las paredes, y como cuando llega el deshielo no han tenido tiempo de recobrar su calórico, le roban entonces á todos los cuerpos circunvecinos, y

por consiguiente al vapor que se halla en la atmósfera, y que se deposita en su superficie en forma acuosa.

*La humedad de los bosques* en los países calientes se explica tambien por esta teoría: no penetrando el sol en lo sombrío, existe siempre cierta frescura; el aire de los alrededores que está caliente, y cargado de vapor, pierde su calórico al atravesar el bosque, y el vapor se reduce á agua. Este es el origen del gran número de manantiales que se hallan en los terrenos frondosos, y asi es que en todos los parages en donde se han destruido los bosques han desaparecido las fuentes, mientras que en otros en donde se han hecho plantaciones se han visto aparecer manantiales que jamas existieron (\*).

*El rocío* es tambien una consecuencia de la reduccion de los vapores acuosos atmosféricos á agua, por el encuentro de los cuerpos que estan mas ó menos frescos. Pero el grado de enfriamiento depende de la naturaleza de los cuerpos que son susceptibles de perder mas ó menos calórico por la irradiacion; resulta de aquí que todos los cuerpos no se cubren igualmente de rocío. Todo el mundo puede notar que las plantas, y sobre todo las partes herbáceas, son las que se cubren mas particularmente de rocío; que las maderas, los tejados, las vasijas de loza, se cubren mucho menos, y que los metales pulimentados permanecen perfectamente secos, mientras todos sus alrededores estan cubiertos de agua. Pero si se ha podido imaginar al

---

(\*) Esta terrible verdad se experimenta bien á las elaras en Madrid, en donde cada dia es mayor la escasez de agua, porque no se procura reponer su antigua frondosidad. *E. T.*

momento que el vapor se depositaba sobre los cuerpos frios como sobre una botella de agua de nieve puesta en un aire cálido, se ha tardado mucho tiempo en hallar la causa que motivaba el enfriamiento de los cuerpos en la atmósfera, y al doctor Wells es á quien debemos la idea de ello pues es el que ha hecho ver que está en razon de la facultad radiante. Las plantas y otros muchos cuerpos pierden de este modo gran cantidad de calórico, y se hallan en una temperatura muchos grados mas baja que la del aire comarcano. Los cuerpos pulimentados, y sobre todo los metales, teniendo poco poder radiante no se enfrian. Este enfriamiento no sucede en todas las estaciones, y solamente cuando las noches son calmosas y serenas es cuando todo el calórico radiante de los cuerpos se pierde en el espacio. Un tiempo nebuloso lo impide totalmente y no se forma rocío, lo que procede de que las nubes por un lado reflejan el calórico, y por otro le irradian ellas mismas hácia la tierra, compensando así la cantidad de calor perdido por los cuerpos que estan en su superficie. Por esta misma razon no hay rocío bajo los árboles ni bajo una tela tendida á alguna distancia del suelo, &c.

527. *Higrómetros.* — Se llaman higrómetros (de ὕγρος húmedo, y de μέτρον medida) unos instrumentos para medir la humedad del aire.

*Construccion.* — El aire está siempre mas ó menos cargado de vapor, pero muchas veces es invisible, como sucede durante los calores del estío: entonces no es capaz de mojar los cuerpos.

Todos los cuerpos son mas ó menos susceptibles de atraer la humedad de la atmósfera: hay

algunos que poseen esta propiedad en tal grado que no pueden permanecer en el estado sólido cuando se les deja expuestos al aire. De estos diversos cuerpos se pueden componer otros tantos higrómetros: se puede determinar la cantidad de humedad viendo el peso que el cuerpo adquiere, ó midiendo las variaciones que experimenta en sus dimensiones: este último camino es preferible, y para este efecto se emplean las cuerdas, los cabellos, &c.

El agua que se halla en un cuerpo está solicitada por dos fuerzas opuestas, una la afinidad del cuerpo para con ella que retiene las moléculas, y otra la afinidad para el calórico que procura reducirle á vapor. Mientras hay equilibrio entre las dos fuerzas, el cuerpo conserva la humedad que ha adquirido: si el calor aumenta pierde una porcion de su humedad, pero al mismo tiempo adquiere mas fuerza para retener la otra porcion; de suerte que se conserva todavía el equilibrio. Si al contrario, el calor disminuye, la afinidad del cuerpo se hace preponderante en la misma proporcion, y se apodera de una nueva porcion de humedad: por esta especie de mecanismo es como los higrómetros señalan las variaciones de humedad del aire.

528. *Varias especies de higrómetros.* — Existe gran número de higrómetros de diferentes formas: los capuchinos y otras figuras que señalan la lluvia y el buen tiempo, aunque no siempre con exactitud, son higrómetros, cuya pieza principal es una cuerda de vihuela que se tuerce ó destuerce segun la mayor ó menor humedad del aire, y hace mover asi la capucha ó el brazo para señalar los diversos grados; pero estos instrumentos no siguen

una marcha regular y no conservan largo tiempo su propiedad higroscópica.

En vez de disponer la cuerda de vihuela horizontalmente, como en las figuras que acabamos de indicar, se ha dispuesto durante largo tiempo verticalmente: se adaptaba entonces en la parte inferior una aguja que señalaba los grados en un círculo horizontal á medida que se torcia ó destorcía la cuerda; ó sino se suspendía á la extremidad un plano pequeño circular sobre el cual se encontraba en dos puntos opuestos un hombrecito con un paraguas y una señorita con un abanico, y todo estaba dispuesto en una casita de dos puertas: el hombrecito salía en los tiempos lluviosos, y la señorita en los secos.

En vez de emplear la propiedad de las cuerdas de torcerse ó destorcerse, se puede tambien emplear la que tienen de aumentar ó disminuir de longitud: es preciso que esta sea entonces bastante considerable; pero para que el instrumento ocupe el menor espacio posible se hace pasar esta cuerda en zic-zac con poleas fijas en una plancha ó en una pared: una pesita ó una aguja colocada en el extremo libre señala las variaciones de longitud. En una de las puertas del viejo Louvre habia un higrómetro de esta especie sumamente sencillo; era una cuerda fija por sus dos extremos, y en su medio estaba suspendido por un hilo de laton un peso destinado á servir de índice por su subida ó bajada, á medida que se alargaba ó acortaba la cuerda.

Tambien pueden servir para esta especie de higrómetros las hojas de la planta marítima llamada *barrilla* (sargazo), cuyas hojas muy largas y estrechas son susceptibles de alargarse ó acortarse por la

humedad, y basta fijar una de estas hojas por un extremo y colgar verticalmente del otro una pesita que se baja ó eleva segun las variaciones de la humedad.

Los instrumentos que señalan la humedad del aire por el aumento de peso de las sustancias que los componen, consisten en una balanza ordinaria, en uno de cuyos platillos está colocada la sustancia higrométrica, tal como el ácido sulfúrico, varias sales, &c. Se establece el equilibrio durante la mayor sequedad, y se dispone delante del fiel de la balanza una escala que señala las variaciones á medida que el platillo titubea mas ó menos.

529. *Higrómetro de Saussure.* — El higrómetro á quien los físicos han dado generalmente la preferencia es el de Saussure, que Deluc habia hecho poco antes valiéndose de un hilo de ballena sumamente delgado. Este instrumento está construido con todas las precauciones convenientes para hacerle comparable con otro, lo que es en él una cualidad tan esencial como en los termómetros. Su pieza principal consiste en un cabello desengrasado por la ebullicion en agua que contenga  $\frac{7}{100}$  de sulfato de sosa (sal de Glauber).

Uno de los extremos del cabello está atado á un punto fijo *a* (*fig.* 185) y tendido en *o* por una pesita. La aguja *b* se mueve delante de un círculo graduado *ii* á medida que el pelo se alarga ó se acorta. Saussure ha tomado para dividir la escala dos puntos fijos: la humedad extrema, y la extrema sequedad. El primer punto lo determinaba colocando el higrómetro en una campana, cuyas paredes estaban mojadas, y cuya humedad renovaba hasta que el cabello cesaba de dilatarse. Para obte-

ner la sequedad extrema colocaba Saussure el instrumento bajo una campana bien seca que contenia una placa de fundicion caliente y cubierta con una sal propia para absorver la humedad; el intervalo entre estos dos términos lo dividió en cien partes.

La marcha de este higrómetro como la de todos los demas está complicada con la dilatacion del pelo por el calor cuando la temperatura aumenta; pero Saussure construyó una tabla de correccion que acompaña siempre al instrumento.

---

---

## CAPÍTULO VI.

*Capacidad para el calórico. — Calórico específico.*

53o. *El calórico se distribuye uniformemente entre los cuerpos homogéneos mientras hay equilibrio de temperatura.* — Mezclando una libra de agua á  $34^{\circ}$  con otra á  $10^{\circ}$  se obtienen despues de la mezcla dos libras de líquido á la temperatura media de  $22^{\circ}$ . Repitiendo el experimento con otras sustancias homogéneas en el mismo estado, se obtienen resultados análogos.

Pero cuando se mezclan cuerpos *heterogéneos*, el calórico no se distribuye uniformemente. Si se pone en contacto una libra de agua á  $34^{\circ}$  con otra de mercurio á  $0^{\circ}$ , el agua cederá el calórico al metal hasta que el equilibrio esté establecido, y colocando en este punto un termómetro en medio de uno y otro cuerpo señalará  $33^{\circ}$ , lo que indica que la temperatura del mercurio se ha elevado  $33^{\circ}$  aun-

que no haya recibido del agua sino un solo grado. Este fenómeno es el que se designa diciendo que *el agua tiene mayor capacidad para el calórico que el mercurio*. Todos los cuerpos se hallan en el mismo caso; cada uno de ellos tiene una disposicion particular á tomar mas ó menos calórico para elevar su temperatura; esta disposicion es la que se designa con la expresion de *capacidad de un cuerpo para el calórico, ó capacidad del calórico*.

Esta variacion de capacidad se manifiesta aun entre los cuerpos de la misma naturaleza que se hallan en diferentes estados. Asi es que el agua parece tener mas capacidad para el calórico en estado líquido que en estado de hielo. En efecto, si haciendo abstraccion de las capacidades para el calórico, se busca cual deberá ser la temperatura resultante de una mezcla de 1 libra de hielo á  $-10^{\circ}$  con otra de agua á  $+90^{\circ}$  se diria: es preciso  $75^{\circ}$  de calor para hacer pasar una libra de hielo de  $0^{\circ}$  líquido (508): es preciso ademas  $10^{\circ}$  de calor para hacer llegar el hielo de  $-10^{\circ}$  á  $0^{\circ}$  total  $85^{\circ}$ ; luego quedarían  $5^{\circ}$  de calor que repartir entre las 2 libras líquidas que se hallarían entonces á  $2,5^{\circ}$ . Pero no sucede asi, pues la temperatura resultante es de  $3^{\circ}$ , de suerte que, despues de la fusion quedan  $6^{\circ}$  de calor en vez de los  $5^{\circ}$  que repartir entre las dos libras. Pero no es sobre la cantidad de calórico necesario para la fusion del hielo sobre quien puede caer la rebaja, pues la experiencia prueba que siempre es de  $75^{\circ}$ , luego no puede ser sino sobre el calórico necesario para hacer pasar el hielo de  $-10^{\circ}$  á  $0^{\circ}$ . Es claro que el hielo no ha necesitado mas que  $9^{\circ}$  para elevarse á una temperatura de  $10^{\circ}$ .

Una de otro cuerpo á  $75^{\circ}$  no funde mas hielo que

Se podría crear también que las capacidades de calórico de los cuerpos varían con la temperatura: en efecto, Dulong y Pettit han hecho ver que en los cuerpos sólidos las capacidades para el calórico van creciendo á medida que la temperatura se eleva; han observado el mismo fenómeno en el mercurio, y es probable que suceda lo mismo en otros líquidos. Pero es de notar que los cuerpos se dilatan á medida que la temperatura se eleva y que la dilatabilidad crece de suerte que el aumento de capacidad podría depender de ella, y lo que lo haría creer mas es que los metales cuya dilatacion sigue la ley mas rápida, son aquellos cuya capacidad para el calórico sufre mayores alteraciones.

531. *Calórico específico.* — Es imposible medir por ningun medio la cantidad absoluta de calórico que contienen los cuerpos, y no se ha podido sino medir la cantidad relativa de calórico que absorven para elevarse bajo el mismo peso á un cierto número de grados; á esta cantidad de calórico que los cuerpos de diferente naturaleza encierran bajo la unidad de peso y temperatura, es á lo que se llama *calórico específico*. Asi, pues, en uno de los experimentos precedentes bajo la unidad de temperatura de 33°, el agua poseía 33° de calor y el mercurio no habia tomado mas que 1°. Estos números representan los calóricos específicos de estos cuerpos. Si se toma el calórico específico del agua por unidad, se tendrá para la del mercurio

$$\frac{1}{33} = 0,0303.$$

En el otro experimento, para llegar á la misma temperatura el agua toma 10° de calor, cuando el

hielo no toma mas que  $9^{\circ}$ . Se tiene pues  $\frac{9}{10} = 0,9$  para el calórico específico del hielo.

532. *Calorímetros.* — Se puede llegar de diversos modos á determinar el calórico específico de diferentes cuerpos. El método de las mezclas que hemos indicado en los dos experimentos precedentes ha sido empleado por muchos autores: consiste en mezclar cuerpos á una temperatura y un peso conocidos. Se puede servir en general del agua para todos los cuerpos sobre los cuales no tiene acción este líquido; y para aquellos que el agua es susceptible de atacar, se puede tomar otro líquido cuyo calórico específico sea conocido; este es un procedimiento análogo al que hemos indicado (86) para obtener la pesantez específica de los cuerpos solubles en el agua.

En este método es preciso tener mucha precaucion para obtener resultados exactos: es menester tener cuenta con el calórico que la sustancia del vaso que se emplea roba ó comunica al líquido, con el que es robado por el aire ambiente y por los cuerpos en contacto; es necesario tener cuidado que la mezcla se halle en todos sus puntos á la misma temperatura, &c.

Se debe á Lavoisier y Laplace un método diferente que es quizá susceptible de mayor exactitud, porque las causas de error son menos numerosas, y está fundado en la observacion de la cantidad de calórico que emplea el hielo para pasar á estado líquido. Se sabe que una libra de agua á  $75^{\circ}$  derrite exactamente una libra de hielo, y que resulta una masa de líquido á  $0^{\circ}$ ; luego si una libra de otro cuerpo á  $75^{\circ}$  no funde mas hielo que

$\frac{1}{2}$  ó  $\frac{1}{3}$  de libra, se concluirá que los calóricos específicos de este nuevo cuerpo son  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ , &c. ó 0,5; 0,303.

Esta manera de enunciar el método parece suponer que es menester siempre que los cuerpos esten al mismo peso y temperatura de  $75^{\circ}$ ; pero es facil, empleando un cuerpo de un peso y una temperatura cualquiera, reducir los resultados á lo que debian ser en todos los casos por un cálculo muy sencillo. En efecto, sea un cuerpo de  $18^{\circ}$  y de peso de 3 libras; supongamos que funde  $\frac{1}{2}$  libra de hielo pasando á  $0^{\circ}$ , tomando la tercera parte de esta cantidad se tendrá  $\frac{1}{6}$  para el peso del hielo derretido por 1 libra á  $18^{\circ}$ . Dividiendo en seguida por 18 se tendrá 0,009265, para la cantidad de hielo derretida por una libra del cuerpo á  $1^{\circ}$ ; y multiplicando por  $75^{\circ}$ , la que debe derretir á esta temperatura; es decir que 0,6945 será el calórico específico del cuerpo, respecto al del agua.

El instrumento empleado por Lavoisier y Laplace se compone de tres cavidades. La primera *aaa* es un enrejado de hierro destinado á colocar el cuerpo: la segunda *ee* está destinada á poner el hielo machacado á la temperatura  $0^{\circ}$  que se halla desde luego en contacto con el cuerpo: el agua que se forma á medida que el hielo se derrite sale fuera por el canal *e*. Una tercera cavidad *oo* está destinada tambien á poner el hielo machacado que impide al calor exterior penetrar hasta el hielo de la cavidad precedente; siendo la pared exactamente continua, el agua que proviene de la accion de la temperatura del aire, no puede mezclarse con la que proviene del calórico abandonado por el cuerpo, pues sale por el conducto *H*. Recogiendo

el agua que sale por el conducto *e* y tomando su peso, se puede ver facilmente la relacion de la capacidad del calórico del cuerpo empleado con la del agua ú otros cuerpos.

Si el cuerpo cuyo calórico específico se quiere averiguar es sólido y sin accion sobre el agua, basta colocarle en la primera cavidad: si es liquido ó gaseoso, ó si tiene accion química sobre el agua, basta encerrarle en un vaso de una materia cuyo calórico específico se conozca ya por experimentos hechos de antemano. Se resta entonces de la cantidad de hielo derretido la que debe haberlo sido por el vaso.

Se puede tambien con algunas precauciones servirse del calorímetro de Lavoisier y Laplace para determinar el calórico específico de los gases; pero estos cuerpos, á causa de su poca densidad y del poco calórico que dejan desprender, aun al enfriarse un gran número de grados, presentan muchas dificultades. Delaroche y Berard han empleado otro medio mas exacto; se han servido para este efecto de un cilindro lleno de agua y atravesado con un serpentín por el cual se hacia pasar una corriente del gas que se queria someter al experimento. Manteniendo la corriente antes de entrar en el serpentín en una temperatura elevada constantemente, se convertía en un foco de calor que elevaba la temperatura del agua. Es claro que tomando sucesivamente diferentes gases, y señalando la cantidad que es necesario emplear de cada uno de ellos para elevar el liquido á la misma temperatura, se pueden obtener los calóricos específicos relativos, pues estos calóricos estan en la razon inversa de los volúmenes empleados.

Para referir estos resultados al calórico específico del agua tomado por unidad, bastará convertir los volúmenes de gas en pesos, por medio de los pesos específicos conocidos, y anotar el calor perdido durante el paso por el serpentín, (lo que se hace tomando la temperatura á la entrada y salida de él), conocer el peso de agua empleada, el aumento de temperatura que ha sufrido, y el calor específico del vaso empleado. El cálculo es entonces sumamente sencillo. Por ejemplo, se halla por experiencia que 83,40 litros (6601 pulgadas cúbicas españolas) de aire atmosférico equivalentes en peso á 108,320 gramas (2166 granos españoles) son capaces de calentar 620,8 gramas (12436 granos) de agua hasta 4° perdiendo 85° de calor. Se calculará cual es la cantidad de agua que se elevaria á 85° por la cantidad de calor que eleva 620,8 gramas á 4° por medio de la proporcion 85: 4:: 620,8:  $x = 29,214$ , porque los pesos estan en razon inversa de los calóricos. Por este medio se tienen los pesos de aire y agua elevados á la misma temperatura; y como los calóricos específicos estan entonces en razon inversa de los pesos, estos calóricos estan en razon de 108,320 á 29,214; ó de 1:0,2697.

Tal es la marcha que han seguido Delaroche y Berard en la determinacion del calórico específico de los gases. Pero es preciso ver en sus memorias las numerosas precauciones que ha sido necesario tomar. (*Anales de Química, tom. LXXXV, página 74*).

Se pueden tambien determinar las cantidades relativas al calor producido por la combustion de diversas sustancias, ya sea empleando el calorímetro

tro de Lavoisier; ya sea disponiendo el cuerpo en combustion al extremo de un conducto que atraviesa una masa de agua, y por el cual pueda escaparse el aire y todos los productos de la combustion. Se tendrán las relaciones del calórico desprendido de los diferentes cuerpos, valuando exactamente la cantidad de cada uno de los que es necesario emplear para elevar una misma masa de liquido á una misma temperatura. Asi es como Rumford ha obtenido las relaciones del calor desprendido durante la combustion de diferentes cuerpos.

*Calórico específico de diferentes cuerpos, comparados con el del agua.*

Agua. . . . .	1,0000.	
Hielo. . . . .	0,9000.	Kirwan.
Azufre. . . . .	0,1880.	Dulong y Pettit.
Cobalto. . . . .	0,1498.	Id.
Hierro. . . . .	0,1100.	Id.
Cobre. . . . .	0,0949.	Id.
Zinc. . . . .	0,0927.	Id.
Plata. . . . .	0,0557.	Id.
Estaño. . . . .	0,0514.	Id.
Mercurio. . . . .	0,0330.	Id.
Platino. . . . .	0,0314.	Id.
Oro. . . . .	0,0298.	Id.
Plomo. . . . .	0,0293.	Id.
Bismuto. . . . .	0,0288.	Id.
Aceite comun. . . . .	0,500.	Id.
Alcohol. . . . .	0,64.	Leslie.
Aceite de trementina.	0,472.	Kirwan.

Hidrógeno. . . . .	3,2936.	Delaroche y Berard.
Vapor acuoso. . . . .	0,8470.	Id.
Azoé. . . . .	0,2754.	Id.
Aire. . . . .	0,2669.	Id.
Oxígeno. . . . .	0,2361.	Id.
Ácido carbónico. . . . .	0,2210.	Id.

*Elevaciones de temperatura producidas por la combustion de un gramo (20,031 granos) de varias sustancias, en la misma cantidad de agua.*

Hidrógeno. . . . .	23400°.	} Lavoisier y Laplace.
Aceite comun. . . . .	{ 11166.	
	{ 9044.	Rumford.
Cera blanca. . . . .	{ 10500.	Lav. y Laplace.
	{ 9479.	Rumford.
Aceite de colzá. . . . .	{ 9307.	Id.
Sebo. . . . .	{ 8369.	Id.
	{ 7186.	Lav. y Laplace.
Fósforo. . . . .	{ 7500.	Id. Id.
Carbon. . . . .	{ 7226.	Id.
Nafta. . . . .	{ 7338.	Rumford.
Alcohol de 42°. . . . .	{ 6195.	Id.
Madera de encina. . . . .	{ 3146.	Id.

---

---

## LIBRO SEXTO.

### *De la luz.*

---

**E**ste importante ramo de la física se divide ordinariamente en tres partes: *óptica* (de ὀπτομαι *ver*) que trata de la luz directa: *dióptrica* (de διαπτομαι *ver* y διὰ *al través*) que trata de la luz que atraviesa los cuerpos transparentes; y *catóptrica* (de κατοπτροι *espejo*) que trata de la luz reflejada por la superficie de los cuerpos. En el dia debe añadirse una cuarta parte, á saber: la *polarizacion* que trata de un gran número de fenómenos en los cuales las moléculas luminosas parecen admitir movimientos y posiciones particulares. Esta parte es debida enteramente á las investigaciones de los físicos modernos; se compone de un número sumamente considerable de hechos observados escrupulosamente, pero cuya teoría esta por desgracia muy poco adelantada.

Al estudiar los fenómenos de la luz seguiremos poco mas ó menos el orden que acabamos de indicar, sin atenernos á él rigorosamente. Obligados por el objeto de esta obra á descuidar una gran porcion de hechos para no darle demasiada extension, procuraremos limitarnos á los que sirven mas claramente de base á los principios fundamentales de la ciencia.

## CAPITULO PRIMERO.

*De la luz directa, ó de la Óptica.*

533. *Propagacion de la luz en línea recta y rayos divergentes.* — Segun la hipótesi de Newton, un cuerpo luminoso es un centro de donde parten una infinidad de rayos divergentes que se esparcen por todas partes en el espacio. El experimento por el cual se propagan en línea recta, es sumamente facil y familiar. En efecto, todo el mundo ha observado que es imposible percibir un cuerpo luminoso cuando en la línea recta que pasa por nuestro ojo y este cuerpo se halla otro opaco que nos intercepta los rayos luminosos.

Tambien es muy facil reconocer que los rayos luminosos son divergentes. En efecto, si despues de haber hecho un agujero circular de algunas líneas de diámetro en un carton se le presenta al sol, se ve que detras de él se forma un hacecillo de luz. Si se corta este hacecillo por un plano colocado sucesivamente de diferentes modos, se obtendrán imágenes luminosas circulares, elípticas, &c. cuya magnitud irá sucesivamente aumentándose á medida que el plano de interseccion se halle mas lejano del agujero. Estas observaciones prueban que el hacecillo de luz es un cono truncado cuya base menor está en el agujero, y por consiguiente que los rayos luminosos son divergentes.

Si se hacen en un naipe agujeritos con un alfiler á poca distancia unos de otros, y se presentan asi al sol, se obtendrán en un plano situado muy cerca detras de él, tantas imágenes cuantos agujeros

haya. Pero á medida que se vaya alejando el plano, las imágenes se engrandecerán y sobrepondrán unas á otras hasta llegar á confundirse y reunirse en una sola, que sobre poco mas ó menos será circular.

Si el agujero del naipe es de una figura cualquiera, triangular por ejemplo, la imagen luminosa que se formará sobre el plano será tambien triangular si está situado cerca del agujero, pero á gran distancia se hara circular. Se concibe bien que la pirámide de luz que se forma detras del naipe se compone de hacecillos cónicos; pero sobre un plano muy próximo estos hacecillos formarán círculos muy pequeños que describirán bastante bien la figura del agujero; mientras que sobre un plano lejano, haciéndose demasiado grandes estos círculos, se sobrepondrán unos á otros y formarán una imagen de figura circular.

Por este medio se explica facilmente por qué en un paseo ó parage de árboles corpulentos alumbrado por el sol, se ven sobre la tierra círculos luminosos; pues corresponden á los puntos del ramaje por donde ha podido penetrar la luz del sol.

534. *Inversion de las imágenes que se pintan detras de un plano opaco taladrado con un agujero.* — Cuando el sol no esta colocado de modo que sus rayos puedan pasar por el agujero del naipe, ó por un agujero hecho en una ventana de un aposento obscuro, todos los objetos exteriores cuya luz no se percibia en el experimento anterior por razon de la mayor viveza de la luz del sol, se presentarán invertidos en el plano colocado detras del agujero, y formarán sombras ligeras dotadas de sus colores naturales. La *fig. 184* demuestra la razon

de la inversion; pues de cada punto del cuerpo *ab* parten rayos que se propagan en línea recta. De consiguiente, el punto *b* forma su imagen en *b'*, y el punto *a* en *a'*. La magnitud de la imagen *a'b'* depende de la relacion entre la distancia á que se encuentra el objeto del agujero, y la que hay de este al plano, que se llama de reflexion. Si la distancia *cd* del plano de reflexion á la ventana es igual á la distancia *de* de la misma ventana al plano, la superficie de la imagen es igual á el del objeto, porque los dos conos luminosos opuestos al vértice son enteramente iguales; pero cuando la distancia *ed* es solamente  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ , &c. de la *cd*; la superficie de la imagen no es sino  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{9}$ ,  $\frac{1}{16}$ , &c. de la del objeto.

Algunas veces se hace un experimento que es facil explicar segun lo que precede. Se toma un alfiler que se coloca muy próximo al ojo, y delante de él se pone un naípe taladrado con un agujerito. Mirando en seguida la luz del día por este agujerito, y mas particularmente por entre unas cortinas, ó hácia nubes blanquecinas, se ve detras del naípe, y cerca de él la sombra del alfiler invertida. En este caso la capa de aire situada detras del naípe, é iluminada por la reflexion de la luz en los objetos circunvecinos, produce el efecto de un velo, y hace el oficio del plano colocado detras de la ventana en el experimento anterior; se ve la imagen del alfiler lo mismo que se vería la imagen del cuerpo *ab* (*fig.* 184) si se pudiese mirar por el agujero sin interceptar la luz.

535. *Velocidad con que se propaga la luz.* — La velocidad de la luz es excesivamente grande. En

un principio se la creyó instantánea, porque en la superficie de la tierra, los espacios que la luz puede recorrer son sumamente pequeños para que el tiempo que pasa entre el momento de la emision, y el momento en que la vemos, sea sensible. Roemer, por la observacion de los eclipses de los satélites de Jupiter, fue el primero que probó que la luz empleaba unos ocho minutos para llegar desde el sol hasta nosotros, es decir, para recorrer un espacio de mas de 27 millones de leguas, lo que da 57000 leguas por cada segundo, velocidad de la que no se puede formar idea.

De esta observacion se sigue que jamas vemos nada en el cielo que esté en su verdadero lugar. En efecto, juzgamos á todo cuerpo luminoso en la direccion del rayo que recibimos de él; pero desde el momento en que un rayo luminoso parte de una estrella cuya distancia á la tierra es infinitamente mayor que la del sol, hasta el momento en que llega á nosotros, la tierra ha girado sobre su eje, y por consiguiente hemos mudado de posicion respecto al objeto luminoso, de suerte que ya no está en la direccion del rayo que recibimos. El estudio de estas circunstancias es muy importante en la astronomía, y constituye la teoria de la *aberracion de la luz*.

536. *Ley del decrecimiento de la intensidad de la luz sobre un cuerpo á medida que el centro luminoso está mas lejano.*— Cuando la luz cae sobre un plano, el grado de claridad que produce en él es mayor ó menor, segun el cuerpo luminoso está mas ó menos distante. Este grado de claridad está en razon inversa del cuadrado de la distancia del plano al cuerpo luminoso, hecha siem-

pre abstraccion de la influencia del intermedio. En efecto, la luz sale del cuerpo luminoso en rayos divergentes: consideremos pues un hacecillo ó cono de luz, y consideremos este cono cortado por un plano perpendicular á su eje. Haciendo mover este plano paralelamente á sí mismo desde el vértice del cono á su base, interceptará círculos cuyas superficies crecerán segun los cuadrados de sus distancias al vértice, como lo enseña la geometría. Pero el grado de claridad que el mismo número de rayos reparte sobre planos diferentes en superficie está evidentemente en razon inversa de las superficies alumbradas, y por consiguiente en razón inversa de los cuadrados de las distancias del cuerpo luminoso. Asi, pues, á una distancia 1, la claridad será 1; á una distancia 2 la claridad será  $\frac{1}{4}$ , á una distancia 3, será  $\frac{1}{9}$ , &c.

537. *Intensidad constante que conservarían los cuerpos luminosos, si los viésemos á través del vacío.*—Cuando miramos un cuerpo luminoso, su imagen se pinta en nuestro ojo, como veremos en el cap. III. La superficie de la imagen depende de la distancia á que nos hallamos del cuerpo. Si desde luego estamos en una distancia 1, y nos ponemos á una distancia, 2, 3, &c. la superficie de las imágenes sucesivas será 1,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{9}$ , &c. (536). Segun esto, haciendo abstraccion de los intermedios que atraviesa la luz á cualquiera distancia que nos hallásemos del cuerpo luminoso, deberíamos ver en él constantemente la misma brillantez; pues si bien es cierto que por la divergencia de los rayos no recibimos á una distancia 2, 3, &c. mas que  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{9}$ , &c. de la luz que nos ha sido dirigida á la distancia 1; tambien lo es que la superficie de la imagen no es

mas que  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{9}$ , &c. de la que era entonces; por consiguiente á todas las distancias debe estar igualmente alumbrada.

Haciendo abstraccion del intermedio que la luz atraviesa para llegar hasta nosotros, los objetos no podrian dejar de ser visibles, sino porque sus imágenes llegarían á hacerse tan pequeñas, que á una gran distancia no podrian causar en el órgano de la vista ninguna impresion sensible.

538. *Disminucion de intensidad del cuerpo luminoso cuando su luz atraviesa por medios diáfanos.* — La experiencia nos manifiesta que la luz se propaga al través de diversos cuerpos, que por esta razon se llaman *cuerpos diáfanos ó transparentes*. Asi pues la luz atraviesa siempre el aire antes de llegar á nosotros: tambien se sabe que atraviesa el agua, el vidrio, y otras muchísimas sustancias; pero en este paso pierde á cada instante una parte de su intensidad mayor ó menor segun la naturaleza del cuerpo; de suerte que se puede decir que los diferentes cuerpos son mas ó menos conductores de la luz. Quanto más viva es la luz lanzada del cuerpo luminoso, mas lejos se extiende por entre la masa de los cuerpos.

Por consideraciones matemáticas se demuestra que en un cuerpo homogéneo, cuando crecen las distancias en progresion aritmética, la intensidad de la luz decrece en progresion geométrica.

Todo el mundo sabe que un cuerpo visto en la atmósfera nos parece de una brillantez tanto menor quanto mas lejano está, porque la luz que nos envia está obligada á atravesar una masa de aire de mayor extension. Todos los dias puede observarse que los astros á su salida parecen menos brillantes

que cuando están algo elevados sobre el horizonte, lo que es mucho mas facil de notar con el sol y la luna. Se concibe que, estando el astro muy cerca del horizonte, la luz que nos envia atraviesa oblicuamente la atmósfera, y por consiguiente se ve obligada á penetrar por una masa mucho mayor de aire, y tambien de mayor densidad. Cuando, al contrario, está encima de nosotros verticalmente, la masa del aire que atraviesa es menor, y ademas la densidad de este intermedio va disminuyendo desde la superficie de la tierra hasta las regiones mas elevadas.

En el vidrio y en el agua la luz pierde mucho mas de su intensidad que en el aire, y no necesitan tener mucho espesor para que un cuerpo luminoso de poca intensidad v. gr. una bugía, deje de ser visible al través de ellos. Hay cuerpos que disminuyen la intensidad de la luz de un modo aun mas rápido; de suerte que alguna vez con solo el espesor de una hoja de papel apenas dejan paso á algunos rayos. Estos cuerpos salen ya de la línea de las materias *transparentes*.

Se llaman *traslucientes* los cuerpos que dejan pasar algunos rayos luminosos y *opacos* á los que se niegan absolutamente á este paso; pero tal vez un cuerpo que parece opaco á una luz debil puede manifestar la translucencia ó transparencia á una luz mas fuerte.

539. *Aspecto de un cuerpo luminoso visto al través de una nube ó niebla.*—Cuando hay una aglomeracion de globulillos de agua, como una niebla ó nube, entre nuestra vista y el cuerpo luminoso, no solo nos parece este cuerpo de una luz menos intensa, sino que algunas veces se nos oculta enteramente, como sucede respecto del sol en los

tiempos nebulosos; pero cuando el nublado no es bastante fuerte para ocultárnosle, nos parece rodeado de una aureola luminosa algunas veces coloreada. Esto se puede tambien observar mirando una bugía encendida al través de la nubecilla de vapor que se forma sobre un vaso de agua hirviendo. Este efecto es debido á las refracciones que sufren los rayos luminosos al atravesar los globulillos de agua de la nubecilla.

Se cree que sea por una circunstancia semejante el producirse el fenómeno llamado *corona* ó *cercos*, que consiste en una aureola luminosa que se ve en ciertos tiempos al rededor del sol, y particularmente de la luna. Muchos labradores, al ver este cerco al rededor de la luna, predicen la lluvia, que se verifica efectivamente bastantes veces.

540. *Figura de la sombra producida por un cuerpo opaco.*—Cuando un cuerpo opaco intercepta la luz que se propaga en el espacio, se forma detras de él una sombra tanto mas fuerte quanto mas viva es la luz. Si el cuerpo opaco está alumbrado á la vez por muchas luces colocadas de diferente modo, se forman otras tantas sombras diferentes.

Si el cuerpo luminoso es mayor que el cuerpo opaco que intercepta sus rayos, la sombra es una pirámide que tiene por base el cuerpo, y cuya altura depende de la distancia en que se halla el cuerpo luminoso. Si este es igual en la magnitud al cuerpo opaco, la sombra es un cilindro infinito. Finalmente si el cuerpo luminoso es menor que el cuerpo opaco, la sombra es una pirámide truncada, cuya base mayor está á una distancia infinita.

La sombra de un cuerpo sobre un plano siempre está terminada por una *penumbra*, cuya inten-

sidad va disminuyendo al partir de la sombra verdadera. Sea  $L$  (*fig.* 185) el sol ó un cuerpo luminoso cualquiera, y sea  $AB$  un cuerpo opaco. La sombra verdadera se determinará en el plano  $MN$  por la tangente  $CAF$ . Las partes comparadas entre  $F$  é  $I$  serán sucesivamente alumbradas por porciones mayores del disco solar ó luminoso; y la penumbra será terminada en  $I$  por la segunda tangente  $EAI$ .

Se miran generalmente las sombras de los cuerpos como negras; pero examinando con atencion las sombras producidas por las diferentes horas del dia, y las que son producidas por diferentes luces, se verá que son verdosas, azuladas, violadas, rojizas, &c. mas ó menos manchadas de negro.

541. *Figura de la parte alumbrada de un cuerpo opaco.* — La figura de la parte alumbrada de un cuerpo opaco cuando el punto luminoso es fijo, no depende sino de la posicion de este punto, y de la del observador. Sea  $L$  (*fig.* 186) el punto luminoso; sea  $o$  la posicion constante del observador. Una esfera opaca colocada en  $A$  no estará alumbrada; al llegar á  $B$  la parte de esta esfera que esté alumbrada tendrá la forma de un creciente ó media luna; en  $C$  tendrá la de un semicírculo; en  $D$  se aproximará á tener la de un círculo; y en  $E$  será un círculo completo. Los fenómenos se repetirán en sentido inverso, yendo desde  $E$  hasta  $A$ . La parte alumbrada visible del punto  $o$  se determina por las tangentes tiradas á la esfera pequeña por los puntos  $L$  y  $o$ . Asi pues  $ab$  será la parte alumbrada visible de la bola cuando esté en  $D$ .

Estos desarrollos explican completamente las *fases* de la luna, en cuya observacion debe te-

nerse presente que el sol es el cuerpo luminoso, y la tierra el punto donde se halla colocado el observador.

542. *Atraccion y repulsion que la luz experimenta de parte de los cuerpos.* — Mas allá de la penumbra de un cuerpo se observa que, cuando el cuerpo luminoso tiene un resplandor bastante vivo, se forma una aureola sumamente brillante. Cualquiera puede convencerse de ello, presentando un cuerpo opaco delante de un carton alumbrado por el sol. Tambien se puede hacer el experimento de un modo mas vistoso, y cuya explicacion se puede lograr facilmente.

Suspéndase en medio de una ventana donde dé el sol, una bola de madera ennegrecida al humo de una bugía; preséntese en seguida un carton blanco á alguna distancia detras de la bola, y se obtendrá una sombra circular de cierta intensidad y magnitud rodeada de una penumbra, y de un círculo muy luminoso.

A medida que se va alejando el plano de carton, el círculo luminoso exterior aumenta de diámetro, pero disminuye de brillantez. El medio de la sombra se ilumina y queda al rededor un anillo de sombra muy oscura, cuyo diámetro corresponde perfectamente á la distancia del carton á la bola, y cuya intensidad es siempre la misma, cualquiera que sea esta distancia.

Mirando á la bola suspendida de la ventana se la ve tambien rodeada de una aureola luminosa.

Estos fenómenos no pueden concebirse en el sistema de la emanacion, sino suponiendo que las moléculas luminosas al pasar junto á los cuerpos sufren de su parte atracciones y repulsiones. Asi pues,

analizando las circunstancias se debería admitir lo siguiente:

1.º Que los hacecillos ó rayos de luz mas cercanos á este cuerpo como *ab* de (*fig.* 187), experimentan una atraccion que les obliga á tomar las direcciones *bc*, *ef* para ir á alumbrar la sombra en el plano AB.

2.º Que los rayos que están un poco mas lejos pasan sin experimentar atraccion ni repulsion: estos son los que terminan el anillo de sombra.

3.º Que los rayos que vienen inmediatamente despues, tales como *ik*, *mn* experimentan una repulsion, y toman las direcciones *kl*, *no*. Se reunen en *l* y *o* con los rayos directos para formar una aureola luminosa.

Pero los experimentos positivos que se han hecho en el estudio de estos fenómenos con mas detencion, han probado que la naturaleza del cuerpo cerca del cual pasa la luz es absolutamente indiferente: por consiguiente, debe concluirse que no pueden explicarse estos fenómenos por atracciones ni repulsiones. Se explican mas completamente en la hipótesi de las vibraciones.

## CAPÍTULO II.

*Fenómenos de la refraccion de la luz ó Dióptrica.*

## ARTÍCULO PRIMERO.

*Consideraciones y definiciones generales.*

543. *Ley fundamental de la refraccion de la luz.*—Hemos ya visto en el núm. 385 que un movíl que pasa de cierto medio á otro mas denso sufre una refraccion, en virtud de la cual se aparta de la perpendicular en el punto de inmersion. Un fenómeno semejante se presenta en el paso de la luz de cierto medio diáfano á otro, con la diferencia de que, respecto al movíl, el medio mas denso le aparta de su direccion en virtud de la resistencia que le opone; y respecto á la luz el medio mas refrigente parece éjercer una especie de atraccion sobre el rayo luminoso, en virtud de la cual le acerca á la perpendicular en el punto de inmersion:

Cuando un rayo luminoso cae perpendicularmente sobre la superficie de un medio diáfano diferente del que acaba de atravesar, continúa su camino sin sufrir ningun desvío; pero cuando pasa oblicuamente de un medio á otro sufre este desvío ó *refraccion* en virtud de la cual se acerca ó se separa de la perpendicular levantada en el punto de inmersion.

Sean AB, BC (*fig. 188*) dos láminas de metal ó vidrio, ú otra substancia, dispuestas entre sí

de modo que formen ángulo recto. Si se dirige un rayo de luz por el punto A, se obtendrá una sombra que llegará á D. Si se coloca en seguida una vasija con agua en medio de ellas, se observará que la sombra no llega sino hasta F; de lo cual es preciso concluir que los rayos luminosos se han quebrado al atravesar del aire al agua, y se han aproximado á la perpendicular levantada en el punto E. Esta es la diferencia que, como acabamos de indicar, existe entre la refraccion de la luz, y la de un movil arrojado al agua.

Levantando una perpendicular en el punto E, AEG será el *ángulo de incidencia*, y FEH el de *refraccion*. Se conocerá el ángulo de incidencia BAD que es igual con AEG midiendo el lado AB, y la sombra BD, y verificando en seguida el cálculo necesario. Para conocer el ángulo de refraccion se determinará la línea HF, para lo cual se medirá la HE altura del vaso, y la BF sombra refractada: se calculará HD por medio del triángulo rectángulo HED, cuyo ángulo en D se conoce, y se sacará el valor  $BH = BD - DH$ ; despues se tendrá  $HF = BF - BH$ , y por consiguiente todo lo que se necesita para calcular el ángulo de refraccion HEF. Se hallará en el caso presente que el seno del ángulo de incidencia es al seno del ángulo de refraccion como 4 es á 3, es decir, que  $\text{sen. } ab = 4 \dots \text{sed. } cd = 3$ .

*Existe una relacion constante entre el seno de refraccion y el seno de incidencia, qualquiera que sea la oblicuidad del rayo incidente cuando el medio que la luz deja y el que penetra permanecen los mismos: en el paso del aire al agua esta relacion es de 4:3; desde el aire al vidrio es*

de 3 : 2, del vidrio al agua es de 9 : 8, &c. Las mismas relaciones se verifican en sentido inverso cuando la luz pasa del agua al aire, del vidrio al aire, del agua al vidrio, &c.

Se deben pues deducir de lo que precede los principios fundamentales siguientes:

1.º *Que el rayo luminoso que pasa oblicuamente de un medio á otro mas refringente se refracta acercándose á la perpendicular al punto de inmersión.*

2.º *Que el rayo de luz que pasa oblicuamente de un medio á otro menos refringente, se refracta alejándose de la misma perpendicular.*

544. *Variaciones del poder refringente en los diferentes cuerpos.* — Los cuerpos varían mucho relativamente á su facultad de refractar la luz: en general los cuerpos mas densos la refractan mas fuertemente que los cuerpos mas ralos. Sin embargo, el poder refringente depende tambien de la naturaleza química del cuerpo, pues, por ejemplo, el espíritu de vino, el aceite, &c., aunque menos densos que el agua, tienen un poder refringente mas fuerte. En general los cuerpos combustibles tienen mayor fuerza refractiva. Fundado en esta observacion, y viendo la gran fuerza refringente del diamante y del agua, sospechó Newton que estos dos cuerpos contenian una sustancia combustible, lo que despues confirmaron completamente los químicos.

Biot y Arago han hallado por un gran número de experimentos, que el poder refringente de un cuerpo compuesto se forma, sobre poco mas ó menos, de los poderes refringentes de los componentes, con proporcion á sus cantidades; de suerte que se pue-

de calcular de antemano el poder refringente de una composicion dada, como tambien deducir algunas nociones sobre la naturaleza y proporciones de las partes constituyentes de los cuerpos, cuya composicion nos es poco conocida.

545. *Límites de la refraccion.* — *Refraccion de los cuerpos opacos.* — Siempre que un rayo de luz pasa de un medio mas refringente á otro que lo es menos, el ángulo de refraccion aumenta al mismo tiempo que el de incidencia, pero de modo que siempre es mayor. Debe necesariamente llegar un momento en que el ángulo de refraccion sea de  $90^\circ$ . Entonces el ángulo de incidencia  $a$  es menor de  $90^\circ$ , y el rayo refractado es paralelo á la superficie de separacion de los dos medios. Todos los rayos cuyo ángulo de incidencia esté comprendido entre  $a$  y  $90^\circ$  no podrán atravesar el medio menos refringente, y serán reflejados por la superficie de separacion, como si fuera un espejo. Esta es una circunstancia casi análoga á la que hicimos observar en el número 385.

El límite  $a$  varía segun la diferencia de poderes refringentes de los medios; de suerte que, si el poder refringente de un medio es conocido, el de un medio cualquiera menos refringente podrá ser determinado, buscando por experimentos el ángulo  $a$ , dentro del cual se refleja la luz. Este es el principio del ingenioso método que ha empleado Wollaston para determinar el poder refringente de diferentes cuerpos. Este método es aplicable aun á la determinacion de los poderes refringentes de los cuerpos opacos; pero con respecto á esto ha observado Malus que el analisis daba dos fórmulas particulares; una para los cuerpos diáfanos, y otra pa-

ra los opacos; de suerte que, relativamente á estos últimos, los poderes refringentes dados por el sabio físico ingles no son de todo punto exactos. (Véanse la memoria de Wollaston *anales de química*, tomo XLVI, y la de Malus en el *Diario de la Escuela Politécnica*, cuaderno 15.<sup>o</sup>).

## ARTÍCULO II.

*Efectos de la refraccion cuando la superficie de los medios es plana (\*).*

546. *Definicion de las causticas por refraccion.*—El punto luminoso A (fig. 189) colocado en el agua ó en un medio cualquiera, envia diferentes rayos AB, AC, AD, AF, &c. El primer rayo AB perpendicular á la superficie del cuerpo refringente pasa sin refractarse; pero los otros que son oblicuos se refractan, teniendo el seno del ángulo de refraccion con el de incidencia una razon constante, que, en el caso presente, es de 3:4 por pasar desde el agua al aire; y toman las direcciones CH, DI, FK, GL, &c. Estos rayos divergen, pues, mas despues de la refraccion que antes, porque el rayo AF, v. gr. siendo mas oblicuo que AD se aparta proporcionalmente mas que el de la perpendicular: lo mismo sucede con un rayo que esté mas cerca de AB, &c. Los rayos refractados prolongados mentalmente van á encontrarse en el agua en diferentes puntos *a, b, c, d, &c.* unos con otros,

---

(\*) En los diferentes articulos que siguen es aun mas necesario el estudio de las figuras que las descripciones para formar idea clara de los fenómenos.

y por todos estos puntos de interseccion se determina una línea polígona *abcd...*; pero como los diferentes rayos partidos del punto A están infinitamente próximos unos á otros, los lados *a, b, c, d*, de esta línea polígona son infinitamente pequeños, ó, lo que es lo mismo, esta línea es una curva continua, de la cual existe, como se ve en la figura, otra rama á la izquierda de AB. Se concibe facilmente que, enviando el punto A rayos luminosos divergentes por todo su alrededor, debe formarse por las intersecciones de los rayos refractados una superficie curva continua de la cual no puede representar la *fig. 189* sino una parte curva trasversal. Estas curvas se llaman *caústicas por refraccion*, y su teoría es una de las ramas principales de la *óptica analítica*.

Para formarse por experiencia una idea de las caústicas por refraccion, se toma un vaso liso lleno de agua que se pone encima de una mesa, y detras de él una bugía encendida á alguna distancia, y se verá al instante formarse delante curvas luminosas tomando la figura de las que acabamos de examinar.

547. *Imagen de un objeto luminoso colocado en cierto medio, vista por un observador puesto en otro menos refringente.* — Un observador colocado en O (*fig. 189*) veria el punto A en P; es decir, en la interseccion de dos rayos sumamente próximos, ó, lo que es lo mismo, en el punto de tangencia de la caústica con la recta OP tirada desde el ojo. Un observador colocado en cualquiera otro punto, veria tambien el punto A en el de tangencia de la caústica con la recta tirada desde su ojo.

Colóquese una moneda en un vaso no trasparente

(fig. 190) y aléjese el observador hasta que la pared  $AB$  intercepte los rayos de luz procedentes de la moneda: si otro echa agua en el vaso, la moneda aparecerá al momento, y el observador la verá como si se hubiese acercado á ella. Este efecto es facil de concebir; pues en cuanto no hay agua en el vaso, la moneda envia rayos luminosos por todos lados; los unos, tales como  $AB$ , son interceptados por la pared, y los otros, tales como  $aCD$  son inútiles para el ojo del observador colocado en  $b$ ; pero no sucede asi cuando hay agua en el vaso, porque el rayo  $aCD$  se refracta y toma la direccion  $Cb$ . Se forma una cáustica, y el observador ve entonces la moneda  $a$  en  $a'$ , es decir, en el punto de tangencia de la cáustica con la recta  $Cb$ .

Si un cuerpo está colocado en el agua en  $ABC$  (fig. 191), el ojo del observador colocado en  $S$  le verá en  $A'C'B'$ . Para determinar la posicion de esta imagen se construirán las cáusticas de diferentes puntos del objeto (\*), (teniendo siempre presente que el seno de refraccion  $ab=4$ , y el seno de incidencia  $cd=3$ ); en seguida se tirarán por el punto  $S$  tangentes á estas cáusticas, y los puntos de tangencia  $A'$ ,  $C'$ ,  $B'$  determinarán la posicion de la imagen.

De los experimentos precedentes se debe concluir que uno de los efectos de la refraccion en una superficie plana, es el de engañarnos acerca de la verdadera situacion del cuerpo, acercándonosle cuando está situado en un medio mas refringente. Asi es

(\*) Véase la construccion de las cáusticas por puntos por Pétit, en la correspondencia de la escuela politécnica, julio de 1812.

que un estanque lleno de agua clara parece menos profundo que lo que es en realidad; y es bien seguro que no hay persona que no se haya equivocado sobre la profundidad de un arroyo. Tambien nace de este efecto de la refraccion, la apariencia que presenta un baston metido en el agua, pues parece que está roto (*fig. 192*); porque el punto *a* situado fuera del agua se ve en su verdadera situacion, mientras que el punto *b* se le ve mas elevado que lo que realmente está por efecto de la refraccion.

El objeto visto por refraccion en *A' C' B'* (*figura 191*) es mas pequeño que en la realidad, pero al mismo tiempo una ilusion óptica la hace aparecer mayor: esta nace de que el ángulo *A' SB'*, bajo el cual vemos al cuerpo por refraccion, es mayor que el *ASB* bajo el cual le veriamos directamente. En efecto, es facil concebir que los rayos partidos del punto *B* al ojo, siendo mas oblicuos que los que parten del punto *A*, se separan mas que ellos de la perpendicular, y por consiguiente convergen despues de la refraccion. El ángulo bajo el cual se ve un objeto se llama *ángulo óptico* ó *ángulo visual*.

548. Si el punto luminoso está colocado en un medio menos refringente que el observador, el efecto de la refraccion será el de levantar el punto luminoso mas de lo que está realmente, y alejarle por consiguiente del observador. En efecto, el rayo *ab* (*fig. 193*), que se propagaría en la direccion *bc*, se acerca por efecto de la refraccion á la perpendicular, y toma la direccion *bs*; lo mismo sucede con los demas rayos, de suerte que, como dos rayos sumamente próximos divergen menos

despues de la refraccion que antes de ella, y como todos los rayos refractados forman por la refraccion una curva cáustica al rededor de  $a$ ; resulta que el ojo de un observador colocado en  $s$  veria el punto  $a$  en  $a'$ , y el de un observador colocado en  $s'$  le veria en  $a''$  que estan mas elevados que el punto  $a$ .

## ARTÍCULO III.

*Efectos de la refraccion quando la superficie de separacion de los medios es curva.*

549. *Modo de determinar en este caso el ángulo de refraccion.* — El punto en que el rayo luminoso encuentra una superficie curva puede ser considerado como un plano sumamente pequeño que forma parte del plano tangente que puede suponerse tirado por este punto á la superficie curva. El rayo luminoso refractado formará sobre el plano un ángulo de refraccion que estará con el de incidencia en razon de los poderes refringentes. Para determinar la marcha del rayo refractado se tirará una tangente á la curva por el punto de incidencia; despues una normal, y se obrará en seguida como sobre una superficie plana.

Se presentan en este artículo muchos casos que considerar segun la posicion del punto luminoso. Para mayor sencillez supondremos que la superficie curva refringente sea esférica.

(A) *Siendo la superficie del medio mas refringente convexa.*

550. *Estando el punto luminoso en el medio mas refringente.* — El punto luminoso puede estar

bastante lejano para que los rayos incidentes se puedan considerar como paralelos; lo cual sucede con el sol á causa de su lejanía y su magnitud comparada con la pequeñez de nuestros instrumentos. Supongamos, pues, entonces que el medio mas refringente sea el vidrio, y que el otro medio sea el aire; los rayos que caen en *a, b, c, d*, (*fig. 194*) se refractarán formando el seno de incidencia al de refraccion como 2:3. Por consiguiente  $hi=2$   $fg=3$  y lo mismo de los demas puntos. Todos estos rayos determinarán en el aire una cáustica cuyo punto de retroceso *F* se llama *foco de los rayos paralelos*.

Si el punto luminoso se halla á una distancia finita, los rayos refractados convergirán menos que en el caso precedente, de suerte que el punto de retroceso de la cáustica estará mas lejos de la superficie curva. A medida que el punto luminoso se aproxime á la superficie refringente, los rayos refractados seran menos convergentes; en fin, si el punto luminoso llega al foco de los rayos paralelos que provienen del aire, las ramas de la cáustica principian á separarse. Si el punto luminoso se acercase aun mas, las ramas de la cáustica caerían de hecho sobre los lados de la superficie (*fig. 195*); pero entonces los rayos intermedios hechos divergentes determinarían una cáustica en el medio mas refringente, mas allá del punto luminoso.

Si el punto luminoso se halla en el centro de la superficie refringente, ninguno de sus rayos será refractado, porque todos seguirán la direccion de las normales á la curva.

Si el punto luminoso estuviese mas bajo del centro, se formaría tambien una cáustica en el me-

dio mas refringente; pero estaria mas acá del punto luminoso.

*Experimento sobre este asunto.*—Se puede probar con un experimento muy sencillo parte de estos resultados, debidos al análisis y á la construccion gráfica. Basta para esto tener un vaso liso lleno de agua y colocarle en una mesa poniendo detras una luz encendida. Cuando esta luz esta bien lejos se verá que la cáustica luminosa es sumamente corta; pero que se alargará á medida que se acerque la bugía; se la verá separarse sus ramas y tambien caer sobre los lados, segun se va acercando mas y mas.

551. *Estando el punto luminoso en el medio menos refringente.*—Si el punto luminoso se halla infinitamente lejano de la superficie de separacion de los medios, se formará en el mas refringente una cáustica, cuyo foco será el de los rayos paralelos.

Quando el punto luminoso está á una distancia finita muy grande, se forman tambien cáusticas en la masa mas refringente; pero cuyos focos estan mas lejanos que en el caso anterior. A medida que el punto luminoso se aproxime, el foco se alejará: si el punto luminoso llega al foco de los rayos paralelos que emanan del medio mas refringente, las cáusticas se separarán. En fin, si el punto luminoso se aproxima todavia mas, sucederá pronto que los rayos refractados se cortarán en el medio menos refringente y formarán en él una cáustica.

552. *Imagen de un cuerpo visto por refraccion.*—Dadas las posiciones del cuerpo y del ojo del observador, se determinará la posicion de este cuerpo visto por refraccion construyendo las cáusticas de sus diferentes puntos.

Sea (fig. 196) el cuerpo  $LL'$  colocado en el medio más refringente. Conociendo la relación de refringencia de los medios, se construirán las cáusticas. Si el ojo se halla en  $o$ , se tirarán las tangentes  $ol$ ,  $ol'$ , y se verá entonces el cuerpo en  $l'l$  en una posición inversa, lo que es fácil de concebir.

La imagen es mayor que el objeto, porque, estando este muy cerca de la superficie refringente, los rayos  $LF$ ,  $L'F'$  son muy divergentes. Si el cuerpo estuviese muy lejano, la imagen  $l'l$  sería más pequeña que él.

Si se presentase un plano en  $FF'$  se obtendría en él una imagen del objeto engrandecida en el primer caso y achicada en el segundo.

Si el cuerpo  $LL'$  se hallase en el medio menos refringente (fig. 197) se formarían en el otro las cáusticas cuyos focos estarían en  $F'F$ : un ojo colocado en  $o$  vería este objeto en  $l'l$ , por consiguiente disminuido, y lo mismo que en el caso anterior en un punto donde no se halla realmente. Si un plano opaco  $mn$  opusiese un obstáculo á que el ojo pudiese ver directamente el objeto, no por eso dejaría de verse su imagen y se le creería encima de este plano. Esto es lo que sucede precisamente con el sol y los demás astros á su salida, pues el espectador se halla en el medio más denso, y este medio está terminado lo mismo que la tierra por una superficie curva (suponiendo aquí para mayor sencillez que la atmósfera tiene por todas partes la misma densidad); de suerte que, cuando los astros están realmente á algunos grados bajo el horizonte, la refracción nos los hace aparecer ya como encima de él. Así es que por la mañana vemos al sol antes de que esté en nuestro horizonte; y por la tar-

de le vemos tambien aunque haya pasado algun tiempo despues de haberse ocultado.

En general el efecto de la refraccion es siempre el de elevar un astro sobre su verdadero lugar, haciendo que le veamos donde no está realmente, exceptuando el único caso en que está perpendicularmente sobre nuestra cabeza. Existen tablas de refraccion para corregir estos errores nacidos de la observacion.

*Los objetos terrestres vistos desde muy lejos sufren tambien los efectos de la refraccion:* nos parecen entonces mas elevados y mas cercanos á nosotros. La refraccion es la que nos hace parecer el sol y la luna á su salida como ovalados, porque tiende á elevar las orillas superiores é inferiores de sus discos, pero el borde inferior parece mas elevado que el superior, porque sus rayos atraviesan una capa mas densa, y por consiguiente se cree al astro mas aplanado en el sentido de su diámetro vertical.

*La refraccion produce tambien el crepúsculo.* El crepúsculo es la luz que seguimos recibiendo del sol aunque ya haya desaparecido del horizonte: en efecto, la refraccion obliga á parte de los rayos que se pierden en el espacio á que se refracten sobre la tierra; de aquí nace que cuanto mas considerable es la densidad del aire, mas fuerte es la refraccion, y mas largo es el crepúsculo. En los paises frios, y sobre todo en los polos donde hay noches de seis meses, los crepúsculos son de muchos dias, lo que disminuye en algun modo la duracion de la obscuridad.

(B) *Siendo cóncava la superficie del medio mas refringente.*

553. *Estando el punto luminoso en el medio mas refringente.* — Cualquiera que sea la distancia de este punto á la superficie refringente, las cáusticas se formarán siempre en el medio mas refringente, pues en todos los casos los rayos  $Lb$ ,  $Ld$ , emanados de un punto  $L$  (*fig. 198*) se refractarán alejándose de las normales  $cb$ ,  $cd$ , &c.; luego estos rayos convergirán en el medio de donde han salido, y por consiguiente formarán por sus intersecciones cáusticas por encima del punto luminoso. El efecto de la superficie cóncava será siempre en este caso el de acercar mucho los objetos al observador colocado en el medio menos refringente. Asi es que un ojo colocado en  $o$  vería el punto  $L$  en  $l$  mas elevado que en su verdadero lugar.

554. *Estando el punto luminoso en el medio menos refringente.* — Seria preciso entonces distinguir muchos casos, principalmente los siguientes:

1.º Si el punto luminoso  $L$  está mas acá del centro de la superficie refringente (*fig. 199*) los rayos  $Lb$ ,  $Ld$  se acercarán á las normales  $cb$ ,  $cd$  por efecto de la refraccion, y convergirán menos que los rayos incidentes: asi, pues, se formarán cáusticas en el medio menos refringente encima del punto luminoso  $L$ .

2.º Si el punto luminoso  $L$  se halla mas allá del centro (*fig. 200*) los rayos  $Lb$ ,  $Ld$ , se acercarán todavía mas á las normales  $cb$ ,  $cd$ , &c. por efecto de la refraccion; pero entonces, segun la posicion de estas normales, convergirán mas pronta-

mente que los rayos incidentes; de donde se sigue que formarán en el medio menos refringente causticas debajo del punto luminoso. Asi es que un ojo colocado en  $o$  en el medio menos refringente veria el punto  $L$  en  $l$  mas cerca que en su verdadero lugar.

## ARTÍCULO IV.

*De la luz que atraviesa de un medio menos refringente á otro mas refringente, y vuelve á pasar despues al primero.*

555. Si el cuerpo refringente está terminado por dos planos paralelos (fig. 201), los rayos luminosos que le atraviesan saldrán paralelos en sus primeras direcciones. Asi es que, si el ojo se halla en  $o$  verá al punto  $a$  en la direccion  $oa'$ .

556. Si el cuerpo refringente está terminado por planos inclinados entre sí (fig. 202), el rayo  $ab$  se refractará segun  $bb'$ , aproximándose á la perpendicular al punto de immersion; saliendo en seguida del medio, tomará la direccion  $b'o$  alejándose de la perpendicular al punto  $b'$ . Lo mismo sucederá con el rayo  $ac$ ; de aquí resulta que un ojo colocado en  $o$  veria á la vez dos imágenes del objeto; una en la direccion  $oa'$ , y otra en la  $oa''$ , y no veria al objeto en su verdadero lugar sino cuando hubiese una faceta en  $s$  paralela á  $AB$ , en cuyo caso veria tres imágenes del punto luminoso. En general un ojo colocado en  $o$  ve tantas imágenes como facetas tiene el medio refringente vueltas hácia el objeto. Todo el mundo conoce el efecto de los vidrios tallados en facetas.

557. *Si una de las superficies es convexa.* — Los rayos paralelos que caerán sobre la cara plana irán despues de la refraccion á formar una cáustica, cuyo punto de retroceso será el foco de los rayos paralelos. Se halla este foco presentando el cuerpo refringente al sol, cuyos rayos pueden considerarse como paralelos: estos rayos se reunen detras del cuerpo, y quando se les presenta un plano se obtiene en él un circulito luminoso; el punto en que se obtiene la imagen mas pequeña y mas clara es el foco buscado.

Del mismo modo, los rayos que caerán sobre la superficie convexa formarán mas allá de la superficie plana una cáustica, y un foco de rayos paralelos.

Si el punto luminoso está solamente muy lejos de la superficie, el punto de retroceso de la cáustica estará mas lejano que en el caso de los rayos paralelos. Si se halla, por ejemplo, un cuerpo en  $ab$  (*fig. 203*), el ojo colocado en  $o$  verá una imagen en  $a'b'$  invertida y aumentada. Si el objeto está mucho mas lejos, los focos de las cáusticas estarán mas cerca de la superficie, y las imágenes que se obtendrán serán por lo general mas pequeñas que el objeto.

Un ojo colocado en  $o$  (*fig. 204*) vería una imagen en  $a'b'$ , otro ojo en  $o$  vería una imagen  $a''b''$ ; de suerte que con los dos ojos se podrán ver dos imágenes de un mismo objeto; pero sin embargo se podrá encontrar una posicion donde estas dos imágenes estén una detras de otra, de modo que se confundan en una sola lo que sucederia con las dos imágenes  $a'''b'''$   $a''''b''''$ . Se pueden hacer los experimentos con un vidrio convexo puesto á cierta distancia de una bugia encendida.

Tambien se podrá recibir en un plano una imagen muy clara de un objeto, colocando este plano en los focos de las cáusticas (*figuras 203 y 204*); colocándole mas adelante ó mas atras de estos puntos no se obtendrán sino imágenes confusas. Este experimento se puede hacer colocando una lente frente de una luz ó ventana, ú otro objeto luminoso, y disponiendo un papel blanco en su foco; entonces se vé una imagen del objeto muy clara, pero invertida. Si en la ventana de un cuarto oscuro se hace un agujero al cual se ajusta una lente, se obtendrán en el plano situado detras, imágenes de todos los objetos exteriores, invertidas y muy claras. Este es el principio en que está fundada la construccion de la *cámara oscura*.

Quando el punto luminoso está en el foco de los rayos paralelos, las cáusticas se separan y caen sobre los lados. Quando dicho punto está entre el foco de los rayos paralelos y la superficie del cuerpo refringente, se formará una cáustica delante de él (552). Por consiguiente, si un ojo está colocado en *o* (*fig. 205*) verá el cuerpo *AB* en *A'B'* aumentado. Esto es lo que observamos al servirnos del *microscopio simple* que llamamos ordinariamente *vidrio de aumento*. Se verifica una ilusion de óptica, que nos hace creer la imagen mas cercana de nosotros, aunque realmente esté lejos. Este efecto proviene del aumento de magnitud y de claridad que se verifica necesariamente, porque haciéndose convergentes los rayos, entran mas en el ojo. Para conocer por experiencia que la imagen está mas lejos que el objeto, es preciso colocar un cuerpo sutil, v. gr. un hilo bien tirante detras de la lente, y que esté algo desviado de ella; entonces, si se compara la posicion del

objeto visto directamente con la de la imagen, se verá que ésta está mucho mas lejos.

558. *Cuando las dos superficies son convexas.* — Se obtienen los mismos resultados; solamente que siendo iguales las curvaturas de las superficies, y permaneciendo la misma la posicion del punto luminoso, los puntos de retroceso de las cáusticas están mas próximos en el medio biconvexo, que en el medio plano-convexo.

559. *Aberracion de esfericidad.* — Segun todo lo que acabamos de decir, debe conocerse que los rayos partidos de un punto luminoso no se reunirán todos en un punto despues de la refraccion, sino en el caso en que el vidrio convexo sea infinitamente pequeño: en todos los demas casos se formarán cáusticas en virtud de los rayos refractados sobre los diferentes puntos de la convexidad del lente. Resulta de aquí que la imagen de un objeto que se forma en el foco de una lente, siempre está disfigurada por aureolas, producidas por los rayos refractados por los bordes. A este efecto es á lo que se le ha dado el nombre de *aberracion de esfericidad*.

560. *Cuando una superficie es plana y la otra cóncava (fig. 206)*, los rayos partidos de un punto *a* divergirán despues de la emergencia; de suerte que un ojo colocado en *b* verá el punto *a* en la direccion *ba'*. *Si las dos superficies son cóncavas* los rayos divergirán aun mas.

Si se mira un objeto al través de un vidrio plano-cóncavo ó bicóncavo, este objeto será siempre visto mas allá del vidrio, y jamas invertido; pero aparecerá mas cercano y mas pequeño que es realmente, como se vé *fig. 207*. Hay tambien aqui una ilusion óptica que nos hace juzgar al objeto mas

lejos de nosotros. Esta ilusion procede de la disminucion de magnitud, y de intensidad de la luz que necesariamente se verifica, puesto que los rayos son divergentes despues de la refraccion, y que por consiguiente entran menos en el ojo.

561. *Explicacion de los diversos efectos que se refieren á las teorías precedentes.* — Por la propiedad que tiene la forma convexa dada á los cuerpos diáfanos de reunir los rayos de luz, es por la que hacen uso diferentes artistas, como los grabadores, relojeros, &c. de microscopios simples, y tambien de bocalés ó vasijas llenas de agua, colocadas delante de una lámpara ó una luz para proyectar esta sobre el punto donde trabajan. Muchas veces dan al agua de que llenan las ampollas una ligera tinta de azul ó verde, para evitar el efecto de la luz rojiza que produce el cuerpo luminoso que emplean, y fatiga demasiado la vista.

Del mismo modo, por la propiedad que tienen los vidrios biconvexos de reunir los rayos luminosos en un foco, se emplean en la construccion de los diversos instrumentos de óptica, como los anteojos, los microscopios, telescopios, &c. Pero trataremos de estos instrumentos en un capítulo particular despues de haber dado á conocer otras propiedades de la luz.

Es facil tambien explicar por los efectos de las superficies convexas ó concavas un fenómeno que se nota muchas veces en los arroyuelos poco profundos, en que hay plantas echadas en la superficie del agua, ó animalillos que nadan. Se nota entonces que la sombra que proyectan en el fondo del arroyuelo es mayor que lo que debia ser, y que ademas está rodeada de una aureola luminosa muy

viva. Este fenómeno sucede siempre que el cuerpo no es susceptible de mojarse, y se puede reproducir con una bolita de cera echada en un vaso lleno de agua, y expuesto al sol. Este cuerpo *a* (*figura 208*) en virtud de la capilaridad obliga al liquido á bajar á su derredor, del nivel ordinario (342) y formar una superficie curva convexa. El rayo de luz *b*, que cae sobre esta superficie, se refracta y toma la direccion *cd*, lo cual produce el aumento de la sombra. Por otro lado este rayo se junta en *d* con el rayo *f*, y por consiguiente forman en su conjunto un punto luminoso. El mismo efecto se verifica todo al rededor del cuerpo, y esto nos explica la aureola luminosa.

Si se obliga al cuerpo á sumerjirse enteramente, la sombra toma la magnitud correspondiente, y no hay aureola. Si el cuerpo que se emplea es susceptible de mojarse, por ejemplo, el corcho, la sombra es mucho mas pequeña que lo que debia de ser, y está rodeada de una aureola luminosa bastante ancha. Podrá lograrse tambien, empleando un cuerpillo sumamente pequeño, no tener sombra alguna, y en su lugar una luz muy viva. El cuerpo *a* (*fig. 209*) obliga al liquido á elevarse sobre su nivel (341), y formar una superficie curva cóncava. Un rayo luminoso *b* al caer sobre esta superficie se refracta y toma la direccion *cd*: lo mismo sucede con otro rayo *f*, que toma despues de la refraccion la direccion *gh*. De este modo se acorta la sombra: si el cuerpo es muy pequeño el espacio *hd* estará enteramente iluminado. Si se obliga tambien al cuerpo á sumerjirse en el liquido, la sombra tomará su correspondiente magnitud, y no estará rodeada de la aureola luminosa.

Si se sumerje parte de un alfiler en el agua, se pinta en las partes laterales del vaso una sombra representada por la *fig.* 210 A. La parte circular se eleva á medida que se sumerje mas el alfiler en el líquido, y está rodeada de una aureola luminosa. Se concibe lo que pasa en este experimento teniendo presente que, como el alfiler está seco, obliga al líquido á bajar de su nivel, y formar una superficie convexa.

Si se saca el alfiler del agua, la sombra estará cortada en dos partes por una luz muy viva (*figura* 210 B). Se concibe tambien el motivo, teniendo presente que el alfiler que se ha mojado determina al subir á que se eleve el líquido sobre su nivel, y formar una superficie convexa.

---

### CAPÍTULO III.

#### *Del ojo y la vision.*

562. *Idea general del órgano de la vista en varios animales.*—El ojo en el hombre y en los animales que viven en la superficie de la tierra, es una masa esférica algo aplanada por delante. En los animales que viven en el agua el ojo está muy aplastado por delante: en muchos pescados no es mas que una semiesfera, y en las rayas, por ejemplo, la cuarta parte de una esfera.

En los pájaros que se mantienen en las partes superiores de la atmósfera, la parte anterior del ojo es ya plana, ó ya en forma de cono truncado: encima se encuentra un cilindro corto con una eminen-  
cia muy convexa.

Los ojos de las arañas, escorpiones, &c. no son sino pequeños puntos que costaría trabajo considerar como órganos de la vista sino hubiese experimentos exactos que lo demostrasen: las correderas, las moscas, &c. tienen ojos muy grandes compuestos de una multitud de facetas sumamente pequeñas. Muchos insectos tienen á la vez ojos simples, y ojos compuestos; tales son las abispas, las cigarras, &c.

Existe tambien una multitud de animales, en los cuales no se pueden percibir de ningun modo los órganos de la vista. Parece que en estos animales el sentido del tacto que está sumamente desarrollado, suple por los demas.

563. *Descripcion del ojo en los animales mejor organizados.*—El ojo se compone de muchas túnicas, dispuestas unas sobre otras. La mas exterior que forma el blanco del ojo se llama *esclerótica* de *σκληρός* duro á causa de su dureza. Está atravesada por delante por un agujero donde se halla engastada una membrana trasparente BCD (*fig. 211*) que sobresale bastante, y se llama *córnea*.

La membrana siguiente llamada *coroides*, que se divide en dos en la parte anterior, está atravesada por una abertura KL, que se llama *niña* ó *pupila*, y cuya forma varía en los diversos animales.

La *retina* MP es la parte principal del ojo. Es una membrana extendida sobre la *coroides*, y formada por una expansion del nervio óptico. Unas veces está sencilla y tendida; otras está sumamente plegada, especialmente en los animales que necesitan ver de muy lejos.

El interior del ojo está lleno de tres clases de humores.

*El humor áqueo ó acuoso* entre la córnea y el cristalino: su peso específico parece ser 0,965. Se halla en cantidad regular en el hombre y demas mamíferos, y en extraordinaria en los pájaros, al paso que hay poco ó casi nada en los peces, &c.

*El cristalino* NOQ. (fig. 211) es una lente trasparente como el cristal, segun es facil observar abriendo el ojo de un carnero ó de un buey. Es bastante aplanado en el hombre, algo menos en los pájaros, mas convexo en los demas mamíferos, y muy convexo, ó mas bien esférico en los peces.

*El humor vítreo*, que ocupa la tercera division del ojo, es viscoso y pegajoso: tiene una refringencia poco mas ó menos igual á la del agua.

Hay *músculos* destinados á mover el globo del ojo, *glándulas* que segregan diversos humores, y *párpados* variables de forma en los diversos animales para preservarle. La piel se prolonga sobre los párpados, y de allí sobre el globo del ojo, donde se adelgaza. La mayor parte de los peces, las serpientes, &c. no tienen párpados, la piel pasa directamente por encima del ojo, donde no es mas que un poco trasparente. En algunos animales ni aun es trasparente, y en otros está cubierta de pelo como el resto del cuerpo. Todos estos detalles deben verse en las obras de anatomía.

564. *Funciones del ojo.* — El ojo puede mirarse como una cámara oscura provista de una lente (557), considerando la retina no solo como un plano sobre el cual se pinta la imagen, sino tambien como un órgano sobre el cual causan sensaciones los rayos luminosos partidos de los diferentes puntos de un objeto. Se debe concebir que si el punto radiante está cerca del ojo, las cáusticas tendrán su

punto de retroceso mas allá de la retina, y no podrán causar mas que una sensacion confusa, idéntica á la imagen confusa que se forma sobre un plano. Si al contrario el punto radiante está demasiado lejano, los puntos de retroceso de las cáusticas no llegarán á la retina, y no causarán la suficiente sensacion para obtener una imagen clara. Es, pues, necesario para obtener ésta que el objeto se halle á una distancia proporcionada, la cual varia en los diversos animales.

Si el cristalino es muy denso ó muy convexo, ó si la retina está muy separada de él, no pueden verse sino los objetos muy cercanos. Si el cristalino es poco denso, ó muy plano, ó la retina está muy cerca de él, no se distinguirán mas que los objetos muy lejanos. La disposicion de los humores, las formas del cristalino y la retina están en perfecta relacion con el género de vida del animal. Los animales que necesitan ver de muy lejos tienen el humor acuoso ó el cristalino muy convexo, y la retina muy desarrollada, aunque plegada sobre si misma, ocupando muy poco espacio, como se observa en los pájaros y en algunos peces. Parece que en este caso hay un número mayor de partes nerviosas tocadas á la vez por el rayo luminoso.

565. *Contraccion y dilatacion del globo del ojo y de la pupila segun las circunstancias.*—El animal cuyos ojos estan dispuestos de modo que vea de lejos, no podría ver nada de cerca si el globo del ojo no pudiese alargarse de modo que presentase mas espacio entre la retina y el cristalino, para cuyo efecto la córnea debe encorvarse mas. La pupila se estrecha entonces para dejar pasar menos rayos. Por el contrario, mirando objetos muy leja-

nos, el globo del ojo se aplana, la córnea se hace menos curva, y la pupila se dilata para dejar pasar mas rayos. Estos movimientos fatigan mucho á la vista.

En un parage oscuro la pupila está muy dilatada, y en un parage muy iluminado lo está mucho menos. Si se pasa de un parage oscuro á otro muy iluminado, se precipita por la abertura dilatada de la pupila una gran cantidad de rayos que, al caer sobre la retina, causan una sensacion desagradable (\*). Cuando se pasa de un lugar iluminado á otro mas oscuro, como la pupila está estrechada no admite bastante luz para poder distinguir los objetos; no se dilata sino despacio, lográndose ir viendo poco á poco los objetos.

566. *Lo mas frecuente es que los objetos nos parezcan sencillos aunque los vemos con los dos ojos á la vez.* La posicion del órgano de la vista varia considerablemente en las diferentes especies de animales. Algunas no pueden mirar sino lateralmente, otras solo hácia abajo, otras solo al alto, &c. El mayor número de los pájaros, y muchos animales, v. gr. los lagartos, no pueden ver el mismo objeto sino con un solo ojo. Al contrario el hombre y otros muchos animales, pueden ver el mismo objeto con ambos ojos á la vez. El objeto aparece sencillo, pero sin embargo esto no sucede sino mientras los rayos caen sobre los puntos correspondientes á ambas retinas: entonces las dos impresiones que resultan son uniformes y no producen mas que una sola sensacion. Si un ojo está al-

---

(\*) Algunas veces se estornuda, lo que proviene de la correspondencia de los nervios ópticos con los olfáticos.

go torcido, ó vuelto á diferente direccion que el otro, los rayos no llegan á puntos correspondientes de ambas retinas, y vemos el objeto doble. En los accesos de furor, de locura ó de embriaguez, en los cuales el hombre no es dueño de sus acciones, los objetos le parecen dobles.

567. *La accion de la luz sobre el ojo no es instantánea.* — En efecto, si se mira fijamente un cuerpo coloreado durante algun tiempo, y en seguida se cierran los ojos, se conserva por algun tiempo la sensacion del color. De esto nace tambien el percibirse una faja de fuego cuando se mueve en el aire un carbon encendido (\*). Se sabe que una varilla de madera ó cualquiera otro cuerpo que se hace mover rápidamente produce sobre la vista la sensacion de una superficie.

Tambien es por esta razon por lo que no podemos percibir un cuerpo que se mueve con una velocidad sumamente grande; v. gr. una bala lanzada por una pieza de artillería, es invisible durante un largo espacio de su curso, porque no permanece en cada punto el tiempo necesario para formar impresiones en nuestros órganos.

568. *Modificacion de la vision por el tacto y por la costumbre.* — No parece que la sensacion que se manifiesta en la retina pueda ofrecer medio alguno para apreciar la distancia y juzgar las desigualdades de un cuerpo. Los ciegos de nacimiento en quienes se ha hecho la operacion de la catarata (\*\*) creen al pronto que los objetos que vén, van

---

(\*) Se podría preguntar por qué parece verse muchas luces cuando se recibe un golpe en los ojos. Esto proviene del sacudimiento que sufren entonces los nervios ópticos.

(\*\*) Se llama catarata una enfermedad de los ojos en la

á tocar inmediatamente en sus ojos; todo les parece un plano de diversos colores: los objetos no les parecen á la vista lo mismo que habian juzgado por el tacto. Si andan se asustan de todo lo que se halla á su rededor, y solo poco á poco y á medida de que van comparando los diversos objetos por el tacto, es como llegan á reconocer las formas por la distribucion de la luz y de las sombras. Si cuando han adquirido este modo de juzgar se les presenta una pintura, creen que los objetos que representa estan en relieve, y se quedan muy admirados al no hallarlos tales tocando el lienzo.

Las personas que han sufrido esta operacion tardan mucho tiempo en juzgar de las distancias; y solo poniendo la mano sobre el objeto, ó acercándose á él cuando está lejano, es como adquieren poco á poco una idea clara de la posicion de un cuerpo en el espacio.

Lo mismo, sobre poco mas ó menos, sucede en general. Los conocimientos adquiridos por la costumbre modifican extraordinariamente los juicios que formariamos sobre la magnitud y posicion de los cuerpos en el espacio, por solo el ángulo visual. Por ejemplo, juzgando solo por el ángulo visual deberíamos ver un hombre que está á 300 pasos de nosotros, mas pequeño que cuando solo es-

---

cual el cristalino se ha vuelto opaco. Para hacer la operacion de la catarata se abre parte de la córnea, y con una aguja se deja caer el cristalino: el lugar que este ocupaba se llena de un humor acuoso que produce respecto de la vision casi el mismo efecto que el cristalino. Lo que hay de mas notable en esto es que el cristalino que ha caído en la cavidad del ojo desaparece prontamente, de suerte que es preciso admitir que se disuelve enteramente en el humor acuoso.

tá á 100; pero apesar de esto juzgamos que éste hombre tiene la misma magnitud á una distancia que á otra, cuando entre él y nosotros hay algunos objetos de comparacion; rectificamos en este caso el ángulo visual, por la idea que conservamos de la estatura de un hombre, comparándola sin notarlo, con la altura de la puerta de una casa, con la de los árboles y todos los demas objetos comarcanos, de cuyas magnitudes tenemos idea exacta.

Si vemos á un hombre á 300 pasos de nosotros en un parage desnudo de árboles y otros objetos, v. gr. en una de las grandes playas arenosas que presentan las orillas del Océano en la marea baja, le vemos muy pequeño y le juzgamos un niño, porque en este caso juzgamos exactamente por el ángulo visual, y nada de los alrededores puede ayudarnos á rectificar el juicio que nuestro ojo ha formado.

569. *Ilusiones que se verifican cuando se juzga de la posicion y magnitud de los objetos por el ángulo visual.* — En general, apesar de la costumbre, juzgamos muy á menudo por el ángulo visual, lo que produce ilusiones mas ó menos maravillosas. Todo el mundo sabe que cuando se está al extremo de una larga calle de árboles alineados en dos hileras paralelas, nos parece que se reúnen al otro extremo y que los árboles van disminuyendo sucesivamente de tamaño. Este efecto nace de que los puntos lejanos de la calle los vemos bajo ángulos ópticos mas y mas agudos: así es que la distancia entre los puntos E y D (*fig. 212*) nos parece mas pequeña que la de los puntos F y H. Si la calle se prolongase bastante lejos, los ángulos ópticos se harian mas y mas pequeños, concluyendo

por ser nulos, y las hileras de los árboles nos parecería juntarse. Por la misma razon el suelo y techo de una galería larga parecen aproximarse uno de otro por el extremo opuesto al en que estamos. Si un hombre está colocado al pie de una torre, y mira ácia su remate, le parece que el edificio está inclinado ácia él, ilusion que llega algunas veces hasta el punto de amedrentarle. Cuando se encuentra uno en una llanura muy considerable, ó en las orillas del mar, este llano ó el mar parece que se va elevando, formando una pendiente suave.

Segun las observaciones precedentes es facil establecer en un jardin una calle de árboles, que para cierta posición del observador, parezca mas larga que lo que es realmente. Basta para esto plantar árboles que vayan disminuyendo de altura, colocándolas de modo que la calle sea mas estrecha en el extremo opuesto que á la entrada.

No podemos juzgar de la lejanía de un cuerpo sino por la comparacion que hacemos de su posición con la de los objetos intermedios, de cuyas distancias tenemos idea exacta. Si estos puntos de comparacion faltan, no tiene la vista nada con que poder medir el espacio y contar sus partes; no podemos entonces juzgar de la distancia sino por el ángulo visual, para lo cual se necesita un tino particular adquirido por la costumbre. Los marinós y habitantes de las costas tienen este tino habitual y juzgan con bastante exactitud de la distancia á que se halla un barco en el mar. Al contrario, los habitantes del interior que van á las costas, no pueden formarse idea de la distancia, algunas veces considerable, que les separa de un barco; pues siempre la creen menor de lo que es en realidad.

A la falta de costumbre de juzgar por el ángulo visual, se agrega una ilusion óptica que nunca ha sido notada como merece: consiste en que, segun hemos dicho (552), la refraccion debe elevar el horizonte y hacerle ver mas próximo á nosotros; de consiguiente, cuando un barco está aislado en la gran planicie del mar, no podemos juzgar de su distancia sino comparativamente al horizonte, y nos debe parecer desde luego mas próximo de lo que realmente está.

Si cualquiera que está habituado á ver pequeñas colinas al rededor de sí, se vé trasportado á un parage de donde perciba á lo lejos montañas considerables, siempre juzgará que éstas están mucho mas próximas que en la realidad.

Quando los objetos estan muy lejanos de nosotros es imposible juzgar de sus distancias individuales: desde luego una línea irregular nos parece un arco de círculo, porque creemos que todos los puntos que la forman estan equidistantes de nosotros. Por esta razon es por la que, en medio de una gran llanura, los objetos lejanos parece que forman un círculo en cuyo centro creemos siempre estar colocados. Por esto mismo nos parece el *cielo una esfera sembrada de estrellas*, pues creemos por la simple vista que todos estos astros estan equidistantes de la tierra.

Una línea curva ó polígona vista desde lejos, nos parece recta, y un poliedro irregular de muchas caras nos parece una esfera, y aun si está bastante lejos no nos parece mas que una simple superficie circular. Por esta razon no vemos al sol ni á la luna sino como unos discos circulares.

570. *Circunstancias que nos hacen juzgar los*

*astros mayores á su salida, que cuando estan elevados sobre el horizonte.* — Siendo la luz de un objeto lejano más debil que la de un objeto próximo (538), si sucede por circunstancias particulares que el objeto mas lejano esté mas iluminado que el objeto próximo, es claro que le juzgaremos mas cerca de nosotros que el otro: esta observacion puede comprobarse facilmente, pues se presentan mil ocasiones para ello; por ejemplo, en dos casas que estan inmediatas, si la una está recién blanqueada y la otra no, sucede que cuando las vemos de lejos, la mas blanca nos parece mas próxima á nosotros que la otra, aunque realmente sea lo contrario.

Esta es la razón porque el sol y la luna nos parecen mayores á su salida que cuando están elevados sobre el horizonte. A su salida, la intensidad de su luz es mas debil (538), y los juzgamos á cierta distancia de nosotros; pero, á medida que se elevan sobre el horizonte, se hace mas viva su luz, y los consideramos por lo mismo mas cerca de nosotros, llegando al máximo de esta aproximacion cuando están perpendicularmente sobre nuestras cabezas. Resulta de esto, que estos astros nos parece que siguen en el cielo una curva muy achatada *acd* (fig. 213); pues cuando está el astro en *A* le creemos en *a*, cuando está en *B* le juzgamos colocado en *b*, y en este caso nos parece necesariamente mas pequeño.

571. *Ilusiones ópticas producidas por el movimiento de los cuerpos.* — Si una esfera que se mueve sobre su eje se halla muy distante de nosotros, nos es imposible percibir que se mueve, á menos que no tenga manchas que podamos ver en diver-

esos momentos, y desaparezcan á nuestra vista en otros. Por la observacion de estas manchas es por lo que se ha podido deducir el movimiento de rotacion del sol y demas planetas sobre sus ejes.)

Una bugía encendida, que se mueve en un círculo demasiado lejano de nosotros, nos parece simplemente ir y venir de un extremo al otro de una línea que es el diámetro de esta curva. Esto es precisamente lo que sucede respecto á los planetas que describen realmente curvas al rededor del sol, y á nosotros se nos figura que solamente van y vienen de un extremo á otro de una línea recta que pasaria por el centro de este astro.

Cuando un observador está en movimiento sin saberlo, se persuade que los objetos que le rodean son los que se mueven al rededor. Este es precisamente el caso de un hombre conducido en un barco por la corriente de un rio, y tambien es el mismo en que se halla la tierra, al rededor de la cual parece que todos los astros circulan.

572. *Nociones generales de perspectiva.*— Los pintores deberian estudiar continuamente los efectos de la vision, puesto que su arte consiste en representar bien los objetos en un plano segun las diferencias que causan su lejanía y posicion, ya sea en la figura ó contorno, ya sea en el colorido. Tambien deben estudiar con cuidado la forma y posicion de las sombras respecto á la figura del cuerpo, al parage de donde se supone venir la luz al cuadro, y á la disposicion de la superficie sobre que está proyectada la sombra.

*La perspectiva de un punto* está en el parage en que un rayo tirado desde dicho punto al ojo atraviesa al plano donde se representa.

Cada superficie puede ser considerada como la basa de una pirámide de rayos luminosos que vienen de todos puntos. La interseccion de esta pirámide con un plano será la *perspectiva lineal de la superficie*; esta perspectiva será semejante al objeto cuando el plano sea paralelo al mismo objeto. En todas las demas posiciones diferirá mas ó menos del objeto.

Cuanto mas lejano esté el objeto del plano, mas pequeña será la perspectiva; así es que la mayor ó menor magnitud de la perspectiva nos hace juzgar de la mayor ó menor proximidad del cuerpo.

Si estando en un aposento mirando al campo ó paisaje por las ventanas, concebimos que cada rayo luminoso de los diferentes puntos deja al pasar su perspectiva en el cristal, tendremos la perspectiva lineal del campo: si añadimos á cada punto de la perspectiva el color que le conviene, y si proyectamos las sombras del modo oportuno, tendremos entonces una pintura del mismo campo (\*).

Si trasportamos despues á cualquier parte este cristal pintado, hallándose cada punto en la direccion del rayo debido al objeto real que estaba delante, hará nacer siempre en nosotros la sensacion de este objeto, y creeremos ver el campo. Segun esto se concibe bien que todo lo que está en un cuadro debe estar sujeto al mismo punto de vista, porque en otro cualquier punto no produciria el mismo objeto. No se verifica esto precisamente en un cuadro de paisaje comun; pero se puede dibujar una calle de árboles, una casa ú otra cosa de

---

(\*) El arte de aplicar el color propio á cada punto es lo que se llama *perspectiva aerea*.

esta especie, de tal modo que produzca una ilusion completa en un punto de vista dado, mientras que en todos los demas no se vea sino un dibujo informe y desordenado.

Uno de los mas bellos efectos de la perspectiva es el *Panorama*. Este es un cuadro circular sin principio ni fin, y del cual no se puede ver ni lo alto ni lo bajo, y representa todo el horizonte en su magnitud natural. El espectador está colocado en el mismo parage en que el pintor ha tomado la vista; de suerte que cada parte del cuadro se halla precisamente en el camino del rayo luminoso que vendria inmediatamente del punto del objeto que el pintor tenia delante de si, y la reunion de estos rayos excita en el espectador la misma sensacion que produciria la vista del objeto.

La Geometría da reglas para el trazado de la perspectiva lineal, y para la proyeccion y forma de las sombras; pero todavia no las puede suministrar para la perspectiva aerea, parte sumamente dificil de la Pintura.

573. *Defectos de la vista, y medios de remediarlos.* — No trataremos aqui sino de los defectos que puede remediar la Dióptrica. Tales son los que se designan por *vista corta*, es decir, que no puede percibir los objetos sino desde muy cerca, y *vista larga ó cansada* que no pueden percibir los objetos sino desde bastante lejos.

*Vista corta.* — Cuando el cristalino ó la parte anterior de la córnea son demasiado convexos, los rayos partidos de los objetos colocados á cierta distancia convergen delante de la retina, y no causan en ella sino una sensacion demasiado debil. Es, pues, preciso entonces acercar mucho estos objetos

para que la convergencia de sus rayos se haga sobre la retina. Las personas que padecen este defecto se llaman *miopes* de *μῖα* cerrar, y *μῖα* ojo, porque cierran un poco el ojo para acercar el cristalino á la retina, á fin de disminuir la convexidad de la córnea, y estrechar la pupila.

Para remediar este defecto, es menester aumentar la divergencia de los rayos, que vienen de los objetos al ojo, á fin de que puedan ser en seguida refractados por la córnea y el cristalino, y formen cáusticas cuyos puntos de retroceso lleguen á la retina. Esto se logra con el auxilio de anteojos cuyos vidrios sean mas ó menos cóncavos segun la necesidad.

*Vista cansada.*—Cuando la córnea y la cristalina no tienen la convexidad necesaria para que no converjan en la retina sino los rayos venidos de los objetos mas lejanos, sucede que los rayos venidos de los objetos mas próximos convergen detras. y por consiguiente no se les ve sino muy confusamente. Este es el defecto que se manifiesta en la vista de los ancianos, porque con la edad se han disipado los humores del ojo, resultando que el cristalino se ha aplanado, y la parte anterior de la córnea se ha hundido. Se da el nombre de *presbytes*, derivado de *πρέσβυς* anciano, á los que tienen alterada la vista de este modo.

Para remediar este defecto es preciso disminuir la divergencia de los rayos que llegan de los objetos hasta el ojo, á fin de que los puntos de retroceso de las cáusticas que se forman en él, caigan sobre la retina, lo cual se logra con los anteojos de vidrios convexos.

574. *Anteojos periscópicos.*—Los anteojos, ó

*gafas* que se usan generalmente tienen un gran defecto, que consiste en que, cuando se mira un objeto al través, no se ve claramente sino en un pequeño espacio del centro del vidrio. y las partes situadas un poco mas lejos se ven deformes y mal colocadas, lo cual se puede observar si se procura leer con un vidrio biconvexo. Este efecto proviene de que los rayos que parten de los objetos lejanos, y no pueden llegar al ojo sino por los bordes del vidrio, caen demasiado oblicuamente sobre este vidrio, y sufren entonces una gran refraccion, de donde resulta que forman delante de la retina imágenes desfiguradas y confusas.

Wollaston, sábio fisico ingles, á quien las ciencias deben preciosos descubrimientos, ha imaginado para remediar este inconveniente dar á los vidrios una forma convexa por el lado del objeto, y cóncava por el lado del ojo. Resulta de esta disposicion que los rayos que llegan á la pupila por los bordes del vidrio son menos oblicuos á la superficie refringente que en los vidrios comunes, y desde luego sufren menos refraccion. De aqui se sigue que los diferentes puntos de un cuerpo que pueden ser vistos por los bordes de este vidrio, estan mucho menos desfigurados que lo estarian por el efecto de un vidrio ordinario, y por consiguiente se distingue claramente mayor número de objetos á la vez.

Wollaston ha llamado á los anteojos contruidos de este modo, *anteojos periscópicos*, nombre derivado de *περι* al rededor, y de *σκοπέω* mirar. Estos anteojos se han introducido en Francia, y no podemos menos de recomendar su uso. Tienen sobre los anteojos ordinarios una considerable venta-

ja, á saber, que estos exigen de parte del ojo movimientos y tensiones continuas para poder percibir claramente los objetos, lo que al fin debe fatigar considerablemente al órgano de la vista. Al contrario, los anteojos *periscópicos* dejan mucho mas descanso al ojo; pero es preciso que estén perfectamente trabajados, y que el artista haya cuidado de elegir las curvaturas mas á propósito.

## CAPITULO IV.

### *Fenómenos de la luz reflejada ó Catóptrica.*

575. Cuando la luz cae sobre los cuerpos mates es absorbida en parte; pero cuando cae sobre cuerpos blancos, ó mejor sobre cuerpos pulimentados, entonces es reflejada mas ó menos completamente, como vemos todos los dias en nuestros espejos. Tambien se puede observar que cansa mucho el mirar un cuerpo blanco cuando el sol le da de plano. Todos los cuerpos, ya sean opacos, ya diáfanos, cuya superficie está pulimentada reflejan la luz en mayor ó menor cantidad.

#### ARTÍCULO PRIMERO.

### *Reflexion de la luz sobre superficies planas.*

576. *La luz se refleja haciendo el ángulo de reflexion igual al de incidencia.* — Despues de haber hecho entrar un rayo de luz, tal como CD (*figura 214*) en un cuarto oscuro, si se le dirige oblicuamente á la superficie de un espejo metálico, se

verá que es reflejado por esta superficie, y va á pintar la imagen del agujero por donde ha entrado en cualquier punto de las paredes del cuarto. Si se dispone en el plano de incidencia del rayo un semicírculo graduado, cuyo centro esté en el punto de encuentro del rayo con el espejo, se reconocerá que el rayo es reflejado, haciendo el ángulo de reflexion igual al de incidencia. Resulta de aqui que muchos rayos dirigidos sobre una superficie reflectante deben conservar entre sí despues de la reflexion las mismas direcciones que tenian antes. Resulta tambien que un rayo perpendicular al espejo se refleja sobre sí mismo, y se reconoce en efecto que en este caso no hay ninguna imagen reflejada en las paredes del cuarto.

577. *Posicion de la imagen de un cuerpo detras de una superficie plana reflectante.* — Reflejándose todos los rayos partidos de un punto L (figura 215) colocado delante de un espejo, haciendo el ángulo de reflexion igual al de incidencia, resulta que las prolongaciones de estos rayos irán á encontrarse todos con la perpendicular LA prolongada en un solo punto L', y á la distancia  $AL' = AL$ . En efecto, siendo el ángulo de reflexion EBC igual de incidencia LBA, resulta que el ángulo ABL' que le es opuesto al vértice, será tambien igual á LBA; luego los dos triángulos rectángulos ABL, ABL' que tienen el lado AB común son enteramente iguales y semejantes; luego  $AL = AL'$ .

Lo mismo sucede con el punto N, el cual se pinta en N'; por consiguiente, la imagen L/N' del cuerpo LN se halla absolutamente detras del espejo en la misma posicion que se halla el cuerpo por delante. Por esta razon los árboles y otros objetos

que están á la orilla de un lago, rio ó estanque, se pintan en el agua produciendo sus imágenes invertidas; pues el punto  $b$ , por ejemplo, del cuerpo  $bc$  (*fig.* 216) debe hallarse en  $b'$  á una distancia  $ab' = ab$ .

Cuando un espejo está inclinado  $45^\circ$  al horizonte, un objeto vertical produce detras del espejo una imagen horizontal como *fig.* 217, pues el punto  $a$  debe pintarse detras del espejo á una distancia  $ac' = ca$ ; lo mismo sucede con el punto  $b$ , y todos los demas del cuerpo. Si al contrario, el objeto está horizontal (*fig.* 218), la imagen producida detras del espejo será vertical.

Para que cualquiera pueda ver en un espejo colocado verticalmente delante de sí, su imagen completa, es preciso que el espejo tenga á lo menos la mitad de su talla. En efecto, un ojo colocado en  $a$  (*fig.* 219) ve en el espejo la imagen  $a'b'$  bajo el ángulo  $a'ab'$ ; pero como los rayos  $aa'$ ,  $ba'$  interceptan sobre el espejo la superficie  $Cd$  y como  $aC = Ca'$ ; se ve que  $Cd$  es la mitad de  $CD$ , y tambien mitad de  $ab$ , porque  $CD = ab$ . Si el espejo está inclinado hácia adelante por su parte superior, se necesita menos magnitud que en el caso en que está vertical; asi es que se puede cualquiera ver en un espejo mucho menor que su talla cuando se le inclina adelante mas ó menos; pero tambien la imagen parece entonces mas ó menos oblicua, segun el espejo está mas ó menos inclinado.

578. *Multiplidad de las imágenes entre dos espejos inclinados ó paralelos entre sí.*— La imagen de un objeto que se pinta detras de un espejo puede servir ella misma de objeto de reflexion en otro espejo. Si dos espejos hacen entre sí un ángulo cual-

quiera como *fig. 220*, un ojo colocado en este ángulo verá tantas veces la imagen de un objeto *F* como perpendiculares puedan tirarse desde él y desde cada una de sus imágenes á cada espejo dentro del ángulo. En efecto, estando el ojo en *o* recibe la imagen del punto *F* por el rayo reflejado *Fao*, y juzga esta imagen en *F'*. Recibe luego otra imagen por el rayo doble reflejado *Fbco*; pero el ángulo de reflexion *Bbc* debiendo ser igual al ángulo de incidencia *FbN*, y siendo este igual á *NbF'*, se tiene  $Bbc = NbF'$ , luego *F'bc* es una línea recta; luego la imagen *F'* remplaza entonces al objeto *F*, y el ojo vé una segunda imagen en *F''* sobre la perpendicular *F'F''* tirada desde *F'* al segundo espejo.

La imagen *F''* puede servir á su vez de objeto, y para determinar la posicion de la tercera imagen, seria preciso desde el punto *F''* tirar una perpendicular al espejo *BA*; pero en el caso de la figura ésta perpendicular es imaginaria. En el caso de la misma figura, el ojo puede ver tambien otra imagen del punto *F* en  $\phi$ .

Se debe considerar que el rayo que lleva al ojo la primera imagen no sufre mas que una reflexion; que el que lleva la segunda sufre dos reflexiones, el que llevase la tercera sufriría tres, y asi sucesivamente. Quanto mas agudo es el ángulo que hacen los dos espejos, mas imágenes visibles hay, pero van disminuyendo sucesivamente de intensidad, porque se pierde mucha luz en cada reflexion. Si los dos espejos fuesen paralelos, se veria una infinidad de imágenes que irian continuamente debilitándose, hasta que al fin no serian sensibles. Se puede observar este efecto en una sala adornada

con dos espejos paralelos entre los cuales se suspende un quinqué ó araña. Si las dos paredes opuestas de un salon estan adornadas con espejos en toda su extension, parece que se está en el centro de una galería alumbrada por arañas colocadas simétricamente. Todos los objetos colocados en el salon se reproducen igualmente en esta galería ilusoria. Se pueden obtener por este medio efectos sumamente agradables.

El 579. *Multiplicidad de imágenes que produce un espejo comun.*—Todo el mundo puede observar, colocando una bugía delante de un espejo comun, que detras del espejo se forma un número mas ó menos considerable de imágenes situadas unas detras de otras, á saber; una imagen delante, otra detras mucho menos intensa, y otras detras de estas que van disminuyendo de intensidad hasta hacerse nulas. El número de las últimas es tanto mayor cuanto mas próximo esté el ojo del observador al espejo, y mas lejos del cuerpo luminoso.

Este efecto, que sorprende siempre al que le ve por primera vez, es sumamente fácil de explicar. El espejo se compone de dos superficies, de las cuales la posterior está cubierta con una amalgama de mercurio y estaño. Asi, pues, cuando los rayos luminosos llegan á la primera superficie, se reflejan en gran parte, lo que produce la primera imagen: la otra parte penetra en el cristal refractándose y aproximándose á la perpendicular; y en seguida es reflejada por la superficie del metal que la rechaza hácia el aire y le hace sufrir una nueva y pequeña refraccion, en virtud de la cual el rayo se dirige hácia el ojo. Esto produce una segunda imagen, que está separada de la primera á una dis-

tancia correspondiente al doble espesor del cristal, como podria convencerse cualquiera trazando una figura á propósito. Esta segunda imagen es mas intensa que la primera, porque la superficie metálica refleja los rayos luminosos mas completamente que la superficie de cristal.

En cuanto á las demas imágenes, provienen de de los rayos luminosos menos oblicuos que los precedentes: estos rayos, penetrando en el cristal son refractados; un poco despues son reflejados por la segunda superficie y vueltos á la primera en donde sufren todavía una refraccion parcial que vuelve parte de ellos á la segunda superficie, de donde vuelven á la primera, y asi sucesivamente; de suerte que, despues de una serie de reflexiones mas ó menos considerables, hay rayos que pasan al aire, donde son refractados y convergen lo bastante para penetrar en el ojo y producir imágenes tanto mas débiles cuanto mas considerable es el número de reflexiones y refracciones que han sufrido en el vidrio, pues á cada una de ellas pierden parte de su vista.

Esta multiplicidad de imágenes que no puede presentar ningun inconveniente en el uso ordinario de los espejos, presentaría uno muy notable en los instrumentos ópticos, porque las imágenes secundarias desfigurarían la principal confundíndose mas ó menos con ella. Por esta razon se emplean espejos metálicos que no producen jamas sino una sola imagen.

580. *Produccion y descripcion del fenómeno llamado espejismo, espejeo ó espejo ilusorio.* — Se observa el fenómeno de que vamos á dar noticia en las llanuras muy extensas y casi á nivel que se

prolongan hasta el horizonte aparente, situadas en países donde el suelo puede ser recalentado por los rayos del sol hasta una temperatura bastante elevada; como sucede en muchos parages de las costas del Océano y Mediterráneo, y tambien en los desiertos arenales de Egipto en donde este fenómeno es muy comun, y en donde fue observado por Monge.

Por la mañana y por la tarde no se ve en estas llanuras mas que tierra al rededor de sí, y las aldeas ó árboles que se ofrecen á la vista no presentan en su circuito nada de particular; pero desde que la superficie del suelo está suficientemente calentada por los rayos del sol hasta que se enfria bastante por la tarde, parece el terreno terminado hasta la distancia de 4 á 50 varas, poco mas ó menos, por una inundacion general: las aldeas que se hallan mas alla parece estar situadas en medio de un gran lago; bajo cada objeto se ve su imagen invertida tal como se veria efectivamente si hubiese al rededor una superficie de agua reflectante. A medida que uno se acerca á esta inundacion aparente, se ve disminuir su magnitud y desaparecer enteramente cuando se acerca bastante á los objetos; pero se la ve reproducirse y sostenerse para los objetos mas lejanos.

1581. *Explicacion del fenómeno.* — Monge explicó este fenómeno de un modo muy satisfactorio en el primer volumen de la *Década egipcia*. Wollaston al mismo tiempo dió la explicacion en las *Transacciones filosóficas*, y aun logró producir el fenómeno artificialmente en una placa de hierro rojo, observándole tambien en cuerpos vistos al traves de dos fluidos de diferentes refringencias so-

brepuestos en un vaso trasparente. He aquí la explicacion.

En medio del dia, estando el suelo muy caliente, la capa de aire que está en contacto con él adquiere una temperatura muy elevada; se dilata, y se halla entonces en una densidad menor que las demas capas que reposan sobre ella. Luego los rayos luminosos, cayendo sobre esta capa dilatada bajo un ángulo comprendido entre cierto límite  $a$  y  $90^\circ$ , se reflejan en su superficie del mismo modo que en un espejo (545): llevan al ojo del observador la imagen invertida de las partes bajas del cielo, que se ve entonces en la prolongacion de los rayos que se han recibido, y por consiguiente bajo del horizonte real. En este caso, si nada indicase el error, se juzgarian los límites del horizonte mas bajos y mas cercanos de lo que estan realmente.

Si cualquiera objeto, tal como las aldeas, casas, árboles, &c. advierten al observador que los límites del horizonte están mas lejanos, y que el cielo no se baja hasta la profundidad que juzgaba, la imagen reflejada del suelo le parece como una superficie de agua reflectante: las aldeas, los árboles, &c. envian rayos que son reflejados, lo mismo que lo serian los procedentes de la parte del cielo interceptada por ellos: asi, pues, estos rayos dan origen á una imagen invertida debajo de los objetos que se ven por los rayos directos.

Siendo constante el límite en que comienzan los rayos luminosos á reflejarse (545), y debiendo parecer que los rayos que forman el mayor ángulo con el horizonte, vienen del punto mas cercano donde principia el fenómeno, este punto debe es-

tar á una distancia constante del observador. Si este avanza, el borde de la inundacion parecerá alejarse, como se observa efectivamente.

Jurine ha observado en el lago de Ginebra un fenómeno análogo al espejismo, solo que en vez de producirse horizontalmente, como el que acabamos de ver, se produce lateralmente por el recalentamiento del aire en las vertientes de las montañas que limitan el lago en el parage en donde ha sido observado este fenómeno.

582. *Fenómenos de los paraselenes y parhelios.* — La luna sale, como se sabe, algunas veces cerca del medio día, y por consiguiente en el tiempo en que las circunstancias son favorables para el espejismo. Si la brillantez del sol y la claridad de la atmósfera permiten entonces que se vea la luna á su salida, se verán dos imágenes de este astro. Este fenómeno es conocido con el nombre de *paraselene* de *παρά* cercano, y de *σελήνη* luna, como si se dijese luna aproximada.

Se observa en el mar un fenómeno semejante respecto al sol que recibe el nombre de *parhelio* de *παρά* cerca y de *ήλιος* sol. Este fenómeno puede tambien producirse por una especie de espejismo; pero es necesario estudiar las circunstancias que le acompañan: por lo demas es sumamente raro.

Un navío en alta mar, visto á lo lejos, presenta tambien algunas veces dos imágenes, una comun y directa, y otra invertida. De aquí nace el nombre de *espejismo* que le han dado los marinos. Este fenómeno parece provenir de que la capa de aire que está en contacto con las aguas, se halla saturada de vapores y tiene desde luego una densidad menor que las capas superiores: es bastante

raro y no se manifiesta sino durante un momento en las mudanzas repentinas de temperatura.

## ARTÍCULO II.

*Reflexion de la luz sobre superficies convexas.*

583. El punto en que un rayo luminoso encuentra una superficie curva, puede considerarse como un plano sumamente pequeño que forma parte del plano tangente que puede tirarse por este punto á la curva. El rayo incidente se refleja sobre este plano haciendo el ángulo de reflexion igual al de incidencia: asi, pues, será facil determinar su direccion despues de la reflexion.

Supongamos un espejo convexo que para mayor sencillez miraremos como una porcion de esfera. Si un punto luminoso está colocado sobre el mismo espejo, nada de particular sucederá; pero si está colocado á cierta distancia delante de este espejo, los diferentes rayos que enviará serán reflejados con divergencia y sus prolongaciones iran á formar una *cáustica por reflexion* detras del espejo. La distancia del punto de retroceso de la cáustica estará siempre en razon de la distancia del espejo al punto radiante; pero será siempre mas pequeña á causa de la divergencia de los rayos reflejados.

584. *Posicion de la imagen de un objeto visto por reflexion en un espejo convexo esférico.* — Para determinar el lugar de la imagen de un cuerpo ACB (*fig. 221*) respecto de un ojo colocado en *s* se determinarán las cáusticas de cada punto del cuerpo, y se les tirará tangentes desde el punto *s*,

lo que determinará la imagen  $A' C' B'$  siempre mas pequeña que el objeto, y mas ó menos desfigurada y cercana á la superficie reflectante.

Se pueden observar facilmente los efectos de los espejos convexos para disminuir los objetos y disfigurarlos, en una caja ó tapa de reloj. Mirándose cualquiera en este pequeño espejo verá su retrato en miniatura; pero observará que está mal terminado é irregular. Estas irregularidades son á la verdad menos sensibles en un espejo construido de intento, y cuya curvatura es perfectamente continua. Los pintores para dibujar y reducir los paisajes se sirven algunas veces con ventaja de semejantes espejos. Siempre son fáciles de corregir las irregularidades que puede ocasionar la superficie reflectante; y por otra parte, la imagen es siempre mas regular para los objetos lejanos que para los cercanos, como puede observarse mirándose desde lejos en la misma caja.

### ARTÍCULO III.

#### *Reflexion sobre superficies cóncavas.*

585. *Foco de los rayos paralelos.*— Los rayos luminosos paralelos que caen sobre un espejo cóncavo esférico (*fig. 222*) forman despues de la reflexion una cáustica, cuyo punto de retroceso ó *foco de rayos paralelos* se halla en  $g$  en medio del radio de la superficie reflectante. Este punto no puede estar mas alto ni mas bajo, pues siendo el ángulo de reflexion igual al de incidencia, el rayo incidente en el caso del paralelismo, forma con el rayo

reflejado, y el radio de curvatura un triángulo isosceles BCD. En efecto, el ángulo  $BCD = ABC$  por alternos internos, y el ángulo  $CBD = ABC$  por efecto de la reflexion; luego  $BCD = CBD$ : si el punto de retroceso estuviese mas alto ó mas bajo que  $g$ , el isoscelismo no se verificaria en los rayos infinitamente próximos al  $A'B'$ , y por consiguiente los ángulos de reflexion serían mas grandes ó mas pequeños que los de incidencia.

En el caso de un espejo parabólico, la cáustica de los rayos paralelos se reduciría á un punto que sería el foco matemático de la curva, porque es una propiedad de la superficie parabólica el remitir á su foco todos los móviles que se lanzan sobre ella en direcciones paralelas á su eje. Si se colocase un punto luminoso en el foco de un espejo parabólico, todos los rayos de luz que emanasen de él serían reflejados paralelamente. Por esto, siempre que se quiera proyectar la luz á lo lejos en una longitud poco considerable, v. gr. una calle, sería conveniente servirse de espejos parabólicos: por tanto sería muy útil sustituir espejos parabólicos á los reflectores esféricos de los reverberos, que solo envian paralelos los rayos infinitamente próximos al eje. Los reflectores parabólicos son sumamente ventajosos para la construccion de los *faros* ó *fanales*. Bordier ha construido, partiendo de este principio, fanales de muy buen efecto. Al contrario, cuando se trata de proyectar la luz sobre una superficie ancha, v. gr. un bufete, &c., creemos que los reflectores parabólicos no son los mas convenientes, y sería mejor usar de los hiperbólicos que extenderian la luz á mayor distancia.

586. *Foco de los rayos divergentes.* — A medi-

da que el cuerpo luminoso se acerca á la superficie cóncava reflectante, la cáustica se eleva sucesivamente. Cuando el punto luminoso haya llegado al centro de la superficie reflectante esférica, la cáustica se reducirá á un solo punto que se confundirá con el punto radiante, porque los rayos se reflejarán sobre sí mismos.

Si se aproxima el punto luminoso al centro, la cáustica se elevará por encima. Cuando llegue al foco de los rayos paralelos, es decir, al medio del radio de la esfera, las ramas de la cáustica se separarán; cuando esté colocado aun mas cerca de la superficie reflectante, las ramas de la cáustica caerán enteramente sobre los lados, y se formará detras del espejo otra cáustica, cuyo punto de retroceso estará muy lejos. Este punto se aproximará á medida que el punto radiante se acerque al espejo, y al fin estará en el espejo cuando el punto radiante lo esté tambien.

Todas estas circunstancias son evidentes para el que quiera construir las figuras que las explican; pero tambien pueden hacerse varios experimentos muy sencillos que las representan de un modo sumamente claro. Tómese un semicilindro de hoja de lata de corto diámetro, cuya superficie cóncava esté bien limpia y pulimentada; colóquese verticalmente sobre una mesa, y dispóngase debajo una hoja de papel; colóquese en seguida una bugía encendida en frente de él, y se verá al momento formarse una cáustica luminosa por reflexion; á medida que se vaya aproximando la luz se verá la cáustica marchar mas y mas adelante. Si se coloca la bugía en el centro de la superficie reflectante, no se verá ninguna curva luminosa; pero si se acerca mas

se verá la cáustica presentarse sobre el centro. Cuando se coloque la bugía en el punto medio del radio de superficie de curvatura, se verán separarse las ramas de la cáustica; y en fin, cuando se aproxime mas se verán las ramas de la cáustica caer sobre los lados, y al momento se percibirá una imagen del punto luminoso en el espejo, lo que anuncia que las cáusticas se forman detras de la superficie reflectante.

587. *Posición de la imagen de un cuerpo visto por reflexion en un espejo cóncavo esférico.* — Dada la posición de un objeto colocado delante de un espejo de esta clase, si se quiere determinar el lugar de su imagen será preciso trazar las cáusticas de cada uno de sus puntos, y tirar las tangentes desde el punto en donde está el ojo: se presentan entonces muchos casos que examinar.

1.º *Cuando el objeto está colocado mas bajo que el foco de rayos paralelos* — Suponiendo el ojo colocado en  $o$  (*fig.* 223) la imagen se verá detras del espejo en  $A' C' B'$ , amplificada y algo desfigurada. Si el ojo está bastante cerca del espejo, podrá verse una imagen invertida y algo confusa delante del espejo, sobre las ramas laterales de las cáusticas; podrá tambien suceder que el ojo vea à la vez esta imagen y la que está detras del espejo.

2.º *Cuando el objeto está colocado entre el centro y el foco de los rayos paralelos* se formará una imagen invertida encima del centro, y bastante aumentada; asi es que un cuerpo colocado en  $ABC$  (*figura* 224) produciría una imagen invertida  $A' C' B'$  para el ojo que estuviese colocado en  $o$ . Esta imagen estaría algo desfigurada, y no sería visible en parte si el espejo fuese demasiado pequeño, ó si el ojo es-

tuviese colocado de modo que no se pudiesen tirar à la vez tangentes à todas las cáusticas.

3.º *Si el objeto está colocado en el centro, su imagen se confundirá con él mas ó menos segun su magnitud.*

4.º *Si el cuerpo está encima del centro, formará una imagen delante del espejo entre su superficie y el objeto; un ojo colocado en *o* verá la imagen del cuerpo ABC (fig. 225) en A' C' B' invertida y disminuida en magnitud.*

Para comprobar por la experiencia estos diversos efectos de los espejos cóncavos basta hacerse con uno de ellos, ya sea de metal pulimentado, ó ya sea de vidrio azogado, y colocarse sucesivamente una bugía encendida à diversas distancias delante de la superficie reflectante. Se verá la imagen de la luz tan pronto detras del espejo y aumentada, tan pronto delante del mismo cuerpo luminoso invertida y aumentada, y tan pronto entre el cuerpo luminoso y la superficie reflectante invertida y disminuida.

Se emplean algunas veces los espejos cóncavos en diversos instrumentos de óptica, como lo haremos ver en el Cap. X: tambien se les emplea à menudo para producir diversas ilusiones de óptica muy agradables, por ejemplo, se puede disponer desde luego un objeto cualquiera: v. gr. un ramillete delante de un espejo cóncavo, de suerte que ambos estén ocultos, valiéndose de cuerpos que los adornen y encubran; pero de tal modo dispuestos, que, desde cierto punto del aposento, se pueda ver la imagen producida por reflexion. Una persona colocada en este punto puede ver clara y distintamente la imagen, y tomarla por la realidad; pero si se

adelanta hácia ella para cogerla, se queda muy admirada de verla desaparecer de repente, porque se aleja del único punto de donde puede recibir los rayos reflejados. Podríamos citar otras varias ilusiones que usan los aficionados y los jugadores de manos; pero ninguna de estas ilusiones ofrece dificultad, cuando se ha comprendido bien todo lo que acabamos de decir.

## ARTÍCULO IV.

*Espejos prismáticos, cilindricos, piramidales, y cónicos.*

588. Estas clases de espejos no son mas que instrumentos de pura curiosidad, por medio de los cuales no se percibe sino cierta parte de un dibujo ú objeto cualquiera colocado delante de ellos, ó se rectifica algun dibujo desfigurado á propósito, y para cuyo trazado suministra la geometría las reglas necesarias. Todo el mundo conoce los cartones sobre que están dibujadas figuras irregulares ó insignificantes que producen imágenes regulares cuando se les presenta delante de un espejo determinado.

Los espejos prismáticos reunen en una asola imagen, y sin interrupción muchas partes de un mismo dibujo separadas unas de otras, y cuyos intervalos estan muchas veces llenos de otras figuras que impiden reconocer las relaciones que tienen entre sí. Sea en efecto ABCDE (*fig. 226*) un trozo de espejo prismático. Es evidente que estando colocado el ojo fijamente en *o*, no recibirá por reflexion mas que los rayos emanados de los objetos

colocados en los espacios  $AfgB$ ,  $BhiC$ ,  $CkID$ ,  $DmnE$ , y que los rayos de los objetos colocados en los intervalos angulares serán perdidos para él mientras que permanezca en esta posición, de suerte que se podrán llenar estos intervalos con figuras particulares que se enlacen con las partes que puedan representarse en el espejo, é impidan reconocer los enlaces naturales de estas últimas.

Los espejos *piramidales* están en igual caso. En colocando el ojo en la prolongación del eje de la pirámide, no se ven más que los objetos que corresponden á las diferentes casas triangulares: es preciso observar que la imagen por reflexión está en posición inversa del objeto.

Los espejos *cilíndricos* en el sentido de su eje producen los efectos de los espejos planos, y en el sentido transversal los efectos de los espejos cóncavos ó convexos. Se sabe que mirándose en un espejo de esta clase, cuyo eje está paralelo á la posición de los ojos, se ve el rostro aplanado y sumamente ancho, y precisamente del modo contrario enflaquecido, y sumamente alargado cuando se dispone el eje perpendicular á la posición de los ojos.

Los espejos *cónicos* son análogos á los espejos piramidales; solamente que, como la superficie es continua, se ven todos los objetos situados al rededor en una posición invertida, y sumamente desfigurados.

## CAPÍTULO V.

*De la doble refraccion.*

589. *Definiciones preliminares.*— Un número bastante considerable de sustancias diáfanas tiene la propiedad de duplicar los objetos que se miran al través de ellas en ciertas direcciones; es decir, que el rayo luminoso partido de estos objetos se divide en dos al atravesar uno de estos cuerpos. Esto se puede observar colocando un romboide de carbonato de cal limpio sobre los caracteres de un libro, ó sino proyectando un rayo solar sobre este cuerpo, en cuyo caso se obtienen dos rayos emergentes. Uno de estos rayos sigue constantemente las leyes de la refraccion ordinaria; pero el otro sigue leyes particulares; por esta razon al primero se le llama *rayo ordinario*, y al segundo *extraordinario*.

Entre todos los cuerpos dotados de la doble refraccion, ninguno es mas à propósito para los experimentos que pueden establecer la teoría de estos fenómenos, que el carbonato calizo limpio que se llama vulgarmente *Espato de Islandia*, que se divide naturalmente en romboides de  $105^{\circ} 5'$  y  $74^{\circ} 55'$ .

Sea *aba'b'* (fig. 227) uno de estos romboides: la línea *bb'*, que se puede concebir entre dos ángulos sólidos opuestos, se llama *eje del cristal*. Se llama *corte principal* la seccion hecha en el sólido por las aristas *ab' a'b*, y las diagonales *ab a'b'*: contiene como se ve, el eje del cristal, y es perpendicular à dos caras opuestas al mismo.

590. *Eje de doble refraccion.*— Los cuerpos dotados de la doble refraccion no presentan indi-

ferentemente este fenómeno en todos los sentidos en que les atraviesan los rayos luminosos. Al contrario, siempre que se coloca el romboide de carbonato calizo por una de sus caras naturales sobre un borron de tinta, ó sobre los caracteres de un libro se ven estos objetos dobles; pero si se hacen tallar sobre este romboide caras perpendiculares á su eje, y se coloca por una de estas caras sobre el borron de tinta se le verá constantemente sencillo mientras el ojo esté bien verticalmente sobre la otra: pero si el ojo se aleja de la linea vertical, sea de un lado, sea de otro, se verán aparecer al instante las dos imágenes: se nota entonces que su grado de separacion es constante bajo una misma inclinacion, cualquiera que sea el plano de incidencia.

Si se talla el romboide de modo que resulten dos caras paralelas á su eje y paralelas entre sí, y se coloca una sobre el borron de tinta, mirando por la otra se nota que hay una imagen sencilla mientras que el ojo está colocado bien verticalmente encima de ella, y que las imágenes llegan á ser dobles por pocó que se aparte de esta posicion; pero hay la diferencia entre este experimento y el precedente, de que el grado de separacion de las imágenes varía con la posicion del plano de incidencia.

Resulta de estos experimentos que la doble refraccion depende de las posiciones del rayo luminoso con respecto al eje del cristal; de suerte que el fenómeno pasa como si este eje poseyese una fuerza particular capaz de separar parte de las moléculas luminosas de los rayos directos. Segun esta idea se ha dado al eje del cristal el nombre de *eje de doble refraccion*, expresion que se usa en el dia en general para designar una direccion cualquiera

en el interior del cuerpo, segun la cual pasa la luz sin sufrir refraccion; y al rededor de la cual los grados de separacion de las imágenes son iguales para una misma inclinacion del rayo, cualquiera que sea el plano de incidencia.

591. *Efectos particulares de la doble refraccion en el plano del corte principal.* — Cuando se coloca un romboide natural de carbonato calizo sobre una línea de tinta, se nota facilmente que el grado de separacion de las imágenes varia con la posicion de este romboide sobre su plano, verificándose el *máximo*, cuando esta línea es paralela á la diagonal mayor del romboide. Partiendo de esta posicion, las imágenes se acercan sucesivamente á medida que se hace girar el sólido, y se sobreponen una á otra cuando la línea llega á ser paralela á la diagonal menor, es decir, cuando se encuentra en el plano del corte principal ó en un plano paralelo. Es claro entonces que el rayo ordinario y el extraordinario se hallan en un mismo plano con el rayo directo.

En todas las sustancias que tienen el mismo género de cristalización del carbonato de cal, ó se refieren á un prisma de base cuadrada, se halla siempre una direccion segun la cual los dos rayos refractados no salen del plano de incidencia; y del mismo modo que en el romboide, esta direccion se halla en un plano perpendicular á las caras refringentes, plano que se puede denominar tambien *seccion principal* en los fenómenos ópticos.

592. *Doble refraccion atractiva y repulsiva.* — Los experimentos precedentes conducen á considerar al eje de doble refraccion como el centro de una fuerza que hace desviar de su camino á una

parte de las moléculas luminosas; pero este desvio no se verifica en el mismo sentido en todas las circunstancias. En unas el rayo extraordinario se aleja del eje de doble refraccion, y los fenómenos se verifican como si fuese rechazado por este eje: en otras al contrario, se acerca, y los fenómenos se verifican como si fuese atraído por él. Se puede facilmente comprobar uno de estos fenómenos con el carbonato de cal: colóquese un romboide de esta sustancia sobre una línea de tinta muy fina que le exceda por cada lado en una pulgada, por ejemplo, disponiéndole de modo que la mayor diagonal de la cara sea paralela á esta línea; hágase girar, por ejemplo, hácia si el ángulo obtuso del sólido, y adelántese el ojo en el plano del corte principal hasta que esté con la línea de tinta en un plano perpendicular á la cara. Se verán entonces dos imágenes, una ordinaria sobre la prolongacion de la línea exterior, porque siendo el rayo directo perpendicular á la cara, pasa sin sufrir refraccion; y la otra extraordinaria que se hallará entonces delante de la primera, lo que indica por consiguiente una repulsion de parte del eje. Para mejor concebir este efecto sean  $ABA'$  (*fig. 228*) el corte principal del romboide,  $AA'$  su eje,  $r$  el punto radiante,  $aa'$  el eje de la molécula situada en el punto de incidencia. El rayo ordinario que pasa sin refraccion será  $rs$ , y el rayo extraordinario será  $rs'$  que hará ver una imagen en  $r'$  sobre la prolongacion del rayo emergente. Se ve, pues, que el rayo  $rs'$  se aleja del eje  $aa'$  de la primera molécula que encuentra, como si fuese rechazado por él.

En un número bastante considerable de sustancias se verifica lo mismo que en el carbonato

de cal: tales son el *fosfato de cal*, la *esmeralda*, la *turmalina*, &c., &c.; pero otras tales como el *crystal de roca* presentan precisamente lo contrario. El rayo extraordinario parece aproximarse al eje, y la imagen extraordinaria se vé hácia el lado del observador, v. gr. en *r''*.

593. *Sustancias de dos ejes de doble refraccion.* — Todas las sustancias cristalizadas regularmente y que pueden referirse á un romboide, ó á un prisma de basa cuadrada, no poseen mas que un solo eje de doble refraccion; pero todas aquellas que se refieren á cualquiera otro sistema de cristalización, excepto las del sistema cúbico (que comprende el octaedro, el tetraedro y el dodecaedro romboidal) poseen dos ejes de doble refraccion que estan situados de este ó del otro modo, pero siempre simétricamente con relacion á las modificaciones cristalinas; es decir, que hay dos direcciones en las cuales se verifican los fenómenos como hemos visto, al rededor del eje único del carbonato calizo: tales son por ejemplo los *sulfatos de barita*, de *estronciana* y de *cal*, las *micas*, los *topacios*, &c. Hay tambien sustancias cuyos dos ejes producen doble refraccion atractiva, y otras en que hay doble refraccion repulsiva.

Las materias que se refieren al sistema de cristalización cúbica, y las que no son cristalizables; como el vidrio, las resinas, las gomas, &c., no producen sino la simple refraccion. Se puede concebir que en estas sustancias las moléculas cristalinas estan de tal modo dispuestas que la accion de la una se destruye por la de la otra: pero si sucede que por una circunstancia cualquiera varía esta disposicion, se manifiestan entonces algunos fenóme-

nos de la doble refraccion. Esto sucede, v. gr., cuando se comprime una placa de vidrio en cierto sentido, como tambien en la lágrima batávica donde las moléculas interiores se han visto precisadas á colocarse de un modo particular (189).

594. *Determinacion de los ejes de doble refraccion.* — Cuando las sustancias que se presentan estan cristalizadas regularmente, se puede siempre, con arreglo al estudio de su forma primitiva y á las relaciones averiguadas entre las formas cristalinas y los fenómenos de doble refraccion, determinar la posicion de los ejes. Pero cuando las materias no tienen forma exterior, es la experiencia la única á que debemos recurrir para descubrir estos ejes. Limitándonos á los fenómenos de la doble refraccion que acabamos de considerar, no hay otros caminos para determinar estas posiciones que el de recurrir á algunos tanteos. Es preciso hacer tallar el cuerpo propuesto en diferentes sentidos, de suerte que se produzcan cada vez dos superficies paralelas. Si al través de las dos primeras caras se perciben dos imágenes bajo la incidencia perpendicular, se debe concluir que estas caras no son ni paralelas ni perpendiculares al eje; de consiguiente, será preciso hacer tallar nuevas facetas hasta que se lleguen á obtener dos en las cuales se vean imágenes sencillas. Entonces es evidente que el eje de la sustancia es ó perpendicular ó paralelo á estas facetas. Se podrá decidir despues muy facilmente entre estos dos casos: si el eje es perpendicular á las caras ó facetas, se verificará que para un mismo grado de inclinacion del rayo luminoso, se tendrá constantemente el mismo grado de separacion en las imágenes, cualquiera que sea el plano de inciden-

cia: si es paralelo no existirá esta condicion. Tambien se pueden hacer tallar nuevas facetas entre las dos primitivas; pues si estas primeras facetas fuesen perpendiculares al eje de doble refraccion, las dos nuevas facetas serian necesariamente oblicuas al mismo eje, y se verian dos imágenes. Si al contrario, fuesen paralelas, las nuevas serán tambien paralelas y se obtendrian imágenes simples bajo la incidencia perpendicular. Veremos mas adelante otros medios mas sencillos para conseguir el mismo objeto.

## CAPÍTULO VI.

### *Polarizacion fija de la luz.*

595. *Propiedad particular de la luz que ha atravesado por un romboide de espato de Islandia.*—Cuando un rayo luminoso cae sobre un romboide de espato de Islandia, se divide en dos rayos, de los cuales uno está sometido á la refraccion ordinaria y otro á la extraordinaria. Estos rayos, despues de su salida del cristal, gozan de una propiedad particular que los distingue esencialmente de la luz directa. Si caen perpendicularmente sobre la superficie de otro romboide cuya seccion principal sea paralela á la del primero, no sufren ya ninguna division. El rayo refractado ordinario se refracta ordinariamente como siempre en el segundo cristal; y el rayo extraordinario se refracta extraordinariamente, de suerte que no hay á la salida del segundo cristal sino dos rayos emergentes.

Tómense dos cristales de carbonato de cal, y

colóquese uno sobre otro, y ambos sobre un papel señalado con un borron. Cuando los cortes principales son paralelos no se ven sino dos imágenes algo apartadas entre sí una de otra.

Si se hace girar el romboide superior de modo que los cortes principales pierdan el paralelismo, se ven inmediatamente aparecer nuevas imágenes que al principio son sumamente débiles, pero que poco á poco van aumentando de intensidad á medida que va girando el cristal. Al mismo tiempo las dos imágenes primitivas se van haciendo menos sensibles, y desaparecen totalmente cuando los dos cortes principales estan á ángulo recto. Entonces el rayo que proviene de la refraccion ordinaria en el primer cristal, se refracta extraordinariamente al pasar por el segundo, y el que proviene de la refraccion extraordinaria es refractado ordinariamente. Continuando el movimiento del romboide, se reproducen los mismos efectos en todos los cuadrantes.

Malus ha hecho ver que estos efectos se verifican en todas las sustancias dotadas de la doble refraccion, y que para obtenerlos no es necesario que las dos sustancias sometidas al experimento sean de la misma naturaleza : es decir, que esta disposición de la luz á refractarse en *dos* ó en un solo rayo no depende sino de las posiciones respectivas de los ejes de refraccion de las sustancias que se emplean.

596. *Observacion de la misma propiedad en la luz reflejada bajo ciertos ángulos.* — Malus ha hallado tambien que la luz reflejada por diversas sustancias bajo ángulos constantes para cada una de ellas, y variables de una á otra, podia modificarse del mismo modo que al pasar por un romboide de

carbonato de cal. Asi, pues, el rayo luminoso reflejado por un espejo, bajo el ángulo de  $35^{\circ} 25'$ , al caer sobre un romboide atraviesa este cristal sin experimentar ninguna division, cuando el plano de reflexion es paralelo ó perpendicular al del corte principal. En el primer caso todas las moléculas luminosas son refractadas ordinariamente: en el segundo todas son refractadas extraordinariamente: en todas las posiciones intermedias, parte de las moléculas luminosas se refractan ordinariamente, y la otra parte extraordinariamente, de suerte que hay dos rayos emergentes.

Para observar estos efectos, es preciso escoger un pedazo de vidrio sin azogar y ennegrecer una de sus caras con humo. Se dispondrá este vidrio de horizontalmente (*fig. 229*) puesto el lado ennegrecido hácia abajo; se colocará fijamente encima un cilindro de carton ó de hoja de lata *a b* ennegrecido en su interior, que haga con la lámina de vidrio un ángulo de  $35^{\circ} 25'$ , de suerte que pueda recibir la luz reflejada bajo este ángulo. Se colocará en la parte inferior del cilindro un *diafragma* taladrado en su centro por un agujerito *a* y se terminará la parte superior con un pequeño reborde plano *b c*.

Colocando este aparato delante de una ventana de modo que caiga sobre el vidrio la luz de las nubes, se aplicará un romboide por su base en la parte superior. Hecho esto, se notará que, cuando el plano del corte principal es paralelo al plano de reflexion, no se vé mas que una sola imagen de la aberturita *a*, y de consiguiente el rayo reflejado experimenta en el romboide la refraccion ordinaria.

Cuando se hace girar el romboide sobre su plano

de modo que desaparezca el paralelismo citado, el rayo luminoso se divide en dos, de suerte que se forma en virtud de la refraccion extraordinaria una segunda imagen del agujero. Esta imagen desde luego sumamente debil, se hace mas intensa, á medida que el corte principal del cristal hace mayor ángulo con el plano de reflexion; al mismo tiempo la primera se debilita mas y mas, y desaparece cuando el corte principal ha llegado á ser paralelo al plano del rayo reflejado. En este punto el rayo extraordinario contiene todas las moléculas de la luz trasmitada.

Continuando el giro del romboide, una parte de la luz se refracta de nuevo ordinariamente; la imagen extraordinaria disminuye de intensidad, y se hace nula cuando el cristal habiendo hecho una *semi-revolucion*, tiene de nuevo su seccion principal paralela al plano de reflexion. Si se continúa todavía el giro del romboide sobre su plano, los efectos se repiten del mismo modo en los otros dos cuadrantes; de suerte, que en llegando á  $270^\circ$  la imagen extraordinaria, está sola y en el maximo de intensidad, y al llegar á  $360^\circ$ , punto de partida, se obtiene la imagen ordinaria como estaba en un principio.

597. *Accion de la luz, asi modificada sobre una superficie reflectante.* — En lugar de un romboide, póngase un cilindro pequeño y muy corto, que pueda entrar muy ajustado en la parte superior del cilindro de carton (*fig. 229*), y que esté acompañado de un vidrio como el primero, dispuesto de modo que haga un ángulo de  $35^\circ 25'$  con el eje del cilindro de carton. La disposicion de esta pieza permite presentar el nuevo vidrio siempre

bajo el mismo ángulo á diferentes lados del rayo reflejado sobre la primera.

Colocada así esta pieza sobre el cilindro, si se mira al vidrio se verá en general una imagen mas ó menos intensa del agujero producida por la reflexión del rayo luminoso; pero haciendo girar esta pieza sin alterar la inclinación del cristal sobre el cilindro, la imagen será mas débil ó mas intensa. Si se hace mas intensa, volviendo la pieza hácia el lado opuesto se hará mas débil, y continuando este movimiento concluirá por ser absolutamente nula: entonces el plano de reflexión del rayo sobre el nuevo vidrio, será perpendicular al plano de reflexión sobre el primitivo.

Continuando el giro de la pieza móvil, se verá aparecer nuevamente la imagen; desde luego será sumamente débil; pero irá sucesivamente aumentando de intensidad, llegando al *máximo* á los  $90^\circ$  de la posición precedente. Siguiendo la operación, disminuirá la intensidad de la imagen sucesivamente, y á los  $180^\circ$  de la primera posición en que era nula, lo será también. Si se continúa haciendo girar el vidrio, la imagen volverá á aparecer, y llegará al máximo de intensidad á los  $270^\circ$ . Concluyendo de describir la circunferencia, la intensidad de la imagen disminuirá haciéndose nula á los  $360^\circ$  punto de partida.

Estos fenómenos son análogos á los que se verifican cuando se presenta un romboide de carbonato calizo al rayo reflejado por el primer vidrio. Se ve que estando el segundo vidrio inclinado  $35^\circ 25'$  al eje del cilindro, y presentado al rayo de modo que el nuevo plano de reflexión sea paralelo al primitivo, toda la luz es reflejada. Cuando el vidrio

ha llegado á disponerse de tal modo que el nuevo plano de reflexion sea perpendicular al primitivo, toda la luz es refractada. Vease, pues, una analogía admirable con la posicion del corte principal. En todas las posiciones intermedias la luz es en parte refractada, y en parte reflejada.

598. *Consecuencias de los experimentos precedentes.*—Malus ha admitido que los diversos fenómenos de que acabamos de hablar dependen de la forma de las moléculas luminosas, y de la posicion que toman unas respecto de otras: concibe que las moléculas luminosas, en virtud de la accion de un cristal dotado de la doble refraccion, ó de un plano reflectante colocado bajo cierto ángulo, se disponen de modo que escapan todas juntas de la reflexion, cuando el rayo luminoso se presenta al plano reflectante bajo cierto ángulo, y por cierto lado, y por el contrario se reflejan todas juntas, cuando se presentan por un lado situado á  $90^\circ$  del primero; de suerte que Malus se vió conducido á admitir que, despues de haber sufrido la accion del cuerpo, todas las moléculas luminosas tienen sus ejes paralelos, y sus caras homólogas vueltas hácia un mismo lado, ó en el mismo sentido. A esta disposicion le dió el nombre de *polarizacion*, comparando el efecto del cuerpo sobre las moléculas luminosas, al de un iman que hiciese girar los polos de una serie de agujas magnéticas todos hácia el mismo lado.

Todas las sustancias capaces de producir la doble refraccion polarizan la luz por refraccion. Todas aquellas cuya superficie es reflectante pueden polarizarla por reflexion; pero el ángulo, bajo el cual debe presentarse el rayo directo, para que se veri-

fique este efecto completamente, varía en cada sustancia. Los metales, aunque muy reflectantes cuando estan pulimentados, no producen este efecto sino con mucha dificultad; jamas se obtiene mas que la polarizacion de una porcion mayor ó menor de la luz reflejada en su superficie, y no de toda esta luz, como se logra en los experimentos precedentes: el resto de la luz toma la especie de polarizacion, de que hablaremos en el capítulo siguiente.

599. *Polarizacion de la luz que ha atravesado una serie de vidrios paralelos.* — Cuando sobre un vidrio sin azogar se hace caer un rayo de luz directo bajo el ángulo  $35^{\circ} 25'$  se obtiene un rayo reflejado polarizado. En cuanto á la luz refractada, no se polariza sino en parte; pero si se la hace pasar á través de una serie de vidrios paralelos, una parte de las moléculas no polarizadas se detienen en el segundo vidrio; despues otra parte en el tercero, y asi sucesivamente; de suerte, que si el número de vidrios es bastante considerable, se obtiene un rayo refractado enteramente polarizado: este rayo se dirige precisamente en sentido contrario del rayo reflejado.

Este efecto no se verifica solamente bajo un ángulo de incidencia particular de la luz directa, sino que al contrario principia á verificarse desde el momento en que el rayo cesa de ser perpendicular á la superficie refringente; la cantidad de luz polarizada aumenta á medida que el rayo incidente se hace mas oblicuo. En fin, si el número de láminas refringentes es suficiente para cualquier ángulo de incidencia, la luz que sale de ellas está completamente polarizada.

Es preciso notar un fenómeno, que consiste en que si bajo el ángulo de incidencia de  $35^{\circ}$  el número

de láminas es bastante para obtener un rayo refractado enteramente polarizado, se podrá en seguida aumentar dicho número, tanto como se quiera sin que la luz se haga menos intensa, porque ya está entonces modificada, de suerte que puede escapar enteramente á la reflexion continua y sucesiva que estas láminas procuran producir.

600. *Polarizacion análoga en otros varios cuerpos.* — Biot y Brewster han descubierto que muchas sustancias minerales, unas hojosas, y otras en que no se puede descubrir esta estructura, polarizan la luz del mismo modo que la pila ó conjunto de vidrios precedente. Esto se observa en algunas ágatas de capas paralelas, y tambien en la turmalina tallada en láminas muy delgadas paralelamente á su eje, aunque no se percibe en ella estructura laminosa. Una lámina de turmalina preparada así, y expuesta perpendicularmente á los rayos emanados de un cuerpo luminoso, polariza completamente la luz que trasmite en sentido perpendicular al eje del cristal.

Si encima de la primera turmalina se coloca una segunda, de modo que los dos ejes formen ángulo recto, no pasa ninguna luz, aunque cada una de las láminas sea bastante delgada, para que se pueda ver al través de ambas, cuando sus ejes estan paralelos. Esto proviene de que en el caso del cruzamiento, el rayo luminoso al atravesar la primera placa es polarizado perpendicularmente á su eje; desde luego se presenta paralelamente al eje de la segunda, y por consiguiente debe escapar de la refraccion.

Resulta de esta propiedad de la turmalina un medio para conocer facilmente si un rayo de luz re-

fractado ó reflejado por un cuerpo está polarizado, y en qué direccion lo está. En efecto, si está polarizado atravesará la placa de turmalina que se le presenta en cierta direccion, y será rechazado en la direccion opuesta á ángulo recto: de este modo se deducirá la direccion de la polarizacion, pues segun los experimentos precedentes cuando el rayo pasa libremente, su eje de polarizacion debe ser perpendicular al de la placa, y cuando es rechazado debe serle paralelo.

Tambien puede hacerse palpable por este medio si la doble refraccion de una sustancia es producida por atraccion ó por repulsion: basta para esto examinar en qué sentido está polarizado el rayo mas desviado, partiendo de una sustancia cuyo modo de obrar sea conocido. En el carbonato de cal, que es repulsivo, el rayo extraordinario mas lejano del eje de doble refraccion es polarizado perpendicularmente á este eje, y el otro lo es paralelamente. En el cuarzo, que es atractivo, sucede precisamente lo contrario. Se sigue de aqui que para conocer el modo de obrar de un cristal, basta determinar si el rayo mas desviado está polarizado perpendicular ó paralelamente al eje.

## CAPÍTULO VII.

### *Polarizacion móvil.*

*En los experimentos precedentes al atravesar un hacecillo de luz por un cuerpo dotado de la doble refraccion, se halla dividido en otros dos, en cada uno de los cuales parece quedar las moléculas*

las luminosas dispuestas fijamente en sus respectivas posiciones particulares. Pero un considerable número de fenómenos de otra especie han conducido á Biot á imaginar que las moléculas luminosas no se colocan repentinamente en las posiciones fijas desde su entrada en el cristal, y que no llegan sino progresivamente á profundidades mayores ó menores, segun la magnitud de la fuerza atractiva ó repulsiva que les solicita. En todo este paso las moléculas vuelven alternativamente sus ejes como con un movimiento de oscilacion de una á otra parte de los planos en que deben definitivamente fijarse. A estos fenómenos particulares les ha dado el nombre de *polarizacion movíl* por oposicion á la polarizacion difinitiva de que ya hemos hablado, y que llama *polarizacion fija*.

601. *Experimentos fundamentales.*— Cuando se ha colocado un romboide de carbonato calizo en la parte superior del aparato (*fig. 229*), y su corte principal es paralelo al plano de reflexion del rayo que cae sobre el espejo *de*, no se ve mirando al través mas que una imagen de la abertura *a* que es la imagen extraordinaria, como ya hemos hecho ver anteriormente (596). Si se coloca en cualquier punto del paso del rayo polarizado una lámina delgada de sulfato de cal trasparente, ó de mica, &c. se perciben al momento mirando al través del romboide dos imágenes distintas del agujero, de suerte que el rayo polarizado es de nuevo dividido en dos hacesillos. Este primer efecto es propio de todas las sustancias cristalinas dotadas de la doble refraccion; pero aqui está acompañado de una circunstancia sumamente notable, observada por la primera vez por Arago: las dos imágenes en vez de

ser blancas como en los experimentos precedentes, se hallan teñidas de colores complementarios, es decir, de colores que por su mezcla reproducen el blanco. Estos colores dependen del espesor de la lámina, y del ángulo que hace esta con el rayo luminoso polarizado.

602. *Leyes del fenómeno.*—Estudiando mas detenidamente estos fenómenos, se observa que uno de los rayos coloreados conserva su polarizacion primitiva en un nuevo sentido: de lo cual puede cualquiera convencerse analizando la luz transmitida, ya sea por medio de un vidrio, ó ya sea por un romboide de carbonato calizo limpio. Colóquese una lámina delgada perpendicularmente al rayo polarizado, y dispóngase un vidrio en el camino de la luz transmitida, bajo el ángulo  $35^{\circ} 25'$ , y de modo que el nuevo plano de reflexion sea perpendicular al del primer vidrio por quien fue polarizado el rayo incidente; es claro que habria absorcion total del rayo si todas las moléculas luminosas hubiesen conservado su polarizacion primitiva al atravesar la lámina (596); pero en vez de esto se ve que la absorcion no es sino parcial, y el vidrio refleja una porcion de luz que tiene un color ó tinta particular. Si se hace girar la lámina delgada en su plano sin mudar su ángulo de incidencia con el rayo, la tinta sin variar de naturaleza variará de intensidad; será nula cuando el eje de doble refraccion de la lámina sea paralelo ó perpendicular al plano de polarizacion primitiva; llegará á su maximo cuando el eje haga un ángulo de  $45^{\circ}$  con este plano.

Se trata ahora de determinar el sentido de la nueva polarizacion. Si despues de haber fijado una lámina de sulfato de cal perpendicularmente al rayo

polarizado, y haber dispuesto su eje en una posición conocida cualquiera, se hace girar el segundo vidrio de modo que su plano de reflexión pase por el eje de doble refracción de la lámina, se tendrá una imagen reflejada enteramente blanca: de aquí es preciso concluir que en la posición actual del segundo vidrio se reflejan tantas moléculas luminosas de una especie como de otra. Esta posición debe pues estar intermedia entre el eje de polarización primitiva y el eje de polarización nueva; luego este último eje está en tal dirección que hace con el eje de polarización primitiva un ángulo doble del que hace el eje de doble refracción de la lámina. Este resultado es general cualquiera que sea la posición del eje de la lámina respecto del plano del rayo polarizado que le atraviesa. Así, pues, sea *ab* (fig. 228 bis) la dirección del eje de polarización primitiva, y *ac* la del eje de doble refracción de la lámina; el eje de la nueva polarización será *cd* que hace con *ab* un ángulo *bad* doble de *bac*.

Relativamente á los colores, varían, como hemos indicado, según los espesores de las láminas; pero Biot ha hallado que las tintas son de todo punto iguales á las de los anillos coloreados de Newton, de que hablaremos en el capítulo siguiente: siendo la tinta reflejada por el vidrio siempre la de un anillo reflejado, y la tinta complementaria que penetra por el vidrio, la de un anillo transmitido. Además, para una misma sustancia los espesores de las láminas que producen los diversos colores, son proporcionales á los que han sido calculados por Newton en los fenómenos de sus anillos coloreados. Biot ha establecido estas leyes comparando cuida-

dosamente las tintas entre sí, y midiendo con la mayor exactitud posible los espesores de las láminas que las producian.

Para comparar facilmente las láminas entre sí, y con los anillos coloreados, ha ideado Biot un aparato muy sencillo. Dispone muchas láminas delgadas unas al lado de otras sobre un trapo negro y mate, y les hace reflejar la luz blanca de las nubes bajo un ángulo de cerca de  $35^{\circ}$ ; una porcion de la luz es reflejada y polarizada por la primera superficie, y otra por la segunda; esta porcion es la que al entrar de nuevo en la lámina experimenta la nueva modificacion. Se recibe la luz sobre un vidrio negro colocado de modo que las moléculas que han quedado polarizadas en el primer sentido sean absorvidas; para esto debe hacer este vidrio un ángulo de  $35^{\circ} 25'$  con el rayo reflejado, y ser presentado de tal modo á este rayo, que su plano de reflexion sea perpendicular al plano vertical de incidencia sobre la lámina delgada (597). Mirando entonces las láminas por reflexion en el vidrio negro, se las ve uniformemente coloreadas de tintas vivas que varian segun los espesores, y que se pueden facilmente comparar entre sí. Este experimento es muy agradable á la vista.

603. *Teoria deducida de estos fenómenos.*—Partiendo de estos últimos resultados es como ha sido conducido Biot á la idea de los movimientos oscilatorios de las particulas luminosas, apoyándose en las leyes descubiertas por Newton en el fenómeno de los anillos coloreados. Este sabio en la serie de sus experimentos halló que cada especie de luz simple que contribuye á producir el fenómeno de los anillos compuestos, es reflejada por

espesores periódicos que siguen la ley  $e... 3e... 5e... \&c.$  y refractada por los espesores intermedios  $2e, 4e, 6e, \&c.$ , siendo  $e$  un espesor variable para los diferentes colores simples. Pero ya que los espesores de las láminas polarizantes son proporcionales, para las diversas tintas compuestas que producen, á los espesores calculados por Newton en los fenómenos de los anillos, es pues preciso que cada especie de luz simple que contribuya á la tinta, esté sometida á las leyes periódicas que acabamos de mencionar. Asi es que en una misma sustancia desde *cero* hasta cierto espesor  $e'$ , las moléculas luminosas se conducen como sino hubiesen perdido su polarizacion primitiva: desde  $e'$  hasta  $2e'$  parece que han perdido dicha polarizacion para tomar otra nueva del otro lado del eje, segun dijimos antes; de  $2e'$  á  $3e'$  vuelven á su polarizacion primitiva,  $\&c.$  De este modo son polarizados ya en el sentido primitivo, ya en el nuevo, segun que los espesores que atraviesan corresponden á una trasmision ó á una reflexion; de suerte que el eje de polarizacion del hacecillo se halla trasportado alternativamente de un lado al otro del eje de la sustancia como por una especie de oscilacion.

604. *Modificacion de la polarizacion móvil al través de muchas láminas.* — Al examinar Biot las circunstancias que se verifican cuando la luz ha atravesado muchas láminas susceptibles de producir la polarizacion móvil, ha reconocido:

1.º Que empleando dos láminas, cuyas acciones son de igual naturaleza, ya atractivas ó ya repulsivas ambas, el rayo polarizado produce al atravesarlas colores que se halla son precisamente la suma de las tintas parciales cuando los ejes son pa-

rales ó la diferencia cuando se cruzan á ángulo recto.

2.º Que sirviéndose de dos placas, cuyas acciones sean diferentes, una atractiva y otra repulsiva, los fenómenos son inversos de los precedentes. Si los ejes son paralelos, el color que se obtiene es la diferencia de las tintas parciales; y si están cruzadas es su suma.

Resulta de aquí un medio de observar los fenómenos de polarizacion móvil al través de placas gruesas que no podrian producirlos de otro modo. Basta para obtener estos fenómenos modificar la luz polarizada que llegue á una placa de esta especie, por otra placa cuya accion total difiera poco de la que se quiere examinar, y disponerlas de modo que los ejes sean paralelos, si las acciones son contrarias; ó cruzados á ángulo recto si las acciones son de un mismo género.

El cruzamiento de los ejes es el medio mas sencillo para determinar si un cristal es atractivo ó repulsivo; no es menester mas que tallar una placa en facetas paralelas y esponerla perpendicularmente á un rayo polarizado, cruzarla con otra placa de una sustancia cuya accion sea conocida; y en fin analizar el hacecillo trasmitido con un prisma de espato de Islandia. Si se obtienen colores cruzando los ejes á ángulo recto, los dos cristales ejercen acciones de la misma naturaleza; si se obtienen disponiéndolos paralelamente las acciones son opuestas.

605. *Efectos de la inclinacion de las láminas sobre el rayo polarizado.* — Cuando las láminas en vez de ser perpendiculares al rayo polarizado están inclinadas á él de un modo cualquiera, se mani-

fiestan algunas variaciones que es fácil prever según la teoría. Si la placa se halla inclinada de tal modo que su eje no cese de ser perpendicular al rayo primitivo, no habrá más variación que la ocasionada por el aumento de camino que tienen que andar las moléculas luminosas, y las láminas obrarán lo mismo que si fuesen más espesas: los colores bajarán entonces según el orden de los anillos coloreados. Si la lámina está inclinada de modo que el eje se incline por sí mismo sobre el rayo polarizado, habrá dos efectos: el uno debido al aumento del camino, que procura hacer bajar los colores en el orden de anillos; y el otro debido á la inclinación del eje que, debilitando su fuerza, procura hacer subir los colores como si la lámina fuese más delgada. Estos dos efectos se contraponen, pero siempre puede más el segundo, de suerte que la lámina obra como si fuese más delgada. Cuando por la inclinación el eje ha llegado á estar en el mismo sentido del rayo, el efecto está en el *máximo* y no hay colores, es decir, que el rayo conserva por completo su polarización primitiva. Los efectos de la inclinación del eje que se manifiestan aún en las placas gruesas cuando se las ha hecho capaces de ellos por el cruzamiento de los ejes (604), se hacen visibles cualquiera que sea el modo de que esté tallado el cristal.

Estas observaciones suministran un medio pronto y fácil de reconocer la posición del eje en cualquier sustancia: basta presentar una placa de ella á un rayo polarizado colocando la sección principal de modo que haga un ángulo de  $45^\circ$  con el plano de polarización primitiva. Se inclina en seguida gradualmente en este sentido para llegar al

punto en que el rayo venga á atravesarla segun su eje, y entonces no se ve ningun color, pero asi poco antes como poco despues se ven siempre aparecer colores.

En cuanto á la posicion del corte principal se la descubrirá facilmente presentando la placa á un rayo polarizado y haciéndola girar sobre su plano de modo que se hallen dos posiciones rectangulares donde no se perturbe la polarizacion primitiva: una de estas direcciones, que se señalan con tinta, es la del corte principal, y no habrá ya mas que averiguar cual de ellas es por el procedimiento anterior.

606. *Acciones polarizantes secundarias.* — En el estudio de estos diversos fenómenos ha descubierto Biot efectos de otro género que modifican mas ó menos los primeros. Ha observado que la estructura laminosa del sulfato de cal (yeso) desarrolla fuerzas polarizantes independientes del eje de doble refraccion que se hacen mas y mas sensibles á medida que el rayo refractado se aproxima á ser paralelo á las hojas. En efecto, inclinando una lámina de esta sustancia en el sentido de su eje (lo que debilita la accion emanada de este eje y debería hacer subir los colores segun el orden de los anillos, como si la lámina se hiciese mas delgada), llega un cierto término en que los colores quedan por un momento estacionarios; despues del cual principian á bajar como si la lámina se hiciese mas espesa. Este efecto es debido á la influencia siempre creciente de la fuerza que se manifiesta en el sentido de las láminas.

607. *Polarizacion rotatoria.* — En el cristal de roca, que no es laminoso, se observa otra accion

que se hace especialmente sensible cuando el rayo refractado atraviesa el cristal paralelamente á su eje; es decir, en el caso en que toda polarizacion deberia cesar: se obtienen entonces imágenes coloreadas. Las imágenes no experimentan ninguna variacion ni de intensidad ni de color, aunque se haga girar la placa sobre un plano; pero varian segun el orden de los anillos cuando se hace girar de derecha á izquierda, ó vice-versa, el romboide con que se hace el analisis del rayo transmitido. Lo que hay de notable es que estas variaciones no se verifican en el mismo sentido en todos los cristales de la misma sustancia; unos presentan, cuando se hace girar el prisma de derecha á izquierda, las mismas variaciones que otros al hacerlas girar de izquierda á derecha. Biot ha reconocido en la serie de sus experimentos que el fenómeno se verifica como si las partículas luminosas tomasen un movimiento de rotacion al rededor del eje de derecha á izquierda en unas placas, y de izquierda á derecha en otras.

Estos experimentos indican ya con evidencia que las fuerzas polarizantes nuevas son independientes de la cristalización: pero después otros experimentos lo confirman todavía mas, pues los mismos efectos se observan en el aceite de trementina, en el aceite de limon, en la disolucion del alcanfor en alcohol, en la de azucar en agua, &c., &c.

608. *Polarizacion en los cuerpos incompletamente cristalizados.* — Si sucediese que en un cuerpo las moléculas cristalinas estuviesen dispuestas de tal modo entre sí que sus acciones polarizantes se destruyesen mutuamente, este cuerpo no produciría ningun efecto de polarizacion: esto sucede en

el agua y en otros líquidos. Pero parece que en la naturaleza no siempre sucede lo mismo: algunos cuerpos, aunque irregulares en su forma y con poca energía, producen los efectos de la polarización móvil; tales son las láminas delgadas de asta, de marfil, algunos pedazos de vidrio, &c.

Se concibe también que si en un cuerpo, cuyas moléculas están dispuestas de modo que forman un sistema neutro, se varía el modo de agregación por cualquier medio, se podrán producir efectos de polarización. Esto sucede precisamente con el vidrio, algunos cristales, las gelatinas animales, &c. en cuyos cuerpos se desarrollan los fenómenos de polarización móvil comprimiéndolos en algunas partes, ó haciéndolos desigualmente densos por un calentamiento considerable y un enfriamiento rápido y desigual. Al presentar estos cuerpos á un rayo polarizado, se observan sobre ellos figuras particulares que dependen de la forma exterior de la placa sometida al experimento, y de la manera con que se la comprime ó como ha sido enfriada, si es sólida.

609. *Polarización en la superficie de los metales pulimentados.* — Hemos visto que los metales pulimentados no polarizan toda la luz por reflexión como otros muchos cuerpos. Jamás recibe la polarización fija sino una porción más ó menos considerable de esta luz. El resto adquiere la polarización móvil produciéndose entonces colores como en la refracción por láminas delgadas.

Tales son los principales fenómenos de la polarización: sin duda la reseña que acabamos de presentar está muy lejos de ofrecer todo lo que ha sido hecho en este nuevo ramo de la óptica; pero es

facil de concebir que en una obra tan poco extensa como esta debemos limitarnos á los experimentos fundamentales: el que quiera mas detalles puede consultar los apreciables trabajos de Malus, Arago, Biot, Seebeck y Brewster, impresos en memorias particulares ó en diferentes diarios científicos.

---

---

## CAPÍTULO VIII.

### *Descomposicion de la luz blanca en rayos coloreados.*

Varios experimentos prueban que la luz blanca, ó mas bien sin color, que nos viene del sol, es un conjunto de moléculas simples de varios colores. La operacion en virtud de la cual se obtienen estas moléculas separadas entre sí, y reunidas en hacillos diversos de un solo color, ha sido llamada *dispersion*.

610. *Dispersion de la luz por medio de un prisma triangular de cristal. — Espectro solar.* — Si despues de introducir un rayo de luz en un aposenso oscuro, se le hace caer sobre un prisma diáfano, cuyo corte trasversal sea ABC (*fig. 230*); será desviado de su camino por efecto de las refracciones á la entrada y salida de dicho prisma, y se aproximará al ángulo A. Pero en vez de ir á formar despues de estas refracciones una imagen blanca circular, en un plano vertical puesto á alguna distancia, formará una imagen prolongada teñida de los mas vivos colores dispuestos en bandas trasversales. Esta imagen toma el nombre de *espectro solar*, y en ella se

distinguen siete colores principales dispuestos entre sí constantemente en el orden que sigue de un extremo á otro: *rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violado*. Cada una de estas bandas está terminada de un modo confuso, de suerte que no se puede determinar donde concluye el rojo, y principia el anaranjado; donde concluye éste, y principia el amarillo, &c.; pues en general hay una multitud de medias tintas particulares entre los siete colores principales. Se pueden obtener bandas mejor terminadas, haciendo caer los rayos sobre una lente antes de recibirlos sobre el prisma: entonces se obtiene una imagen larga y muy estrecha.

Estos fenómenos se reproducen del mismo modo con cualquiera otra luz, y tambien con todos los cuerpos diáfanos aunque no estén terminados por caras paleográficas. Asi es que vemos todos los dias ejemplos de ello cuando una luz cualquiera atraviesa los vasos que usamos, los tapones labrados de las botellas, los cristales de las arañas, &c.

611. *Consecuencias de este experimento.* — Se puede concluir del experimento que acabamos de hacer, y que ha sido variado de mil modos por Newton y todos los demas físicos, que la luz blanca es una reunion de moléculas de diversos colores que se separan unos de otros por la accion del prisma. La dilatacion de la imagen coloreada que se obtiene nos manifiesta que los rayos de diversos colores no siguen todos la misma ley de refraccion: hallándose el color rojo en la parte inferior de la imagen, segun la disposicion que representa el aparato, los rayos que le producen sufren una refraccion menor que la de los que producen el anaranjado; estos aun menor que los que producen el amarillo, &c., hasta

los que producen el violado, que sufren la refraccion mayor.

612. *Simplicidad de los diversos rayos.*—Se pueden hacer experimentos sobre cada color de los del espectro en particular. Para esto basta, despues de haber en algun modo rectificado la imagen, haciendo caer desde luego el rayo solar sobre una lente (610) abrir un agujerito en el cuadro sobre el cual se pinta el espectro. Entonces pasa por el agujerito un hacecillo de luz de cierto color, y aunque se le haga caer sobre un segundo ó tercero prisma, se ve que no se descompone ya, y no produce sobre el plano con que se intercepta mas que una imagen circular de un color uniforme.

Tambien se puede comprobar con este experimento la desigual refrangibilidad de los diversos rayos. Basta para esto hacer girar el prisma sobre su eje; entonces se harán caer sucesivamente sobre el agujerito del cuadro todos los rayos coloreados, y se verán las pequeñas imágenes circulares que se forman detras del segundo prisma pintarse sucesivamente á alturas diferentes, mayores para los rayos violados, menores para los rojos, é intermedias para los demas. Las imágenes subirán ó bajarán en el cuadro segun se haga girar el primer prisma en uno ú otro sentido.

613. *Grados diversos de reflexion de los rayos coloreados.*—La experiencia prueba que los diversos rayos no son igualmente reflejados: los que son mas refrangibles son tambien los mas reflejables; asi es que el violado se refleja mas que el rojo, y los otros colores se reflejan del mismo modo mas que los que les siguen en la serie del espectro. Esto se puede comprobar del modo siguiente. Déjese

caer un rayo de luz sobre un prisma ABC (*figura 230 bis*), cuyo ángulo A sea recto, se formará una imagen coloreada despues de la emergencia en E: ahora bien, si se hace girar el prisma de modo que la cara de emergencia BC se presente muy oblicua al rayo, llegará un momento en que el rayo sea reflejado en lo interior del prisma (545), lo que sucederá en el vidrio ordinario cuando el rayo incidente sea perpendicular al lado AC: cuando esta reflexion sea total, no habrá imagen. Pero se nota entonces que la reflexion es progresiva, pues la imagen coloreada que se pinta en I pierde desde luego los rayos violados, despues los rayos azules, y en fin, los rayos rojos que desaparecen los últimos. Al mismo tiempo se forma en M una imagen, en la cual aparecen primero los rayos violados, despues los de añil, &c., hasta llegar á los rojos que son los últimos que aparecen.

Este orden de reflejarse nos puede explicar hasta cierto punto el color azul del cielo; pues la atmósfera debe reflejar mas facilmente, y por consiguiente en mayor cantidad, los rayos violados y azulados, cuyo conjunto forma el azul de la boveda celeste. Por el mismo medio se puede explicar la tinta azulada que generalmente cubre á las montañas lejanas: esta tinta es sumamente notable en algunos casos: los pintores lo han observado perfectamente, y jamas dejan de apagar la viveza del colorido con una tinta azulada, cuando representan objetos lejanos.

El color del cielo y de las montañas, vistas de lejos, varían segun las circunstancias locales, la posicion del sol, y la pureza del aire.

614. *Variaciones de número é intensidad de*

*los colores del espectro segun las circunstancias.*— El espectro no presenta siempre los siete colores principales que acabamos de citar, porque la luz solar experimenta algunas alteraciones al atravesar la atmósfera. Estas alteraciones dependen de la pureza del aire, y del espesor de las capas que el rayo luminoso tiene que atravesar. Generalmente al medio dia, en los dias claros y hermosos cuando el disco del sol está limpio, el espectro es completo; pero por la madrugada y la tarde, ó en los dias nebulosos cuando el sol parece rojizo faltan los rayos de añil, y parte de los violados; cuando se presenta como de color de fuego, los rayos de añil, violeta y azul desaparecen; y en fin, cuando está rojo desaparecen tambien los verdes, y aun parte de los amarillos. Estos efectos son muy sensibles cuando el sol está en el horizonte, y es facil concebir que en efecto no llegan á nosotros sino los rayos menos refrangibles, pues los otros se lanzan en la parte superior de la atmosfera. Es tambien raro que la luz de una lámpara al refractarse en el prisma, produzca espectros completos: lo son tanto menos cuanto menos blanca es la luz.

615. *Recomposicion de los rayos coloreados en luz blanca.*—*Colores compuestos.*—El primer experimento (610) que hemos citado hace ver que la luz blanca está compuesta de partículas de diversos colores, en los cuales se descompone por la accion del prisma; pero se puede facilmente proceder en sentido inverso, y reproducir la luz blanca concentrando todos los rayos coloreados en un mismo punto. Esto se logra haciendo caer el hacesillo refractado sobre una lente; entonces se obtiene una imagen redonda y blanca cuando se coloca un

carton en el foco de la lente. Si se coloca este carton mas allá del foco se formará un espectro semejante al primero; pero cuyos colores estarán dispuestos en un orden inverso, lo que proviene de que los rayos se cruzan en el foco de la lente.

Tambien se puede en vez de reunir todos estos rayos por medio de una lente, no reunir sino algunos, lo que se hace poniendo una pantalla delante de los otros. Reuniendo asi algunos rayos con un vidrio biconvexo, no se obtiene ya la luz blanca sino tintas particulares compuestas, cuyas análogas se pueden hallar entre los colores limpios del espectro. Por ejemplo, reuniendo el amarillo y el azul se formará verde; el amarillo y rojo forman el anaranjado, el azul y el rojo forman el violado, &c. Pero estos colores artificiales se distinguen de los naturales por la facultad que tienen de descomponerse en sus partes constructivas, cuando se les hace atravesar de nuevo un prisma.

Reuniendo una parte de los colores del espectro, se obtiene un cierto color mixto; reuniendo tambien los restantes se obtiene un segundo color que es diferente; estos dos colores son llamados *complementarios*, porque si se les reúne á ambos por medio de un vidrio convexo, reproducen la luz blanca.

616. *Colores que se manifiestan al rededor de los objetos que se miran al través de un prisma.* — Acabamos de ver los efectos que se producen cuando la luz atraviesa un prisma: es claro que deben producirse efectos semejantes cuando se mira cualquier objeto al través de este prisma. Se ven entonces los objetos rodeados muchas veces de colores sumamente vivos, y cuando el objeto es bastante

grande se ve que no aparecen sino sobre las orillas mientras que todo el centro se halla blanco; este efecto procede de que los espectros se sobreponen; y como los colores extremos son complementarios unos de otros, se reunen y producen la luz blanca. Si el objeto que se mira es muy grande, como un lago, un rio, &c. las fajas coloreadas se presentan en forma de arcos, y producen una imagen bastante parecida á la del arco iris. Esta circunstancia nace de que los rayos que vienen de las partes mas lejanas caen mas oblicuos sobre el prisma, y sufren una refraccion mas fuerte.

617. *Dispersion de la luz por los vidrios convexos.*—Puesto que los diversos rayos coloreados que componen la luz blanca tienen diversos grados de refrangibilidad, es claro que, si un rayo de luz cae sobre una lente (*fig. 231*) se formarán tantas cáusticas como rayos coloreados diferentes hay: los rayos violados que son los mas refrangibles tendrán su foco en algun punto A, y los rayos rojos, que son los menos, le tendrán hácia B; los focos de los demas colores se formarán entre estos dos puntos. Resulta de aquí que las imágenes que se pintan en el foco de una lente deben estar rodeadas de diversos colores, que se llaman entonces *iris*. Es tambien evidente que los rayos que penetran por los bordes se dispersan mas que los que penetran por los puntos situados mas cerca del centro.

Cuando se mira un objeto al través de una lente de vidrio, las partes mas lejanas estan mas desfiguradas, como ya hemos dicho (574), y rodeadas sensiblemente de iris.

618. *Arco iris.*—El hermoso fenómeno del *arco iris* se explica completamente por la dispersion

de la luz, y las refracciones y reflexiones que sufre esta en las nubes iluminadas por la luz del sol. El arco iris se verifica siempre que el sol lanza sus rayos sobre una nube pronta á resolverse en lluvia, y el observador se halla colocado delante de la nube vuelto de espaldas al sol. Algunas veces no se ve mas que un solo arco; pero lo mas ordinario es verse dos; uno interior, cuyos colores son vivos, y otro exterior, cuyos colores son mas bajos: ambos á dos presentan los colores del prisma; es decir, el rojo, el anaranjado, amarillo, verde, añil, azul y violado. En el arco interior el rojo es el color mas elevado, en el exterior el violado. Algunas veces, pero muy raras, se perciben tres arcos, y la teoría indica que puede existir mayor número de ellos; pero sus colores son tan débiles que no se les puede percibir.

El arco iris es mas ó menos aparente, segun que la parte de cielo situada detras del parage en que se forma, esté mas ó menos oscura, haciendo asi resaltar mas ó menos los colores, y sirviendo de fondo al cuadro. Su posicion y magnitud depende de la altura del sol, de la posicion del observador, y de la figura del terreno rodeado por las nubes. En alta mar, y cuando el sol está elevado sobre el horizonte, es en donde se ven los mas hermosos iris. En las cascadas, cataratas y surtidores de agua algo voluminosos, y cuando se tiene el sol á la espalda, se notan frecuentemente fenómenos análogos.

Los colores del arco iris son el resultado de la descomposicion que la luz blanca experimenta al penetrar en cada uno de los glóbulos de agua que componen la nube. Cada rayo coloreado que proviene de esta descomposicion atraviesa el glóbulo, y

se refleja en parte en la superficie cóncava opuesta; le atraviesa entonces en un nuevo sentido, y se presenta al salir por otro punto del lado del observador. Allí una parte del rayo sale efectivamente, y la otra se refleja de nuevo, y vuelve al interior del glóbulo, &c. Se pueden así verificar una multitud de reflexiones sucesivas, en cada una de las cuales sale una porcion de luz, cuya intensidad es tanto mas débil quanto mayor ha sido el número de reflexiones. Estos rayos que salen así hácia el lado del observador, producen en sus órganos la sensacion de los colores.

Los rayos que salen del globo, despues de haber sufrido en él una ó muchas reflexiones, hacen cierto ángulo con su direccion primitiva. Este ángulo es constante para todos los rayos de la misma naturaleza que penetran el glóbulo bajo la misma incidencia, y sufren el mismo número de reflexiones; pero varía para aquellos cuya incidencia es diferente, ó cuyo número de reflexiones es mayor ó menor. El cálculo demuestra que en una serie de rayos paralelos de la misma naturaleza que caen sobre un glóbulo y no sufren mas que una reflexion en su interior, este ángulo aumenta sucesivamente desde el rayo normal para quien es nulo hasta un cierto límite, pasado el cual decrece hasta el rayo tangente á la esfera. Pero hácia este límite los rayos paralelos infinitamente próximos que entran en el glóbulo sufren desviaciones muy poco diferentes, y permanecen sensiblemente paralelos á su salida; de lo que resulta que un ojo colocado en la direccion de este hacesillo recibe una sensacion bastante viva de los colores mientras que no encontrando en los demas puntos sino rayos ais-

lados, la sensacion que experimenta no puede menos de ser sumamente debil. Estos rayos que salen asi del glóbulo, de modo que forman un hacecillo capaz de producir cierta impresion sensible, se han llamado *rayos eficaces*.

Lo mismo sucede para los rayos que sufren dos ó mas reflexiones en el interior del glóbulo: siempre hay cierto límite al rededor del cual muchos rayos paralelos infinitamente próximos salen del glóbulo, permaneciendo sensiblemente paralelos, y pueden producir en el ojo una sensacion marcada.

El límite que acabamos de indicar no es el mismo en todas las especies de rayos coloreados, sino que varía segun su refrangibilidad. En los rayos rojos, que son los menos refrangibles, se verifica cuando el rayo que sale despues de una sola reflexion, hace con el de incidencia un ángulo de  $42^{\circ} 2'$ : este ángulo es sucesivamente mas pequeño para los demas rayos coloreados hasta el violado, que es el mas refrangible, para el cual es de  $40^{\circ} 17'$ . Cuando el rayo emergente sufre dos reflexiones en el interior del glóbulo el límite se verifica en los rayos rojos en el ángulo  $50^{\circ} 55'$  y en los violados en el ángulo  $54^{\circ} 9'$ .

Véase ahora como se forman las fajas coloreadas del arco iris. El sol, considerado como un simple punto luminoso infinitamente lejano, envia á la nube un hacecillo de rayos de los cuales recibe algunos cada glóbulo de agua. Resulta, pues, que de cada uno de estos glóbulos salen rayos eficaces de los cuales unos ú otros llegan á los observadores en diferentes puntos; pero como el primer rayo coloreado que puede venir á uno de estos observa-

dores, despues de hacer una reflexion en el glóbulo, es el que hace el ángulo menor con su primitiva direccion, es consiguiente que el rayo violado que hace un ángulo de  $40^{\circ} 17'$  será el primero. Todos los glóbulos situados en el mismo círculo, cuyo centro está en el eje del hacecillo, producirán la misma sensacion y formarán por consiguiente la primera línea coloreada. Los rayos eficaces rojos que forman con su direccion primitiva un ángulo de  $42^{\circ} 2'$  producirán la última línea del primer arco, y entre estos dos extremos estarán los otros cinco colores principales del prisma segun el orden de su refrangibilidad. Tal es el modo como se forma el primer arco: su anchura es por consiguiente la diferencia entre  $40^{\circ} 17'$  y  $42^{\circ} 2'$ , y por consiguiente es de  $1^{\circ} 45'$ .

Mas allá de los rayos rojos el observador no recibirá sino rayos que hayan sufrido dos reflexiones, y cuya intensidad por consecuencia será mas debil. El primero será el rojo por que en este caso hace el menor ángulo, que es de  $50^{\circ} 57'$ : este es el principio del segundo arco que estará á una distancia del primero, medida por la diferencia entre  $42^{\circ} 2'$  y  $50^{\circ} 55'$  que es  $8^{\circ} 57'$ . La última línea de este segundo arco será el violado, cuyos rayos hacen con su direccion primitiva un ángulo de  $54^{\circ} 9'$ , y entre estos dos extremos se hallarán los otros colores. La anchura de este segundo arco será  $54^{\circ} 9' - 50^{\circ} 59' = 3^{\circ} 10'$ .

Se ve, pues, como se podrian producir nuevos arcos despues de tres, cuatro ó mas reflexiones; pero los colores serian aun mas débiles. En las circunstancias mas favorables no se ve mas que una parte del tercer arco.

Hemos supuesto el sol reducido á un punto luminoso, y desde luego si así fuese no tendríamos mas que una línea circular de cada color; pero como el sol tiene un diámetro visible, resulta que cada faja de los arcos tiene cierta anchura determinada por el diámetro aparente del sol.

Tambien hay *arcos iris* lunares los cuales se observan algunas veces durante la noche. Las tintas irisadas son apenas visibles, y siempre incompletas, y lo mas frecuente es no ver mas que un arco azulado.

619. *Prisma acromático.* — Se llama así un prisma que no produce los colores del espectro, y se deriva su nombre de *a privar*, y de *χρῶμα color*. Si se compone un prisma *abc* (fig. 232) de otros dos *acd* y *dcb* de la misma materia, y se le presenta á los rayos de luz se formará detras una imagen del espectro; pero sus colores serán menos distintos que lo serian si solo se hubiese empleado el prisma *acd* porque la luz ha sido algo recompuesta al pasar por el segundo prisma; lo seria totalmente si *bc* fuese paralelo á *ab*, porque entonces el segundo prisma tendría la misma facultad dispersiva que el primero, y se hallaría colocado en sentido inverso.

Si en vez de emplear para el prisma *dbc* una sustancia semejante á la de que se compone el prisma *adc*, se emplea otra sustancia, cuya facultad dispersiva sea mas fuerte, y tal, que todos los rayos dispersados al pasar por el primer prisma sean reunidos por el segundo, se tendrá un *prisma acromático*. Si al mismo tiempo la fuerza refringente del prisma *dbc* es la misma que la del prisma *adc*, la refraccion no se corregirá; pero si la fuerza re-

fringente de *dbc*, es al contrario mayor, la refraccion se corregirá un poco.

Si la facultad dispersiva y la fuerza refringente creciesen y disminuyesen en las diversas sustancias en la misma relacion, como creyó Newton en vista de algunos experimentos que luego se han hallado ser inexactos (\*), la refraccion se corregiria al mismo tiempo que la dispersion y el rayo emergente serian paralelos al rayo incidente (555).

En rigor es imposible formar un prisma enteramente acromático, porque la facultad dispersiva de un cuerpo no es la misma para todos los rayos coloreados; pero se pueden acromatizar dos colores, y ordinariamente se eligen los dos extremos tal como el rojo y el violado ó el azulado.

620. *Lentes acromáticas.* — En la hipótesi de Newton seria imposible acromatizar una lente; pues si se formasen dos, una convexa y otra cóncava, de modo que los rayos pudiesen salir sin color después de haberlas atravesado los rayos saldrian paralelos á su direccion primitiva y divergirian entonces como si partiesen del punto radiante; de consiguiente no podrian reunirse en un foco.

Por fortuna las ideas de Newton en este punto se han hallado inexactas: Dollond, sabio óptico ingles, reconoció que las fuerzas refringentes de las sustancias estaban lejos de sujetarse á la misma ley que sus facultades dispersivas, y de aquí resulta la posibilidad de hacer un lente acromático. Dollond descubrió entre los vidrios que se fabrican en

---

(\*) Se pasó mas de medio siglo antes que se pensase que estos experimentos podrían ser falsos. ¡Tan difícil es descubrir un error mezclado entre una multitud de verdades importantes!

Inglaterra dos especies, el *krown-glas* ó cristal de espejos, y el *flint-glas* análogo á nuestro cristal ordinario, que le presentaron los resultados mas satisfactorios.

La lente acromática se compone de un vidrio cóncavo de *flint-glas* y dos vidrios convexos de *krown-glas*. En el dia lo mas comun es no emplear sino dos vidrios; el uno en parte cóncavo de *flint-glas*, y en otro biconvexo de *krown-glas*. Estos vidrios tienen diferentes curvaturas y estan trabajados de modo que los rayos rojos y violados se puedan reunir en un punto despues de la refraccion. Los rayos intermedios se reúnen á ellos poco mas ó menos; pero se concibe la imposibilidad de reunirlos todos rigurosamente.

El rayo de luz EF (*fig. 233*) que cae sobre la lente, pasa sin experimentar alteraciones; pero el rayo HG sufrirá una dispersion: el rayo violado que es el mas refrangible sigue una recta tal como HI, y el rayo rojo sigue la recta HK. El vidrio cóncavo de *flint-glas* separa estos rayos del eje EF. El rojo toma la direccion KL y el violado la direccion IN á causa de la fuerza refrangible; al pasar al aire el rayo rojo toma la direccion LF y el violado la direccion NF, reuniéndose ambos en el punto F.

621. *Descomposicion de la luz por láminas delgadas.*—Las láminas delgadas de diversas sustancias, sin exceptuar las de fluidos aeriformes tienen la propiedad de descomponer la luz que cae sobre su superficie. Esto se ve facilmente en láminas delgadas de *mica*, llamada vulgarmenté vidrio de Moscovia, que segun su grado de tenuidad presentan por reflexion tal ó tal color, y por refraccion

el color complementario. Estos colores jamas son simples como los del prisma. Los que se obtienen mas frecuentemente al partir con prontitud una lámina de mica, son el verde mar y el rojo de púrpura por reflexion: algunas veces se obtiene tambien el amarillo rojizo y el añil; pero esto es sumamente raro. Efectos análogos se verifican en las bolas de agua de jabon, las cuales reflejan diversos colores segun este grado de tenuidad que se les ha podido dar. Una gota de aceite proyectada en una masa de agua produce tambien fenómenos semejantes aplanándose sobre la superficie líquida.

*Anillos coloreados de Newton.*—En ninguna parte se verifica la produccion de estos colores de un modo mas completo y mas fecundo en consecuencias que en el fenómeno de los anillos coloreados, que suministró una tan bella teoría al ilustre Newton. Si se aprietan fuertemente una contra otra dos placas de una materia cualquiera, con tal que una de ellas á lo menos sea trasparente, se ven al momento desarrollarse al rededor del punto de contacto inmediato, una serie de colores dispuestos en anillos. Este efecto procede de la pequeña capa de aire interpuesta entre las láminas, cuyo espesor va disminuyendo sucesivamente hasta el punto de contacto.

Efectos análogos se presentan á menudo en las sustancias vítreas ó pedregosas, ya naturales, ya artificiales. Son el resultado de las grietas que se hallan en la sustancia, cuyo intervalo está ocupado por un fluido mas ó menos enrarecido. Se notan sobre todo en las sustancias laminosas y se pueden producir con la mayor facilidad, en el sulfato de cal, ya sea por un choque ligero dado para-

lamente á las láminas, ó ya levantando estas ligeramente con un cuchillo. Las sustancias que presentan estos reflejos accidentales, reciben el nombre de *irisadas*.

Tales son en general los casos en que estos fenómenos se presentan, pero para estudiarlos mas detenidamente se valió Newton de un vidrio biconvexo de igual convexidad en ambas superficies, y de una curvatura muy corta cuyo radio habia determinado de antemano; le aplicó sobre un vidrio perfectamente plano. Por este medio los anillos coloreados son perfectamente regulares, y midiendo exactamente su diámetro, puede calcularse el espesor de la lámina de aire correspondiente á cada uno de ellos, pues se demuestra que el intervalo entre un plano y una esfera que se tocan crece como el cuadrado de las distancias al punto de contacto. Procediendo de este modo se puede observar con precision el orden y la serie de los colores de que estan compuestos los anillos circulares. Partiendo del centro se halla:

- 1.<sup>a</sup> SERIE. *Negro, azul, blanco, amarillo, rojo.*
- 2.<sup>a</sup> SERIE. *Violado, azul, verde, amarillo, rojo.*
- 3.<sup>a</sup> SERIE. *Púrpura, azul, verde, amarillo, rojo.*
- 4.<sup>a</sup> SERIE. *Verde, rojo.*

Estos son los colores producidos por la reflexion, pero la luz que se trasmite á través del aparato produce tambien anillos coloreados, como puede verlo cualquiera mirando los matices al través de ambos vidrios. Estos colores son mucho mas débiles que los primeros, y sus complementarios. Se observa el orden siguiente partiendo del centro.

- 1.<sup>a</sup> SERIE. *Blanco, rojo, amarillento, negro, violado, azul.*

2.<sup>a</sup> SERIE. *Blanco, amarillo, rojo, violado, azul.*

3.<sup>a</sup> SERIE. *Verde, amarillo, rojo, verde azulado.*

4.<sup>a</sup> SERIE. *Rojo, verde azulado.*

Newton midió los diámetros de los anillos, tanto en la parte mas brillante de sus órbitas, como en la mas oscura; y formando los cuadrados de estos diámetros para tener la relacion de los espesores, halló que en las partes mas brillantes estos espesores seguian la progresion 1, 3, 5, 7, 9, &c. mientras que en las partes mas oscuras, de las cuales la primera correspondia al centro, seguian la progresion 0, 2, 4, 6, 8, &c.

Newton observó, sustituyendo el agua al aire en el intervalo de los dos vidrios, que los diámetros de los anillos, y por consiguiente los espesores, seguian entre si las mismas relaciones que cuando el intervalo estaba ocupado por el aire; pero estos diámetros eran mas pequeños en la relacion de 7 á 8, de donde resultaba que las láminas de agua eran mas delgadas que las que correspondian á los anillos formados en el aire en razon de 49: 64; ó poco mas ó menos de 3: 4 que es precisamente la relacion del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refraccion cuando la luz pasa del agua al aire. Newton, despues de varios experimentos, concluyó que se podia considerar en general que los espesores comparativos de dos sustancias que reflejan el mismo color, tienen entre sí la misma relacion que los poderes refringentes.

En general todas las observaciones de Newton hacen ver evidentemente que el orden de los anillos y la naturaleza de sus colores siguen las mismas leyes en todos los cuerpos, y que no hay dife-

rencia sino en el valor absoluto de los espesores en que se forman.

Los fenómenos que acabamos de indicar están complicados con la desigual refrangibilidad de los rayos coloreados que componen la luz blanca que cae sobre los vidrios. Newton, para llevar este punto á la mayor sencillez, concibió la idea de observar los anillos formados por la luz simple. Para este efecto hizo caer sucesivamente cada rayo coloreado simple sobre un papel que le reflejase por todas partes, y delante del cual colocó el aparato para observar los anillos. En este caso, cada rayo simple no produce mas que anillos de su propio color: estos anillos, cuyo centro es oscuro, están separados unos de otros por intervalos oscuros que les hacen parecer mas vivos. Cada anillo luminoso ocupa cierto espacio circular, en el cual la intensidad de la luz va degradándose por uno y otro lado al infinito. Los diámetros de los anillos medidos en las partes mas brillantes son tales en cada especie de color, que sus cuadrados, y por consiguiente los espesores sucesivos en las láminas de aire siguen la progresion 1, 3, 5, 7, &c.; pero la magnitud absoluta no es la misma para los diversos colores: disminuye sucesivamente desde el extremo rojo hasta el violado que produce los anillos menores.

Los intervalos oscuros que separan los ángulos reflejados forman á su vez anillos luminosos cuando se les observa por refraccion, y entre ellos hay tambien intervalos mas sombríos que corresponden á los anillos luminosos reflejados. Los cuadrados de sus diámetros siguen la progresion de los números 2, 4, 6, &c. Newton, en vista de estos experimentos, y tomando cada color en particular midió

los diámetros de los anillos del mismo género en la parte exterior y en la interior de su perimetro. Despues formando los cuadrados de estos diámetros, dedujo el espesor de las láminas de aire en el principio y fin de cada anillo, espesor que iba disminuyendo desde el color rojo al violado. Midió tambien los anillos de los diferentes órdenes formados por un mismo color, y dedujo igualmente el espesor de la lámina de aire al principio y fin de cada uno de ellos: halló que los intervalos de espesores en que se obraba la reflexion eran sensiblemente iguales á aquellos en que se obraba la refraccion; de suerte que, llamando  $e$  al espesor del aire, al principio del primer anillo luminoso para un rayo simple cualquiera, concluia este anillo en un espesor  $3e$ . Despues venia un anillo oscuro que principiaba en  $3e$ , y concluia en  $5e$ ; despues un nuevo anillo luminoso hasta  $7e$ , &c. Asi, pues, cualquiera que fuese el color simple empleado, cada anillo ocupaba un intervalo de espesor representado por  $2e$ . Este espesor varia segun las diversas luces, y segun la naturaleza de las láminas que reflejan ó refractan los colores.



## TABLA DE LOS ANILLOS COLOREADOS.

Espesor de las láminas en milímetros  
ésimas de pulgada.

### COLORES REFLEJADOS.

Designación de los colores.

De aire      De agua      De vidrio

Muy negro. . . . .	$\frac{1}{2}$	1	1	$\frac{10}{12}$
Negro. . . . .	1	1	1	$\frac{17}{13}$
Principio del negro. . . . .	2	1	3	$\frac{27}{13}$
Azul. . . . .	5	3	4	$\frac{28}{13}$
Blanco. . . . .	7	5	4	$\frac{29}{13}$
Amarillo. . . . .	8	6	5	$\frac{30}{13}$
Anaranjado. . . . .	9	6	5	$\frac{31}{13}$
Rojo. . . . .				

#### PRIMER ORDEN.

Azul celeste claro.  
Platado.  
Color de paja.  
Corteza de naranja seca.  
Geranio rojizo.

Violado. . . . .	$\frac{1}{2}$	8	7	$\frac{1}{2}$
Añil. . . . .	12	9	8	$\frac{21}{11}$
Azul. . . . .	14	10	9	$\frac{22}{11}$
Amarillo. . . . .	16	12	10	$\frac{23}{11}$
Anaranjado. . . . .	17	13	11	$\frac{24}{11}$
Rojo brillante. . . . .	18	13	11	$\frac{25}{11}$
Rojo de punzó. . . . .	19	14	12	$\frac{26}{11}$

#### SEGUNDO ORDEN.

Vapores de iodo.  
Añil.  
Azul de cobalto.  
Limón.  
Naranja fresca.  
Clavel de mayo muy vivo.  
Rojo sanguíneo.

Púrpura. . . . .	21	15	13	$\frac{17}{14}$
Añil. . . . .	22	16	14	$\frac{18}{14}$
Azul. . . . .	23	17	15	$\frac{19}{14}$
Verde. . . . .	25	18	16	$\frac{20}{14}$
Amarillo. . . . .	27	20	17	$\frac{21}{14}$
Rojo. . . . .	29	21	18	$\frac{22}{14}$
Rojo azulado. . . . .	32	24	20	$\frac{23}{14}$

#### TERCER ORDEN.

Flor de lino.  
Añil.  
Azul de Prusia.  
Verde prado vivo.  
Amarillo de madera.  
Color de rosa.  
Rojo de púrpura subido.

Verde azulado. . . . .	34	25	22	$\frac{24}{14}$
Verde. . . . .	35	26	22	$\frac{25}{14}$
Verde amarillento. . . . .	36	27	23	$\frac{26}{14}$
Rojo. . . . .	40	30	26	$\frac{27}{14}$

#### CUARTO ORDEN.

Verde esmeralda.  
Rosa seca.

Azul verdoso. . . . .	46	34	29	$\frac{28}{14}$
Rojo. . . . .	52	39	34	$\frac{29}{14}$

#### QUINTO ORDEN.

Verdemar.  
Rosa seca.

Azul verdoso. . . . .	58	44	38	$\frac{30}{14}$
Rojo. . . . .	65	48	42	$\frac{31}{14}$

#### SEXTO ORDEN.

Verdemar claro.  
Rosa claro.

Azul verdoso. . . . .	71	53	45	$\frac{32}{14}$
Blanco rojizo. . . . .	77	57	49	$\frac{33}{14}$

#### SÉPTIMO ORDEN.

Tinte muy pálido.

Conociendo Newton las diversas leyes del fenómeno, examinó nuevamente los anillos formados por la luz natural. Es claro que los diferentes rayos simples de esta luz al caer sobre una lámina de espesor variable, como la lámina comprendida entre los dos vidrios, formarán cada uno de ellos anillos de su color, según las leyes que le son propias; pero todos estos anillos, cuya anchura es variable según el orden de refrangibilidad caerán unos sobre otros, se mezclarán también en diferentes proporciones que son fáciles de calcular, y producirán una multitud de colores compuestos como manifiesta la experiencia. Newton calculó todas estas mezclas con suma exactitud, y logró señalar con precisión los espesores en que deben aparecer más marcadamente los colores de cada anillo; en virtud de esto ha formado la tabla precedente para los siete órdenes de anillos, cuyo colorido es sensible.

Esta tabla calculada directamente para las láminas de aire, se ha hecho extensiva á la de agua y vidrio con solo la observacion de que los espesores que dan el mismo color en los diferentes cuerpos estan en las relaciones recíprocas de sus refracciones. Así es que también se puede hacer extensiva á cualquiera otra sustancia, cuya refraccion sea conocida. Se ha añadido aqui la designacion de cada color, comparándole con el de una sustancia natural.

622. *Acceso de facil reflexion, y de facil transmision.* — Habiendo reconocido Newton en los experimentos precedentes que los diferentes rayos se reflejaban en los espesores  $e$ ,  $3e$ ,  $5e$ ,  $7e$ , &c., y se transmitian al contrario en los espesores  $o$ ,  $2e$ ,  $4e$ ,  $6e$ , &c. consideró estas leyes como el resultado de una dis-

posicion particular de las moléculas luminosas que designó con los nombres de acceso de facil reflexion, y acceso de facil trasmision. Se halla un rayo en el acceso de facil reflexion cuando cae sobre una lámina cualquiera, cuyo espesor es uno de los términos de la serie 1, 3, 5, 7, 9, &c., siendo 1 el primer espesor que es susceptible de reflejarle: al contrario, está en un acceso de facil trasmision cuando el espesor de la misma lámina es uno de los términos de la serie 2, 4, 6, &c.

Por esta propiedad tan sencilla, que no es mas que un modo particular de enunciar el fenómeno, y con solo hacerla extensiva á espesores infinitos, ha logrado Newton reunir bajo el mismo punto de vista los colores producidos por las láminas delgadas, y una multitud de fenómenos análogos producidos por reflexion en láminas gruesas; y en fin, los colores propios de todos los cuerpos.

623. *Difraccion de la luz.*— Ya hemos hecho notar la aureola luminosa (542) que rodea la sombra de los cuerpos opacos. Este efecto no es mas que un caso particular del fenómeno completo, que resulta de no poderse reconocer todos los detalles del experimento por estar hecho en pleno dia. Para observar bien este fenómeno es preciso introducir un rayo solar en un aposento oscuro, y colocar en su direccion un cuerpo opaco muy estrecho, recibiendo la sombra sobre un carton blanco. Se ven entonces de una y otra parte de esta sombra muchas fajas coloreadas alternando con otras oscuras. El interior mismo de la sombra no es completamente negro, pues se observan tambien fajas alternativas luminosas y oscuras paralelas á los bordes del cuerpo. Tal es el fenómeno completo al

cual se conoce bajo el nombre de *difraccion*.

En vez de introducir luz blanca se puede hacer el experimento con un rayo cualquiera de luz coloreada, y no se observan entonces mas que fajas del mismo color, separadas por intervalos negros, lo que presenta una analogía extraordinaria con las intermisiones periódicas de los anillos coloreados.

No es tampoco necesario recibir los rayos sobre un plano para observar las fajas coloreadas; se forman en el espacio, y se pueden notar, ya sea á simple vista, ya sea con un vidrio de aumento colocado exactamente en su direccion. Por este medio se han llegado á determinar exactamente todas las particularidades del fenómeno que hace mucho tiempo es conocido; pero que no ha sido estudiado hasta estos últimos años.

Todos los fenómenos de la difraccion concuerdan en demostrar que los rayos luminosos que pasan cerca de los cuerpos, no solamente son desviados de su direccion en la superficie de dichos cuerpos, sino tambien á alguna distancia de la misma bastante notable.

La naturaleza y la forma del cuerpo opaco interpuesto en el paso de los rayos, no tiene ninguna influencia sobre este fenómeno.

El ángulo de desviacion del rayo varía considerablemente segun la distancia del cuerpo luminoso al cuerpo opaco que le desvia. Cada rayo parece tanto menos desviado quanto de mas lejos viene.

Siendo fijo el foco luminoso se hallan para cada faja ángulos de desviacion diferentes, segun que se mira mas ó menos lejos del cuerpo opaco. Resulta

de aqui que las posiciones sucesivas de una misma faja no estan en linea recta, y por medidas exactas se ha llegado á averiguar que las curvas que juntan estas dos diferentes posiciones son hipérbolas, que tienen por focos comunes al punto radiante, y al borde del cuerpo opaco.

Las fajas que alumbran el interior de la sombra son producidas por el encuentro de los rayos que vienen de dos lados del cuerpo. En efecto, por una parte si se interceptan los rayos que vienen por uno de los lados, estas fajas desaparecen al instante; y por otra, si se hacen concurrir dos hacecillos de luz por un medio cualquiera, su encuentro dará origen á una serie de fajas oscuras y brillantes semejantes á las anteriores.

No entraremos aqui en la teoría de estos fenómenos que nos conduciría demasiado lejos, contentándonos únicamente con decir que hasta ahora no pueden explicarse bien, sino en la teoría de las vibraciones. (*Véase la memoria de Fresnel, Anales de Química y Física, tom. XI.*)

## CAPÍTULO IX.

### *De la opacidad y colorido de los cuerpos.*

624. *Circunstancias de que pende la opacidad.*— La opacidad procede muchas veces del espesor del cuerpo interpuesto entre el ojo y los rayos luminosos. Hemos visto que el vidrio en cierto grueso podría ocultarnos absolutamente la luz procedente de un cuerpo luminoso. Lo mismo sucede con los líquidos, y sobre todo con los que estan coloreados.

Los metales interceptan la luz con un espesor muy pequeño; pero la mayor parte son traslucientes cuando estan reducidos á hojas sumamente delgadas, y aun llegan á presentar los colores por refraccion como se ve facilmente en los vasos de vidrio dorados.

La opacidad depende muchas veces tambien de la disposicion de las moléculas del cuerpo. Asi es que las sustancias minerales fibrosas, ya sean de fibras longitudinales, ya de fibras tortuosas, son casi siempre las mas opacas.

La opacidad puede proceder tambien de que un cuerpo este compuesto de partículas heterogéneas que, teniendo diferente densidad, hagan sufrir á la luz reflexiones y refracciones en todos sentidos. En efecto, si se echa agua en un tubo de vidrio y se le echa por encima aceite de trementina, estos dos liquidos quedan separados por sus diferentes densidades y ambos conservan su transparencia; pero si se agita el tubo, los dos licores se mezclan y no forman mas que un todo compuesto de partículas de diferentes densidades, que es blanco y opaco, ó ligeramente trasluciente.

Existe una sustancia mineral (la hidrófana) que es opaca cuando está seca, y se hace trasparente despues de un tiempo mas ó menos considerable de estar en agua, y entonces se desprende una multitud de burbujitas de aire. Es, pues, evidente que la opacidad debe ser debida á la interposicion del aire entre las moléculas de la sustancia, y que la trasparencia adquirida es debida á que la densidad del agua se aproxima mas á la de las moléculas propias de la piedra que la del aire.

Si el vidrio molido es blanco, nace de que el aire está interpuesto entre las partículas de su ma-

teria. Si se echa agua en este polvo, se verá que vuelve á tomar su transparencia. El agua batida por su caída ó por el choque que experimenta por cualquier obstáculo como en las presas, cataratas, surtidores, &c. debe su blancura á la interposicion del aire entre sus partículas.

La opacidad tambien puede resultar de que toda la luz que cae sobre un cuerpo sea reflejada por su superficie, ó porque sea absorvida por este cuerpo. Es evidente que si la luz es reflejada enteramente por la superficie de un cuerpo, este cuerpo parecerá blanco por reflexion, y opaco y negro por refraccion: al contrario, si la luz es enteramente refractada por un cuerpo, este parecerá negro por reflexion, y limpio y blanco por refraccion, á no ser que su espesor sea sumamente considerable, ó que este cuerpo tenga la propiedad de absorber la luz por una especie de accion química.

Hemos visto (600) un caso de opacidad muy notable en el cruzamiento de dos láminas de turmalina, pues la luz polarizada en un sentido por una de las placas, no podia atravesar de ningun modo á la otra en la posicion en que se hallaba.

625. *El colorido de los cuerpos presenta diversas circunstancias particulares.* — 1.º Hay cuerpos cuyo color visto por refraccion es complementario del que se observa por reflexion: tales son las láminas delgadas de mica, aire, agua, &c.

2.º En ciertos cuerpos los colores vistos por reflexion y por refraccion no son exactamente complementarios: esto se verifica en la infusion acuosa ó alcohólica de diferentes sustancias.

3.º Hay cuerpos que presentan sensiblemente el mismo color por reflexion y por refraccion. Es-

to se ve en las hojas de los vegetales y en los tejidos finos. Si las telas son bastante espesas para reducir á cero la intensidad de la luz que las atraviesa, entonces no parecen coloreadas sino por reflexion: esto es lo que sucede con los paños.

4.º Un gran número de cuerpos son coloreados por reflexion solamente, y opacos por refraccion; tales son un gran número de minerales, los colores que se emplean en pintura, &c., &c.

5.º Ultimamente, un gran número de cuerpos son coloreados por refraccion y negros por reflexion: tal es el caso de un gran número de cuerpos líquidos ó sólidos que no parecen coloreados por reflexion, sino porque la luz trasmitada se halla reflejada en alguna parte de su interior y forzada á atravesarlos de nuevo. El vino, por ejemplo, derramado en una taza blanca nos parece de un bello color rojo, porque la luz refractada se refleja sobre las paredes de la misma taza, pero si se echa en una taza negra nos parecerá pardo ó negro, porque la luz refractada queda absorvida por el vaso.

En muchos cuerpos sólidos la limpieza y color se nos manifiesta por reflexion, porque la luz se halla reflejada por las caras que los terminan, pero si se cubren estas caras con una materia negra que puede absorber la luz, estos cuerpos nos parecen negros. Se hace aparecer por reflexion el color de las piedras finas y de los vidrios transparentes coloreados con mayor intensidad poniendo detras una hojilla metálica reflectante. Este color por refraccion, que el arte muda aquí en color por reflexion, se produce en muchas circunstancias, ya sea por colores transparentes que se extienden en el papel, ó en los cuales se sumergen telas blancas para te-

ñirlas, ó ya sea por líquidos coloreados que se precipitan por la alúmina para formar las pastillas que sirven para pintar.

626. *Explicacion del colorido de los cuerpos.*— Newton ha explicado los fenómenos del colorido de los cuerpos por la propiedad de las moléculas coloreadas de la luz de poder ser reflejadas ó refractadas en espesores diferentes, es decir, por el acceso de facil reflexion ó de facil refraccion (622). Concibe todos los cuerpos compuestos de partículas infinitamente pequeñas distantes entre sí ciertos intervalos, y que por su densidad ó por su naturaleza refractan la luz mucho mas considerablemente que la materia que está entre ellas, cualquiera que sea. Cuando la luz cae sobre un cuerpo, puede suceder que algunos rayos pasen por entre las partículas materiales sin atravesar ninguna, saliendo entonces del cuerpo sin alteracion; pero otros rayos atraviesan las partículas mismas y pueden entonces sufrir descomposiciones que dependen del espesor de estas partículas. Si este espesor es bastante fuerte para que las porciones de luz reflejada en cada molécula se componga de suficiente número de rayos de todas especies, el cuerpo parecerá blanco por reflexion lo mismo que por refraccion. Si el espesor es tal que no haya rayos reflejados sino de tal ó cual especie, el cuerpo será coloreado.

Esta hipótesi se adapta perfectamente á todos los cuerpos que presentan un color por reflexion y su complementario por refraccion, de lo que existen un gran número de ejemplos. Explica tambien completamente los colores variables de ciertos cuerpos, como el nacarado de las perlas, el tornasolado de las plumas de ciertos pájaros, &c. segun se

les mira con tal ó cual grado de oblicuidad, pues entonces los espesores de estas moléculas, por entre los cuales se ven estos cuerpos, varían al mismo tiempo.

Pero para explicar el colorido en los casos 2.<sup>o</sup>, 3.<sup>o</sup>, 4.<sup>o</sup> y 5.<sup>o</sup> que hemos citado es preciso añadir otra hipotesi que no es mas que la expresion misma de los hechos. Es, pues, preciso admitir que algunos rayos coloreados pueden ser absorvidos por el cuerpo como por efecto de cierta accion química. Entonces se concibe facilmente por qué el color que se ve por refraccion no es exactamente complementario del que se ve por reflexion. Tambien se ve en este caso la absorcion sucesiva de los diferentes rayos coloreados, á medida que el cuerpo átravesado por la luz adquiere mas espesor; concluyendo por ser absolutamente opaco. Esto es lo que puede verse por ejemplo en las infusiones de abedul ó de hipericon en vino de Champaña: los colores refractados son diferentes, segun se miran por debajo ó por encima del vaso, siendo diferentes los espesores del líquido que atraviesa la luz. Ciertos cuerpos, tales como los metales y muchos minerales, no necesitan por su naturaleza mas que un corto espesor para absorver enteramente la luz que procura atravesarlos.

Se puede concebir tambien muy facilmente por qué ciertos cuerpos presentan sensiblemente el mismo color por reflexion que por refraccion; esto nace de que en la trasmision absorve el cuerpo los rayos mas opuestos á la formacion del color análogo al reflejado.

627. *Colores accidentales.* — Se llaman asi los colores cuya idea puede nacer ó conservarse sin

la presencia del objeto que los excita. Si se mira fijamente y por algun tiempo un cuadradito de papel de cierto color sobre fondo blanco, se ve en seguida, dirigiendo la vista hácia un papel blanco, un cuadradillo del mismo tamaño que se halla teñido del color complementario. Asi es que un cuadradillo de papel azul produce el rojo accidental; el verde produce el purpúreo, &c. Si se mira una pequeña banda de papel blanco sobre un fondo de color, y se dirige despues la vista hácia un papel blanco, se obtiene la sensacion de una banda coloreada poco mas ó menos como el fondo.

Si se coloca entre el ojo y la luz un pedazo de papel coloreado, y por encima del lado del ojo una banda muy estrecha de papel blanco, esta banda aparece al instante del color complementario del fondo: su color es poco intenso, pero sin embargo muy claro; sobre todo si se agita esta fajita con rapidéz.

Los mismos experimentos se verifican en el caso en que la fajita de papel tiene un color determinado pero diferente del fondo. Asi, pues, una fajita de papel verde sobre fondo amarillo parece azul; una fajilla de papel morado sobre fondo azul parece roja, &c.

Se ve aqui que el color accidental depende del de la fajilla, que es una mezcla de otros muchos, entre los cuales esta el del fondo: pero se halla como absorbido apareciendo únicamente los demas. No se verificaria lo mismo si los colores que se colocasen uno sobre otro fuesen simples.

Laplace ha atribuido estos fenómenos á una disposicion particular del ojo en virtud de la cual los rayos que se hallan en la luz de la fajilla, aná-

logos á los del fondo, se hallan, digámoslo así, como atraídos por estos que han hecho una fuerte impresion en dicho órgano: por esta razon puede ser visible el color producido por la reunion de los demas rayos.

---

---

## CAPÍTULO X.

### *Instrumentos ópticos.*

628. En general se llaman *instrumentos ópticos* los que exigen la presencia de la luz para obrar. Se llaman *dióptricos* los que no contienen sino vidrios; y *catadióptricos* los que contienen vidrios y espejos. El vidrio ó espejo que está dispuesto hácia el objeto que se quiere examinar se llama *objetivo*; el que lo está hácia el ojo recibe el nombre de *ocular*.

La perfeccion de estos instrumentos depende de la de los vidrios y espejos que se emplean y de la disposicion exacta de sus ejes en una misma línea recta. Los diferentes vidrios deben estar colocados unos detras de otros á distancias exactamente calculadas relativamente á sus focos. Hasta el mismo ojo debe tener su lugar determinado. El ocular está generalmente encerrado en un tubo, y se puede variar su distancia al objetivo segun exija la vista del observador. Todas estas circunstancias se determinan matemáticamente; pero examinaremos solamente los efectos físicos que resultan de las propiedades de los vidrios y espejos empleados.

Los principales obstáculos que se presentan en la construccion de los instrumentos ópticos dimanán

de la aberracion de esféricidad y de la aberracion de refrangibilidad. El primer obstáculo se remedia 1.º dando poca abertura á la superficie del objetivo: 2.º poniendo en el punto del foco un diafragma plano y opaco, atravesado por un agujerillo que no deja pasar mas que los rayos útiles: 3.º pintando de negro el interior de los tubos para absorver los rayos que vienen de objetos muy separados del eje.

En cuanto á la aberracion de refrangibilidad ya hemos visto (618), como se compone el objetivo acromático.

629. *Microscopio.* — *El microscopio simple* no es mas que una lente convexa que toma el nombre de vidrio de aumento (557).

*El microscopio compuesto* es una reunion de muchos vidrios convexos. El objetivo es una lente muy pequeña, y de un foco sumamente corto; tiene uno ó muchos oculares. El microscopio de tres vidrios (*fig. 234*) es el mas usado. *Los microscopios de Delbarre* imaginados por Euler tienen cinco oculares, y son superiores á todos los demas.

Para servirse del microscopio, se coloca el objeto AB (*fig. 234*) á corta distancia del objetivo; salen de él rayos que irian á pintar una imagen en A'B'; pero como la lente EF disminuye la divergencia de estos rayos, resulta que la imagen viene á pintarse en A''B''. Esta imagen forma allí el objeto inmediato de la vision; el ojo la ve al través de la lente GH, y por consiguiente en A'''B''' muy amplificada.

Los microscopios solo se conocen desde al año 1620. Han servido y sirven para hacer grandes progresos en la historia natural, mostrándonos órganos, y aun animales que sin su auxilio hubieran siempre

escapado á nuestras indagaciones por su extrema-  
da pequeñez.

630. *Telescopios.* — La invencion de los teles-  
copios fue en 1590; se atribuyé á Zacarías Jansen,  
anteojero de Middelburgo, que la debió á la casua-  
lidad. Despues fueron perfeccionados por Galileo y  
Simon Mario, que construyeron los primeros teles-  
copios para observaciones astronómicas. *El antejojo  
astronómico (fig. 235)* fue inventado por Klepe-  
ro: se compone de dos vidrios convexos, uno objeti-  
vo, y otro ocular, cuyos focos concurren al mis-  
mo punto. El ocular tiene mayor convexidad que  
el objetivo.

Cuando se mira un objeto muy distante, v. gr.  
un astro, los rayos que parten de él son sensible-  
mente paralelos. Sea el objeto AB (*fig. 225*): se  
pintará en el foco de rayos paralelos una imagen  
invertida A'B': el ojo verá esta imagen al través de  
la segunda lente; y por consiguiente aumentada. Se  
prueba por el cálculo que la magnitud de la ima-  
gen es á la magnitud real del objeto, como la dis-  
tancia focal del objetivo es á la del ocular. De aqui  
se sigue que empleando oculares de un foco muy  
corto, se ganaria mucho en las dimensiones del ob-  
jeto; pero tambien se perderia en su claridad.

*El antejojo terrestre ó de larga vista (fig. 236)*  
fue inventado por Rheite. Tiene dos oculares mas  
que el antejojo astronómico: su objeto es presentar  
al derecho la imagen que en el anterior se presenta  
invertida, lo que es un inconveniente para las obser-  
vaciones terrestres. El estudio de la figura hará co-  
nocer bastante la marcha de los rayos.

Estos anteojos toman el nombre de *acromáti-  
cos* cuando se emplean en ellos objetivos de esta clase.

631. *Telescopio de Newton.*—Para evitar la aberracion de refrangibilidad imaginó Newton un telescopio cuyo objetivo fuese un espejo cóncavo metálico. Este espejo CD (*fig. 237*) recibe los rayos partidos del objeto que se examina; los hace convergentes, y forma en *ab* una imagen invertida; pero un espejo plano EF inclinado  $45^\circ$  recoge esta imagen, y la trasporta á *cd*, que es el foco de una lente convexa que reúne los rayos, y los lleva al ojo del observador.

Este telescopio se ha modificado de mil modos. El de Lemaire, que Herschell ha construido con dimensiones muy grandes, es una modificacion, en la cual suprimió el espejo plano.

632. *Micrómetro de Rochon.*—Este instrumento es una aplicacion de los efectos de la doble refraccion. Consiste en un prisma doble de cristal de roca ó carbonato de cal limpio (espató de Islandia) que produce imágenes dobles. Se adapta este prisma á un antejo, por cuyo tubo puede moverse; las dos imágenes estan entonces mas ó menos separadas, segun el lugar que ocupa el micrómetro, y se puede á arbitrio hacerlas tocarse, ó coincidir exactamente. Una escala adaptada sobre el tubo del antejo mide los movimientos del prisma: está construida de manera que se puede averiguar la distancia al objeto que se mira sabida su magnitud, ó esta si se conoce la distancia; y en fin, una y otra por medio de dos estaciones.

633. *Cámara oscura.*—Hemos descrito esencialmente la cámara oscura en el núm. 557. La imagen que se pinta sobre la pared está invertida; pero puede verse recta mirando en un espejo colocado horizontalmente.

Se hacen cámaras oscuras portátiles. Las mas sencillas presentan una caja cuadrada abierta por delante. IK (*fig.* 238) es un tubo en cuyo extremo hay una lente OK, que tiene su foco en BC donde se pinta la imagen; GH es un espejo plano destinado á reflejar los rayos hácia la lente.

La cámara oscura, tal como se construye ordinariamente, tiene un defecto notable, y es que la lente desfigura los objetos mas lejanos, porque los rayos que envian estos son muy oblicuos, y sufren una enorme refraccion, resultando de ella que las imágenes son irregulares. Wollaston ha aplicado á la cámara oscura un vidrio periscópico que corrige en mucha parte este inconveniente.

634. *Cámara lúcida.* — Este es el nombre dado por Wollaston á un instrumento sumamente ingenioso inventado por él. He aqui el principio que ha dirigido á este sabio fisico para hacerle. Si se toma un cuadrado de vidrio plano, y se inclina  $45^\circ$  se verán por reflexion todos los objetos que se hallan delante; pero al mismo tiempo se verán al través los objetos que se hallan detras. Si se pone allí una hoja de papel blanco, las imágenes de los objetos anteriores se pintarán sobre ella, y se podrá con un lapiz trazár un bosquejo que estará invertido respecto al observador.

Para que este dibujo fuese recto sería preciso que hubiese dos reflexiones de la luz, lo cual puede lograrse desde luego colocando delante un vidrio azogado inclinado al horizonte  $22^\circ 30'$ , tal como *ab* (*fig.* 239), y otro vidrio *bc* no azogado que haga con el primero un ángulo *abc* de  $135^\circ$ . El rayo luminoso luego que llega horizontalmente sobre *ab* es reflejado segun *af*, sobre el vidrio *bc*, que á

su vez le refleja segun  $fg$ : lo mismo sucede con el rayo  $d'e$ . La imagen del objeto  $dd'$  está entonces proyectada en  $dd''$  sobre el papel  $AB$ , y por consiguiente se halla recta respecto del observador.

En lugar de este aparato se emplea un prisma de vidrio (*fig. 240*), cuyo corte trasversal se ve en la *fig. 241*, el cual produce absolutamente el mismo efecto. El ángulo  $d$  es recto, y en ángulo  $abc$  es de  $135^\circ$ . El rayo de luz horizontal  $fg$  penetra sin reflexión en el prisma, y se refleja en la superficie de emergencia  $bc$  sobre un espejo; de allí va á  $h$ , y de  $h$  á  $e$  al ojo del observador. Como se puede aproximar el objeto al plano  $ad$ , tanto como se quiera, se puede reducir mucho el volumen del prisma sin perjudicar el efecto: así es que Wollaston lo ha reducido á las dimensiones que representa la *fig. 240*.

Es fácil ver que empleando este prisma, si el ojo da de lleno sobre la cara  $ad$  no se podrá ver el papel dispuesto á alguna distancia debajo, porque la mayor parte de los rayos vienen á caer oblicuamente sobre las caras  $ab$ ,  $bc$ , y son refractados por el vidrio de modo que no pueden llegar al ojo del observador. No hay mas que un solo medio de ver el papel, que consiste en retirar el ojo hasta que solo sea interceptada una porcion de la niña por el borde del prisma. Esta porcion recibe la imagen de los objetos colocados delante de la cara  $dc$ , y la otra recibe los rayos partidos del papel y del lapiz. Despues de algunos tanteos se logra colocar el ojo de modo que en todos los puntos se ve con igual claridad el papel, el lapiz y la imagen de los objetos que se quieren dibujar.

El instrumento está acompañado de dos vidrios

periscópicos que sirven para igualar el grado de claridad de la imagen y del papel. Al observador toca el servirse de uno ú otro de estos vidrios segun su vista.

El prisma de Wollaston se dispone horizontalmente por medio de un eje que se adopta á una base vertical fijada en una mesa con una rosca (*figura 230*).

635. *Linterna mágica.* — Este instrumento se debe al P. Kirker, y aunque por decirlo asi es vulgar, no por eso es menos divertido é ingenioso.

ABCD (*fig. 242*) es una caja de oja de lata: EF es un espejo cóncavo, en cuyo foco hay una lámpara. FG es una lente que recibe la luz de la lámpara, y va á reflejarla al espejo: se colocan delante de esta lente vidrios, en los cuales estan pintados diferentes objetos que desde luego se hallan alumbrados: IK es otra lente sobre la cual caen los rayos partidos de estos objetos. LM es un diafragma atravesado por un agujero por donde pasa la luz. NP es una tercer lente: los rayos que salen de ella van á pintar el objeto en XYZ sobre un lienzo.

La tercer lente NZ es movil, y puede alejarse ó acercarse á la segunda. Por este medio puede hacerse variar la imagen XZ sobre el plano. Para que esta imagen esté derecha en XZ es preciso poner el objeto invertido en GH.

El aposento está privado de toda luz, y no recibe mas que la que viene por el vidrio NP. Las personas que comunmente enseñan la linterna, tienen la superficie de proyeccion en una de las paredes de la sala, sobre la cual hacen poner algunas veces un lienzo. En este caso el expectador y el instrumento estan en el mismo lado; pero para ha-

cer el experimento de un modo mas agradable es menester tener un lienzo en medio de un aposento colocando los espectadores á un lado, y el instrumento á otro.

636. *Fantasmagoría*.—Este instrumento, cuyo nombre se deriva de *φάντασμα fantasma*, y de *ἀγορὰ reunion*, no es mas que una ligera modificacion de la linterna mágica; pero produce efectos mucho mas maravillosos y aun imponentes. Se compone de una tela engomada, tendida delante del espectador, la cual no recibe mas luz que la del aparato que está situado detras, y que el espectador no ve: sobre esta tela vienen á pintarse las figuras que por lo regular son espectros y objetos espantosos.

Un espectro que parece desde luego muy pequeño crece muy rápidamente, lo que produce el mismo efecto que si avanzase á pasos agigantados hácia el espectador.

El aparato está dispuesto sobre ruedas guarnecidas de paño para evitar el ruido. El lado NP se mueve facilmente por medio de una muesca y un manubrio: supongamos que la imagen se vea del tamaño XZ (*fig. 242*), y que esté dibujada claramente; si se quiere hacerla repentinamente mas pequeña bastará acercar el instrumento á la tela; pero los focos de los diferentes puntos del objeto no estarán ya sobre la tela, y la imagen será confusa: bastará para hacerla clara alejar las lentes NP é IK: esto se logra prontamente por medio de la muesca de que hemos hablado.

Recíprocamente, siendo pequeño el objeto para hacerle mayor, será preciso alejar el aparato de la tela, y acercar al mismo tiempo las lentes NP é IK.

Es necesario mucha práctica para manejar es-

te instrumento y hacerle producir buen efecto.

637. *Microscopio solar.* — Este instrumento tiene mucha relacion con la linterna mágica: fue inventado por Lieberkuyn. Se dirige un rayo solar sobre una lente C por medio de un espejo AB (*fig. 234*) colocado por fuera del postigo de una ventana. Se dispone en D una lámina de vidrio, sobre la cual se pone el objeto que se quiere examinar. En el foco E de la primera lente se halla otra pequeña, en la cual se cruzan los rayos, y van divergiendo en seguida á pintar sobre una tela GH tendida delante una imagen invertida y muy amplificada del objeto: una pulga, por ejemplo, parece del tamaño de un carnero, &c.

Epino perfeccionó este instrumento, y le ha hecho propio para representar cuerpos opacos. Un espejo convexo dirige los rayos solares sobre una lente. Estos rayos van en seguida convergiendo hácia un espejo plano, de donde son reflejados sobre una lámina de ébano que sirve de *porta objetos*, y que por este medio se halla sumamente alumbrada: los rayos se dirigen en seguida á una lente de donde divergen, y van á pintar una imagen amplificada en la tela.

638. *Colorigrado.* — Este es un instrumento esencialmente parecido al aparato (*fig. 229*), y destinado á determinar los colores propios de los cuerpos comparándolos con los de los anillos coloreados. Ha sido imaginado por Biot, valiéndose de la propiedad que tienen las láminas de vidrio, mica, &c. de dividir un rayo ya polarizado en dos hacesillos coloreados. Se colocan para este efecto en el paso del rayo polarizado *ab* láminas de mica mas ó menos espesas segun el orden y la serie de los colores

que se quiere obtener. Estas láminas estan colocadas en una especie de pie capaz de girar, por cuyo medio se puede inclinar mas ó menos al rayo polarizado para obtener de cada lámina los diversos colores correspondientes á las series de anillos coloreados. Entre todos estos colores que se ven sucesivamente pasar por delante de la vista, se busca el correspondiente al del cuerpo dado.

---

---

## CAPÍTULO XI.

### *Origen de la luz.*

639. El sol es el foco principal de la luz que recibimos en nuestro globo. Los astros que giran á su rededor no son luminosos por sí; pero reflejan la luz que les comunica: de este modo, por ejemplo, es como la luna está alumbrada por la luz solar, y nos parece luminosa porque refleja sobre nosotros la luz que ha recibido. Los planetas nos parecen luminosos del mismo modo. Las estrellas que son luminosas por sí mismas estan demasiado lejanas de nosotros para poder producir sobre nuestro planeta una luz bien marcada.

640. Un gran número de operaciones químicas producen desprendimiento de luz mas ó menos viva: tenemos un ejemplo muy comun en la combustion, que es una combinacion del oxigeno del aire con el cuerpo combustible. Otra multitud de ejemplos se presentan en los laboratorios químicos.

641. El fluido eléctrico al escapar con velocidad de los cuerpos produce muchas veces una luz sumamente viva: tenemos un ejemplo notable cuan-

do relampaguea durante la noche: la luz momentánea que se produce es excesivamente viva, y no hay nadie que no lo haya notado.

642. Se conocen tambien un gran número de meteoros luminosos, entre los cuales el mas notable es la *aurora boreal*. Este fenómeno, cuya causa es todavía desconocida, consiste en una masa de luz mas ó menos resplandeciente que se percibe hácia el lado del polo, tres ó cuatro horas despues de puesto el sol. Esta luz es ordinariamente blanquizca en el horizonte, rojiza y mas brillante desde  $20^{\circ}$  ó  $30^{\circ}$  de elevacion: entonces es undulante, y parece que salen de ella regueros de llamas muy vivas que se extienden hasta muy alto en el cielo. Estas llamas mudan muchas veces de forma y de color, de suerte que este fenómeno presenta un espectáculo magnífico, observando que es tanto mas bello cuanto mas intenso es el frio. En los climas septentrionales es donde deben observarse las auroras boreales. Son tanto mas raras cuanto mas cerca está el ecuador, en cuyo punto son enteramente nulas.

643. *Fosforescencias.*—Se conocen tambien ciertos cuerpos que tienen la propiedad de brillar de una manera mas ó menos viva, sin que esté acompañada de ningun calor sensible. Estos cuerpos cualquiera que sean han recibido el nombre de *fósforos* ó *portaluces* (de φῶς luz, y φορέω portador).

Los químicos dan particularmente este nombre á una sustancia muy combustible, de color amarillo de miel, y de consistencia de cera, que se saca comunmente de los huesos de los animales, y que se quema lentamente al aire libre, repartiendo en la oscuridad una luz debil.

Todo el mundo conoce la luz que produce la madera podrida algo húmeda; la que producen los pescados cuando estan frescos, y tambien cuando se pudren. Cualquiera puede haber observado la luciérnaga que se halla en nuestros campos, y que es la hembra de un insectillo coleóptero. Otros muchos insectos producen el mismo fenómeno, y durante la noche hacen centellear su luz en la atmósfera. Una multitud de animalillos microscópicos que se hallan en las aguas del mar, brillan en la oscuridad cuando se agita el agua que los contiene. No se puede nadar por la noche en el mar, especialmente en los países meridionales, sin ver nacer al rededor de sí una multitud de estos fósforos naturales; ya sea por los animalillos que poseen esta propiedad, ya por los despojos de animales marinos medio podridos. No se puede evitar cierta emocion cuando en la calma y la oscuridad se halla uno sumergido por esta razon en una especie de olas de fuego. La luz que se observa por la noche en las *flores de la capuchina*, es tambien un fenómeno de fosforescencia bastante notable, cuyo conocimiento se debe á la señorita Linneo, hija del célebre naturalista de este nombre.

644. A todos estos fósforos naturales es preciso añadir los que se producen en las sustancias por diversos motivos. Asi es que todos los cuerpos expuestos durante algunos instantes al sol brillan en seguida en la oscuridad, como resulta de los experimentos de Boile, Dufay, Beccari, y mas recientemente de Desaignes. Este último fisico ha hallado que el grado de claridad que un cuerpo espere despues de haber estado expuesto al sol, esta en razon inversa de su grado de humedad: ha pro-

bado que la mayor parte de los cuerpos son susceptibles de lucir por la elevacion de la temperatura. Muchas sales poseen esta propiedad en un grado muy elevado: tales son el fluato de cal, los fosfitos de barita y de estronciana, los fosfatos de magnesia y de barita, &c., &c.; pero son necesarios diferentes grados de calor para los diferentes cuerpos. Muchos experimentos prueban que el grado de fosforescencia está en razon directa del grado de temperatura, y su duracion en razon inversa. Hay sustancias fosfóricas por el calor, que pierden esta facultad cuando han sido calentadas muchas veces de seguido hasta una temperatura elevada. Muchos cuerpos, tal como la piedra caliza, pierden su fosforescencia cuando se les calcina á cierta temperatura, y la vuelven á adquirir cuando se les calienta algunos grados mas. La luz que produce la fosforescencia por el calor es de diversos colores segun la sustancia sometida al experimento.

La compresion, la percusion, el rozamiento, producen tambien la fosforescencia. Asi es que el azucar es un cuerpo muy fosforescente por la percusion y el rozamiento. El agua muy comprimida se hace fosfórica; y comprimiendo el aire en un tubo se desprende mucha luz.

En muchas combinaciones químicas se produce una fosforescencia mas ó menos viva: asi, pues, cuando se apaga la cal viva se desprende luz durante la combinacion del agua con esta tierra.

645. Desaignes cree que existen muchas relaciones entre la fosforescencia y la electricidad. Se funda: 1.º en que muchas sustancias preparadas en tiempo seco son fosforescentes por la elevacion de la temperatura; no siéndolo las que se habian pre-

parado en tiempo húmedo: 2.º en que algunas sustancias trituradas en un mortero de metal pierden la propiedad fosfórica; haciéndose por el contrario muy fosforescentes cuando se las tritura en un mortero de vidrio, sustancia muy diferentemente penetrable á la electricidad respecto al metal: y 3.º en la influencia que las eminencias agudas y las asperezas de los cuerpos tienen sobre la fosforescencia; pues ha observado que los cuerpos cubiertos de asperezas se hacen fácilmente luminosos, mientras que los mismos cuerpos pulimentados tardan mucho mas en serlo.

646. La fosforescencia de las sustancias minerales no experimenta ninguna variacion cuando se sumerge el cuerpo en un fluido aeriforme incapaz de mantener la combustion. Al contrario, sumergiendo las sustancias vegetales ó animales fosforescentes en un fluido de esta especie, pierden su fosforescencia en todo ó en parte. Esta observacion prueba que la fosforescencia de las sustancias minerales no es debida á una combustion, mientras que la fosforescencia de las sustancias organizadas es debida á ella en todo ó en parte.

---



---

## LIBRO SÉPTIMO.

### *De la electricidad.*

---

El nombre de *electricidad* se ha derivado de la palabra *ἤλεκτρον* *ambar rojo ó sucino*, mineral en el cual se observaron los primeros fenómenos de atracción y repulsión de los cuerpos.

---



---

### CAPITULO PRIMERO.

#### *Medios de producir la virtud eléctrica.*

Los principales medios de producir la virtud eléctrica son el *rozamiento*, la *compresion*, el *contacto* y el *calor*.

647. *Produccion de la electricidad por el rozamiento ó frotacion.* — Si se frota una barrita de vidrio con un pedazo de paño, ó mejor con un pedazo de papel de color, se provoca el desarrollo de una debil luz que se percibe en la oscuridad. Si en seguida se presenta la barrita á la mano se verán saltar chispitas, y si se la presentan cuerpillos ligeros se les ve al momento precipitarse sobre ella.

Una barrita de lacre, frotada del mismo modo

produce casi los mismos efectos, pero es mas difícil sacar chispas de ella. Una persona puesta sobre un rollo de resina, en tiempo seco y frotada con piel de liebre ó de gato, da señales muy sensibles de electricidad, pudiéndose sacar chispas de las diferentes partes de su cuerpo.

En la máquina eléctrica comun el desarrollo de la electricidad se produce por el rozamiento de un disco de vidrio AB (*fig. 244*) con cuatro almohadillas de seda *c* llenas de cerda. Este disco está atravesado por un eje que tiene su manubrio correspondiente; está sostenido en su posicion vertical por dos pies de madera. Delante se ve un cilindro metálico de cobre ó de hoja de lata que se llama *conductor*, y está sostenido por pies de vidrio: este conductor está terminado por la parte que mira al disco, en dos brazos que rematan en una especie de cazoleta guarnecida de puntas. Las almohadillas deben estar untadas en la parte por donde tocan al disco con *oro musivo* (sulfuro de estaño), ó con una aleacion de una parte de zinc y cinco de mercurio. La parte posterior de las almoadillas comunica con una varita metálica que baja por lo largo de los pies hasta el suelo. Para dar mas accion á la máquina se cubre en parte el disco con una funda de tafetan barnizado.

Puede reemplazarse el disco de vidrio con otro de resina ó con una bola, y construir de este modo una máquina eléctrica poco costosa, y suficiente para estudiar todos los fenómenos de la electricidad; pero es mejor emplear una máquina poco usada (*fig. 245*), ideada por un fisico de Bruselas. Para construirla basta tomar dos ó tres varas de tafetan barnizado, coser sus dos extremos juntos for-

mando una tela sin fin, que se tiende sobre dos cilindros móviles de madera, provistos de un manubrio, por cuyo medio se ponga la máquina en movimiento: unas almohadillas cubiertas con piel de gato se disponen de modo que puedan frotar con el tafetan.

Siempre que la máquina eléctrica está en movimiento, se percibe un olor particular bastante parecido al del hidrógeno, y si se acerca la mano ó la cara al disco ó al conductor se siente una especie de estremecimiento particular como si se tocara una tela de araña: si se presenta un nudillo al conductor, se saca una chispa luminosa que causa la impresion de una debil picadura. Haciendo el experimento en la oscuridad, se ven serpentear por el vidrio corrientes de luz, y lanzarse continuamente chispas á las puntas del conductor.

648. *Electricidad producida por contacto.* — Puestos en contacto dos cuerpos de diferente naturaleza, adquieren cada uno en general la virtud eléctrica; pero para apreciar las pequeñas cantidades de electricidad producidas se necesitan instrumentos particulares que describiremos mas adelante. La columna de Volta, ó *pila galvánica* se compone de placas de zinc y cobre reunidas de dos en dos, y separadas cada par del inmediato por un cuerpo líquido ó húmedo. Los fenómenos eléctricos producidos por este aparato son los mismos que los de la electricidad producida por rozamiento, con las ligeras diferencias nacidas del modo de obtenerlos.

649. *Electricidad producida por compresion.* — El abate Haüy fue el primero que llamó la atencion de los físicos sobre este desarrollo particular de la electricidad. Hizo ver que bastaba apretar entre los

dedos por un momento una placa de carbonato de cal, para hacerla adquirir una electricidad notable; y lo que es aun mas, esta placa conservaba el estado eléctrico por mucho tiempo, aun cuando se la pusiese en contacto con cuerpos conductores. Becquerel manifestó despues que todos los cuerpos eran susceptibles de adquirir la electricidad por compresion, y que si habia algunos que parecian estar privados de esta propiedad, procedia únicamente de no tener, como el carbonato de cal y otros, la facultad de conservar por sí mismos la electricidad desarrollada por su compresion. Para reconocer esta propiedad en dichos cuerpos basta aislarlos en el acto, y aun poco despues de hacerles sufrir la compresion. Becquerel ha averiguado que todas las sustancias aisladas de este modo, y comprimidas unas contra otras, se hallan constituidas en estados eléctricos diferentes. Cuanto mas compresibles son las sustancias, tanto mas eficaz es el desarrollo de los fenómenos. Esta serie de experimentos hace que se comprendan en la electricidad desarrollada por este medio, muchas observaciones que hasta ahora habían permanecido aisladas, despreciándolas casi siempre en la exposicion de los fenómenos eléctricos. Tales son las observaciones hechas por Libes sobre el desarrollo de la electricidad por la presion de un disco metálico aislado, sobre el tafetan barnizado, ya sencillo, ó ya plegado en muchos dobleces. Tal es tambien el desarrollo de la electricidad que se verifica cuando se pone un cuerpo poco conductor en contacto con el mercurio, á su entrada y salida en una masa de este metal.

650. *Electricidad producida por el calor.* — Ha mucho tiempo que se sabe que muchas sustancias mi-

nerales dan señales evidentes de electricidad después de calentarse, atrayendo ó repeliendo otros cuerpos; tales son, por ejemplo, los *topacios*, las *turmalinas* ó *chorlos cristalizados*, algunos *jacintos*, &c.; pero por los experimentos hechos por Becquerel debe sospecharse que sucede lo mismo con todos los cuerpos, cuando se emplean las precauciones convenientes para determinar y comprobar su virtud eléctrica.

65 F. *Electricidad animal.*—Existen también muchos pescados que tienen la propiedad de desplegar á su arbitrio mayor ó menor porción de electricidad, de cuya facultad se valen ya para defenderse de los ataques de sus enemigos, ó ya para aturdir á los animales que les sirven de alimento.

Ultimamente, muchas operaciones químicas, tales como la disolución de los metales en los ácidos, varias descomposiciones, la combustión, el paso de los cuerpos sólidos al estado líquido, y el de los líquidos al estado gaseoso, &c., &c., producen también desprendimiento de cierta porción de electricidad.

## CAPÍTULO II.

### *Hipótesis de los fluidos eléctricos, y propiedades que se les atribuyen.*

Ignoramos absolutamente cual es la causa primitiva de la electricidad, por lo cual es necesario adoptar una hipótesis que pueda darnos razón de los fenómenos, á fin de enlazarlos entre sí, según es-

tan comprobados por la experiencia. Pero es preciso evitar al mismo tiempo tenerla por realidad, y darla mas importancia que la que merece por ser un medio cómodo para prever los diferentes fenómenos observados, y enlazarlos mutuamente.

653. *Hipótesis de Franklin.* — El célebre Franklin supuso la existencia de un fluido particular, repartido en todos los cuerpos en mayor ó menor cantidad, segun la capacidad de cada uno de ellos. Segun esto, mientras el fluido eléctrico permanece en equilibrio en un sistema de cuerpos, nada se observa de particular; pero roto el equilibrio por una causa cualquiera, procura al momento restablecerse, resultando todos los fenómenos observados, cuya explicacion en general es sumamente facil.

Esta teoría tan sencilla y natural ha tenido y tiene aun muchísimos partidarios; sin embargo, está casi enteramente abandonada por la hipótesis de Symmer, mas ó menos modificada, en la cual se admiten dos especies de fluido eléctrico. Esta parece en efecto merecer la preferencia en algunas ocasiones; pero sobre todo, es admirable su sencillez cuando se admite la teoría de las oscilaciones para explicar todos los fenómenos de los fluidos incoercibles; puesto que no hay mas que admitir que el fluido que ha explicado ya los fenómenos del calor y de la luz se compone de dos fluidos diferentes, y se tiene ya la teoría eléctrica, tal como se explica generalmente en el dia.

654. *Hipótesis de Symmer.* — En esta hipótesis, tal como se concibe en el dia, todos los cuerpos contienen un fluido particular que se llama *fluido natural*; el globo terrestre puede mirarse como un depósito inmenso de este fluido: por lo cual, cuando

se trata de electricidad recibe el nombre de *depósito comun*.

El *fluido natural* no tiene por sí mismo ninguna propiedad eléctrica, y es únicamente el resultado de una combinación neutra de otros dos fluidos, en los cuales reside esta propiedad. Estos dos fluidos que pueden aislarse de diferentes modos, siendo entonces cuando producen fenómenos dependientes de su naturaleza, tienen gran tendencia á reunirse ó neutralizarse mutuamente, y por esto mismo dan origen á otros efectos. No hay expresiones que definan mejor estos fluidos que las de *fluido positivo* y *fluido negativo*, por medio de las cuales se les compara á las cantidades matemáticas de la misma denominacion, que, como estan afectadas de signos contrarios, se destruyen en todo ó en parte segun la relacion de su magnitud, produciendo la mayor un residuo afectado de su signo. Franklin imaginó estos nombres dándoles otro sentido, como que no admitia mas que un solo fluido que podia estar en mas ó en menos en un cuerpo: en la mayor parte de las escuelas de Europa se han conservado en el sentido que hemos explicado, admitida la teoría de Symmer. En Francia se han preferido otros nombres admitiendo los de *fluido vítreo*, y *fluido resinoso*, porque uno es producido generalmente por el rozamiento del vidrio, y el otro por el de la resina ó lacre. Sin embargo, sucede muchas veces obtener fluido vítreo frotando la resina, y al contrario, fluido resinoso frotando el vidrio, como veremos muy luego.

655. *Propagacion del fluido eléctrico al través de los cuerpos.*—*Facultad conductriz.*—Los fluidos eléctricos en estado libre penetran mas ó menos fa-

cilmente por los diferentes cuerpos, que por esta razón se distinguen en *buenos* y *malos conductores*. Entre los cuerpos sólidos los *metales* son generalmente *excelentes conductores*, y no se nota diferencia entre ellos; el *algodon*, el *lino*, la *paja*, el *carbon vegetal*, &c. son tambien *buenos conductores*; pero los *cuerpos sólidos vítreos*, las *resinas*, el *azufre*, la *seda*, *lana*, *azucar*, *grasas*, &c. son *malísimos conductores*. La mayor parte de las maderas perfectamente secas, las fibras animales desecadas conducen bastante mal los fluidos eléctricos; pero en estado húmedo ó fresco estas mismas materias los conducen bastante bien, lo que puede atribuirse á los cuerpos líquidos de que estan penetrados. Los cuerpos animales vivos conducen los fluidos eléctricos con suma facilidad.

Todos los *cuerpos líquidos*, excepto los aceites crasos, son *buenos conductores*; parece sin embargo que hay alguna diferencia entre ellos; pues los aceites esenciales, y el espíritu de vino, no conducen los fluidos eléctricos tan bien como el agua; las aguas cargadas de sales ó aciduladas, y los acidos son mejores conductores que el agua pura.

*Los cuerpos aeriformes bien secos son malos conductores*, y tanto peores cuanto mas densos son. El aire atmosférico es generalmente mal conductor; pero cuando está sobrecargado de partículas de agua esparcidas entre sus moléculas, como sucede en las neblinas y en los tiempos húmedos, su facultad conductriz aumenta considerablemente. Parece tambien que el grado de temperatura influye mucho sobre la facultad conductriz de los cuerpos; el calor la aumenta generalmente.

Los fluidos eléctricos se esparcen con la mayor

facilidad en el vacío, en forma de luz blanquecina, y mas frecuentemente purpúrea, lo cual parece depender de la cantidad de fluido que se desprende á la vez.

Se dice que *un cuerpo conductor está aislado* cuando está sostenido por un cuerpo no conductor. Coulomb ha observado que el mejor aislador es una aguja fina de goma laca.

Por las consideraciones precedentes se debe conocer porque los conductores de las máquinas eléctricas estan sostenidos por columnas de vidrio. Cuando se establece una comunicacion entre el conductor y la tierra, la máquina no produce efecto alguno, porque el fluido eléctrico se esparce al momento en el depósito comun, cuyo volumen es demasiado enorme para ser afectado sensiblemente por él.

La velocidad con que se propagan los fluidos eléctricos de un punto á otro en un cuerpo conductor es excesivamente grande; se puede conjeturar que es tan grande como la de la luz; pues en los diversos experimentos que se han ejecutado, no se ha podido percibir ninguna diferencia entre el momento en que la electricidad se comunica á un punto, y el momento en que se manifiesta á siete ú ocho mil varas de distancia.

656. *Estado eléctrico que adquieren todos los cuerpos por su mútuo rozamiento* — Siguiendo la hipótesi admitida, todos los cuerpos contienen cierta cantidad de fluido natural que puede descomponerse por el rozamiento, el contacto, el calor, &c. Dos cuerpos no conductores se electrizan facilmente por su mútuo rozamiento, constituyéndose uno en estado de electricidad positiva, y el otro en el

de electricidad negativa. El vidrio, y casi todas las sustancias vítreas adquieren, casi siempre la electricidad positiva cuando estan bruñidas, sea el que quiera el cuerpo no conductor que sirva de frotador; sin embargo, el vidrio frotado con piel de gato adquiere la electricidad negativa.

Las sustancias vítreas sin pulimentar adquieren la electricidad negativa por el rozamiento con sustancias que, cuando estaban pulimentadas, les hacian adquirir la electricidad positiva. En general todas las sustancias cuya superficie está deslustrada parece tienen tendencia á adquirir la electricidad negativa; los cuerpos mates se hallan en igual caso.

Las sustancias resinosas manifiestan casi siempre la electricidad negativa cualquiera que sea el cuerpo no conductor con que se les frote.

Dos cuerpos, uno conductor aislado, y otro no conductor se constituyen en diferentes estados de electricidad. Los cuerpos metálicos aislados, frotados con una sustancia determinada adquieren unos electricidad positiva, y otros negativa.

Dos cuerpos conductores aislados, frotados ó aplicados uno sobre otro no adquieren mas que una cortísima cantidad de electricidad, siendo necesarios instrumentos particulares para cerciorarse de ellos.

En las máquinas eléctricas comunes, el disco se halla constituido en estado de electricidad positiva, y el frotador ó almohadillas en estado negativo; pero cuando se hacen comunicar las almohadillas con el depósito comun, el fluido negativo se escapa á medida que se desarrolla. Se puede con una de estas máquinas cargar arbitrariamente el conductor de electricidad positiva ó negativa: el

primer caso se presenta siempre que el conductor comunica con el disco; pero si se aislan las almohadillas, y se las pone en comunicacion con el conductor, haciendo comunicar al disco con el depósito comun, presentándole puntas que puedan sustraerle su fluido, y llevarle á dicho depósito, se obtiene en el conductor fluido negativo. Sin embargo, la disposicion de las máquinas eléctricas comunes es poco adecuada para obtener arbitraria y cómodamente uno ú otro fluido.

Con la máquina de disco ó bola resinosa, y con la de tafetan, descrita antes (647) puede tambien obtenerse arbitrariamente la electricidad positiva ó negativa.

657. *Atraccion y repulsion de las moléculas de los fluidos eléctricos.* — La experiencia manifiesta que las moléculas del fluido eléctrico de la misma especie se rechazan, y las de especie diferente se atraen; esto es lo que determina á los cuerpos móviles á ser atraidos ó rechazados segun las circunstancias.

Sean A y B (*fig.* 246) dos columnitas de cera terminadas en *c* y *d* por dos bolitas de cobre que sostienen por medio de un hilo las bolitas de corcho *e*, *f*. Si se toca al mismo tiempo á las dos bolitas *c* y *d* con un tubo de vidrio electrizado por frotacion se ve á las bolitas *e* y *f* separarse: lo mismo sucede si se tocan al mismo tiempo con una barrita de lacre electrizada del mismo modo. Pero si al contrario se toca á una de las bolitas de cobre con el vidrio electrizado, y á la otra con el lacre igualmente electrizado, se verá á las dos bolitas de corcho precipitarse una sobre otra.

658. *Electróscopos y electrómetros.* — Los fe-

nómenos de la atraccion y repulsion han dado origen á los electrómetros, y electróscopos, instrumentos que sirven para determinar la especie de *electricidad* de que un cuerpo está animado, y aproximadamente la cantidad de fluido eléctrico que contiene.

Para conocer si un cuerpo está electrizado basta presentarle un cuerpo movil en su estado natural, y ver si le atrae. Para determinar la especie de electricidad adquirida por un cuerpo basta examinar si atrae ó rechaza un cuerpo movil al que se ha comunicado de antemano una especie conocida de electricidad.

*El electróscopo de Haiiy*, que es muy cómodo para muchos experimentos, consiste en una aguja metálica terminada en dos bolitas, y movable sobre un eje (*fig. 247*). Se aísla sobre una lámina de vidrio, ó una plaquita de resina; se electriza positivamente tocándola con una varilla de vidrio electrizado, y negativamente tocándola con una barrita de lacre.

*El electrómetro de Henly* que acompaña casi siempre á la máquina eléctrica, puesto como representa la *fig. 244*, consiste en una barra de madera ó marfil que sostiene un semicírculo de marfil, cuya circunferencia está dividida en partes iguales; una aguja de marfil suspendida en el centro, y terminada por una bolita de medula de sauco, se separa mas ó menos de la barra, segun la electricidad es mas ó menos intensa: de todos los electrómetros este es el peor.

*El electrómetro de Bennet* (*fig. 248*) consiste en una botella cuadrada, por cuyo cuello pasa una varilla metálica que por fuera termina en una bo-

la *a*, y por dentro comunica con dos laminas de pan de oro batido, suspendidas paralelamente y muy movibles. Presentando un cuerpo electrizado á la bola *a*, las láminas se separarán una de otra, y su separacion se gradúa por la especie de escala *cd* trazada sobre una de las caras de la botella.

659. *Balanza eléctrica.*—Coulomb ha empleado la balanza de torsion (113) para medir las fuerzas atractivas y repulsivas de los cuerpos electrizados. De esto nace el nombre de *balanza eléctrica*, que se da tambien á este instrumento. Sus dimensiones en el caso presente son mucho menores que las que empleó Cavendish en sus experimentos, además de algunas modificaciones necesarias, originadas por la naturaleza de los experimentos á que está destinada.

La balanza eléctrica, propiamente tal, se compone de una caja de vidrio ABCD (*fig. 249*) cubierta con un cristal, en el cual se apoya una columna hueca tambien de vidrio. Esta columna se termina en su parte superior en una virola de cobre que sostiene una placa circular horizontal, cuyo borde está dividido en partes iguales.

Por el centro de esta placa pasa un cilindro de cobre que puede moverse girando, y lleva una aguja horizontal *b*; de este mismo cilindro está suspendido un hilo de plata *ab* mantenido verticalmente por una pesita pequeña *c* que sostiene una aguja horizontal de seda untada con goma laca, y terminada por uno de sus extremos por un circulito de papel dorado.

El plano AB está atravesado por un agujero E encima de la línea de reposo de la aguja de goma laca, por donde se puede introducir en la caja una

bola metálica electrizada puesta sobre un cuerpo no conductor.

660. *Ley de las atracciones y repulsiones eléctricas.* — Provisto Coulomb de este instrumento halló por sus experimentos que la fuerza repulsiva que las moléculas de un mismo fluido eléctrico ejercen entre sí, está en razon inversa del cuadrado de las distancias. Para verificar este experimento se introduce en la caja una bola metálica electrizada, suspendida de un cuerpo no conductor, y se pone en contacto con el circulillo de papel dorado. Estos dos cuerpos se reparten la electricidad, y al instante la palanquita horizontal se aparta de la línea de reposo una cantidad mayor ó menor que se valúa por medio del círculo graduado circunscripto á la caja; por una consecuencia necesaria el hilo metálico se tuerce, y la fuerza de torsion es como ya hemos dicho (113) proporcional al arco del círculo descrito.

Supongamos que la fuerza repulsiva sea de  $36^\circ$ , y se la quiere oponer una fuerza tal, que la palanquita vaya á parar á los  $18^\circ$ ; será preciso aumentar la fuerza de torsion, para lo cual se volverá la aguja *ab* en sentido contrario á la direccion que ha seguido el papel dorado. La experiencia demuestra que en el caso presente es preciso volver la aguja  $126^\circ$  que, añadidos á los  $18^\circ$  dan  $144^\circ$  para la fuerza de torsion capaz de mantener la palanquita en los  $18^\circ$ .

Siendo, pues, en el primer caso la distancia 1, la torsion ó la fuerza repulsiva á que es igual, es 36: en el segundo caso la distancia es  $\frac{1}{2}$ , y la fuerza repulsiva 144; luego comparándolos se tendrá  $1:\frac{1}{2}:36:144$  proporcion que da  $1:2::4:1$ , es decir, que las fuerzas repulsivas están en ra-

*zon inversa de los cuadrados de las distancias.*

Este experimento, variado de mil modos por Coulomb y por los demas físicos, ha dado constantemente los mismos resultados. Por experimentos análogos se prueba que las atracciones siguen la misma ley.

Hemos supuesto para mayor sencillez que la distancia entre el cuerpo electrizado, y el circulillo de papel dorado se mide por el arco de círculo que los separa; pero en la realidad es la cuerda del arco quien mide la distancia: es preciso tener presente esta circunstancia, advirtiéndole que aun con esta correccion la ley que hemos citado es enteramente exacta.

661. *Combinacion ó polarizacion mútua de los fluidos eléctricos.*— En la hipótesi que hemos adoptado, son susceptibles de combinarse los dos fluidos eléctricos para formar un fluido particular, es decir, *el fluido natural*, el cual no tiene por sí mismo ninguna propiedad eléctrica: esto se prueba por medio del siguiente experimento. Se toman dos cilindros metálicos de iguales dimensiones, con mangos de cristal para poderlos tener en la mano sin privarles de la electricidad que se les haya comunicado. Se electriza uno de estos cilindros positiva, y el otro negativamente, cuidando de que ambos señalen el mismo grado en el electrómetro. Puestos estos dos cilindros en inmediato contacto, se verá que ambos pierden su electricidad constituyéndose en estado natural ó en el cero de accion.

Es menester admitir tambien en esta teoría que cuando los dos fluidos de especie diferente estan en presencia uno de otro, presentándoles obstáculos para su reunion, se paralizan mútuamente, de modo

que ni uno ni otro pueden producir efecto. Asi, pues, estando el aire perfectamente seco se observa que si, en vez de reunir ambos cilindros del experimento anterior, se les coloca solamente á corta distancia uno de otro, no dan la mas mínima señal de electricidad en el electrómetro, al paso que, aumentándose gradualmente su mútua distancia, aparece de nuevo poco á poco hasta que se manifiesta toda su fuerza.

---

---

### CAPÍTULO III.

#### *Distribucion del fluido eléctrico en los cuerpos.*

662. *Expansion del fluido eléctrico en los cuerpos conductores, y en el vacío.*—Supuesto que las moléculas del fluido eléctrico de la misma especie se rechazan, es claro que en un cuerpo conductor que no ejerza ninguna accion química sobre estos fluidos, deben separarse unas de otras hasta que sus fuerzas repulsivas sean cero, es decir, indefinidamente; de suerte que si estuviésemos constantemente sumerjidos en un cuerpo conductor, no podriamos jamas conservar cuerpos electrizados. Asi es que en los tiempos húmedos en que el aire atmosférico se hace buen conductor, la máquina eléctrica produce poquísimo ó ningun efecto.

En el vacío no conservan la electricidad los cuerpos conductores, y el fluido se esparce instantáneamente en forma de una debil luz purpúrea. Esto se puede demostrar extrayendo el aire de un tubo largo provisto de su llave, y haciéndole des-

pues comunicar por esta con el conductor de una máquina eléctrica puesta en acción, mientras el otro extremo comunica con el deposito comun por la mano del observador ó por medio de una cadenilla. Se han variado mucho los aparatos para obligar al fluido eléctrico á que tome al esparcirse en el vacío la figura de una cascada, de un canastillo, de un sol, &c. multiplicando asi los bellos efectos de esta clase de experimentos.

663. *El aire atmosférico retiene al fluido eléctrico en la superficie de los cuerpos.*—Si el fluido eléctrico que se mueve en un conductor encuentra al paso un cuerpo no conductor, se detendrá necesariamente en la superficie de separacion de los dos cuerpos: asi sucede con el aire atmosférico. De aqui resulta que el fluido eléctrico que se comunica á un cuerpo debe procurar escaparse de este cuerpo, colocándose enteramente en su superficie, donde queda detenido por el aire; de suerte que el interior del cuerpo no debe estar electrizado. Efectivamente esto es lo que se verifica, como puede comprobarse facilmente.

Tómese una esfera metálica, en la cual se haya hecho en direccion de uno de sus radios, un agujero cónico bastante ancho, en disposicion de que el vértice esté hácia el centro; aíslese esta esfera, y electrícesela dirigiendo el fluido eléctrico ácia el centro por medio de un conductor que penetre en el agujero.

Si despues se saca el conductor, y se lleva al centro de la esfera una bola metálica en estado natural aislada por una varilla de vidrio ó resina, se verá que esta bola no manifiesta ninguna señal de electricidad en el mejor electrómetro.

664. *Distribucion del fluido eléctrico en la superficie de los cuerpos de diversas formas.*—Si el sólido á cuyo centro se ha comunicado cierta cantidad de electricidad es una esfera conductriz, es facil concebir que en virtud de la ley de repulsion, el fluido se distribuirá uniformemente, y formará en la superficie una capa infinitamente delgada, terminada en el exterior por la superficie misma del cuerpo, y en el interior por una superficie semejante; sin esta distribucion no podria verificarse el equilibrio.

Si en lugar de una esfera se emplea un *elipsoide de revolucion* (fig. 250), el fluido eléctrico, que supondremos tambien dirigido al centro del cuerpo, obrará del mismo modo, respecto de la esfera inscrita; pero al llegar á los puntos de tangencia *a* y *b* encontrará un obstáculo en el aire, y refluirá hácia los extremos *A* y *B* del eje mayor; por consiguiente será mas abundante en estos puntos que en *a* y *b*.

Si se toma un *tetraedro regular*, y se considera tambien inscrita en él la esfera, se concebirá que el fluido eléctrico distribuyéndose segun la ley de repulsion, llegará á los cuatro puntos de tangencia, y refluirá hácia los ángulos sólidos, ó hácia las aristas. Por consiguiente se acumulará en ellas en mayor cantidad que ácia el medio de las caras.

665. *Distribucion del fluido eléctrico entre los cuerpos en contacto.*—Debemos á Coulomb gran número de experimentos sobre la distribucion del fluido eléctrico entre los cuerpos en contacto, y sobre la ley de la distribucion de este fluido en los diferentes puntos de estos cuerpos. Estos experimentos fueron hechos con el mayor cuidado por medio de la balanza eléctrica.

Coulomb demostró que la repartición del fluido eléctrico entre dos cuerpos puestos en contacto no depende absolutamente de la naturaleza, sino de la forma de estos cuerpos. Después de haber colocado una bola de cobre electrizada en frente del circulillo de papel dorado de la balanza, y haber determinado la torsion, tocaba esta bola con otras aisladas de igual superficie, y diferentes materias; quitadas estas nuevas bolas el papel dorado se acercaba. Disminuia Coulomb la torsion por medio de la aguja superior, hasta que el papel se volvia á colocar á la distancia primitiva. Observó siempre que la torsion no era mas que la mitad de la primitiva; luego la fuerza repulsiva, y por consiguiente la cantidad de electricidad en la bola de cobre habia disminuido en una mitad. Resulta de aqui que entre dos esferas del mismo diámetro de cualquier naturaleza que sean, el fluido eléctrico se reparte con igualdad: no hay mas diferencia en esta repartición sino en el tiempo necesario para verificarse que es tanto mas largo cuanto peores conductores son los cuerpos.

Coulomb indagó después la ley con que se reparte el fluido eléctrico entre dos esferas de diferente diámetro. Halló que si las superficies son desiguales en una razon dada, las cantidades de fluido variaban en otra razon menor, de suerte que estando las superficies en razon de 1 : 15 las cantidades respectivas de fluido estaban en la de 1 : 11.

Después de una serie de experimentos que le condujeron á observar que, permaneciendo una de las esferas siempre la misma, y haciendo á la otra mas y mas pequeña, las relaciones de las cantidades respectivas de fluido aumentaban segun una progre-

sion siempre mas lenta, comparó dos esferas, cuyas superficies tenian poco mas ó menos la relacion de 2300 á 1, y halló que las cantidades respectivas de fluido estaban en la razon de 2:1, razon que puede mirarse como el limite de la progresion, considerando el globo menor como infinitamente pequeño respecto del mayor.

666. *Distribucion del fluido eléctrico en la superficie de los cuerpos en contacto.*—Coulomb buscó despues la ley de distribucion del fluido eléctrico en los diferentes puntos de los cuerpos puestos en contacto. *Cuando dos esferas electrizadas del mismo modo se tocan*, las moléculas del fluido en virtud de la ley de repulsion deben refluir de una y otra parte del punto de contacto, de suerte que la tension eléctrica sea nula en este punto, y en los puntos circunvecinos hasta cierta distancia, como confirma la experiencia. Coulomb observó tambien que cuanto mas desiguales son las esferas, tanto mas se aproxima á la uniformidad la tension eléctrica en la esfera mayor, y mas varía sobre la pequeña desde el punto de contacto hasta los 180°.

Puesta en contacto una esfera de 0,216 metros (9,288 pulgadas españolas) de diámetro, con otra de 0,054 metros (2,325 pulgadas) halló Coulomb que la tension eléctrica era insensible sobre la pequeña desde el punto de contacto hasta los 30°; á los 45° era la cuarta parte de la que se verificaba á los 90°; y desde 90° á 180° crecia en razon de 10:14. En la esfera grande la tension eléctrica era casi insensible desde el punto de contacto hasta de 4° ó 5° solamente; crecia rápidamente hasta los 30°, y desde allí seguia casi uniforme hasta 180°.

113 *Poniendo en contacto una serie de esferitas*

*iguales* buscó Coulomb la ley de la distribución del fluido eléctrico en ellas, y halló como debia preverse que habia igualdad entre las tensiones eléctricas de los globos extremos, y que en general dos esferas equidistantes de los extremos se hallaban en el mismo grado de tension eléctrica. En cada esfera extrema la tension es mayor que en la inmediata; el decrecimiento es muy rápido de la primera esfera á la segunda, y aun de la segunda á la tercera; pero se va haciendo mas lento hasta llegar al medio en donde la tension se reduce á cero.

Coulomb puso *en contacto con una esfera de 0,216 metros, una serie de otras iguales de 0,054 metros*, y comparó las tensiones eléctricas de estas entre sí, y de cada una de ellas con la mayor. Halló que en una fila de 24 esferitas la tension de la 24<sup>a</sup> á la 23<sup>a</sup> era la de 1,49:1.

La de la 24<sup>a</sup> á la 12<sup>a</sup> era la de 1,7:1.

La de la 24<sup>a</sup> á la 2<sup>a</sup> era la de 2,1:1.

La de la 24<sup>a</sup> á la 1<sup>a</sup> que estaba en contacto con la esfera grande era de 3,72:1.

En fin la de la 24<sup>a</sup> á la de la esfera grande era la de 2,16:1.

667. *Distribucion del fluido eléctrico en la superficie de un cilindro libre, ó puesto en contacto con una esfera grande.*—Coulomb buscó despues el modo de distribuirse el fluido eléctrico en los diferentes puntos de una superficie cilíndrica. La tension del fluido varía desde los extremos al medio casi con la misma relacion que en una serie de esferas iguales. Segun se emplean cilindros mas delgados, tanto mas crece la tension eléctrica en los puntos extremos respecto de los puntos intermedios. Suponiendo un cilindro muy delgado colocado en

contacto con una esfera muy grande electrizada, la tension del fluido en el extremo libre del cilindro se hace muy considerable, y puede llegar hasta tal punto que ya no pueda el aire contrarrestar la repulsion de las moléculas. De este modo concebía y explicaba Coulomb el poder de las puntas para lanzar rápidamente en la atmósfera el fluido eléctrico de un cuerpo electrizado.

668. *Aplicacion del cálculo á la distribucion del fluido eléctrico en la superficie de los cuerpos.*—Poisson ha sometido al cálculo la distribucion del fluido eléctrico en la superficie de los cuerpos; observó desde luego que la capa del fluido debe terminarse en el exterior por la superficie del cuerpo, y en el interior por una superficie poco diferente, determinada por la condicion de equilibrio entre las fuerzas repulsivas de las moléculas eléctricas. Aun no ha determinado la forma de la superficie interior mas que en los sólidos análogos á la esfera, y elipsoide de revolucion. El cálculo demuestra que esta superficie debe ser semejante á la de la esfera ó elipsoide dado. Este resultado conduce á determinar el espesor de la capa en el punto que se quiera; en una esfera el espesor es por todas partes igual; pero en un elipsoide el mayor espesor está en los extremos del mayor de los ejes; si el elipsoide es muy prolongado, el espesor de la capa eléctrica se hace muy considerable en los extremos de dicho eje mayor.

El cálculo prueba tambien que la tension del fluido eléctrico es siempre proporcional al espesor de la capa eléctrica, cualquiera que sea la forma del cuerpo. Puesto que la presion que ejerce el fluido eléctrico sobre el aire que le detiene en la su-

perficie de un cuerpo, está en razon compuesta de la tension y espesor de la capa; y supuesto tambien que una de estas cantidades es proporcional á la otra, resulta que la presion que ejerce el fluido es proporcional al cuadrado de cualquiera de las dos.

Si se emplea un elipsoide muy prolongado, puede suceder que la presion llegue á ser tal, que venza la resistencia del aire, porque el espesor llegará á ser sumamente considerable en los extremos del eje mayor. Esta es la razon por la cual un cuerpo terminado en punta no puede conservar la electricidad que se le comunica: lo mismo sucede con los cuerpos terminados en aristas salientes, ó ángulos sólidos muy agudos, pues en ellos puede adquirir el fluido eléctrico bastante fuerza para vencer la resistencia del aire. Para evitar esta dispersion del fluido se tiene cuidado de redondear los conductores de las máquinas eléctricas, y todos los instrumentos destinados á los experimentos de la electricidad.

669. *De los puntos y penachos luminosos que se forman al extremo de una punta.*— Si despues de colocar una punta en el conductor de una máquina eléctrica dispuesta para dar el fluido positivo, se hace girar al disco, se verá en la oscuridad un bonito penacho luminoso que se esparce en el aire desde la punta. Este penacho produce en el aire cierta agitacion; sacude las moléculas del aire arrastrándolas delante de sí, ó forzándolas á colocarse á los lados; esto produce una especie de vacío que el aire adyacente reemplaza al momento, formándose asi una corriente dirigida hácia la parte aguda de dicha punta.

Si la punta es movil será rechazada hácia atras,

como sucede en la rueda eléctrica, que es un hilo metálico puesto en figura de S aguzado por ambos lados, y sostenido por un eje en su centro que los deja moverse.

Si en vez de una punta se colocan dos sobre el conductor, se perjudicarán mutuamente estando muy próximas, lo que procede de la repulsion mútua de las moléculas del mismo fluido acumulado en cada punta.

Si se coloca una punta sobre el conductor de una máquina dispuesta para producir el fluido negativo, no se ve mas que un punto luminoso en vez de un penacho: esto se explica por la mayor resistencia que opone el aire al movimiento del fluido negativo que al del positivo; hipótesi que ha sido introducida por Trémery en vista de varios experimentos.

---

---

## CAPÍTULO IV.

*Accion de los cuerpos eléctricos sobre los que permanecen en estado natural.*

670. *Chispa eléctrica. — Distancia explosiva. —* Cuando un cuerpo conductor está cargado de electricidad detenida en su superficie por la resistencia del aire, se saca una chispa mas ó menos viva presentando un nudillo ó un cuerpo redondo en estado natural, segun es mayor ó menor la tension del fluido eléctrico.

Se ha llamado *distancia explosiva* al intermedio mayor que puede haber entre dos cuerpos situados en un medio cualquiera no conductor, de

los cuales uno robe el fluido eléctrico del otro por medio de una chispa; de suerte que pasada esta distancia no se verifica la chispa. La distancia explosiva varía según la tensión del fluido en la superficie del cuerpo electrizado, según la facultad conductriz, y la forma de este cuerpo; y en fin según la mayor ó menor resistencia del medio ambiente.

En igualdad de circunstancias, la distancia explosiva es mayor en el aire seco enrarecido, que en el aire seco condensado: siempre es mayor en este fluido que en el vidrio, y en este cuerpo mayor que en las resinas.

Si cuando se dispone una serie de cuerpos conductores de suerte que disten entre sí pequeños intervalos, se comunica á uno de ellos una porción de electricidad, se ve pasar esta de uno á otro por medio de chispas; por ejemplo, cuando se suspende una cadena metálica del conductor de una máquina en acción, se ven en la oscuridad pasar rápidamente de un eslabon á otro chispas, de lo que resulta una especie de cadena ó cinta luminosa mas ó menos intensa. Se han imaginado varios aparatos para producir en la oscuridad efectos variados y agradables por medio de las chispas, tales como letreros, columnas, ramilletes, &c. Estos aparatos consisten por lo general en láminas ó tubos, y globos de vidrio, en cuya superficie están pegados cuadritos de estaño poco distantes entre sí, ó láminas del mismo metal, en las cuales estan dibujados con un cortaplumas, árboles, ramilletes, pájaros, &c. Se hace comunicar uno de estos puntos metálicos con el conductor de la máquina eléctrica, y el otro con el depósito comun, y puesta en acción la máquina

pasa el fluido eléctrico saltando de cuadro á cuadro en forma de chispas, y recorriendo así las figuras dibujadas. Estos aparatos se llaman *cuadros mágicos*.

671. *Esfera de actividad eléctrica.*—*Descomposicion del fluido natural de un cuerpo en estado natural puesto á distancia de otro cuerpo electrizado.*—La accion de un cuerpo electrizado no se limita á la distancia explosiva, sino que se manifiesta mucho mas lejos de una manera menos marcada á la verdad; pero acaso mas digna de la atencion del fisico. La mayor distancia á que un cuerpo electrizado puede manifestar su accion, se mira como el radio de una esfera que por esta razon se llama *esfera de actividad eléctrica*. Este radio es mayor ó menor segun la tension del fluido eléctrico en la superficie del cuerpo electrizado, segun la facultad conductriz de este cuerpo, y la de aquel sobre quien obra; y en fin, segun la naturaleza del medio ambiente.

Cuando un cuerpo cargado de una especie de electricidad esté en presencia de otro en estado natural, descompone al fluido natural de este cuerpo, atrae hácia sí el fluido de especie diferente al suyo, y rechaza al de su misma especie hácia la parte opuesta. Si el cuerpo en estado natural es movil, se precipita sobre el cuerpo electrizado, y entonces es preciso distinguir dos casos:

1.º Si los cuerpos no son conductores, ó si el uno lo fuese, y el otro no, quedan aplicados uno sobre otro, porque los fluidos eléctricos no salen de estos cuerpos sino con trabajo, y no pudiendo desde luego combinarse para formar fluido natural, continúan atrayéndose mutuamente.

2.º Si los dos cuerpos son conductores, á penas se haya vericado el contacto, cuando los dos fluidos de especies diferentes se reunirán y formarán el fluido natural; entonces el fluido rechazado á la parte opuesta del cuerpo movil se dividirá entre los dos cuerpos, que quedarán electrizados del mismo modo, y por consiguiente se rechazarán. Si por un medio cualquiera se quita á uno de estos cuerpos su electricidad, será de nuevo atraido por el otro, ó le atraerá: en este principio se fundan los experimentos llamados *danza y campanilla*, ó *repique eléctricos*.

*Danza eléctrica.* — Se suspende de un conductor de una máquina eléctrica (*fig. 251*) una placa de metal, que tiene otra colgada de sí misma por medio de cordones de seda; esta segunda placa comunica con la tierra por medio de una cadenilla, disponiendo sobre ella dos ó tres figuritas de papel ó de medula de sauco, y haciendo obrar la máquina, al momento las figuras se levantan, saltan, giran y voltean como los danzarines.

Estando la máquina en movimiento, las figuritas sufren la accion del platillo superior que está electrizado; son atraidas hácia él, y despues del contacto, hallándose con la misma especie de electricidad son rechazadas, y caen sobre el platillo inferior que se apodera de su electricidad, y la comunica al depósito comun por medio de la cadenilla; se quedan las figurillas en estado natural, y son vueltas á atraer, y á subir y bajar de nuevo.

*Repique eléctrico.* — Se cuelga del conductor de una máquina una varilla horizontal metálica (*figura 252*) que tiene suspendidas dos campanillas ó timbres de reloj, uno A por medio de una cade-

nilla metálica, y el otro B por un cordón de seda, y que comunica con el depósito común por medio de otra cadenilla: un cuerpecillo metálico *a* está suspendido en medio de los dos por un cordón de seda.

Cuando se hace obrar la máquina, el timbre A se electriza, atrae al cuerpo *a* que repele al momento que se verifica el contacto: el cuerpo *a* que se halla electrizado va hácia B que no lo está, y abandonando allí su electricidad, vuelve por efecto de la gravedad á su sitio de donde le saca de nuevo la atracción del cuerpo electrizado, y reproduce los mismos fenómenos.

La descomposición del fluido natural se manifiesta evidentemente por medio del experimento que sigue. Póngase en frente del conductor de una máquina, y á cierta distancia poco considerable, un cilindro metálico aislado BC (*fig. 253*) en estado natural que tenga un electrómetro en C. Puesta la máquina en movimiento, el cilindro BC no tardará en dar señales sensibles de electricidad; si se le toca con el dedo al momento bajará el electrómetro, y desaparecerá toda traza de electricidad; pero si se aleja en seguida del conductor volverá á subir el electrómetro, y reconociendo por medio de un electrómetro la electricidad que se manifiesta, se verá que es de especie contraria á la que se manifestaba en el primer caso.

En este experimento el fluido repartido por el conductor A, que suponemos positivo, descompone el fluido natural del cilindro BC, atrae á B el fluido negativo, *al cual paraliza*, y rechaza hácia C al fluido positivo que, viéndose en estado libre, manifiesta su presencia por el electrómetro. Si se toca

al cuerpo BC se le quita todo su fluido positivo, y no da ya señal alguna de electricidad mientras está en frente del conductor; pero al momento que se le aleja, se halla libre el fluido negativo paralizado en B, y manifiesta su presencia.

672. *Accion de una punta para abstraer el fluido eléctrico.* — Ya hemos visto anteriormente que una punta metálica colocada sobre el conductor esparge al momento en la atmósfera el fluido eléctrico que recibe. Una punta colocada delante de un conductor le roba prontamente su fluido eléctrico sin producir chispas. En este caso es menester concebir que el fluido natural de la punta se descompone por el fluido eléctrico del conductor; el fluido semejante es rechazado hácia la parte opuesta, y desde ella va al depósito comun si hay comunicacion. Por el contrario, el fluido de especie diferente es atraído hácia la punta donde se acumula excesivamente, y adquiere, segun los experimentos de Coulomb (667), bastante tension para vencer la resistencia del aire. Se precipita, pues, en un solo punto del conductor, y se combina con su fluido para formar el natural.

Una punta obra sobre el conductor á gran distancia, pues á 5 ó 6 varas puede todavía sustraerle su fluido. Una punta colocada sobre el electrómetro de Bennet atrae la electricidad de la atmósfera, y manifiesta su presencia por la separacion de las dos laminitas, aun cuando se esté lejos de poder siquiera sospecharla.

Estos diversos experimentos nos conducen á describir varios instrumentos de que todavía no hemos hecho mencion; tales son el *electróforo*, el *condensador*, y el *electrómetro condensador*.

673. *Electróforo.* — Este instrumento fue inventado por Wlick, profesor de física en Estocolmo. Se compone de un platillo ó torta de resina bien lisa, y de un disco metálico mas pequeño, al cual está adaptado un mango de cristal que sirve para aislarle cuando se tiene en la mano. Se electriza la resina frotándola con una piel de liebre ó gato, y se coloca encima el disco metálico.

El platillo resinoso queda electrizado negativamente; su fluido descompone al natural del disco, atrae á sí el fluido positivo con tanta mayor fuerza cuanto mas pequeño es el disco, y rechaza el fluido negativo á la parte opuesta. Este fluido está por consiguiente detenido por el aire, y deseando escaparse, como lo hace en efecto cuando el aire es húmedo, ó mucho mejor cuando se le presenta el dedo.

Siendo la resina mal conductor, resulta que el fluido positivo y el fluido negativo que estan en presencia uno de otro no pueden reunirse para formar fluido natural; pero se paralizan mutuamente, de suerte que, en tanto que el disco y el platillo de resina se hallen en contacto, ninguna parte de fluido positivo ni negativo podrá escaparse. Estos fluidos permanecerian indefinidamente en sus respectivos platillos si la resina fuese absolutamente incapaz de conducir la electricidad; pero como no es mas que un mal conductor, se reunen y combinan poco á poco los dos fluidos; de suerte que, despues de cierto tiempo (bastante considerable sin embargo), concluyen por desaparecer ambos completamente.

Si se toca con el dedo al disco metálico, y se le levanta en seguida del platillo, queda libre todo el fluido positivo que encierra, y se puede sacar

una chispa. Si se le vuelve á colocar sobre el platillo, como este permanece todavia electrizado, efectuará una nueva descomposicion del fluido natural del disco. Se podrá nuevamente tocar á este disco, levantarle, y sacarle otra chispa, y asi sucesivamente todo el tiempo que se quiera.

Si el aire estuviese perfectamente seco, y se levantase el disco metálico sin tocarle, no se podria sacar de él chispa alguna, porque los dos fluidos que encierra se volverian á combinar entre sí cuando estuviesen fuera de la esfera de actividad del platillo resinoso.

Se puede reemplazar el platillo de resina con otro de vidrio, y no se notaria mas diferencia en el fenómeno que la de que en la mayor parte de los casos la electricidad que se sacaria del disco metálico seria negativa, por ser mas frecuente que el vidrio se electrice positiva que negativamente.

674. *Condensador.* — Este instrumento que se debe á  $\text{C}$ pino, es de la mayor utilidad para hacer sensibles las mas debiles porciones de electricidad. Se compone de un disco metálico, llamado *platillo colector*, bien pulimentado, provisto de su correspondiente mango de cristal, y de un platillo que debe formarse de una sustancia semiconductoriz, tal como una lámina de marmol, madera seca, ó mas bien de otro disco metálico separado del primero por medio de una capa de barniz, ó de una placa delgada de vidrio; este platillo debe comunicar con el depósito comun por el lado opuesto al otro disco.

Este instrumento produce el mismo efecto que el electróforo: si se comunica cierta cantidad de fluido eléctrico al platillo colector, este fluido des-

compone al fluido natural del platillo inferior, atrae el de especie diferente, y rechaza el de especie semejante hácia el depósito común: los dos fluidos que están en presencia uno de otro se paralizan mutuamente, y no pueden reunirse por causa del mal conductor que los separa. Resulta de aqui que se pueden añadir sucesivamente nuevas cantidades de fluido eléctrico de la misma especie del que tiene ya el platillo colector, las cuales descomponen nuevas posiciones del fluido natural, y se hallan paralizadas por el fluido de especie diferente que producen estas descomposiciones en el platillo inferior.

Si dos sustancias por su mútuo rozamiento ó contacto no desarrollan sino cantidades pequeñísimas de fluido eléctrico, seria imposible apreciarlas por medio de los instrumentos conocidos anteriormente (658); pero acumulándose sucesivamente en el platillo colector del instrumento de que tratamos, las diversas cantidades de electricidad que se producen á cada instante, es elaro que se obtendrá una cantidad de electricidad, que será apreciable despues de cierto número de contactos. Levantando entonces el platillo colector se podrá sacar de él una chispa, ó medir la electricidad que contiene por medio del electrómetro de Bennet.

675. *Electrómetro condensador.* — Este instrumento no es otra cosa mas que el electrómetro de Bennet, al cual se adapta el condensador. A y B (*figura 254*) son dos discos metálicos, cuyas caras que se tocan estan cubiertas con una capa de barniz. El disco A va acompañado de un mango de vidrio, y comunica con el depósito común por medio de una lámina metálica encorvada hácia delante para tenerle lejos de la botella. El disco B que mira há-

cia el electrómetro comunica con las dos laminas de oro.

Se comunica la electricidad del cuerpo al platillo B, en el cual se puede acumular, y cuando se juzga haber hecho el suficiente número de contactos, se levanta el disco A; entonces la electricidad se manifiesta, haciendo separarse las laminas de oro. Se puede medir esta separacion por la escala graduada del electrómetro; y dividiendo el número de grados por el de contactos sucesivos se podrá formar idea de la cantidad de electricidad producida, y comunicada cada vez.

## CAPÍTULO V.

### *Fenómenos de la electricidad acumulada.*

676. La teoría de la influencia de los cuerpos electrizados sobre los cuerpos en estado natural nos ha conducido al condensador, que hasta ahora hemos considerado solamente como un instrumento cómodo para reunir y conservar las pequeñas cantidades de electricidad que no podrian apreciarse separadamente. Pero tambien puede servir este aparato ú otro construido con arreglo á sus mismos principios, para reunir ó acumular grandes cantidades de electricidad, y llegar de este modo á observar fenómenos bastante notables por la violencia de sus efectos.

Si se hace comunicar uno de los platillos de un condensador formado de dos discos metálicos, separados por una lámina de vidrio, con el conductor de una máquina en accion, y el otro con el de-

pósito comun, el fluido producido por la máquina se esparcirá por el primer platillo desde donde extenderá su influencia al través del cristal; descompondrá el fluido natural del segundo platillo, y atraerá hácia sí el fluido contrario, por quien quedará paralizado; el fluido semejante se escapará entonces al depósito comun. Continuando la máquina en dar electricidad, la comunicará sucesivamente al platillo primero con quien está en contacto, y llegando constantemente fluido natural al segundo platillo por consecuencia de su comunicacion con el depósito comun, se producirá tambien sucesivamente la electricidad contraria. Resulta de esto, que podrán acumularse en los dos platillos grandes cantidades de fluidos opuestos, hasta que, llegando á ser su tension bastante fuerte para vencer la resistencia del vidrio, atraviesen ambos fluidos este cuerpo, y se reunan produciendo explosion (670).

Antes que esta reunion natural pueda verificarse, se acumularán en los dos platillos cantidades considerables de fluido eléctrico de ambas especies que se paralizarán mutuamente, y no manifestarán de modo alguno su presencia mientras continúen separados. Pero ambos fluidos se precipitarán con violencia uno sobre otro cuando se establezca una comunicacion entre ellos. Si se establece esta comunicacion poniendo una mano en uno de los platillos, y la otra en el otro, se recibirá una conmocion violenta, resultante del paso rápido de los dos fluidos al través de los órganos, ó mas bien de la descomposicion inesperada del fluido natural de estos órganos, pues cada uno de sus fluidos componentes se dirige con rapidez al disco en donde reside el fluido eléctrico opuesto.

Para descargar el aparato sin recibir la conmoción se puede emplear el *excitador* (fig. 255), el cual se compone de una barrita metálica cortada por su medio, y unidas ambas partes por una charnela, y terminadas en dos bolas: dos mangos de madera seca cubierta con lacre, ó mas bien de cristal sirven para tener el instrumento sin recibir ninguna porcion del fluido eléctrico. Para usar este instrumento basta colocar una de las bolas en un disco, y la otra sobre el opuesto.

Se puede descargar de este modo el condensador por contactos sucesivos, y aunque este método no puede emplearse en la práctica, lo que proviene de la misma teoría del aparato, no parece inutil detallarle. Es preciso observar que el fluido comunicado al disco que está en contacto con la máquina, viéndose obligado á obrar á cierta distancia sobre el fluido natural del otro disco, para paralizar cierta cantidad del fluido contrario, debe hallarse en mayor cantidad. Asi es que el disco opuesto al que está en contacto con el conductor debe presentar absolutamente *cero* de electricidad, mientras que el otro disco debe presentar una parte aunque pequeña de electricidad libre. Si, pues, estando aislado el aparato se aproxima el dedo á este disco, debe sacarse una chispa; pero cuando el fluido contrario acumulado sobre el disco opuesto no está ya enteramente paralizado, una parte se halla necesariamente en estado libre, y se puede abstraerla presentando el dedo. Entonces una nueva porcion de fluido se hace libre en el otro platillo, y se le podrá sacar del mismo modo, y asi sucesivamente.

677. *Cuadro fulminante.* — *Frasco ó bocal eléctrico.* — *Botella de Leyden.* — Como es inutil en es-

tos experimentos que los discos metálicos sean móviles, se puede reemplazar el condensador con otros aparatos mas sencillos que producen el mismo efecto. Puede, por ejemplo, emplearse una lámina de vidrio cubierta por ambos lados con una hoja de estaño que reemplace al disco. Estas hojas no deben llegar hasta el borde del vidrio, sino que deben dejar descubiertas todo á su rededor unas cinco ú seis líneas de la lámina. Este aparato toma el nombre de *cuadro fulminante*.

Tambien puede usarse una vasija de vidrio, tal como un frasco, tarro ó vaso, cuyas dos caras interior y exterior se guarnecen de hoja de estaño hasta unas cuatro ó seis líneas de los bordes. Entonces toma el aparato el nombre de *bocal ó frasco eléctrico*.

Ultimamente puede darse tambien al aparato otra disposicion, valiéndose de una botella, cuyo exterior se guarnece con hoja de estaño, y el interior se llena con hojillas ligeras de metal ó pan de oro, lo que produce el mismo efecto que la garnicion interior. Una varilla metálica recta ó curva terminada en un boton ó bola comunica con el interior de la botella.

Este aparato (*fig. 256*) ha tomado el nombre de *botella de Leyden*, porque en Leyden fue donde el año 1745 se hizo el primer experimento, que no solo dió origen al aparato, sino que hizo descubrir todos los fenómenos de la electricidad acumulada.

Mussembroeck, físico de Leyden, se propuso electrizar el agua contenida en una botella que tenia en la mano, y cuyo interior comunicaba por medio de una cadena con el conductor de una máquina eléctrica. Queriendo, despues de la electrizacion,

quitar la cadenilla recibió una violenta conmocion que le asustó de tal modo, que escribió entonces á Reaumur que no volveria á hacer aquel experimento por todos los tesoros de la tierra. Sin embargo de esto, el experimento se repitió, y se descubrieron las circunstancias mas cómodas para producir sus fenómenos. Se reemplazó el agua de la botella con panes de oro, y se guarneció con hoja de estaño el exterior. Despues se hizo el cuadro fulminante, el bocal eléctrico, y otra multitud de instrumentos del mismo género.

Todos estos aparatos pueden cargarse del mismo modo que el condensador, poniendo una de sus *guarniciones* en contacto con el conductor de una máquina eléctrica en movimiento, y la otra en comunicacion con el depósito comun, ya sea por medio de una cadenilla, ó ya con solo tenerla en la mano. Este último medio es el que se emplea mas comunmente para cargar una botella de Leyden: si se la tiene por la guarnicion exterior, se electriza poniendo el boton de la varilla en contacto con el conductor, y si se tiene por el boton se la electriza poniendo la guarnicion exterior sobre el mismo conductor. En el primer caso, si la máquina produce electricidad positiva, el interior de la botella queda electrizado positiva, y el exterior negativamente: al contrario en el segundo caso.

678. *Bateria eléctrica.*— Cuando se quieren obtener efectos eléctricos muy considerables, se reúnen cierto número de botellas de Leyden que se hacen comunicar entre sí por sus diferentes, guarniciones, es decir, por una parte todas las guarniciones interiores, y por otra todas las exteriores. Para esto se colocan todas estas botellas en un cajon, cuyo fon-

do esté guarnecido de hoja de estaño, y se enlazan los botones con varillas metálicas. Este aparato toma el nombre de *batería eléctrica*. Se carga lo mismo que una sola botella, haciendo comunicar una de las guarniciones con el conductor de una máquina, y la otra con el depósito comun.

Los efectos de la batería eléctrica son sumamente violentos; es preciso evitar cuidadosamente el recibir su descarga, pues tal vez podría cualquiera lastimarse peligrosamente, ó á lo menos sufrir una conmocion de la que quedase resentido por largo tiempo. Los pájaros y otros animales pequeños quedan muertos instantáneamente por la descarga de una batería compuesta de seis ú ocho botellas.

Cuando se quiere descargar una batería eléctrica se emplea el excitador; se pone una de las bolas sobre la guarnicion exterior, y se acerca la otra á la guarnicion interior. Se obtiene entonces una chispa sumamente viva que algunas veces puede atravesar un platillo de vidrio sin romperle, pues solamente deja un agujero casi imperceptible, lo cual procede sin duda alguna de la suma velocidad con que es lanzada.

679. *Combustion eléctrica.* — La chispa eléctrica lanzada sobre una sustancia combustible la inflama facilmente, como sucede con el espíritu de vino caliente; pero con una batería se pueden producir combustiones mas notables, como son las de los metales. Sirva de ejemplo un alambre, cuyos dos extremos se hagan comunicar con las dos guarniciones de una batería eléctrica bien cargada. Al momento se enciende y quema con una llama blanquecina muy viva, lanzando por todas partes chispas muy vivas y vistosas. Disponiendo un pa-

pel á propósito se puede recoger el producto de la combustion que está compuesto de globulillos de hierro oxidado.

Del mismo modo se pueden quemar diferentes metales; un hilo de oro se quema produciendo una llama blanco-azulada, y un polvillo fino purpúreo, que es el protóxido de oro. La plata se quema dando la llama verdosa, &c.

68o. *Botella de Ingenhousz.*— El experimento de Mussembroeck metió tanto ruido que todo el mundo quiso tener máquinas eléctricas: por las calles y plazas andaban charlatanes que por una corta retribucion repetian el experimento. La botella llamada de Ingenhousz estuvo entonces muy en boga. Consiste en una botella de Leyden, cuya superficie está cubierta con un barniz hecho con lacre para preservarla de la humedad. Una cinta de tafetan barnizado, y un pedazo de pellejo de liebre ó gato acompañan á esta botella, y el todo está encerrado en un estuche muy manual. Se carga la botella pasando su boton de la guarnicion interior por la cinta al paso que se frota á esta con el pellejo.

Tambien se ha dispuesto la botella de Leyden en forma de baston, dándola el nombre de *baston eléctrico*, el cual se usa como la botella de Ingenhousz para causar una conmocion á cualquiera quando menos lo piensa. Consiste en un tubo de vidrio guarnecido como una botella de Leyden comun, y metido en un tubo de hoja de lata pintada.

## CAPÍTULO VI.

*Electricidad producida por el contacto de diversas sustancias, ó galvanismo.*

681. *Fenómenos fundamentales.*— Dos cuerpos de diferente naturaleza puestos en contacto se constituyen en estado eléctrico; el uno positiva, y el otro negativamente. Pero la cantidad de electricidad producida en cada contacto es tan pequeña que no se hace sensible, sino por su acumulacion en un condensador.

Si se toman, por ejemplo, dos metales, tales como zinc y cobre, se constituyen el primero en estado de electricidad positiva, y el segundo en el de negativa; advirtiéndose que estos fenómenos no se verifican sino por el inmediato contacto, de suerte que si se interpone entre estos dos cuerpos otro cualquiera como una capa de barniz, ó un trapo húmedo, &c. no se produce ningun efecto eléctrico.

Formando una placa metálica compuesta de dos metales, como zinc y cobre soldados juntos, se observa que, si se toma entre los dedos el extremo cobre, y se pone el extremo zinc sobre el platillo colector de un condensador, no se electrizará dicho platillo, porque siendo de cobre desarrollará una electricidad contraria que paralizará la que el zinc pueda comunicarle; pero si se cubre de antemano el platillo con un papel húmedo, se electrizará positivamente hasta el mismo grado que el zinc, porque este, á medida que cede su electri-

dad al platillo, saca otra tanta del cobre con que está soldado.

Si se toma entre los dedos el extremo zinc, y se pone el extremo cobre sobre el platillo colector, este se electrizará negativamente, ya se le cubra con un papel húmedo, ó ya se le deje descubierto.

Partiendo el célebre Volta de estos fenómenos logró prontamente el descubrimiento de un instrumento que conserva en el día el nombre de *pila de Volta*, ó *pila galvánica*.

682. *Construcción de una pila de Volta.*—La pila de Volta, tal como fue construida por este sabio físico se compone de discos metálicos de zinc y cobre reunidos en contacto de dos en dos, por lo cual se llaman *pares*: estos pares se sobreponen unos á otros conservando siempre el mismo orden, y separándolos entre sí con rodajas de cartón ó trapo humedecidas. Todo el aparato está dispuesto verticalmente.

Se ha variado considerablemente la construcción de este aparato, uno de los mas importantes que poseen la física y la química. En la pila que se ha empleado durante largo tiempo como mas enérgica, y se llama *pila de artesa* ú *horizontal* (*fig. 259*), las dos placas estaban soldadas en toda su superficie, y dispuestas de canto en una caja donde dejaban entre sí un intervalo poco considerable para contener el líquido conductor.

En el día el aparato que se usa como mas enérgico se dispone de otro modo. Las placas no están soldadas sino por sus bordes, y aun no enteramente, terminándose cada una de ellas por una lengüeta como *fig. 261*. Están encorvadas de modo que pueden estar sumerjidas verticalmente en unas ca-

sillas de vidrio, porcelana ó madera: cada casilla, excepto la primera y la última, recibe entonces dos placas de diferente naturaleza. Para manejar cómodamente este instrumento estan fijos los pares en un liston por medio de tuercas como *fig. 262*, y se pueden sumerjir arbitrariamente en la casilla que está debajo, dividida en sus correspondientes separaciones.

Siguiendo los consejos de Wollaston dió Children al aparato otra disposicion que en sustancia es casi idéntica á la precedente. La placa de cobre es mucho mas larga que la de zinc, y se halla encorvada de modo que la que proviene de un par recibe la lámina de zinc del par siguiente, como se vé en la *fig. 260*, en la cual el zinc está señalado por *z*, y el cobre por *c*. Estos pares se fijan tambien en un liston de madera para poderlos sumerjir arbitrariamente en las casillas donde está el liquido conductor. Debe observarse, que por esta disposicion las placas de los extremos no son mas que porciones del conductor, de suerte que el hilo que comuniqué con el lado zinc da fluido negativo, porque no hace mas que recibir el fluido del cobre precedente. Del mismo modo el hilo que comunica con la placa cobre del extremo da fluido positivo, porque no es mas que el receptáculo de la placa zinc precedente.

Pueden variarse estas construcciones de mil modos; siendo la única disposicion necesaria de conservar, pues de ella depende la mayor ó menor ventaja de los aparatos, la de que las placas puedan hallarse en contacto por ambos lados con el liquido conductor.

El zinc y el cobre son los metales que mere-

cen la preferencia para la construccion de las pilas, porque entre los cuerpos metálicos que pueden adquirirse facilmente, son los que desarrollan mejor la electricidad por su contacto mútuo. Pero un gran número de sustancias, por no decir todas, producen electricidad en cierta cantidad cuando se las pone en contacto de dos en dos; y aun parece que no es necesario que las dos placas sean siempre de naturaleza diferente, pues Desaignes ha observado que puede formarse una pila voltaica con discos de un mismo metal, siempre que se hallen en diferentes temperaturas.

En el dia se construyen tambien pilas voltaicas pequeñas con rodajas de papel del tamaño de una oblea, que tengan una cara dorada, y la otra teñida con una capa de óxido negro de manganeso. Estas pilas tienen, como es facil concebir, muy poca energia; pero se han empleado para formar una especie de movimiento continuo ó perpetuo muy notable, siendo lo mas particular que no admiten en su construccion ningun cuerpo húmedo, pues su efecto se reemplaza por el papel.

633. *Teoría de la pila voltaica.*—Parece que el efecto de los cuerpos húmedos se limita sensiblemente á conducir el fluido eléctrico de un par á otro; por esta razon las aguas cargadas de sal, y los líquidos acidulados producen mayor efecto, puesto que son mejores conductores. De aqui se sigue que dos placas que estan separadas por un conductor húmedo deben tener la misma tension eléctrica.

Si se hace comunicar la pila por uno de sus extremos, por ejemplo, el cobre con el depósito comun, y se valúa la electricidad de cada placa de cobre por medio de la balanza eléctrica,

se halla que desde el punto de comunicacion hasta el otro extremo las tensiones eléctricas de las placas de cobre siguen la progresion natural  $0, a, 2a, 3a, 4a, \&c.$ ; valuando del mismo modo las placas de zinc se halla que sus tensiones eléctricas siguen la progresion  $a, 2a, 3a, 4a, 5a, \&c.$

De aqui se deduce la consecuencia de que la diferencia entre dos placas en contacto es constante, estén ó no en estado natural. Esto supuesto hagamos la suma  $a$  de las electricidades positiva y negativa, pertenecientes, una al zinc, y otra al cobre, igual á la unidad; siendo las placas iguales, el estado eléctrico del zinc despues del contacto podrá representarse por  $+\frac{1}{2}$ , y el del cobre por  $-\frac{1}{2}$ ; indicando el signo  $+$  la electricidad positiva, y el  $-$  la negativa: la diferencia es claro que será  $1$ .

Segun esto es facil dar razon de los experimentos del núm. 681; el extremo cobre que se tiene en la mano se halla en cero; luego el estado eléctrico del zinc debe ser  $+1$ ; pero, aplicando inmediatamente el otro extremo sobre el platillo conductor que es de cobre, la diferencia entre el estado eléctrico del zinc y el del cobre debe ser  $-1$ ; luego es menester que el estado del platillo sea cero. Si se interpone un conductor húmedo, no existiendo ya el contacto entre los dos metales de diferente naturaleza, el platillo colector adquirirá el estado eléctrico positivo del zinc que es  $+1$ .

Es tambien facil determinar la distribucion del fluido eléctrico en el interior de una pila aislada; tomaremos para esto el ejemplo siguiente: sea seis el número de pares, y  $x$  el estado eléctrico desconocido de la primera placa que supondremos de cobre;  $x+1$  será el estado eléctrico del zinc en

contacto;  $x + 1$  será tambien el estado eléctrico del cobre siguiente, á causa de la interposicion del conductor húmedo;  $x + 2$  será el estado eléctrico del segundo zinc;  $x + 2$  el estado eléctrico del tercer cobre, &c., de suerte que los estados eléctricos de las seis placas de zinc serán

$$x, x + 1, x + 2, x + 3, x + 4, x + 5:$$

los estados de las seis placas de cobre serán

$$x + 1, x + 2, x + 3, x + 4, x + 5, x + 6.$$

Tomando las sumas se tendrá para la primera serie  $6x + 15$ , y par la segunda  $6x + 21$ .

En el estado de aislamiento, estas dos sumas son cero, y se tiene  $6x + 15 + 6x + 21 = 0$ , de donde resulta  $x = -3$ .

Segun esto, los diferentes estados de las placas de cobre son  $-3, -2, -1, 0, +1, +2$ ; y los estados de las seis placas de zinc son,

$$-2, -1, 0, +1, +2, +3.$$

Donde se ve claramente que las piezas equidistantes de los extremos tienen la misma tension eléctrica; pero que una está electrizada positivamente, y la otra negativamente. Se ve tambien que en medio de la pila hay siempre dos piezas que estan á *cero* de electricidad, lo cual sucederá siempre que el número de pares sea par.

Supongamos que el número de pares sea 7; los estados eléctricos de las 7 placas de cobre serán,

$$x, x + 1, x + 2, x + 3, x + 4, x + 5, x + 6;$$

los estados de las 7 placas de zinc serán,

$$x + 1, x + 2, x + 3, x + 4, x + 5, x + 6, x + 7.$$

Igualando sus sumas á cero, resulta que  $x = -\frac{7}{2}$ ; de suerte, que los estados eléctricos de las placas son: cobre,

$$-\frac{7}{2}, -\frac{5}{2}, -\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}, +\frac{3}{2}, +\frac{5}{2};$$

zinc,  $-\frac{1}{2}, -\frac{3}{2}, -\frac{5}{2}, +\frac{1}{2}, +\frac{3}{2}, +\frac{5}{2}, +\frac{7}{2}$   
 donde se ve que no hay placas á cero; pero que las piezas equidistantes de los extremos, poseen siempre la misma tension eléctrica, estando cargada una de electricidad positiva, y la otra de negativa. Se debe notar en general que los dos extremos de la pila son solicitados por electricidades de especie diferente.

Supongamos ahora que la pila, compuesta de seis pares, comunica con el depósito comun por el extremo cobre, se tendrá  $x=0$ ; y entonces los estados eléctricos de las placas cobre serán los de

$$0, 1, 2, 3, 4, 5;$$

y los de las placas de zinc serán

$$1, 2, 3, 4, 5, 6.$$

Se ve que todas las piezas se hallan en estado de electricidad positiva; luego la pila no tendrá mas que esta especie de electricidad.

Si se quiere conocer la cantidad de electricidad de la pila, será preciso juntar las sumas de las dos progresiones; la primera da 15, y la segunda da 21, luego el total 36 expresa la carga de la pila. Es de notar que este número es el cuadrado de seis que expresa la tension eléctrica de la última pieza de zinc. Lo mismo sucede cualquiera que sea el número de piezas, de donde se sigue que los efectos que dependen de la cantidad del fluido eléctrico, crecerán con el número de pares mas rápidamente que los que no dependan sino de la tension de este fluido.

Si se hiciese comunicar la última placa zinc con el depósito comun, se tendrá  $x+6=0$ , ó  $x=-6$ ; y los estados eléctricos del cobre serían  $-6, -5,$

— 4, — 3, — 2, — 1; los del zinc serian — 5, — 4, — 3, — 2, — 1, — 0, donde se ve que la pila estaria cargada de electricidad negativa; la cantidad de fluido se representaria por 36, que es el cuadrado de la última pieza de cobre tomado negativamente.

684. *Identidad del fluido de la pila voltáica con el fluido eléctrico.* — Todos los fenómenos que presenta la pila, son idénticos á los que se obtienen con las máquinas y conductores eléctricos comunes. Asi es que dos hilos colocados en un mismo extremo de la pila se rechazan como los que estan atados á un mismo extremo de un conductor electrizado; al contrario se atraen dos hilos que estan atados á los extremos opuestos de la pila. Se carga una botella de Leyden con la pila; haciéndola comunicar con uno de sus extremos, mientras el otro comunica con el suelo; lo mismo idénticamente que si se la pusiese en comunicacion con el conductor de una máquina comun, y se experimenta la misma conmoción cuando se tocan á la vez, despues de cargada, sus dos guarniciones. Todos estos efectos indican segun se ve una grande analogía; pero no llegan á establecer la identidad de los fluidos, puesto que nada impide que se conciban efectos análogos, ó semejantes con fluidos diferentes. Pero Volta probó la identidad por medio del experimento siguiente, único á propósito para el objeto: electrizó un electrómetro por medio de una pila, y despues hizo ver que presentada al instrumentó una barrita de la cre electrizada por frotacion, aumentaba ó disminuía la separacion de los hilos, segun habia sido electrizado el instrumentó por uno ú otro extremo de la pila, y precisamente del mismo modo que

si se hubiese empleado la misma barra de lacre para comunicarle la virtud eléctrica.

685. *Comoción de la pila.*—Si después de mojarse las manos se tocan á la vez los dos extremos de una pila algo fuerte, se experimenta al momento una comoción, y después una sensación convulsiva continua, que se extiende tanto mas arriba en los brazos, cuando mejor conductor es el liquido con que está dispuesta la pila; si muchas personas se agarran de la mano, y la primera y última tocan los extremos de la pila, la comoción no es sensible para las personas colocadas en los extremos. Cuando se tienen las manos secas, la comoción es casi nula, porque la epidermis es muy mal conductor.

Se ve por otros experimentos que la comoción de la pila difiere algo de la comoción de la botella de Leyden; pero es facil observar que existe una gran diferencia entre ambos aparatos; la botella se descarga instantáneamente, y no puede reparar la pérdida que ha sufrido; al contrario en la pila, pues estando los discos de zinc en continuo contacto con los de cobre, á medida que la pila se descarga al traves del cuerpo del observador, el zinc permanece haciéndose positivo, y el cobre negativo continuamente, de suerte que se establece una corriente continua. La comoción que se experimenta al primer momento no depende mas que de la tension del fluido eléctrico en el aparato, y por consiguiente debe aumentarse con el número de los discos, siendo independiente de la perfecta conductibilidad del liquido que se emplea en la disposicion de la pila. No sucede lo mismo con la sensación convulsiva continua, pues es tanto mas enér-

gica, cuanto mejor conductor es el líquido; no existiendo la tension en este caso, se ve que la sensacion continúa que produce una pila de ciertas dimensiones no puede ser muy diferente de la que produce otra pila de mayores ó menores dimensiones, á menos que la diferencia entre las dimensiones no sea muy considerable.

686. *Combustion de los metales.* — Cuando se tocan á la vez los dos extremos de una pila con un alambre, se observa una chispa en el punto del contacto; y si la pila es bastante fuerte, el metal se inflama y quema en cierta longitud: de este modo se pueden quemar todos los metales mucho mas facilmente que con la bateria eléctrica. La pila tiene tanta mayor actividad para quemar los hilos metálicos, cuanto mayor es la superficie de las placas.

Esta combustion no se verifica sino cuando el hilo que se opera está sumerjido en el aire atmosférico; pero si se hace el experimento en el vacío ó en un gas que no sea susceptible de alimentar la combustion, el metal no hace mas que calentarse y enrojarse. Si se sustituye en el mismo caso un pedazo de carbon al hilo metálico, se ve á dicho cuerpo hacerse excesivamente luminoso.

687. *Descomposicion de los cuerpos.* — Hace mucho tiempo que se sabe que los fluidos eléctricos tienen la propiedad de descomponer un gran número de cuerpos. El célebre Lavoisier empleó la electricidad de una máquina comun para descomponer el agua, y Wollaston, perfeccionando el aparato de descomposicion, logró producir efectos mucho mas sensibles. Pero la pila voltáica que se ha convertido en manos de los químicos en una mina de descubrimientos preciosos casi ina-

gotable, no es menos cómoda y enérgica que las demas máquinas eléctricas; y ofrece ademas una particularidad que no presentan las máquinas comunes; á saber, que los elementos componentes de los cuerpos quedan separados, dirigiéndose uno al polo ú extremo positivo, y el otro al polo negativo.

Para verificar la descomposicion de un cuerpo por medio de la pila, se pone á este cuerpo en contacto, por un lado con el polo positivo, y por otro con el negativo, valiéndose de hilos conductores, cuyos extremos estan fijados á los polos del aparato, mientras que se ponen los otros dos sobre el cuerpo, de modo que no se toquen, y únicamente se hallen á una corta distancia un extremo del otro. Entonces el cuerpo se descompone en dos elementos simples ó compuestos segun su naturaleza, de los cuales uno se dirige hácia el lado positivo, y el otro hácia el lado negativo; de donde debe deducirse, por consecuencia de la influencia de los dos hilos sobre las partículas del cuerpo que se hallan entre ambos, que uno de los elementos se constituye en el estado positivo, y el otro en el estado negativo; el primero es atraído entonces por el hilo negativo, y el otro por el hilo positivo. Hasta ahora se ha observado que el oxígeno, el cloro y el iodo se hallan siempre en estado negativo respecto de otro cuerpo con que puedan estar combinados; que el oxígeno sigue siendo negativo respecto al cloro y iodo cuando está combinado con ellos; que un compuesto que contiene oxígeno es negativo respecto de un cuerpo que no le contiene, exceptuando siempre al cloro y iodo; y en fin, que un cuerpo oxidado es negativo respecto de otro cuerpo tambien oxidado, cuando en este último está el oxí-

geno mas fuertemente retenido que en el primero. Este último caso se manifiesta en la descomposicion de ciertas sales; el ácido, que está compuesto de oxígeno y una base se dirige al polo positivo, y el óxido, que se compone de oxígeno y otra base se dirige al polo negativo.

Una circunstancia muy importante es, que la descomposicion puede verificarse sobre dos porciones del mismo cuerpo que no estén en contacto inmediato; basta para que sean transportados todos los elementos, uno al polo positivo, y otro al negativo, que las dos porciones se comuniquen por una sustancia conductriz cualquiera: es un modo muy notable de verificar el experimento. Si se aplica á la descomposicion del agua, basta llenar de este líquido dos embudos, cuyo cuello esté tapado con un corcho; se hace pasar un hilo á cada embudo atravesando el tapon, y se cubre este hilo con una pequeña campana de vidrio; se establece en seguida la comunicacion entre ambos embudos, ya sea metiendo la mano derecha en uno, y la izquierda en otro, ó ya por medio de un hilo humedecido, &c. Puesta la máquina en actividad se descompone el agua, y se halla el oxígeno en la campana del hilo positivo, y el hidrógeno en la del negativo. Pero estos dos gases necesariamente provienen de cierta porcion de agua contenida por entero en uno de los embudos; luego es preciso que uno ú otro de los gases haya sido transportado al embudo opuesto por medio del conductor.

Si se sujeta al experimento la disolucion de una sal en un vaso, mientras que en el otro se pone agua pura para hacer mas vistoso el experimento; se halla despues del tiempo conveniente para

que el aparato obre, que uno de los elementos sea el ácido, ó sea la base, ha sido trasportado al vaso de agua pura, mientras el otro ha permanecido en el primer vaso. Si la disolucion salina se ha colocado en el polo positivo, el álcali es el que se ha trasportado al negativo donde está el agua pura. Lo contrario sucede si la disolucion estaba primitivamente en el polo negativo.

Es facil conocer que para estos experimentos debe tener el aparato voltaico tanta mayor energía, cuanta mayor sea la fuerza repulsiva que necesiten adquirir los elementos para vencer su afinidad mútua. Thenard y Gay-Lussac han hallado que los efectos químicos de una pila voltaica son proporcionales á la superficie de las placas, y á la raiz cúbica de su número; de lo que han deducido que en algunas circunstancias *vale mas servirse de pilas separadas, cada una de cierto número de discos, que no reunir todos estos en una sola*; supuesto que, en el primer caso, el efecto es proporcional al número de placas, y en el segundo, únicamente lo es á la raiz cúbica de este número. No se deben emplear grandes pilas sino en el caso en que se trate de separar elementos que no pueden ceder sino á una fuerza repulsiva considerable, ó cuando el cuerpo que se quiere obtener se destruye facilmente por el contacto del aire, como los metales potasio y sodio, &c., lo que exige que la operacion sea pronta.

## CAPÍTULO VII.

*Electricidad producida por el calor.*

688. Muchas sustancias minerales son susceptibles de adquirir la virtud eléctrica si se las expone á cierto grado de temperatura, y presentan en general el notable fenómeno de que sus dos extremos son solicitados por electricidad de diferentes especies. La *turmalina* es conocida sobre todo por esta propiedad hace mucho tiempo, y ha servido de base á muchos de los experimentos hechos por diferentes físicos. De estos experimentos ha resultado una teoría que ha sido admitida generalmente hasta estos últimos años en que los trabajos de Becquerel han hecho mudar enteramente las ideas sobre este punto. Este sabio ha dado á conocer nuevos hechos sumamente importantes, que aunque es cierto fueron vislumbrados por *Epino* y *Wilson* no produjeron mas resultado que una disputa interminable entre ambos, nacida de que ninguno de ellos conocia el hecho principal que debia concertarlos.

Despues de calentar una turmalina, escogida entre los cristales en agujas que se hallan en las rocas primitivas, se verá que, presentando uno de sus extremos á un cuerpo móvil en estado natural, le atraerá; si este cuerpo está electrizado de antemano le atraerá por uno de sus extremos, y le rechazará por el otro; de donde se deduce, como hemos dicho, que uno de sus extremos está en estado po-

sitivo, y el otro en estado negativo. Pero para observar completamente el fenómeno es menester que la piedra esté caliente con uniformidad en toda su extension, pues si se calentase solo por uno de sus extremos se obtendrian fenómenos diferentes, como veremos mas adelante.

Los cuerpos electrizados por el calor no principian á manifestar su virtud eléctrica, sino cuando han llegado á cierto grado de temperatura; llegados á este punto se hace mas y mas intensa la virtud eléctrica, cuanto mas y mas crece la temperatura. Si llega el caso en que la temperatura quede un momento estacionaria, desaparecen todas las trazas de electricidad, y si despues de este estado estacionario disminuye la temperatura, vuelve á aparecer la electricidad, pero en sentido inverso; es decir, que el lado de la piedra que presentaba la electricidad positiva, manifiesta entonces la electricidad negativa y recíprocamente. En este caso la electricidad aumenta á medida que la temperatura disminuye, hasta un cierto término, pasado el cual disminuye sucesivamente hasta ser *ceró*.

Tales son los hechos descubiertos por Becquerel. Para comprobarlos es necesario suspender una turmalina por medio de una seda sin torcer, ó introducir la en un matraz, dentro del cual esté tambien suspendido un termómetro. Se pone un poco de mercurio en el fondo de este matraz, y, despues de colocarle en una vasija de hierro llena igualmente de mercurio, se dispone el todo sobre una lámpara de espíritu de vino. Por esta disposicion del aparato se puede reconocer perfectamente á qué grado de temperatura principia á manifestarse la electricidad, comprobar como va siempre en aumento

mientras crece la temperatura; y apagando la lámpara, descubrir que la electricidad desaparezca al momento que el mercurio del termómetro ha dejado de subir, y no ha principiado á bajar; en fin, ver que cuando el termómetro principia á bajar, aparece de nuevo la electricidad, si se ha tenido la precaucion de señalar uno de los extremos de la piedra con un pedacillo de papel, y por medio de una barrita de lacre electrizada: ha determinado cual es el lado positivo de la piedra, cuando la temperatura va creciendo (que entonces es atraido), se verá que este mismo lado se hace negativo (es decir, es rechazado) cuando la temperatura disminuye.

Hasta los descubrimientos de Becquerel se habian contentado los fisicos con hacer el experimento de un modo menos escrupuloso, deduciendo que los cuerpos eléctricos por calor no manifestaban electricidad sino entre ciertos limites de temperatura; de suerte que la virtud eléctrica no se manifestaba sino á cierto grado de calor, y crecia hasta otro mas elevado, pasado el cual disminuía, concluyendo por desaparecer si la temperatura seguia todavía creciendo. Los experimentos de Becquerel nos demuestran perfectamente la causa de este error. En efecto, se calentaba la piedra sobre unos carbones, y se la retiraba de ellos para presentarla al electrómetro; sucedia algunas veces que no manifestaba electricidad, y era preciso esperar á que se enfriase, de lo cual se deducia que la temperatura habia sobrepasado al limite superior en que la piedra podia electrizarse; pero es claro que en este modo de hacer el experimento la piedra quedaba por un corto tiempo estacionaria al retirarla del fuego, y solo al

enfriarse manifestaba señales de electricidad. Por este método jamas se ha logrado conocer mas que la electricidad producida por la temperatura decreciente, y por esta razon, como no conocian los autores mas que un solo caso, han indicado sin restriccion que uno de los lados de la piedra se electrizaba positiva, y el otro negativamente, mientras que en la realidad un mismo lado es ya positivo, ó ya negativo segun que la temperatura, supuesta uniforme, crece ó disminuye.

689. Acabamos de ver lo que sucede cuando una piedra susceptible de electrizarse por el calor, se calienta uniformemente en toda su longitud. Becquerel ha hecho tambien indagaciones sobre lo que sucedia cuando solo un lado recibia el calor, ó perdía el que ya habia adquirido. Ha reconocido que si la temperatura es creciente en un extremo, y está aplicada por ejemplo al lado que se hace positivo por enfriamiento, cuando la temperatura es uniforme en toda la longitud, este lado se electriza negativamente, y el otro queda en estado natural mientras la temperatura no se ha elevado en él; de suerte que la piedra no ofrece entonces mas que una sola especie de electricidad.

Si la temperatura queda estacionaria, toda señal de electricidad desaparece, y cuando principia á decrecer vuelve á aparecer en sentido inverso.

Mientras que la temperatura, cuando es creciente, no se eleva en el extremo opuesto al que se ha calentado, este extremo permanece en estado natural; pero al momento en que este lado se calienta tambien, manifiesta la electricidad positiva: asi pues en este caso los lados se electrizan en un sentido inverso al del caso en que la tempera-

tura aplicada uniformemente á la piedra es decreciente. **Epino** habia ya notado este fenómeno.

Cuando la temperatura decrece en el lado que se ha calentado, éste presenta la electricidad contraria á la que manifestaba cuando la temperatura era creciente; es decir, que en las condiciones que hemos supuesto en el experimento presenta la electricidad positiva; el otro lado está entonces en estado natural sino se ha calentado; adquiere la electricidad positiva si su temperatura se eleva, y la electricidad negativa si despues de haberse elevado, se baja su temperatura. Se ve que los dos extremos estan electrizados del mismo modo, cuando el segundo se calienta, como ya habia notado **Wilson**.

**Epino** que hizo experimentos de esta clase, sostenia que, calentando solamente un lado de una turmalina, cada extremo adquiria la electricidad opuesta á la que le era natural (la especie de electricidad producida por una temperatura uniforme decreciente). **Wilson** al contrario insistia en que el lado caliente adquiria la electricidad que le era propia, y la comunicaba al otro; es decir, que los dos lados tenian una misma especie de electricidad. Jamas pudieron convenirse estos dos fisicos, y cada uno por su parte permaneció convencido de que tenia razon. Estas diferencias provenian de que los autores no tomaban en consideracion las condiciones con que se verificaba el experimento, ni distinguian los casos en que la temperatura era creciente ó decreciente en el extremo que se calentaba. Se ve, pues, claramente que sus experimentos no son sino circunstancias particulares de los de **Becquerel**, quien ha hallado por este medio las causas de divergencia que habia entre dos autores

tan recomendables, y ha reproducido hechos que su incoherencia habia obligado á olvidar.

Becquerel, continuando en sus investigaciones, parece haber reconocido que, bajo condiciones favorables todos los cuerpos, incluso el vidrio, son susceptibles de electrizarse por el calor, y presentar polos como la turmalina, y otras muchas sustancias minerales.

---

---

## CAPÍTULO VIII.

### *Electricidad de ciertos pescados.*

690. Segun los experimentos de gran número de físicos y naturalistas distinguidos no puede dudarse de que muchas especies de rayas, la *gymnota-torpedo*, el *siluro temblador*, el *tetrodon*, y *trichuro eléctricos* gozan por sí mismos de la virtud eléctrica, y pueden usarla á su arbitrio para defenderse, ó para aturdir á los animales que les sirven de alimento. Si se toca alguno de estos animales, se recibe una conmocion muy fuerte que los pescadores evitan con cuidado. Habiendo puesto Mr. Humboldt un pie sobre una *gymnota* que acababa de salir del agua, sufrió cierta conmocion, de la que quedó resentido todo el resto del dia. Se han sacado chispas de los conductores puestos en comunicacion con estos animales, y se han cargado botellas de Leyden; y en fin, se han observado todos los fenómenos de la electricidad ordinaria.

691. *La forma y posicion del órgano que produce la electricidad en estos seres*, son sumamente variables segun las especies. En las rayas son par-

tes musculares dispuestas en hojillas trasversales separadas entre sí por una materia gelatinosa, y encerradas en una multitud de tubillos colocados á cada lado de la cabeza: en la *gymnota* eléctrica son unas redecillas anchas y profundas colocadas bajo la cola, y cuyas celdillas ó mallas estan llenas de materias gelatinosas: en el *siluro temblador* es un tejido sumamente fino colocado al rededor del cuerpo, &c.

La electricidad parece producirse por el contacto de las partes musculosas, y las partes gelatinosas; es un hecho muy importante de la fisiología animal, que merece estudiarse con sumo cuidado.

## CAPÍTULO IX.

### *Del rayo.*

692. Habiendo visto ya los *violentos efectos producidos por la descarga de las baterías eléctricas*, tales como la muerte de varios animales, la fundicion de los metales, ó su combustion, causará menos admiracion cuando se oiga decir que el rayo no es sino una fuerte descarga eléctrica; pero es preciso no confundir el rayo con el ruido que le acompaña, y que constituye el trueno.

La idéntidad del rayo con la electricidad fue sospechada á un mismo tiempo, hácia la mitad del siglo pasado por Nollet, Winckler y Franklin: este último decidió la cuestion. Habiendo reconocido el poder de las puntas, sospechó que una varilla de hierro levantada sobre un edificio podria atraer el fluido eléctrico. Dalibart fue el primero en Fran-

cia que comprobó esta conjetura; hizo construir cerca de *Marly-la-Ville* (Departamento del Sena y Oisa) una cabaña que tenia una varilla de hierro de 15 metros (17,94 varas) de longitud, aislada por abajo: cuando pasó por cerca de esta barra una nube tempestuosa dió la barra chispas muy vivas; se cargaron botellas de Leyden con ella, y se obtuvieron resultados semejantes á los que producen las máquinas eléctricas ordinarias. No tardó mucho Romas, que cultivaba la física en Lila, en dirigir á las nubes tempestuosas un cometa cubierto de tafetan que llevaba una varilla de hierro puntiaguda: un hilo metálico estaba entretejido con la cuerda, y se prolongaba á cierta distancia del punto de union: lo demas era un cordon de seda destinado á preservar al observador de todo accidente. Se vieron salir repentinamente del aparato ráfagas de luz de 32 decímetros (137,8 pulgadas) de longitud, y cuyo ruido semejaba al de un pistoletazo.

Todos los experimentos de esta clase son sumamente peligrosos: muchos fisicos han recibido por ellos violentas y dañosas conmociones: el célebre Richmann, profesor de física en Petersburgo murió por una chispa que se dirigió á su cabeza, saliendo del conductor de un aparato que habia dispuesto para medir la electricidad de las nubes.

693. *Para-rayos.* — Franklin no solo tenia por objeto los experimentos eléctricos, sino que se proponia preservar los edificios de los efectos del rayo, y para esto hizo elevar sobre ellos varillas de hierro terminadas en punta, que comunicaban con el seno de la tierra. Tal es la idea sencilla de los para-rayos. Su construccion exige sin embargo algunas precauciones, sin las cuales en vez de preser-

var los edificios, tal vez podrian dañarles muchísimo.

En el dia la vara de hierro está terminada en una punta de platino, metal que no es susceptible de alterarse por la accion del aire atmosférico. Los conductores son varillas de hierro que van á terminar en un pozo. Tambien se usa para conductores una especie de cuerdas formadas de alambre retorcido, y cubiertas con una capa de barniz craso, prolongándose estas cuerdas hasta el borde de un pozo donde tienen atada á su extremo una barra de hierro, que por el otro cabo está sumergida en el agua. Esta construccion tiene algunas ventajas respecto de la ordinaria.

Cuando se quieren poner para-rayos en los grandes edificios, es preciso multiplicarlos de modo que sus diferentes esferas de actividad no dejen ningun espacio entre sí. Se ha hallado por experiencia que el radio de esta esfera es de 10 metros (11,963 varas) de suerte que basta una distancia de 20 metros (23,926 varas) entre dos para-rayos. Si estuviesen demasiado próximos se dañarían mutuamente, y no producirían efecto.

694. Cuando se está en una casa desprovista de para-rayos, y hay tempestad, para guarecerse de los efectos del rayo es bueno colocarse sobre un cuerpo no conductor, como telas de lienzo, lana, &c., ó alejarse de las puertas, ventanas y paredes, y sobre todo de los objetos metálicos.

Quando se ve uno sorprendido por una nube en campo raso, es preciso cuidar de no colocarse debajo de ningun arbol, cuyas ramas agudas atraen al rayo; pero sí se puede colocar cualquiera á 6 ú 8 varas de distancia, porque es bastante proba-

ble que si cae el rayo en las cercanías, vaya á parar al arbol.

695. *Choque de retroceso.*—Entre los diferentes modos con que un hombre puede ser muerto por el rayo, hay uno al cual Lord Mahon ha dado el nombre de choque de retroceso, y merece ser conocido. He aqui el hecho: sea AB (fig. 248) una nube electrizada, cuya explosion se verifica en A: un pasagero colocado en C no sufrirá conmocion alguna, al paso que otro colocado en D podrá sufrirla, y quedar en el sitio.

Supongamos una nube cargada de electricidad positiva: si el pasagero colocado en D se halla dentro de la esfera de actividad de la nube, su fluido natural se descompondrá; el fluido positivo será rechazado al depósito comun, quedando el hombre en estado negativo. Si algunas circunstancias producen una descarga en A, el fluido positivo que la nube habia arrojado del pasagero volverá á pasar por su cuerpo con una fuerza proporcional á la energia de la nube, de lo que resultará un sacudimiento suficiente para matarle. Las personas que estan en C no hallándose en la esfera de actividad de la nube no tienen nada que temer. La mayor parte de los fenómenos á que se ha dado el nombre de *rayos ascendentes* estan comprendidos en el caso que acabamos de presentar.

696. *Ruido del trueno.*—En quanto al ruido del trueno no se explica todavía de un modo bien satisfactorio. Unas veces es este ruido una especie de estruendo ó sonido prolongado como si fuera una serie de ecos. Otras es una explosion repentina sin este estruendo, análoga á la descarga de una porcion de piezas de artillería. Esto es frecuente

en el medio día de la Francia, y parece que en este caso las nubes estan muy cerca de la tierra.

Muchos fisicos han atribuido el ruido del trueno á la repentina combustion del gas hidrógeno, que como se sabe detona violentamente cuando está mezclado con aire atmosférico; pero la análisis del aire tomado en las regiones elevadas no da ninguna señal de hidrógeno.

Monge ha observado que el rayo acompaña siempre á la formacion repentina de una gran nube, ya sea su causa, ó ya su efecto: este sabio ha sacado de aqui una explicacion que merece ser conocida. La formacion de esta nube dice que es debida á la condensacion del vapor acuoso, y por consiguiente resulta de ella un vacío en la parte de la atmósfera en donde se forma: entonces las capas circunvecinas se precipitan en este vacío, y chocándose con violencia ocasionan un ruido. Todos los días vemos un efecto análogo al abrir rápidamente un estuche cuya tapa cierra exactamente.

Las capas laterales de la atmósfera que han suministrado el aire para reemplazar el vacío se dilatan necesariamente: roban el calórico al vapor que está en contacto con ellas, y le obligan á pasar á estado de agua; por este medio se forma otro nuevo vacío que reemplazándose como el primero da origen á un segundo golpe. El mismo efecto se reproduce sucesivamente de uno en otro en pocos instantes. Tal es la causa que da origen al ruido retumbante que notamos.

697. *Granizo.*—Segun Volta concurre la electricidad á la formacion del granizo. Los glóbulos de agua de las nubes se solidifican por hallarse en

partes muy frescas de la atmósfera, y si se hallan entre dos nubes electrizadas diferentemente van de una á otra como en los experimentos del núm. 671; entonces se redondean, y se cubren sucesivamente de diferentes capas que se aumentan aun mas en su tránsito desde la nube hasta nosotros.

## CAPÍTULO X.

### *Efectos de la electricidad sobre la economía vegetal y animal.*

698. *Modo de concebir estos efectos.*— Si se suspende en el conductor de una máquina un vaso taladrado en su fondo por tres agujerillos, de suerte que el agua salga con dificultad cuando está en su estado natural, y se pone en accion la máquina, se verá al momento salir el agua con suma presteza en forma de surtidores divergentes, porque todas las partículas obrarán unas sobre otras rechazándose mutuamente. Por este experimento se puede explicar gran parte de los efectos de la electricidad sobre la economía animal y vegetal.

La electricidad favorece en las plantas la circulacion de la sávia. Mimbray de Edimburgo refiere que habiendo electrizado dos mirtos, produjeron ramas y yemas antes que otros dos que no electrizó. Jallabert en Ginebra electrizó durante quince dias cebollas de jacintos y junquillos, y su vegetacion fue mucho mas rápida que la de plantas de las mismas especies sin electrizar. Iguales resultados han obtenido otros muchos fisicos.

Tambien favorece la electricidad la traspira-

cion en los animales, y reanima el movimiento de las fibras entorpecidas. Algunos físicos explican por la electricidad el efecto de las fricciones sobre los cuerpos animales, y el efecto que produce el aire seco y frio de los parages elevados sobre algunas personas. La electricidad superabundante que hay en el aire seco, dicen, favorece la circulacion de la sangre, y dilata los humores, &c., &c.

699. *Aplicacion de la electricidad á la medicina.*—Se ha ponderado mucho la electricidad como medio curativo de un sin número de afecciones morbosas; pero en general ha sido casi abandonado enteramente; sin embargo de que parece debe ser util en muchas ocasiones.

Se aplica la electricidad de varios modos, v. gr. *Por baño.* Se sienta al enfermo en un sitial aislado, y se le hace comunicar con el conductor de una máquina puesta en acción.

*Por corriente.* Una persona electrizada pasea una varilla puntiaguda sobre la parte dolorida del enfermo, quien recibe entonces una corriente continua de fluido eléctrico en forma de un penacho.

*Por chispas.* El enfermo aislado comunica con el conductor de la máquina. Se presenta entonces un excitador á la parte dolorida, y se sacan de ella chispas mas ó menos vivas.

*Por conmocion.* Se emplea para esto una botella de Leyden mas ó menos fuerte, haciéndolo sufrir al enfermo su descarga repentina.

700. *Movimientos convulsivos producidos en los cadáveres por la electricidad.*—En 1789 un estudiante de medicina en Bolonia disecaba una rana; tocó casualmente un músculo con su escalpelo, y sintió una conmocion repentina análoga á la que

produce la electricidad. Este fenómeno se reprodujo por Galvani, profesor de anatomía en la misma ciudad, quien hizo indagaciones particulares sobre él, de lo cual nació el nombre de galvanismo que se dió á la electricidad producida por contacto.

Forjáronse al principio muchas hipótesis sobre la causa de estos fenómenos. El célebre Volta los redujo á su verdadero origen, haciendo ver que los movimientos convulsivos de los cadáveres que sometia á sus experimentos, eran producidos por la accion de la electricidad desarrollada por el contacto de dos metales.

Si por medio de un conductor compuesto de dos metales soldados entre sí se establece en un cuerpo animal una comunicacion entre dos puntos tomados en el sistema nervioso, ó en el sistema muscular, se produce un movimiento convulsivo, en virtud del cual los miembros se agitan: en los cadáveres recientes se producen estos efectos mas sensiblemente.

Los físicos han hecho una multitud de experimentos con las ranas, con animales de mayor consideracion, y aun con hombres, cuyos cadáveres eran recientes. En una memoria leida al Instituto por Hallé se ha consignado una dilatada serie de experimentos galvánicos. Tambien merece consultarse sobre este particular la obra de Aldini.

701. Humboldt ha tenido el valor de hacerse aplicar dos vejigatorios en las espaldas; la serosidad que salia se volvió rojiza y corrosiva cuando una de las llagas se cubrió con una lámina de plata que tocaba á otra de zinc. Poniendo una placa de plata sobre una de las llagas, y una de zinc sobre la otra, y haciendo comunicar ambos metales, los mús-

culos de la espalda se contraían fuertemente. Cuando se hace comunicar una placa de plata colocada bajo la lengua con otra de zinc colocada encima, se experimenta una especie de estremecimiento en este órgano, y un sabor acerbo.

## CAPÍTULO XI.

### *Fenómenos de las corrientes eléctricas.*

702. *Definición de las corrientes.* — Hasta ahora hemos visto manifestarse la presencia de la electricidad por la atracción de los cuerpos no electrizados, por la atracción y repulsión de los cuerpos dotados de electricidad, por conmociones, por penachos ó surtidores de luz eléctrica, &c. Pero los descubrimientos de Ørsted, ó por mejor decir, las indagaciones á que estos han conducido á Ampère nos han dado á conocer un género de acción tan nuevo como inesperado que se manifiesta precisamente en las circunstancias en que todos los efectos ordinarios de la electricidad han desaparecido enteramente. En efecto, los fenómenos de que vamos á hablar se verifican cuando se hace comunicar á la vez un mismo hilo con los dos polos de la pila de Volta, y por consiguiente desde el momento en que no hay ya las atracciones y repulsiones ordinarias: cesan en el momento que se interrumpe la continuidad del hilo, y por consiguiente desde que las cosas se hallan dispuestas de modo que se reproduzcan los efectos comunes de la electricidad.

Cuando un mismo hilo comunica con los dos polos de una pila, debe concebirse que se estable-

cen dos corrientes que van en sentido inverso, una del polo positivo al polo negativo; otra del polo negativo al polo positivo. Estas dos corrientes son las que producen los nuevos fenómenos que vamos á describir. Diferenciándose estos hilos esencialmente de los conductores eléctricos que hemos examinado hasta ahora, no pierden nada por el contacto con los cuerpos; se les puede tocar lo mismo que se toca á un iman, sin privarles de modo alguno de sus propiedades. De aqui resulta en todos los experimentos, que es inútil aislarlos; pero es preciso evitar que toquen al mismo tiempo á un cuerpo metálico por dos puntos diferentes, pues entonces la corriente se estableceria por este cuerpo. Tambien debe evitarse que los extremos de un hilo conductor de esta clase se reunan ó toquen mutuamente, pues no podria entonces establecerse la circulacion que se desea. Por esta razon veremos en muchos aparatos diferentes partes de un mismo hilo separadas unas de otras por medio de tubos de vidrio, aunque puede emplearse cualquiera otra sustancia análoga para efectuar esta separacion, como lo ha verificado Ampère en los aparatos mas modernos. Se pueden emplear, como se ha hecho en Ginebra, hilos de laton cubiertos con seda, los cuales pueden entonces tocarse mutuamente sin ningun inconveniente; y por su medio simplificarse muchos aparatos. La accion de la corriente eléctrica se manifiesta á distancia, y al través de todos los cuerpos.

Los hilos en que se mueven, como acabamos de decir, las corrientes eléctricas, no son susceptibles de obrar sino sobre algunos cuerpos en el estado natural; tales son el hierro, el acero, el nickel y el cobalto. Las limaduras de todos estos metales.

son atraídas fuertemente por los hilos, quedando sus partículas adheridas á ellos del mismo modo que á un iman; y no se desprenden al momento que el contacto se verifica, como sucede cuando han sido igualmente atraídas por un cuerpo electrizado del modo ordinario. Las partículas de acero y de hierro conservan, despues de su separacion del hilo, la propiedad de atraer á otras partículas de materias análogas, idénticamente lo mismo que si hubieran tocado á un iman; es decir, en resumen, que poseen la propiedad magnética.

703. *Dos hilos conductores puestos en presencia uno de otro, y siendo uno de ellos movil, se atraen ó se rechazan segun las corrientes de la misma especie, van en un mismo sentido, ó en sentidos contrarios.*—Sea AB (fig. 268) uno de los conductores que supondremos fijo, y sea FCDE el otro que debe ser movil. Este es un alambre encorvado como representa la figura, cuyos extremos E, F están sumergidos en unas cazolillas de hierro que se hallan en los extremos de dos sustentáculos ó codillos P y Q, y que cada uno tiene una gotita de mercurio para establecer bien la comunicacion. G, H, I y K son unos vasillos ó cazolillas que tambien contienen mercurio, y en las cuales se sumerjen hilos soldados á los sustentáculos N, Q, P y M.

Cuando se quieren tener dos corrientes en el mismo sentido, se principia por establecer la comunicacion entre los extremos opuestos de los dos conductores, haciendo pasar por debajo del tablero en que descansa el aparato, un hilo metálico, cuyos extremos se sumerjen en los vasillos opuestos G, I ó K, H. Hecho esto se sumerje el hilo que viene de uno de los polos de la pila en los dos vasillos

restantes H, K ó I, G. Para concebir bien la marcha de estas corrientes las seguiremos en el aparato, limitándonos por ejemplo á la corriente positiva, bien entendido de que la negativa va en sentido contrario. Supongamos que el hilo positivo de la pila llegue á H, la corriente pasará al sustentáculo P, bajará por FC, marchará en el sentido CD, subirá por DE para bajar al sustentáculo Q, y llegará al vasillo I, de donde irá á G por el hilo que establece la comunicacion entre estos dos vasillos por debajo del aparato. Desde G se ve facilmente que pasará al sustentáculo M, despues al conductor fijo, que recorrerá en el sentido AB, lo mismo que CD; de allí pasará al vasillo K, donde comunicará con el polo negativo.

Si se quieren obtener las corrientes en sentido inverso, es preciso desde luego poner en comunicacion los dos vasillos de un mismo lado, como I y K, ó G y H, y despues sumerjir los hilos de la pila en los otros dos vasillos. Sigamos las corrientes para saber bien su marcha: supongamos que el hilo positivo llega á H, la corriente entrará en el conductor movil, como anteriormente, y marchará en el sentido CD, despues llegará al vasillo I; de aqui pasará inmediatamente á K, irá al sustentáculo N, y al conductor fijo que recorrerá en el sentido BA opuesto á CD, y llegará en seguida á G, á donde comunicará con el polo negativo de la pila.

Esto supuesto, si las corrientes eléctricas van en el mismo sentido CD, AB ó DC, BA en ambos conductores, se ve al momento al conductor movil dirigirse hácia el conductor fijo, y juntarse con él si la disposicion del aparato lo permite, permaneciendo unidos constantemente. Véanse aqui dos cir-

cunstancias sumamente notables que establecen una diferencia muy marcada entre estos nuevos efectos de la electricidad, y los que hemos examinado antes. En efecto, se vé aqui atraccion cuando los dos conductores estan colocados de modo que los extremos de un mismo nombre se hallen hácia el mismo lado, caso en que habria repulsion en los fenómenos eléctricos comunes. Ademas estos dos conductores quedan unidos entre sí como dos imanes, y no se separan; lo mismo que sucede cuando llegan á tocarse dos cuerpos electrizados, uno positiva, y otro negativamente.

Si las corrientes van en sentidos inversos, por ejemplo, una en el sentido CD, y otra en el sentido BA, el conductor movil se aparta inmediatamente del conductor fijo (\*).

704. Hemos supuesto, para mayor sencillez en el aparato, que los dos conductores eran paralelos; pero los fenómenos se verifican del mismo modo si estan inclinados entre sí; si las dos corrientes van en el mismo sentido, es decir, si ambas se acercan al ángulo (*fig. 269*), ó ambas se alejan de él (*fig. 270*) hay atraccion; si las corrientes van en sentidos inversos, es decir, si una se acerca al vértice del ángulo, y la otra se aleja (*fig. 271*) hay repulsion.

Si uno de los conductores está dispuesto de

---

(\*) Se puede desarrollar una accion sumamente enérgica en el conductor fijo, plegando el hilo sobre si mismo muchas veces desde B hácia A por debajo del aparato. Es preciso entonces que las partes inferiores del hilo, en que las corrientes van de B á A, estén lo mas lejos posible de las superiores, pues si estuviesen demasiado cercanas, anularian su efecto.

modo que pueda girar al rededor de un eje perpendicular á su direccion, se verifica que cuando las corrientes van en el mismo sentido, éste conductor se coloca paralelamente al conductor fijo. En el caso en que las corrientes van en sentidos inversos, el conductor movil hace una semirevolucion para colocarse de modo que las corrientes se hallen en el mismo sentido. Se puede facilmente probar este último resultado por la experiencia, valiéndose del aparato (*fig. 272*), en el cual *adfhlo* es el conductor movil suspendido en *a* por una de sus puntas sumerjidas hasta el fondo de un vasillo lleno de mercurio, sostenido por el codillo *P*, y que comunica con *o* por otra punta, que solamente llega á tocar en otro vasillo tambien lleno de mercurio sostenido por el codillo *Q*. Este conductor está construido de modo que la tierra no pueda tener ninguna accion sobre él (*714*). *SR* es el conductor fijo.

Verifiquemos ahora el experimento: supongamos que el hilo positivo comunica con *G*, donde se sumerje en un vasillo de mercurio; el hilo negativo con *I*, y el vasillo *H* del codillo *Q* con *K*. La corriente recorrerá *GP*, llegará á *a*, bajará por *ab*, recorrerá á *cd* y *de*, atravesará de *e* á *f*, pasará por *fg*, é irá de *g* á *h*, subirá por *hi*, atravesará de *i* á *l*, y pasando por *mn*, llegará á *o*, desde donde bajará por el codillo *Q* á *H*. Pasando de aqui á *K* entrará en el conductor *RS* que recorrerá en el sentido *RS* inverso de *gh*, y se dirigirá á *I* para comunicar con el hilo negativo. Llegando á este estado se verá al momento hacer al conductor movil una semirevolucion, y colocarse de modo que el punto *h* se halle sobre *S*, y el punto *g* sobre *R*, de

suerte que las corrientes están entonces en el mismo sentido.

706. *Movimiento continuo de rotacion.* — La accion mútua de las corrientes angulares nos conduce á reconocer la posibilidad de un movimiento de rotacion que tambien se demuestra por la experiencia. Para esto se usa el aparato (*fig. 273*), donde se ve un vaso de cobre, por cuyo centro pasa un sustentáculo Q, destinado á sostener un conductor (*fig. 274*), cuya punta *a* llega hasta el fondo de un vasillo lleno de mercurio, y que por consiguiente puede moverse circularmente. La corona de cobre *bcde* se sumerge entonces en el vaso; se llena este con agua acidulada; se lleva el hilo positivo, por ejemplo, al vasillo G que transporta la corriente á A, de donde baja por los brazos del conductor á la corona de cobre sumerjida en el agua; atraviesa este liquido, se dirige al vaso, comunica con el vasillo H, y de allí por debajo pasa al vasillo I donde comunica con el conductor fijo BC, colocado delante del aparato. En fin, va á K para juntarse con el hilo negativo. Se ve entonces al conductor movil tomar un movimiento continuo de rotacion.

Se puede acelerar mucho el movimiento de rotacion, doblando el conductor fijo muchas veces al rededor del vaso en que se mueve el conductor movil, antes de sumerjir su extremo en el vasillo K.

Para concebir lo que pasa en este experimento, supongamos que sea BC (*fig. 275*) el conductor fijo, y *b b' b''*, &c. el plano del conductor movil. Segun el método de comunicacion establecido, la corriente llega á la corona desde el centro á la circunferencia; por consiguiente, cualquiera que sea la

posicion de los brazos, la corriente del conductor movil será, ó paralela, ó inclinada ó perpendicular á la del conductor fijo; tendrá cierta direccion en uno de los radios, y otra contraria en el radio opuesto. Supongamos, pues, que los radios conductores  $Ab$ ,  $Ab'$  sean paralelos al conductor fijo; del lado  $Ab$  la corriente va en sentido inverso del lado  $BC$ ; luego hay repulsion, y el punto  $b$  tiende á alejarse de  $BC$ . Del lado de  $Ab'$  la corriente está en el mismo sentido que en  $BC$ , luego hay atraccion, y el punto  $b'$  tiende á aproximarse; estos dos efectos tienden á un mismo objeto, y por lo tanto deben hacer girar al conductor. En todas las posiciones inclinadas se verificará lo mismo. Tambien sucederá lo mismo en el caso de perpendicularidad  $Ab''b'''$ . En efecto, en el ángulo  $Ab''B$  (*fig.* 276), donde las dos corrientes convergen, la accion es atractiva, y su direccion puede representarse por  $AB$ ; en el ángulo  $Ab''C$ , donde las corrientes divergen, la accion es repulsiva, y su direccion puede representarse por  $AC$ ; como son iguales puede llevarse á  $Ac'$  para indicar que es opuesta á la primera; componiendo las dos fuerzas colocadas en estas direcciones se tiene una resultante paralela á  $BC$ ; pero dirigida en sentido contrario á la corriente que se mueve en ella; luego el punto  $b''$  debe tambien dirigirse hácia  $b$ .

706. *Accion del globo terrestre sobre los hilos conductores.*—Uno de los hechos mas notables entre los descubiertos por Ampère, es la accion que el globo terrestre ejerce sobre los hilos conductores en que se mueven corrientes eléctricas. Desde luego se reconoce esta accion en el aparato (*fig.* 268), suprimiendo el conductor fijo  $AB$ ; pues entonces si se coloca el plano de este conductor perpendicular-

mente al plano del meridiano magnético (\*), haciendo girar la tabla que le sostiene se le ve dirigirse hacia el norte, si la corriente que se mueve en CD va del este al oeste; y al contrario, desviarse hacia el sur, si la corriente va del oeste al este.

Este experimento se hace mucho mejor con el aparato (*fig. 277*), que presenta un conductor móvil, formando un circuito casi cerrado, que puede moverse en un eje horizontal dispuesto perpendicularmente al plano del meridiano magnético. ABCDEFG es un hilo de latón cuya última parte FG pasa por un tubo de vidrio XY para apoyarse en G sobre el borde viselado de una placa de hierro M fijada en el sustentáculo PQ, y en la cual se pone mercurio para establecer mejor la comunicación. El segundo punto de suspensión en N se forma de la parte curva añadida en A al conductor, y soldada con la cajita de cobre H que está adaptada al tubo de vidrio, y separada de la caja F. ZV es un rombo de madera delgada y ligera, destinado únicamente á sostener el conductor en los puntos Z y V.

Quando se hace comunicar por ejemplo el hilo positivo en U, la corriente entra por A, baja á B, recorre la parte BC en la dirección BC que será del oeste al este, si el instrumento está prevenido de modo que el extremo BC mire exactamente al norte magnético. La corriente sube por CD, recorre DE del este al oeste, baja á F, y se dirige á G por el interior del tubo, de donde viene á co-

---

(\*) Se llama meridiano magnético de un punto el círculo máximo terrestre que pasa por la aguja de una brújula puesta en equilibrio.

municar en T con el polo negativo de la pila. La corriente recorrería al conductor en sentido inverso, si se hiciese comunicar el hilo positivo con T.

Si estando puesto de antemano el conductor en equilibrio, (en posición vertical para mayor sencillez), se establece la corriente en una ú otra de las direcciones que acabamos de indicar, se verá al momento al extremo BC dirigirse hácia el norte ó el sur. Si la corriente se verifica en BC del este al oeste, ó de C á B, este extremo se dirigirá hácia el sur, y el conductor se parará, despues de algunas oscilaciones, en un plano que hace un ángulo de  $21^{\circ} 30'$  poco mas ó menos con el horizonte.

Si la corriente va por BC del oeste al este, es decir, de B á C, el extremo BC se dirigirá al norte, y se elevará hasta que el extremo opuesto en donde la corriente va del este al oeste se halle en el plano que forma con el horizonte el ángulo de  $21^{\circ} 30'$ .

Se ve que en estos experimentos se verifican los fenómenos como si existiesen en la superficie del globo, corrientes eléctricas del este al oeste. Estas corrientes obran entonces de dos maneras; por atracción sobre un extremo del conductor, donde la corriente se verifica en el mismo sentido; y por repulsión sobre el otro extremo donde la corriente va en sentido contrario, exactamente del mismo modo que en los experimentos del núm. 703; y como en definitiva el conductor es siempre llevado á un plano inclinado hácia el sur, es preciso concluir que el máximo de acción se verifica por este lado en nuestro hemisferio.

707. Si se emplea un conductor que forme un circuito casi cerrado susceptible de girar al rededor

de un eje vertical, se observa que en el momento en que se establece la corriente, se coloca siempre perpendicularmente al meridiano magnético. Se emplea para este efecto un conductor circular (*fig. 278*) que se suspende por la punta *a* de un codillo análogo al de la *fig. 272*, y se hace comunicar por la punta *o* con otro codillo semejante. Si se hace pasar una corriente eléctrica por este conductor, poniendo el hilo positivo en comunicacion con el codillo *P*, y el hilo negativo con el codillo *Q*, se nota que no hay equilibrio sino en el caso en que el plano del conductor se halle perpendicular al plano del meridiano magnético, y que la corriente en la parte inferior se dirige del este al oeste: en cualquiera otra condicion el conductor se mueve, y gira hasta colocarse en la posicion indicada. El sentido en que se verifica este movimiento, depende del de la corriente eléctrica en el conductor movil, de suerte que, cuando ha llegado al equilibrio, si se cambian los hilos conductores de vasillo, se le ve girar en sentido inverso á su primer movimiento para colocarse de nuevo en el plano perpendicular al meridiano magnético.

Para concebir bien como obra aqui la corriente eléctrica, supongamos un conductor rectangular (*fig. 279*), en el cual se mueve la corriente como lo indican las flechas. Las dos corrientes horizontales son iguales y en sentido inverso, procurando la una hacer girar al conductor en un sentido, y la otra en el sentido opuesto, y en una cantidad igual; de donde resulta que el conductor queda estacionario: son, pues, las corrientes verticales las que producen toda la accion. La corriente descendente procura llevar la parte del conductor en que

se mueve en sentido del este, y la corriente ascendente procura llevar la parte en que se mueve en sentido opuesto, ó del oeste; estos dos efectos que se verifican paralelamente al eje de rotacion, concurren entonces á un mismo fin. En un conductor curvo cualquiera se puede siempre en cada punto descomponer la corriente en dos, una vertical, y otra horizontal; pero se verifica entonces que siempre la mitad de los elementos horizontales obra en un sentido, y la otra mitad en el opuesto, quedando únicamente los elementos verticales para hacer mover al conductor.

708. *Rotacion continua producida por la accion del globo.*—La rotacion continua que hemos determinado por la accion de un conductor fijo, se verifica igualmente por la sola accion del globo. Para reconocerlo, es preciso establecer la corriente como lo hemos hecho en la *fig.* 273; pero colocando inmediatamente el hilo negativo en el vasillo H, de modo que no se produzca corriente en el conductor fijo. El movimiento de rotacion se verifica con solo la diferencia de que es menos rápido que el que se puede obtener por la presencia del conductor fijo.

Por estos diversos experimentos se ve que el globo terrestre obra siempre como un conductor en el cual se hubiera establecido una corriente eléctrica de este á oeste, perpendicularmente al plano del meridiano magnético.

Todo conduce á admitir corrientes análogas en el interior del globo sobre los paralelos magnéticos.

709. *Aparato dirigido en el sentido del meridiano magnético.*—Reconocida la accion del globo terrestre sobre las corrientes eléctricas, es facil dis-

poner un aparato susceptible de dirigirse naturalmente al plano del meridiano magnético. Ampère lo ha realizado en el aparato (*fig. 280*): el conductor está formado por un hilo de cobre cubierto con seda; uno de sus extremos se halla en H, donde el aparato está suspendido de una punta de hierro en un vasillo lleno de mercurio; el otro extremo se sumerge en el vasillo G. El hilo GD pasa desde luego por el interior del cilindro para ir en línea recta desde D á A, desde donde vuelve al exterior en espiral hasta el extremo B; aquí vuelve á entrar en el cilindro para salir por F, y dirigirse á H. Para sostener la espiral, se pasa por el interior una varilla de madera ligera que se fija por medio de algunos hilos en la parte superior de cada espira ó vuelta.

Si el hilo positivo de la pila se sumerge por ejemplo en el vasillo G, se ve que la corriente pasa por DA al interior del cilindro, vuelve al exterior por el hilo espiral, pasa despues de B á F, y luego á H, donde se le hace comunicar con el hilo negativo.

Para concebir bien los efectos que debe producir este aparato, observaremos que el hilo que pasa al interior del cilindro presenta una corriente dirigida de B á A, cuando el hilo positivo se sumerge en G; que siendo oblicuo el hilo espiral, la corriente que se verifica en sentido contrario de A á B, puede descomponerse en cada vuelta en dos una paralela al eje, dirigida de A á B, y otra perpendicular. Pero todas las componentes paralelas al eje forman una corriente continua de A á B, que se halla destruida por la corriente inversa que va de B á A por el interior; no quedan pues mas que

las componentes trasversales, y por consiguiente el instrumento obra como si estuviese compuesto de una serie de círculos cuyos planos fuesen todos perpendiculares al eje del cilindro. Cada círculo debe entonces conducirse del mismo modo que el círculo de los experimentos precedentes (707), en virtud de la acción del globo, y colocarse por consiguiente, perpendicularmente al plano del meridiano magnético: de donde resulta que una aguja magnética debe hallarse por sí misma en el plano de este meridiano. Estando la aguja colocada de modo que el extremo A mire al sur, y el extremo B al norte, si la corriente positiva entra por el vasillo G, irá á la parte inferior de adelante hácia atrás del aparato, y por consiguiente del oeste al este; la aguja no podrá entonces permanecer en la posición que representa la figura, puesto que la corriente en la parte inferior de los círculos va en sentido inverso de la corriente terrestre. Deberá, pues, girar en el plano horizontal, de modo que el extremo A esté al norte, y el extremo B al sur; entonces es cuando las corrientes de la parte inferior estarán en el mismo sentido que las del globo, es decir, del este al oeste.

710. El instrumento obraría también del mismo modo que el aparato (*fig. 277*) si estuviese suspendido como él, de suerte que girase al rededor de un eje horizontal, perpendicular al meridiano magnético. El plano de los círculos en que se mueven las corrientes sería entonces perpendicular al horizonte cuando la aguja estuviese horizontal. Pero como debe observarse que la corriente positiva se mueve en la parte inferior de cada círculo del este al oeste, en el mismo sentido que la corriente

terrestre análoga, el plano de cada círculo se inclinará hácia el sur hasta llegar al ángulo de  $21^{\circ} 30'$ ; desde luego el eje de la aguja perpendicular á estos se inclinará en sentido opuesto, precisamente como lo haria una línea perpendicular al plano del conductor (*fig. 277*); se bajará pues hácia el norte donde hará con el horizonte un ángulo de  $88^{\circ} 30'$ .

Para comprobar estos efectos por medio de la experiencia, es preciso que los círculos sean de bastante diámetro para tener la fuerza necesaria para vencer el rozamiento, y ceder á la accion de la tierra.

711. Ya se deja conocer que el aparato que acabamos de describir representa absolutamente al globo terrestre. Observemos, pues ahora, que en el globo la corriente se mueve de este al oeste en la porcion de superficie en que se halla el observador, y por consiguiente del oeste al este en la porcion opuesta. Si se coloca una aguja de suerte que las corrientes estén exactamente dispuestas del mismo modo, el extremo que se halle vuelto hácia el polo austral del globo representará idénticamente este polo, mientras que el otro extremo representará el polo boreal; pero si esta aguja es movil, no podrá permanecer en la posicion en que la suponemos; debe girar como hemos manifestado (709), hasta que por su parte inferior vaya la corriente del este al oeste en el mismo sentido que la del globo. Por consiguiente, cuando la aguja está en equilibrio en el plano del meridiano magnético, su polo austral está vuelto hácia el polo boreal del globo, y su polo boreal hácia el polo austral del mismo.

712. *Atraccion y repulsion entre dos agujas susceptibles de dirigirse hácia el plano del meridia-*

*no magnético.*—Cuando se han dispuesto aparatos cuyos círculos son bastante grandes para determinar acciones enérgicas, se pueden comprobar por experiencia fenómenos sumamente notables, tales como el de que los extremos del mismo nombre se rechazan, y los extremos de nombres diferentes se atraen. Para verificarlo, se suspende uno de los aparatos como en la *fig. 277*, y se tiene el otro en la mano. Se hace comunicar el extremo de este último con el polo positivo de la pila, arrollando al rededor el hilo que viene de este polo, y se hace sumerjir el otro en el vasillo G del aparato móvil, donde la corriente se mueve entonces como en el experimento precedente. En este caso el extremo B del aparato fijo se hace enteramente semejante al extremo A del aparato móvil (*fig. 272*).

Esto supuesto, si se presenta el extremo B al extremo análogo A, se verá que hay repulsion; y si al contrario se presenta al extremo diferente B, se verá que hay atraccion.

Cuando se quiere dar razon de lo que pasa en estos experimentos, se presentan algunas dificultades; y pretendiendo adivinar los efectos, no deja á primera vista de parecer algunas veces lo contrario de lo que en realidad sucede; se halla que deberia siempre haber atraccion en los dos extremos ó repulsion en ambos. En efecto, se nota que, presentando el extremo B del aparato fijo á los extremos A y B del aparato móvil por el mismo lado, hay siempre analogía en la marcha de las corrientes; es decir, que estan siempre de una y otra parte, ó en el mismo sentido, ó en sentidos diferentes. Esto nace de que los efectos aqui son sumamente complicados; pues mientras que, por ejemplo, en las dos

caras que se miran hay corrientes que van en un mismo sentido, y determinarian la atraccion, hay en las caras exteriores corrientes que entre sí van en un mismo sentido, pero van en el inverso respecto de las dos primeras. Estas corrientes interiores obran á la vez una sobre otra, y sobre las corrientes exteriores; y para prever lo que resultará es preciso calcular con exactitud sus mútuas influencias. Se halla entonces que, cuando estan en presencia los extremos del mismo nombre, la resultante de estas fuerzas es repulsiva, y al contrario es atractiva cuando están en presencia dos extremos de diferente nombre.

713. Buscando por el cálculo la resultante de todas las fuerzas perpendiculares al eje de los cilindros que acabamos de dar á conocer, ha encontrado Savary que los *centros de accion* estan situados precisamente en los extremos del eje del cilindro.

714. *Aparato compensador de la accion del globo.*—Es claro que en los diversos experimentos precedentes la accion del globo aumenta ó disminuye la accion del conductor: desde luego es necesario sustraer al conductor movil de la accion terrestre. Se logra esto formando este conductor con dos circuitos casi cerrados, en los cuales se puedan establecer corrientes, de tal modo dispuestas, que la accion del globo terrestre sobre las unas compense la que ejerce sobre las otras. El conductor que hemos empleado (*fig. 272*) está dispuesto de modo que produce esta compensacion; está formado por dos rectángulos iguales en que las corrientes estan en sentidos inversos; en este caso la corriente que entra por *a* se dirige de *c* á *d*, baja por la rama la-

teral, pasa de derecha á izquierda por el hilo transversal inferior, baja á *g*, sube por *hi* por la rama lateral, continúa de derecha á izquierda en el hilo transversal superior, sube á *m*, y vuelve por *o* á reunirse con el hilo negativo. Aquí obra el globo en los dos extremos, procurando hacer girar el aparato en cierto sentido, mientras que obra en el medio para hacerle girar en sentido contrario la misma cantidad. En los lados hay una corriente descendente de *d* á *e*, otra ascendente de *h* á *i*; una corriente de igual intensidad descendente de *f* á *g*, y otra ascendente de *l* á *m*. Es claro que el globo terrestre obra lateralmente para hacer girar este rectángulo inferior en un sentido, mientras que debe hacer girar al rectángulo superior en sentido inverso. No puede pues verificarse ningun movimiento.

Estas disposiciones no impiden sin embargo que un conductor en que se mueve una corriente eléctrica pueda obrar en un circuito mucho mas enérgicamente que en otro, cuando está suficientemente aproximado, como siempre puede verificarse; de lo que resulta que estos aparatos privados de la influencia de la acción terrestre pueden servir muy bien para estudiar completamente las leyes de las atracciones y repulsiones. Asi es que el conductor fijo SR (*fig. 272*) produce todo su efecto sobre la parte *gh*, que está bastante próxima á él.

## CAPÍTULO XII.

*Fenómenos del iman.*

715. *Nociones preliminares.*— Se llama generalmente *iman* (\*) una especie de mineral ferruginoso que posee naturalmente la propiedad de atraer al *hierro*, *acero*, *nickel* y *cobalto*, precisamente del mismo modo que los conductores en que se mueven corrientes eléctricas (702). Las limaduras de estos metales se pegan fuertemente á él, volviendo las de hierro inmediatamente á su estado natural cuando se despegan, lo cual no sucede con las de acero, que conservan despues de despegadas de la piedra la misma propiedad que ésta; es decir, que cada partícula que ha tocado al iman atrae despues hácia sí las partículas de *hierro*, *acero*, *nickel* y *cobalto* que se la presenten; pedándose tambien por la misma razon á un pedazo de hierro que se le acerque.

Esta facultad de la piedra iman de comunicar al acero sus propiedades sin perder nada de su energía, se ha empleado para la formacion de lo que se llama *imanes artificiales*, que consisten en barritas de acero, ya solas ó ya reunidas por medio de una armazon, ó en agujas suspendidas en ejes, que como se sabe sirven para la construccion de las

---

(\*) Los griegos llamaban á este mineral *μαγνησ* de donde se ha derivado la expresion *magnetismo*, por la cual se designa hace largo tiempo el conjunto de fenómenos relativos á esta parte de la Física que los experimentos de Ampère enlazan con la electricidad.

brújulas. Cada barrita imanada puede servir por sí misma para la formación de otras tantas cuantas se quieran análogas á ella, y para la de todos los instrumentos necesarios para el estudio de la Física y de la Navegación.

Este ha sido por muchos siglos el método general, mediante el cual se obtenían las barritas y agujas imanadas; pero los descubrimientos de Ampère y Arago nos suministran en el día un medio de obtener estos mismos instrumentos, sin que sea necesario tener anticipadamente ningun iman natural ni artificial, con la certidumbre de lograrlos bien hechos. Estos experimentos son ciertamente los que deben servir para principiar el estudio de las propiedades del iman, supuesto que suministran á la vez la teoría de los nuevos fenómenos, y el instrumento que debe demostrarlos.

Hemos visto (702) que las limaduras de acero puestas en contacto con un conductor en que se mueven corrientes eléctricas, adquieren las propiedades magnéticas, de lo cual debe concluirse inmediatamente que, por medio del contacto de este mismo conductor, se puede lograr la imanación de una aguja ó barrita. Así lo pensó al momento Arago; pero sin embargo, no logró verificarlo completamente, hasta que la teoría de las corrientes eléctricas estuvo suficientemente establecida: esta teoría le suministró el siguiente procedimiento.

Hemos visto (709) todas las propiedades que poseen los aparatos formados por un hilo en espiral. Así, pues, si en una espiral como la *fig.* 280 se coloca una barrita de acero que no tenga ninguna propiedad magnética, y se establecen las corrientes eléctricas, esta barrita adquirirá las propiedades del

conductor; y lo que es más las conservará casi indefinidamente, de suerte que quedará como impregnada de la corriente que circula en la espiral donde se la ha colocado; es decir en consecuencia que puede considerarse como un aparato enteramente semejante al que hemos descrito, donde se mueven corrientes circulares, cuyos planos son perpendiculares al eje.

Este solo experimento nos da al momento toda la teoría de las agujas imanadas, ya sea respecto de la acción terrestre, ó ya respecto de la acción mútua de dos agujas semejantes. Tratáremos despues de esta teoría, limitándonos á presentar aqui el cuadro de los fenómenos del iman, para recordar únicamente los que hemos observado en los aparatos eléctricos, y manifestar mejor su analogía.

La acción de una barrita imanada, ó de un iman, se manifiesta á distancia, y al traves de todos los cuerpos precisamente como la de los conductores en donde se mueven corrientes eléctricas. Si se pone un iman debajo de un platillo de vidrio, sobre el cual se esparcen limaduras de hierro, se ve á las partículas de este metal ordenarse en una especie de curvas que se cruzan todas hácia los extremos del iman. La *fig. 264* puede dar una idea de estas colocaciones, que nos indican á la vez que el iman obra al traves del vidrio, y que existen hácia los extremos de la barrita puntos en donde se manifiesta su mayor fuerza.

716. *Dirección hácia los polos.* — *Meridiano y ecuador magnéticos.* — Cuando se suspende libre y horizontalmente una barrita imanada sobre un eje (*fig. 263*) por medio de una pequeña cavidad cónica debajo de su centro de gravedad, se la ve al mo-

mento moverse, y oscilar durante algun tiempo á izquierda y á derecha de cierta direccion, en la cual concluye por fijarse, quedándose los extremos vueltos hácia los polos sobre poco mas ó menos; decimos sobre poco mas ó menos, porque en efecto en París, lo mismo que en otros muchos parages, el plano vertical que pasa por el eje de la barrita no está exactamente en el plano del meridiano; y aun su posicion varia en un mismo lugar con el tiempo. En la actualidad hace en París un ángulo de  $22^{\circ} 19'$ , estando el extremo de la aguja que mira al norte apartada dicha cantidad al oeste. Los físicos han convenido en llamar á esta separacion *declinacion de la aguja*.

El círculo máximo de la esfera que pasa por la direccion de la aguja en un lugar cualquiera toma el nombre de *meridiano magnético* del mismo lugar. En el plano de este meridiano es donde hemos visto (706) que se coloca naturalmente el aparato móvil (*fig. 280*), porque entonces todas las corrientes circulares se colocan perpendicularmente á este plano.

Se llama *ecuador magnético* el círculo máximo de la esfera cuyo plano es perpendicular al plano del meridiano magnético; está inclinado hácia el ecuador terrestre de  $10^{\circ}$  á  $12^{\circ}$  sobre poco mas ó menos.

Es claro que deben hacerse aqui respecto de las barritas imanadas las mismas observaciones que se hicieron respecto del aparato móvil (*fig. 280*), y que por las mismas razones que expusimos en el núm 711, representa completamente al globo terrestre una barrita de esta especie en cuanto á la accion. De aquí se sigue que cuando ha llegado al

equilibrio por la acción del globo, su extremo austral está vuelto hácia el polo boreal de la tierra, y mientras que su extremo boreal mira hácia el polo terrestre austral.

717. *Inclinacion de la aguja magnética.* — Cuando una aguja imanada está suspendida del modo conveniente, el extremo que mira al polo está siempre mas bajo que el que mira al ecuador. En nuestro hemisferio es por consiguiente el extremo austral de la aguja el mas bajo, y en el hemisferio austral es su extremo boreal el que presenta este fenómeno. Unicamente en ciertos puntos del globo que se hallan en el ecuador magnético, es en donde la aguja permanece horizontal de una y otra parte de estos puntos, se inclina tanto mas, cuanto mas se acerca á los polos. La inclinacion de la aguja en París es de  $68^{\circ}$ .

Este último fenómeno es precisamente el mismo que hemos observado en las corrientes eléctricas (706); y resulta tambien de que los planos de las corrientes circulares dirigidas del este al oeste, cuando la aguja se coloca naturalmente en equilibrio, son atraidos hácia el sur, parándose hácia este lado bajo un ángulo de  $21^{\circ}$ .

718. *Atracciones y repulsiones magnéticas.* — Se pueden comprobar por medio de dos agujas imanadas, una movil sobre un eje, y otra fija en la mano que los extremos del mismo nombre se repelen, y los de nombre diferente se atraen, como sucede exactamente en los aparatos móviles y fijos que nos han servido para indagar los mismos fenómenos en las corrientes eléctricas circulares (712).

Tambien pueden comprobarse de otro modo las atracciones y repulsiones de dos agujas magnéticas,

valiéndose del apararo *fig.* 268. Se fijan verticalmente estas agujas en los conductores, ya sea con un poco de cera, ó ya por medio de una cuñita de madera dispuesta como se ve en la *fig.* 281, donde la flecha *ef*, indica la direccion de la corriente. Cuando las agujas estan vueltas en el mismo sentido, es decir, cuando los polos del mismo nombre se miran, se ve que hay repulsion, y cuando las agujas estan en sentidos inversos, es decir, que los polos diferentes se miran, hay atraccion. Debe, pues, observarse que en el primer caso las corrientes estan en sentido inverso, lo que produce la repulsion, y que en el segundo estas corrientes estan en el mismo sentido, lo que produce la atraccion, precisamente lo mismo que en los experimentos del núm. 703.

719. *Acciones recíprocas de las agujas imantadas, y de las corrientes eléctricas.*—Todos los experimentos que acabamos de referir presentan, en los efectos, la mas perfecta analogía con los observados en las corrientes eléctricas. Pero la identidad se manifiesta de un modo aun mas evidente, cuando se demuestra que en todos los experimentos sobre corrientes eléctricas se puede sustituir una aguja magnética á cualquiera de los conductores. Supongamos por ejemplo en el aparato *fig.* 268, que en el conductor fijo se haya establecido una corriente de A á B; esta atraeria ó rechazaria al conductor movil, segun fuese la otra corriente en este de C á B ó de B á C. Colóquese pues la aguja magnética *ba* dispuesta de modo que el extremo *a* esté hácia arriba, y la cuñita vuelta hácia detras del aparato, y habrá atraccion; lo que resulta de que la corriente de la aguja del lado del conductor

AB está dirigida en el mismo sentido que en este mismo conductor; hágase girar la aguja de modo que el extremo *b* esté hacia arriba, y entonces su corriente estará dirigida en sentido contrario á la que se verifica en AB, en cuyo caso habrá repulsion: todo exactamente del mismo modo que si se hubiese establecido una corriente en un conductor móvil.

Del mismo modo en los experimentos del número 712 se puede reemplazar uno de los conductores por una barrita imanada, obteniéndose entonces las atracciones y repulsiones exactamente idénticas á las del caso en que se usan conductores eléctricos; es decir que, presentando el extremo austral de una barrita al extremo austral de una aguja eléctrica espiral, habrá repulsion, como si fueran extremos semejantes de conductores eléctricos; y si al contrario, se presenta el extremo austral de la barrita al extremo boreal del aparato, habrá la correspondiente atraccion.

Del mismo modo, si encima de un conductor fijo se coloca una aguja sostenida horizontalmente por un eje, se la verá inmediatamente en un movimiento hasta que su direccion haga ángulo recto con la del conductor, suponiendo que antes no le hacia. Esto resulta de que las corrientes de la aguja son perpendiculares á su eje, y que estando la parte de la inferior puesta en presencia de la del conductor, se ve obligada á colocarse paralelamente á ella, como se verifica en el experimento del número 704. Si se coloca la aguja debajo del conductor, tomará la misma posicion de ángulo recto con él, con la diferencia de que, para hacerlo, se moverá en sentido contrario al de antes, lo cual nace de que

se halla la corriente de la parte superior de la aguja en sentido contrario de la direccion que tiene en su parte inferior.

Este experimento fue hecho por Ørsted, y dió origen á los bellos descubrimientos de Ampère. Pero en él no logró Ørsted colocar la aguja de modo que su direccion fuese perpendicular á la del conductor, porque empleaba una aguja magnética comun que era solicitada, por esta razon, por la accion del globo. Unicamente valiéndose de un instrumento ideado por Ampère que le denominó *aguja astática*, es como puede observarse el fenómeno con toda evidencia.

La *aguja magnética astática* está representada en la *fig. 282*. Se compone de una aguja AB, fija perpendicularmente en un eje CD, el cual puede colocarse en la direccion que se quiera por medio de los tornillos E y F. Dispuesta de este modo la aguja no puede moverse sino en un plano perpendicular al eje CD, cuyo centro de gravedad se tiene determinado con exactitud; de suerte que antes de imanarla se esté seguro que la gravedad no obra sobre ella, cualquiera que sea su mudanza de posicion: entonces se imana esta aguja, y se inclina el plano en que se mueve hasta que sea perpendicular á la direccion de la aguja de inclinacion. En este estado puede ya decirse que es perfectamente *astática*; esto es, que permanece en todas las direcciones en que puede colocarse, haciéndola girar sobre su eje. En efecto, supongamos que el círculo del aparato esté en un plano cualquiera; si se quiere saber que direccion tomará la aguja sobre este plano, basta concebir en él una línea que represente la proyeccion de la aguja de inclinacion, y por esta

línea un plano perpendicular al del círculo, á quien cortará en dos radios, que serán las proyecciones, uno de la parte de la aguja de inclinacion situada debajo del círculo, y otro de la parte situada encima. La primera de estas proyecciones es la direccion que tomará, en general, la parte de la aguja imanada que se dirige al norte; y la segunda será la que tome la parte de la misma aguja que se dirige al sur. Ahora bien, cuando el plano del círculo es perpendicular á la direccion de la aguja, como hemos indicado, todos los planos que pasan por esta direccion son perpendiculares al del círculo, de suerte que todos los radios son indiferentes para la aguja imanada, por cuya razon permanece en cualquier posicion que se la dé.

Tambien puede hacerse *astática* á una aguja por otro medio, el cual consiste únicamente en colocar una barra imanada, de grueso considerable, á cierta distancia debajo de la aguja, de modo que sus polos estén en sentido inverso de los de la tierra.

720. *Circunstancias de la accion que ejerce un conductor vertical sobre un iman movil en un plano horizontal.*—Si un iman está suspendido de modo que no pueda girar sino sobre un plano horizontal, y se acerca un conductor á uno de sus polos en el plano vertical que pasa por su eje, se verá al iman moverse y colocarse de modo que su nueva direccion sea perpendicular á la primitiva; experimento enteramente análogo al de Ørsted, número 719. El sentido del movimiento de la barrita imanada dependerá igualmente en este caso del sentido de la corriente en el hilo conductor. Se verificará de modo que las corrientes del iman llegarán á ser paralelas á las del hilo. A esta posicion arras-

trará el conductor al iman siempre que su distancia al centro de rotacion sea mayor que la mitad de la longitud del iman. Pero cuando esta distancia sea menor, entonces se presentarán varios casos. Supongamos que el conductor se haya colocado desde luego á una distancia mayor, y que el iman haya tomado la posicion que el conductor procura darle; en este caso se podrá aproximarle á una distancia mucho menor, sin que el iman se desarregle, con tal que el conductor no salga del plano del ecuador del iman; porque entonces la corriente del hilo obra igualmente sobre las corrientes del iman situadas á iguales distancias del centro. Si se separa al hilo de este plano para acercarle á uno de los extremos del iman, este extremo será atraído por el conductor, y la atraccion irá aumentando hasta cierto punto, donde tendrá el máximo de efecto; pasado este irá disminuyendo la atraccion, hasta que por la mayor proximidad al extremo, se manifieste la repulsion.

721. *Centros de accion de una barra imanada.*—Coulomb observó que haciendo mover una barra imanada en frente de una aguja, existia á poca distancia de cada extremo un punto de mayor fuerza, y denominó á estos puntos *centros de accion* de la barra. Halló que estos dos puntos estaban á 22 milímetros (11 líneas españolas) de los extremos cuando la barra era de 0,675 metros (28,6 pulgadas). En esto difieren las barras imanadas esencialmente de los conductores espirales de que hemos hablado antes (713); pues en estos las resultantes de todas las fuerzas se hallan precisamente en los extremos. Pero considerando cada partícula de acero como un cilindro sumamente pe-

queño de la misma materia, y teniendo presente que en vez de quedar los ejes de estos cilindros paralelos al eje de la barra, deben por consecuencia de sus acciones mútuas inclinarse hácia él, y disponerse en curvas análogas á las que forman las limaduras de hierro en el experimento núm. 715 (*fig. 264*), se ve facilmente que los centros de accion deben alejarse un poco de los extremos.

722. *Ley de las atracciones magnéticas.*— Hace mucho tiempo que se conocen estas leyes en virtud de los experimentos de Coulomb, que demostró que seguian la razon inversa del cuadrado de las distancias. En uno de estos experimentos estaba la aguja á 108 *milímetros* (4,6 pulgadas españolas) del centro de accion de un hilo de acero imanado de 68 *centímetros* (28,9 pulgadas) de longitud, é hizo 41 oscilaciones en un minuto. Colocada en seguida á una distancia doble, no hizo mas que 24 oscilaciones. Pero como las fuerzas que hacen oscilar á una aguja son proporcionales á los cuadrados de los números de oscilaciones hechas en un mismo tiempo, se hallan en el caso presente las fuerzas en la relacion de 1681 á 576. Para averiguar la accion verdadera de la barra, es preciso restar la accion del globo. Coulomb observó que la aguja abandonada á la sola accion del globo hacia 15 oscilaciones en un minuto; luego esta accion se representa por 225. Restando este número de los 1681 y 576 queda para las acciones de las barras á las distancias 1 y 2, la relacion de 1456 á 351, poco diferente de 4:1 (\*).

---

(\*) La diferencia 13 que se halla entre 351, y la cuarta parte de 1457, que es 364, no es casi sensible, sino

*Imanacion de las barras de acero.*— Hemos descrito el método mas seguro para imanar completamente las barras de acero, para lo cual ni aun se necesita, como hemos supuesto desde luego, de la pila voltaica. En efecto, basta para lograrlo hacer pasar por el conductor espiral muchas descargas sucesivas de una batería eléctrica, ó de una botella de Leyden bastante cargada. A pesar de todo esto no podemos dispensarnos de indicar los métodos antiguos mas usuales para imanar una barra ó aguja. Uno de ellos consistia en frotar la barrita de acero con uno de los polos de una barra ya imanada, haciéndola resbalar de un extremo á otro, y repitiendo la operacion el número suficiente de veces para conseguir el efecto. El segundo método, que es mas seguro, consiste en frotar la misma barra de acero con dos barras ya imanadas, cuyos polos diferentes se colocan en el centro de la barra, tal como *fig. 251*. Se frota estas dos barras hácia los extremos de lo que se quiere imanar, y despues sin dejarlas tocar de nuevo á esta se las vuelve á colocar en el centro para repetir la operacion del mismo modo varias veces.

*Puntos consecuentes.*— Sucede algunas veces en una ú otra de estas operaciones que en la barra que se imana, se forman uno ó muchos puntos donde se reunen los dos polos opuestos. A estos puntos se

---

porque recae sobre el cuadrado del número de oscilaciones; de suerte que la diferencia que le corresponde relativamente al número mismo, no es sino una fraccion de la unidad. Si, por ejemplo, hubiesen sido  $24\frac{1}{2}$  el número de oscilaciones, restando 225 de su cuadrado, quedaria 363 mas una fraccion, número que se aproxima bastante á 364.

les ha dado el nombre de *puntos consecuentes*. Entonces la barra presenta algunas irregularidades, de las cuales la mas notable se verifica cuando dichos puntos estan en medio de la longitud de la barra: los dos extremos son entonces de la misma naturaleza, y aunque queda imanada la barra no se dirige hácia los polos.

Se concibe facilmente en la nueva teoría, que esta circunstancia se verifica cuando las corrientes circulares, despues de haber marchado en un sentido por la longitud de una barra, se dirigen en seguida en sentido inverso. La prueba de esta teoría es que se pueden determinar en una barra cuantos puntos consecuentes se quieran. Basta para esto volver la espiral de laton en que se coloca la barra para imanarla (ya sea por medio de la pila, ó por medio de descargas eléctricas) en un sentido por cierta parte de su longitud; despues encorvado el hilo, hacerla girar de diferente modo, y asi sucesivamente, tanto como se quiera.

## CAPÍTULO XIII.

### *Magnetismo del globo terrestre.*

723. *Comunicacion de la virtud magnética por la accion del globo.* — La accion del globo se manifiesta del modo mas evidente en todos los experimentos que hemos indicado, ya sea sobre los aparatos donde se mueven corrientes eléctricas, ó ya sea sobre las barras imanadas que representan las mismas corrientes. Se manifiesta tambien de otro modo, comunicando la propiedad del iman á to-

dos los objetos de que nos servimos, como Gasendo lo observó el primero sobre la barra que sostenia la cruz del campanario de San Juan en Aix (Provenza). Notó que esta barra vertical habia adquirido la virtud magnética; y pronto se descubrió que todas las barras de hierro oblicuas al horizonte adquieren la misma propiedad. Todos los instrumentos de hierro que usamos diariamente la adquieren tambien, como sucede con nuestras tijeras, badiles, tenazas, &c. Para convencerse de ello basta presentar uno de estos utensilios, v. gr. unas tenazas á una aguja imanada, y se verá que la atraen por uno de sus extremos, y la rechazan por el otro. Los trabajadores que elaboran metales saben muy bien que sus limas, tenazas, tijeras, &c. adquieren con el uso la virtud magnética.

Es pues claro que el globo hace aquí el papel del hilo espiral empleado en los experimentos anteriores, solo que su accion es menos intensa. Se ha hecho uso algunas veces de esta observacion para obtener barras imanadas, sin tener de antemano ningun iman natural ni artificial. Basta para esto tener una barrita de acero, colocarla de modo que su direccion haga un ángulo de  $68^{\circ}$  poco mas ó menos con el horizonte, y otro de  $22^{\circ}$  con el meridiano del punto en que se hace la operacion, golpearla despues suavemente por uno de sus extremos, y adquiere prontamente las propiedades magnéticas en un grado bastante sensible.

724. *Variaciones de la aguja en los diferentes puntos del globo.* — Ya hemos enunciado (716) que la direccion é inclinacion de la aguja magnética variaba en los diferentes puntos del globo, lo cual resulta de las observaciones hechas por los viágeros

y navegantes Cristobal Colon fue el primero que observó que pasando de un lugar á otro en la superficie de la tierra, variaba muy sensiblemente la declinacion de la aguja. En el dia se conocen sobre el globo cuatro líneas curvas, en que la declinacion es nula, es decir, que en ellas se dirige la aguja exactamente hácia los polos. Una de estas líneas está en el Océano atlántico, entre el antiguo y el nuevo continente; la segunda, casi opuesta á la anterior, toma su origen en el Océano austral al sur de la Nueva-Holanda, y se continúa al norte hasta la Laponia. Otra tercera, que es una bifurcacion de la precedente, se separa de ella cerca del grande Archipiélago de Asia, elevándose hasta la parte oriental de la Siberia. Ultimamente se hallan trazas de la cuarta en el Océano pacífico, cerca de las islas de los Amigos y de la Sociedad.

En todos los demas puntos observados la declinacion es sensible y variable de uno á otro, siendo en unas partes oriental, y en otras occidental. Actualmente es en París de  $22^{\circ} 19'$  al oeste, y en Londres de  $24^{\circ} 8'$ .

Las mayores declinaciones han sido observadas por Cook, y el caballero de l'Angle; el primero halló á los  $60^{\circ}$  de latitud austral, y  $92^{\circ} 33'$  de longitud, que la aguja se desviaba  $43^{\circ} 6'$  al oriente; y el segundo á los  $62^{\circ}$  de latitud boreal halló  $45^{\circ}$  de declinacion.

La inclinacion de la aguja varía muy sensiblemente á medida que se muda de latitud. En las regiones ecuatoriales han hallado los navegantes muchos puntos en que la aguja permanece horizontal. La serie de estos puntos forma el ecuador magnético; pero es sumamente notable que la serie de ob-

servaciones hechas en el Océano atlántico, el mar de las Indias, y la parte del mar del Sur, que baña las costas de la América meridional, conducen á reconocer un ángulo de cerca de  $12^{\circ}$ , formado por la inclinacion del plano del ecuador magnético sobre el del ecuador terrestre; al paso que las observaciones hechas en el hemisferio opuesto dan otro ángulo diferente, y aun casi indican que el ecuador magnético corta al terrestre en tres ó cuatro puntos diferentes.

A medida que se adelanta hácia uno ú otro polo, se inclina la aguja mas y mas. Limitándose á considerar la mitad del globo donde el ecuador magnético parece ser exactamente circular, cuya mitad comprende la Europa, el África, el Océano atlántico, y las costas orientales de ambas Américas, se halla que la inclinacion permanece casi constante en los paralelos situados á iguales distancias de una y otra parte de dicho ecuador; debiendo verificarse el máximo de inclinacion en dos puntos opuestos de la tierra, que serian los polos magnéticos, y estarian, el uno situado á  $25^{\circ}$  de longitud occidental y  $78^{\circ}$  de latitud boreal; y el otro á  $205^{\circ}$  de longitud occidental, y  $78^{\circ}$  de latitud austral. Aun puede hacerse mas en esta parte del globo, y es representar en números sobre poco mas ó menos las inclinaciones, previéndolas en los puntos en que no se han observado aun, suponiendo un pequeño iman en el centro del globo, cuyos polos obren en la superficie en razon inversa del cuadrado de las distancias. Si se refieren entonces los puntos de la tierra por latitud y longitud al ecuador magnético, se halla que la tangente de inclinacion es doble de la tangente de latitud.

Por desgracia esta ley no se extiende á la otra mitad del globo, y si se trata de aplicar la relacion de las tangentes á algunas de las islas australes del mar del Sur, se hallan inclinaciones australes mayores que las que han sido observadas; y al contrario, para los paises situados al norte de América hácia la misma longitud se hallan inclinaciones menores que las que presenta la observacion; de suerte que se ven obligados los fisicos á reconocer que existen hácia el Archipiélago del mar del Sur algunas causas que perturban la accion central que hemos supuesto antes.

725. *Variaciones en los mismos lugares.*—La declinacion y la inclinacion varian tambien poco á poco en cada punto. En 1580 era la declinacion en París de  $12^{\circ} 50'$  al oriente; despues disminuyó hasta 1603 que era cero; es decir, que la aguja se dirigia recta al polo. Quedó estacionaria por dos años, al cabo de los cuales se ha ido dirigiendo hácia el oeste, de suerte que en 1678 la declinacion era de  $1^{\circ} 30'$ . Ha aumentado hasta 1813 que era de  $22^{\circ} 28'$ , y en el dia no es mas que de  $22^{\circ} 19'$ , en cuyo punto está estacionaria desde 1817.

Tambien varía la inclinacion en el mismo lugar, pero en limites muy pequeños. En 1798 la halló Humboldt en París de  $69^{\circ} 51'$ ; en 1810, no era sino de  $68^{\circ} 50'$ ; en 1817 solo era de  $68^{\circ} 48'$ , de suerte que va disminuyendo todos los años. Las observaciones hechas en Londres conducen al mismo resultado.

726. *Variaciones diurnas.*—*Variaciones extraordinarias.*—Siguiendo con atencion la marcha de la aguja, se ha reconocido que todos los dias está sujeta á variaciones periódicas, tales que mar-

cha hácia el occidente desde la salida del sol hasta una hora despues de medio dia, retrogradando despues hácia el este. Esta variacion no es la misma en todos los meses del año, ni en todos los puntos de la tierra. Llega á su máximo en París en junio, siendo este 14', y á su mínimo de 9' en diciembre. En Londres la variacion diurna en junio y julio es de 19' 6'', y en diciembre de 7' 6''.

Muchas circunstancias atmosféricas, tales como las auroras boreales, las tempestades, &c. influyen bastante en las variaciones de la aguja. La caída de un rayo cerca de una aguja, muda algunas veces repentinamente sus polos, de lo que resultan graves contratiempos en los viages marítimos.

Los nuevos fenómenos descubiertos por Ampère principian á dar alguna luz acerca de las variaciones diurnas de la aguja, pues considerando la tierra como una pila galvánica resultante del contacto de las diferentes rocas, y partiendo del experimento que comprueba qué discos de la misma naturaleza y temperatura diferente producen electricidad, se puede imaginar que la mudanza de temperatura que se verifica todos los dias del este al oeste durante la presencia del sol, muda algo la posicion de las corrientes terrestres. Tambien se hace facil de concebir la influencia de electricidad para trastornar los polos de la aguja.

727. *Intensidad de la accion magnética del globo.*—Hemos visto en el núm. 103 que se podia valuar la intensidad de la pesantez en diversas latitudes por el número de oscilaciones del péndulo. Del mismo modo se puede valuar la intensidad magnética separando á una aguja de su línea de reposo en un punto dado, y abandonándola en seguida á sí

misma. La intensidad magnética será proporcional al cuadrado del número de oscilaciones hechas en un tiempo dado.

Por este medio descubrió Gay-Lussac, en un viage aereostático que la intensidad magnética no disminuye sensiblemente cuando se eleva en la atmósfera á una altura de 7000 metros (8330 varas), y Humboldt descubrió que, adelantándose desde el ecuador á los polos, va siempre aumentándose esta accion. Si se representa por 100 la intensidad en el ecuador, será 127 en Nápoles, 154 en París, 137 en Berlin, &c. Observaciones análogas han sido hechas por otros viajeros.

## FIN.

---

# ADICIONES

## PARA LA INTELIGENCIA

DE ALGUNOS PÁRRAFOS DE ESTA OBRA.

---

1.<sup>o</sup> Paralelogramo de las fuerzas. *Párrafo 22, tomo 1.<sup>o</sup>*

Como el *teorema del paralelogramo de las fuerzas* es de suma importancia, pondremos su demostracion dada por Mr. Duchayla, sacada de la mecánica de Poisson, por ser la mas generalmente adoptada.

*La resultante de dos fuerzas cualesquiera, aplicadas á un punto, y representadas por rectas que parten del mismo, está representada en magnitud y direccion por la diagonal del paralelogramo construido sobre dichas fuerzas.*

La demostracion que vamos á presentar consta de dos partes: la primera consiste en probar que la resultante sigue la direccion de la diagonal expresada, y la segunda en probar que su magnitud es la de la misma diagonal. En la primera parte se admite que la accion de una fuerza puede trasportarse de un punto á otro en la misma direccion, ligado invariablemente al primero, sin alterar en nada la direccion ni intensidad ó magnitud de la misma fuerza.

Esto supuesto, si la resultante de dos fuerzas está efectivamente en la direccion de la diagonal, cuando las componentes estan entre sí en la relacion de las cantidades  $p$  y  $m$ , y cuando estan representadas por las cantidades  $p$  y  $n$  puede afirmarse, que seguirá la misma direccion de la diagonal cuando las componentes esten representadas por  $p$  y  $m+n$ , siempre que el ángulo comprendido entre las componentes sea el mismo en los tres casos.

En efecto, supongamos que el punto  $A$  (*fig. 283*) esté solicitado por dos fuerzas  $p$  y  $m+n$ , que obran segun las

direcciones  $AB$  y  $AC$ : tomemos á  $AB=p$ ,  $AE=m$  y  $EC=n$ ; la fuerza  $p$  estará representada en magnitud y direccion por  $AB$ , y la fuerza  $m+n$  por  $AC$ . Esta podrá dividirse en otras dos; una igual á la  $m$  que permanecerá aplicada al punto  $A$ , y estará representada por  $AE$ ; otra igual á  $n$ , cuyo punto de aplicacion se transportará á  $E$ , y estará representada por  $EC$ . Por la hipótesi, la resultante de las fuerzas  $AB$  y  $AE$  se dirigirá segun  $AF$  diagonal del paralelógramo  $ABFE$  transportándola á  $F$  obrará segun la  $FK$  prolongacion de  $AF$ , y podrá descomponerse en dos fuerzas  $FG$  y  $FH$ , prolongaciones de las dos  $BF$  y  $EF$ , para lo cual tomaremos á  $FH=AB$ ,  $FG=AE$ , y formando el paralelógramo  $FHKC$ , igual al  $ABFE$ , es pues evidente que  $FH$  y  $FG$  serán los componentes de la fuerza dirigida segun  $AF$ . Puesto que  $AB=EH=EF$  se puede reemplazar la fuerza  $FH$  por la  $EF$  aplicada al punto  $E$ ; pero por la hipótesi, la resultante de las dos fuerzas  $EF$  y  $EC$  está dirigida segun la  $ED$  diagonal del paralelógramo  $EFDC$ ; luego si se transporta esta fuerza al punto  $D$ , en el que su direccion corta á la de la fuerza  $FG$ , y se aplica esta al mismo punto, la resultante de estas dos fuerzas pasará también por el punto  $D$ : por consiguiente las tres fuerzas  $EG$ ,  $FH$  y  $FG$  se reducen definitivamente á una fuerza única, cuya direccion pasa por el punto  $D$ . Pero estas fuerzas reemplazan á las dos dadas  $AB$  y  $AC$  á que son equivalentes, luego la resultante de estas debe pasar por el punto  $D$ ; y como ya pasa por el punto  $A$ , claro es que debe seguir necesariamente la direccion de la  $AD$  diagonal del paralelógramo  $ABDC$ .

En el caso de ser iguales las dos fuerzas, cualquiera que sea el ángulo que formen, la resultante le divide en dos partes iguales, y está dirigida segun la diagonal del rombo construido sobre las dos fuerzas: partiendo de este caso particular, y de lo que acaba de probarse es facil concluir que la resultante debe dirigirse segun la diagonal del paralelógramo construido sobre las dos fuerzas, siempre que estén representadas por números enteros. Efectivamente tomando  $p=1$  y  $n=1$ , y haciendo á  $m=1\dots 2\dots 3$ , &c. la proposicion será exacta para las fuerzas iguales  $1$  y  $1$ ; despues para las fuerzas  $1$  y  $1+1=2$ ; despues para  $1$  y  $2+1=3$ , &c. En general lo será para  $1$  y  $N$  siendo  $N$  un número entero cualquiera. Si se toma  $p=N$  y  $n=1$ , y sucesivamente  $m=1\dots 2\dots 3$ , &c. la proposicion será exacta para las fuerzas  $N$  y  $1$ ;  $N$  y  $1+1=2$ ;  $N$  y  $2+1=$

3, &c., y en general para  $N$  y  $M$  siendo  $M$  un número entero cualquiera como lo es  $N$ .

Demostrada la proposición para dos fuerzas conmensurables cualesquiera, es fácil estenderla por medio del raciocinio *ab absurdo*, al caso general de dos fuerzas incommensurables. Sean pues  $AB$  y  $AC$  (fig. 284) las dos fuerzas. Si su resultante no sigue la dirección de la diagonal  $AD$  del paralelogramo  $ABDC$ , seguirá la de otra recta, v. gr.  $AD'$  que corta al lado  $CD$  en un punto  $D'$ . Tiremos por este punto la  $DB'$  paralela al lado  $DB$ , y sea  $B'$  la intersección de esta paralela con el lado  $AB$ ; dividamos al lado  $AB$  en partes menores que  $BB'$ , de suerte que transportándolas sobre  $AB$  partiendo desde  $A$ , uno de los puntos de división, á lo menos, caiga entre  $B$  y  $B'$ , v. gr. en  $E$ .

Considerando entonces las dos fuerzas  $AE$  y  $AC$  que son conmensurables, su resultante seguirá la dirección de la diagonal  $AF$  del paralelogramo  $AEFC$ , la cual está comprendida entre las dos rectas  $AD'$  y  $AD$ ; pero permaneciendo la misma la fuerza  $AC$ , y disminuyendo la  $AE$  hasta ser  $AE$ , la resultante debe alejarse de la dirección  $AB$ , y aproximarse á la dirección  $AC$ ; luego es un absurdo que la resultante de las fuerzas  $AB$  y  $AC$  siga la dirección  $AD'$ , mientras la de las fuerzas  $AE$  y  $AC$  sigue la dirección  $AF$ . Como lo mismo diríamos de cualquier otro punto que no fuese el  $D$ , vemos que es imposible que la resultante de las fuerzas  $AB$  y  $AC$  siga otra dirección que la  $AD$ , diagonal del paralelogramo, puesto que semejante posibilidad nos conduce á un resultado absurdo.

Fáltanos, pues, demostrar que la resultante está representada en magnitud por la longitud de la diagonal. Sean para esto  $AB$  y  $AC$  (fig. 285) las dos componentes, y tendremos que la diagonal  $AD$  representará la dirección de la resultante. Si se aplica según su prolongación  $AD$  una fuerza igual y contraria, cuya magnitud es desconocida, y la llamaremos  $R$ , esta fuerza equilibrará á las dos  $AB$  y  $AC$ ; y estando las tres en equilibrio al rededor del punto  $A$ , cualesquiera de ellas es igual y directamente opuesta á la resultante de las otras dos: por consiguiente si se toma sobre la prolongación de la  $AB$  una parte  $AB' = AB$ , la fuerza  $AB'$  representará en magnitud y dirección la resultante de las dos fuerzas  $AC$  y  $AD' = R$ . Además, siendo la recta  $AB'$  igual y paralela á  $DC$ , debe seguirse que la recta  $B'C$  es igual y paralela á  $AD$ ; es pues también paralela á su prolongación  $AD'$ , y tirando por  $B'$  la  $B'D'$  paralela á la  $AC$ ,  $ACB'D'$

erá un paralelógramo. Ahora bien, supuesto que la resultante de R y AC debe dirigirse segun la diagonal AB', es preciso que la fuerza R sea igual al lado AD'; pues si fuese mayor ó menor, construyendo un paralelógramo sobre ella, y el lado AC, su diagonal no coincidiría con AB'. Asi pues R debe ser igual con AD'; pero  $AD' = BC$  por lados opuestos del paralelógramo ACB'D' y  $B'C = AD$  por el paralelógramo ADCB. Luego  $R = DA$ , con lo cual, y lo expuesto antes, queda demostrado que la resultante de dos fuerzas cualesquiera está representada en magnitud y direccion por la diagonal del paralelógramo formado por ellas.

De este teorema se deducen consecuencias sumamente útiles, y entre ellas la relacion que existe entre las fuerzas, y su resultante. Tomemos para esto las fuerzas P, Q y R (fig. 286) representadas por partes proporcionales á sus intensidades AR, AF y AG, y tendremos

$$P : Q : R :: AB : AF : AG.$$

Como  $AB = FG$  podremos referirnos solo al triángulo AFG, y la proporcion se convertirá en  $P : Q : R :: FG : AF : AG$ , y como los lados son como los senos de los ángulos opuestos se tiene  $FG : AF : AG :: \text{sen } GAF : \text{sen } FGA : \text{sen } GFA$ . Pero  $GAF = RAQ$ ;  $FGA = RAP$ , el y seno del ángulo GFA es el mismo que el de su suplemento FAB ó QAP, luego  $P : Q : R :: \text{sen } RAQ : \text{sen } PAR : \text{sen } PAQ$ , lo cual nos manifiesta que tres fuerzas P, Q y R, de las cuales una es la resultante de las otras dos, puede cada una representarse por el seno del ángulo formado por las otras dos.

Si desde un punto G tomado en la direccion de la resultante R se bajan las perpendiculares GI, GE sobre las direcciones de las dos fuerzas, estas perpendiculares estarán entre si reciprocamente como las fuerzas P y Q.

Efectivamente acabamos de ver que  $P : Q :: GF : BG$ ; pero los triángulos semejantes GBE y GFI dan  $GF : GB :: GI : GE$ , luego  $P : Q :: GI : GE$ , y por consiguiente  $P \times GE = Q \times GI$ . Estos productos se llaman los momentos estáticos de las fuerzas P y Q respecto del punto G.

Para hallar la expresion de la resultante en valores de las componentes, y del ángulo que estas forman, le llamaremos x, y tendremos que  $PAQ = x$  (fig. 286).

Los triángulos GFI y AGI dan  $GI = P \text{ sen } x$ ,  $FI = P \text{ cos } x$  y  $AG^2 = AI^2 + GI^2$ ; pero como  $AI = AF + FI$  tendremos que, sustituyendo y desarrollando el cálculo será

$$\begin{aligned} R^2 &= P^2 \text{ sen}^2 x + Q^2 + 2 PQ \text{ cos } x + P^2 \text{ cos}^2 x \\ &= P^2 (\text{sen}^2 x + \text{cos}^2 x) + Q^2 + 2 PQ \text{ cos } x \end{aligned}$$

y como  $\text{sen}^2 + \text{cos}^2 = 1$  resulta  $R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \alpha$  que es la relacion pedida.

La construccion gráfica del paralelogramo de las fuerzas, manifiesta que la resultante varia de magnitud, aunque permanezcan las mismas las componentes. Será mayor cuanto mas agudo sea el ángulo que formen las fuerzas, y menor cuanto mas obtuso. La simple vista de la *fig. 287* lo demuestra; pues  $R$ ,  $R'$  y  $R''$  son mayores ó menores, cuanto mas agudo ú obtuso es el ángulo que forman  $P$ ,  $Q$ ;  $P'$ ,  $Q'$ ,  $P''$ ,  $Q''$ . El limite de estas variaciones es por una parte la oposicion directa, y entonces la resultante es *ceró* si las fuerzas son iguales: por otra parte el limite es el paralelismo de las fuerzas, y entonces la resultante es la suma ó diferencia de las fuerzas componentes. Efectivamente, si las fuerzas son paralelas, el ángulo que forman es nulo, y su coseno la unidad, de lo cual resulta que la expresion anterior se convierte en  $R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ$  y  $R = P + Q$ . Y si hubiéramos supuesto que  $Q$  iba en sentido contrario á  $P$ , entonces

$$R^2 = P^2 + Q^2 - 2PQ \text{ y } R = P - Q.$$

## 2.ª Fuerzas paralelas. Párrafo 24.

Se puede demostrar directamente la teoria de las fuerzas paralelas como vamos á ver. Sean  $P$  y  $Q$  (*fig. 288*) las fuerzas paralelas aplicadas perpendicularmente á los extremos de una recta inflexible  $AB$ , y supongamos que sus intensidades son  $AM$  y  $BN$ . Es claro que en dichos extremos se pueden aplicar dos fuerzas iguales y contrarias en la direccion  $AB$ , sin que por esto se altere la resultante de las fuerzas propuestas. Construyendo pues los paralelogramos  $AHLM$  y  $BKNI$ , la resultante de  $P$  y  $Q$  será la misma que la de  $AL$  y  $BN$ .

Como estas dos concurren en un punto  $E$  podemos trasladarlas á este punto, tomando á  $EZ = AL$  y  $EV = BN$ ; y concluyendo los paralelogramos  $EGZT$  y  $EDVO$ , tendremos que la resultante de  $P$  y  $Q$  será la de las cuatro fuerzas  $EG$ ,  $ED$ ,  $ET$  y  $EO$ ; pero como  $GE$  y  $ED$  son iguales y contrarias, solo nos quedan las  $ET$  y  $EO$  que actúan en un mismo sentido, y por consiguiente se reducen á una sola igual á su suma, puesto que por la construccion de la figura  $ET = MA$  y  $EO = BN$ . Luego  $R = P + Q$ .

Como la resultante se puede aplicar en cualquier punto tomado en su direccion, la consideraremos aplicada en  $C$  pa-

ra determinar la relación entre las distancias CA y GB. Para esto los triángulos EZT y EAC dan por su semejanza  $ET:EC::ZT:AC$ ; los EQU y ECB dan  $EG:EO::CB:OU$ .

Multiplicando estas proporciones, y teniendo presente que  $ZT = OU$  resulta  $ET:EO::BC:AC$ . Tirando una recta BF que corte á las dos fuerzas se tiene  $ET:EO::BC:AC::BY:YF$ ; es decir, que el punto de aplicación de la resultante, divide á una recta tirada por sus direcciones en parte recíprocamente proporcionales, á la intensidad de dichas fuerzas.

Luego para hallar la resultante de dos fuerzas paralelas P y Q que actúan en el mismo sentido, será necesario tirar una recta cualquiera BF que corte sus direcciones, y haciendo  $BF = a$ , y á su parte  $FY = x$ , la resultante se determinará por la fórmula  $R = P + Q$ , y el punto de aplicación por la expresión  $x = \frac{Qa}{P+Q}$ .

Si la fuerza Q actuase en sentido contrario á P bastaría mudar su signo, y las fórmulas serian  $R = P - Q$  y  $x = -\frac{Qa}{P+Q}$ . En este caso si

$P > Q$  la cantidad  $x$  seria negativa, y debería hallarse el punto Y á la izquierda de F; pero si  $Q > P$ ,  $x$  será positiva.

Hemos ya dicho lo que es momento estático de una fuerza; pero su mejor definición es que se llama así el producto de la intensidad de una fuerza por la distancia de su dirección á un punto. También hay momentos relativos á una línea ó á un plano, como puede verse en las obras de Estática; pero aquí solo nos limitaremos á los primeros, y vamos á demostrar que el momento de la resultante de dos fuerzas paralelas, con relación á un punto, es igual á la suma de los momentos de las componentes.

Sea A el punto (fig. 289) que tomamos para este efecto. Si desde él tiramos la An perpendicular á la dirección de las fuerza P y Q, y su resultante R, el punto de aplicación de esta resultante debe estar de modo que  $R = P + Q$ ... y  $P \times mo = Q \times no$ ; pero  $mo = Ao + Am$  y  $no = An - Ao$  luego  $P(Ao + Am) = Q(An - Ao)$  ..  $P \times Ao + P \times Am = Q \times An - Q \times Ao$ ...  $P \times Ao + Q \times Ao = P \times Am + Q \times An$ ...  $(P+Q)Ao = P \times Am + Q \times An$  ó  $R \times Ao = P \times Am + Q \times An$ . Pero  $P \times Am$  y  $Q \times An$  son los momentos de P y Q, y  $R \times Ao$  el de R, luego está demostrado. Si las fuerzas siguiesen direcciones opuestas, Q seria negativa, y seria  $R \times Ao = P \times Am - Q \times An$ .

Llamando  $r$ ,  $p$  y  $q$  las distancias  $Ao$ ,  $Am$  y  $An$  se tiene por último  $Rr = Pp \pm Qq$  que es la forma general de los momentos.

### 3.<sup>a</sup> Máquinas simples. Párrafo 41.

Mr. Beudant considera como *máquinas simples*, la *palanca*, *el torno* y *el plano inclinado*, y como sus usos son muy importantes, conviene conocer sus ecuaciones de equilibrio mas sencillas.

La *palanca* es una barra inflexible, *recta* ó *curva*  $BAC$  (fig. 290 y 291) sostenida en un punto fijo  $A$ , que se llama *apoyo*. Las distancias del apoyo á los puntos de aplicación de las fuerzas, supuestas paralelas, se llaman *brazos de palanca*.

En general, en toda máquina se llama *potencia* la fuerza disponible para el objeto, y *resistencia* la fuerza que se quiere mover ó equilibrar.

En la *palanca recta* (fig. 290) para que haya equilibrio es preciso que supuestas paralelas las direcciones de la potencia  $P$ , y la resistencia  $Q$ , la resultante pase por el punto de apoyo, y de consiguiente se tendrá  $P : Q :: AC : AB$ , es decir, *que la potencia y la resistencia están en razon inversa de los brazos de palanca*.

Por esta razon cuando los brazos son iguales, la potencia y la resistencia lo son, en cuyo principio está fundada la construccion de la *balanza* ó *peso de cruz*. Cuando son muy desiguales con una potencia pequeña se equilibra una gran resistencia, bajo cuyo principio se construye la *romana*.

En la *palanca curva* (fig. 291) supondremos que la fuerza  $P$  esté aplicada en  $B$  segun la direccion  $BE$ , y la resistencia  $R$  en  $C$ , segun la  $CF$ . Para que haya equilibrio es preciso que la resultante pase por el punto de apoyo, por lo cual tirando las perpendiculares  $Ab$  y  $Bc$  sobre las rectas  $BE$  y  $CF$ , tendremos  $P : R :: Ac : Ab$ ; es decir, que en general en la palanca la potencia y la resistencia estan en razon inversa de sus distancias al punto de apoyo.

La palanca se divide en tres especies con relacion al punto de apoyo.

1.<sup>a</sup> especie, es cuando el punto de apoyo está entre la potencia y la resistencia.

2.<sup>a</sup> especie, cuando la resistencia está entre el punto de apoyo y la potencia.

3.<sup>a</sup> especie, cuando la potencia está entre el punto de apoyo y la resistencia.

El torno en general es un cilindro acompañado de una rueda, cuyos ejes tienen los centros en una misma dirección. Por esto en el caso más sencillo puede representarse su corte transversal por la *fig. 292*, en la cual *BB'* es el corte circular de la rueda, y *Ab* el del cilindro, siendo *C* el punto por donde pasa el eje de la máquina. La potencia *P* se aplica a la circunferencia de la rueda, y la resistencia *R* al cilindro: de consiguiente queda el torno reducido á una palanca, cuyo apoyo es *C*, lo que da  $P:Q::CA:CB$ , y como *CA* es el radio *r* del cilindro, y *CB* el de la rueda *R*, resulta  $P:Q::r:R$ , es decir, que en el torno *la potencia es á la resistencia como el radio del cilindro al de la rueda*.

La definición del *plano inclinado* es su mismo nombre, pues se llama así un plano que no forma ángulo recto con el horizonte. Para determinar la ecuación de equilibrio en esta máquina se considera su corte como un triángulo (*fig. 293*) *ABC*. La fuerza con que un cuerpo *M* caería si no estuviese sostenido por el plano *AC*, se puede representar por *RG*: descomponiéndola en las dos *RD* y *DE* una perpendicular, y otra paralela á la *AC*; la primera se destruirá por la resistencia del plano, y solo quedará la *RE* para mover al cuerpo *M*. Para valuarla consideraremos los triángulos semejantes *REG* y *ABC* que nos darán  $RE:RG::CB:CA$ ; pero *CB* y *AC* son la altura y longitud del plano; luego en esta máquina para que haya equilibrio *la potencia es á la resistencia como la altura del plano á su longitud*.

Estas son las únicas máquinas simples que considera *Beudant*; pero en muchas obras de *Mecánica* se miran también como tales la *polea*, *rosca* y *uña*, cuyas ecuaciones son más difíciles de deducir, y pueden obtenerse refiriéndose á las tres máquinas anteriores.

#### 4.<sup>a</sup> Movimiento uniformemente acelerado y retardado.

##### *Párrafo 46.*

Para concebir bien la ley que rige en el movimiento uniformemente acelerado, supondremos que un cuerpo tarda un tiempo determinado en caer de cierta altura, y consideraremos este tiempo como compuesto de una infinidad de instantes sumamente pequeños, imaginando que en el primero recibe el móvil un grado de velocidad infinitamente peque-

ño, y que en cada instante sucesivo aumenta esta velocidad con otro grado igual al anterior: de este modo las velocidades del móvil durante los diversos instantes sucesivos de su descenso, aumentarán como los números naturales 1, 2, 3, 4, &c. De aquí se infiere que el número de grados de velocidad que sucesivamente adquiere el móvil es siempre igual al número de instantes que comprende la duracion del movimiento, es decir, que *la velocidad crece proporcionalmente al tiempo.*

Supongamos, pues, un triángulo rectángulo ACB (figura 294) dividido por las líneas  $hg$ ,  $li$ ,  $nk$ , &c. paralelas á la base BC, de modo que las partes  $Ah$ ,  $hl$ ,  $ln$ ,  $nC$  de la altura sean iguales entre si. Concibiendo que estas partes representan partes iguales del tiempo AC, v. gr. segundos,  $hg$  representará la velocidad del móvil en el primer segundo  $Ah$ ;  $li$  representará la velocidad del móvil al fin de dos segundos, y así sucesivamente, por ser estas líneas proporcionales á las  $Ah$ ,  $Al$ , &c.

Si suponemos al triángulo ACB subdividido por una infinidad de líneas comprendidas entre A y  $hg$ ;  $gh$  é  $li$ ,  $li$  y  $nk$ , &c. estas líneas tomadas hácia el punto A representarán las velocidades adquiridas durante los intervalos infinitamente pequeños que componen los tiempos representados por  $Ah$ ,  $Ai$ ,  $An$ , &c., y como estas líneas son los espacios pequeñisimos corridos durante los instantes correspondientes, y todas componen el triángulo  $Ahg$ , resulta que este triángulo representa el espacio total corrido durante el primer segundo.

Del mismo modo  $Ali$  representará el espacio corrido en los dos primeros segundos, y así sucesivamente. Pero los triángulos  $Ahg$ ,  $Ah$  tienen entre si la relacion que los cuadrados de sus lados homólogos  $Ah$ ,  $Al$ ; ó  $gh$ ,  $li$ ; luego *los espacios corridos por el móvil desde el origen del movimiento estan entre si como los cuadrados de las velocidades ó de los tiempos empleados en correrlos.*

Segun esto es facil hallar la relacion que guardan entre si los espacios corridos en intervalos consecutivos é iguales; pues si el primero de estos espacios es 1, es claro que los demas deben estar representados por las diferencias que existen en los términos 1, 4, 9, 16, 25, &c. que representan los espacios totales. Estas diferencias son 1, 3, 5, 7, &c., luego *los espacios parciales siguen la relacion de los números impares.*

Imaginando que al cabo de cierto tiempo, v. gr.  $Ah$ , deje de actuar la fuerza aceleratriz, el cuerpo continuará su movi-

miento en virtud de la velocidad adquirida  $gh$ , ya uniforme; luego si suponemos que continúa moviéndose durante un tiempo igual al primero, v. gr.  $hl$ , siendo el espacio que describirá igual á la velocidad tomada tantas veces como intervalos hay en  $hl$ , se representará por  $hl \times gh$ , pero este es el valor del rectángulo  $hgml$ , que es doble del triángulo  $Ahg$ , luego en el movimiento uniformemente acelerado *el espacio corrido en un tiempo dado, es la mitad del que puede describir el movil con la velocidad adquirida, continuando uniformemente.*

Considerando pues la *fig.* 293, tenemos que  $hg : li :: nk :: Ah : Al : An$ ; es decir, que las velocidades adquiridas son entre si como los tiempos; luego llamando  $V$  y  $v$  las velocidades, y  $T$  y  $t$  los tiempos se tiene  $V : v :: T : t$ .

Tenemos tambien que  $li = 2hg \dots nk = 3gh$ , &c.; es decir, que la velocidad adquirida al cabo de cierto número de segundos es igual á este mismo número multiplicado por la velocidad en el primero: luego llamando  $g$  la velocidad adquirida en el primer segundo, ó la *fuerza aceleratriz*, y  $t$  al tiempo, resulta  $v = gt$ .

La misma figura da

$Ahg : Ali : Ank :: Ah^2 : Al^2 : An^2 :: hg^2 : li^2 : nk^2$ , y llamando  $E$  y  $e$  los espacios resulta

$E : e :: T^2 : t^2 :: V^2 : v^2$ , de donde  $T : t :: V : v :: \sqrt{E} : \sqrt{e}$ , es decir, *que los tiempos son como las velocidades, ó como las raíces cuadradas de los espacios.*

Tambien tenemos

$hgil = 3Ahg \dots likn = 5Ahg \dots nkBC = 7Ahg$ , es decir, que los espacios parciales son como los números impares, como ya hemos dicho.

$$\text{Tambien da } \left\{ \begin{array}{l} Ahg = Ah \times \frac{hg}{2} = 1 \times \frac{hg}{2} \\ Ali = 4Ahg = 4 \frac{hg}{2} \\ Ank = 9Ahg = 9 \frac{hg^2}{2} \\ ABC = 16Ahg = 16 \frac{hg}{2}, \text{ \&c.} \end{array} \right.$$

Luego llamando  $g$  la velocidad  $hg$  adquirida en el pri-

mer segundo, y  $e$  el espacio; como 1, 4, 9, &c. son los cuadrados del tiempo  $t$ , será  $e = t^2 \times \frac{g}{2} = \frac{1}{2}gt^2$  que es la fórmula que queríamos obtener, y nos dice que *el espacio corrido con movimiento uniformemente acelerado, es igual á la mitad de la velocidad adquirida en el primer segundo multiplicada por el cuadrado del tiempo ó número de segundos.*

Las dos fórmulas  $v = gt$ , y  $e = \frac{1}{2}gt^2$  combinadas dan el espacio, velocidad y tiempo en valores unos de otros, y de la fuerza aceleratriz, pues de ellas resultan las siguientes:

$$t = \frac{v}{g} \dots e = \frac{v^2}{2g} \dots t = \frac{\sqrt{2e}}{g} \dots v = \sqrt{2eg}.$$

Las mismas consideraciones que se han empleado en el movimiento uniformemente acelerado, pueden emplearse análogamente en el retardado. Efectivamente, cuando arrojamamos un cuerpo en direccion vertical opuesta á la de la gravedad, vemos que la velocidad de su movimiento va disminuyendo sucesivamente. Asi, pues, si en vez de concebir que la fuerza aceleratriz actúa en sentido del impulso primitivo, suponemos que actúe en el sentido contrario, disminuirá á cada instante la velocidad inicial, siguiendo los mismos trámites que observamos en el caso primordial.

Disminuyendo así la velocidad inicial, llegará el caso de reducirse á cero, y si en este punto desaparece tambien la fuerza aceleratriz, el movil quedará en reposo; pero si continúa su accion el movil retrocederá, y bajará hasta llegar al punto de partida, donde tendrá la misma velocidad que en un principio, pero en sentido contrario.

La misma figura 293 nos sirve para estas consideraciones. En efecto, supongamos que AC represente el tiempo durante el cual se mueve un cuerpo en sentido contrario al anterior con fuerza retardatriz, y que BC represente la velocidad con que se le arroja al verticalmente. El cuerpo dejará de subir al momento que no tenga velocidad; en este caso las paralelas á la AB representarán las velocidades que tendrá el cuerpo en los tiempos correspondientes, y la superficie ABC, el espacio corrido durante el tiempo AC con movimiento retardado. Pero como AB representa la velocidad que puede adquirir un cuerpo con movimiento acelerado durante el tiempo AC, es evidente que este triángulo es el mismo que representa el espacio corrido por un cuerpo

abandonado á la acción de una fuerza aceleratriz, que debe adquirir en su discurso una velocidad CB.

De aquí resulta: 1.º Que un cuerpo al caer de cierta altura con movimiento uniformemente acelerado, adquiere una velocidad suficiente para hacerle subir á la misma altura con movimiento uniformemente retardado.

2.º Que los espacios corridos por los cuerpos con movimiento uniformemente retardado, y velocidades diferentes son proporcionales á los cuadrados de las velocidades, ó de los tiempos: disminuyen como la serie de los números impares, &c., &c., todo absolutamente lo mismo que en el movimiento uniformemente acelerado.

Hemos deducido las fórmulas  $e = \frac{1}{2}gt^2$  y  $v = gt$ , por la consideración de un triángulo, método debido á Galileo; pero tambien pueden deducirse por consideraciones analíticas sencillas, como vamos á manifestar.

Consideremos un intervalo de tiempo  $t$  dividido en un número  $n$  de partes infinitamente pequeñas  $m$ , de lo cual resulta  $\frac{u}{m} = t$ .

Siendo  $g$  la velocidad inicial que constantemente obra sobre el móvil en un tiempo representado por 1, la velocidad en el intervalo  $\frac{1}{m}$  será  $1 : g :: \frac{1}{m} : v' = \frac{g}{m}$ .

Considerando el movimiento como uniforme en espacios infinitamente pequeños, el espacio se podrá representar por

$$vt, \text{ y resultará } e' = v't' = \frac{g}{m} \times \frac{1}{m} = \frac{g}{m^2}.$$

Para el segundo intervalo  $\frac{2}{m}$  se tendrá  $t:g :: \frac{2}{m} : v''$  lo que dará  $v'' = \frac{2g}{m}$ ,  $e'' = \frac{2g}{m^2}$ .

Para el tercero resultará  $v''' = \frac{3g}{m}$  ...  $e''' = \frac{3g}{m^2}$ .

Para el último  $\frac{n}{m}$  será  $v_n = \frac{ng}{m}$  ...  $e_n = \frac{ng}{m^2}$ .

Es decir, que la velocidad final estará representada por  $\frac{ng}{m}$ ;

y como  $\frac{n}{m} = t$ , será  $v = gt$ .

El espacio total corrido por el cuerpo será la suma de todos los espacios parciales  $e'$ ,  $e''$ ,  $e'''$ , &c., y representán-

dole por  $e$  tendremos  $e = \frac{g}{m^2} + \frac{2g}{m^2} + \frac{3g}{m^2} + \frac{4g}{m^2} + \dots \frac{ng}{m^2}$ ,

y sumando esta progresion aritmética, cuyo número de términos es  $n$ , tendremos

$$e = \left( \frac{g}{m^2} + \frac{ng}{m^2} \right) \frac{n}{2} = g \left( \frac{n}{2m^2} + \frac{n^2}{2m^2} \right);$$

pero siendo  $t$  infinitamente pequeño, lo es de por sí  $n$ , y

con mucha mas razon  $\frac{n}{2m^2}$ , porque  $m$  es muy grande respecto de  $n$ , y mas lo será  $2m^2$ : de aqui resulta que podremos despreciar este término, y queda  $e = \frac{n^2}{m^2} \times \frac{g}{2}$ ,

y como  $\frac{n}{m} = t$  sale  $e = \frac{1}{2}gt^2$ , que es la misma fórmula que dedujimos antes.

y como  $\frac{n}{m} = t$  sale  $e = \frac{1}{2}gt^2$ , que es la misma fórmula que dedujimos antes.

### 5.<sup>a</sup> Movimiento curvilíneo. Párrafo 41.

Para concebir este movimiento es preciso que concibamos á un cuerpo en el principio de su movimiento en M (fig. 295) agitado por dos fuerzas, una que procura atraerlo hácia O por la recta OM, y otra que procura moverlo por la recta MF. Es claro que si el movil solo fuese impelido por la fuerza que obra segun MO, correria esta recta con cierta velocidad dependiente de la fuerza; pero como al mismo tiempo está impelido por otra en direccion MF, el movil seguirá una direccion intermedia, diagonal del paralelogramo MCMF, suponiendo que las dos fuerzas estan representadas por MC y MF, y llegará al punto M. En este punto se podrán repetir las mismas consideraciones, y el movil lle-

gará á  $M'$  en el segundo intervalo de tiempo, tomando á  $M' C' = MC$  y  $M' F' = MF$ . Así iríamos sucesivamente, y repitiendo la misma construcción en todos los intervalos de tiempo obtendríamos una línea poligona de tantos lados, cuantos intervalos de tiempo hubiésemos considerado. Suponiendo que estos intervalos fuesen infinitamente pequeños, obtendríamos un polígono de infinito número de lados, ó una curva, de lo cual nace el nombre de *movimiento curvilíneo*.

En este movimiento se entiende por velocidad la que corresponde, en cada intervalo, al móvil en el movimiento rectilíneo é uniforme, si dejase de obrar sobre él la fuerza que le desvía de la línea recta. Para determinarla, se divide la longitud del lado que describe el móvil, por el tiempo que tarda en describirle, supuestos infinitamente pequeños ambos.

Si en cualquier punto  $M'$  dejase de obrar repentinamente el impulso que solicita al cuerpo hácia  $O$ , este móvil continuaría moviéndose, únicamente en virtud de la velocidad adquirida, y su dirección sería la prolongación de la diagonal  $MM'$ , que por su infinita pequeñez puede considerarse como el arco  $MM'$ , y este como una porción de la tangente al mismo arco.

Segun este modo de considerar las velocidades que producen el movimiento curvilíneo, vemos que el móvil procuraría escaparse en dirección de la tangente á la curva, á no impedirlo la fuerza que le atrae hácia  $O$ . Así, pues, mientras el móvil pasaria de  $M$  á  $F$  en virtud de su velocidad  $MF$ , la fuerza que obra segun  $MO$  le hace pasar de  $F$  á  $M'$  con una velocidad que puede mirarse como uniforme, atendida la pequeñez de  $M'F$ : de suerte que la tendencia del móvil á escaparse puede ser representada por esta  $M'F$  en instantes infinitamente pequeños. Esta tendencia se llama *fuerza centrífuga*, y la fuerza que atrae al cuerpo hácia  $O$  se llama *centripeta*. Es claro que para que se conserve el equilibrio ambas deben *ser iguales, y directamente opuestas*. En general se conocen ambas con el nombre de *fuerzas centrales*.

Cuando la curva descrita es un círculo, *la fuerza centrífuga está representada por el cuadrado de la velocidad dividido por el radio*.

Efectivamente, siendo el arco  $MM'$  (fig 296) infinitamente pequeño,  $PM$  representará la distancia que la fuerza central hace correr al móvil en un instante infinitamente pequeño, y  $MF$  representará la acción de la fuerza impulsiva.

Tirando la MP perpendicular al diámetro AM tendremos por las propiedades geométricas del círculo

AM:MM::M'M:PM, de donde  $MP = \frac{M'M^2}{MA}$ ; pero como el

arco M'M es infinitamente pequeño, podemos tomarle por su cuerda, y sustituir por el diámetro AM su valor  $2R$ , y resulta

$MP = \frac{(\text{arc } M'M)^2}{2R}$ ; pero por la misma razón podemos

considerar á MPM' como un paralelógramo, y que MM' está corrido con movimiento uniforme, y puede representar-

se por  $vt$ , resultando que  $MP = \frac{v^2 t^2}{2R}$ .

Abandonado el móvil á solo el movimiento uniformemente acelerado según AM, el espacio MP será  $\frac{1}{2} Ft^2$  llamando F la fuerza aceleratriz que en este caso es la centrífuga.

Igualmente ambos valores se tendrá  $\frac{v^2 t^2}{2R} = \frac{1}{2} Ft^2$  de donde

$F = \frac{v^2}{R}$ , que es lo que diximos.

Si por  $v$  sustituimos su valor  $\frac{e}{t}$ , y consideramos que el cuerpo corre toda la circunferencia  $2\pi R$ , que en este caso es  $e$ , tendremos que

$F = \frac{4\pi^2 R}{t^2}$ .

Comparándola con lo que se verifica en otro círculo, cuyo radio sea  $R'$ , y el tiempo  $t'$  tendremos  $F' = \frac{4\pi^2 R'}{t'^2}$

$$F:F':: \frac{4\pi^2 R}{t^2} : \frac{4\pi^2 R'}{t'^2}, \text{ ó } F:F':: \frac{R}{t^2} : \frac{R'}{t'^2}$$

siendo los dos radios iguales, resulta  $F:F'::t'^2:t^2$ , es decir que las fuerzas centrífugas están en razón inversa de los cuadrados de los tiempos.

Si los tiempos fuesen los mismos, las fuerzas estarían en razón directa de los radios.

Es fácil conocer el efecto de la fuerza centrífuga en el

ecuador, sabiendo que el radio de la tierra en este punto es 6376984 metros, y que el tiempo que tarda en recorrer este círculo es 0,997269 día, que es el tiempo que tarda la tierra en hacer su revolución diurna; el cual reducido á segundos hace 86164".

Luego tenemos  $R=6376984$ ;  $t=86164$ ; y  $\pi=3,141592$ ; de donde resulta

$$E = \frac{4 \times (3,141592)^2 \times 6637984}{(86164)^2} = 0,0339 \text{ metros.}$$

Conocido este efecto sería fácil determinar el valor de la gravedad en el ecuador si la tierra fuese inmovil, pues obrando  $f$  en sentido contrario al de la pesantez, debe disminuir su intensidad, de suerte que, siendo  $g$  la gravedad dada por la observación, que es en el ecuador 9,78 metros, tendremos  $g=G-f$  ó  $G=g+f=9,78+0,0339=9,8139$ .

$$\text{De donde } \frac{f}{G} = \frac{0,0339}{9,8139} = \frac{1}{289}.$$

Es decir, que la fuerza centrífuga en el ecuador hace perder á la gravedad una 289ª parte de su valor.

Sentado esto podremos hallar *cual debería ser la rapidez del movimiento rotatorio de la tierra, para que la fuerza centrífuga igualase á la pesantez.*

En efecto, por la proporción anterior tendremos

$$F:F':: \frac{R}{t^2} : \frac{R'}{t'^2} \text{ ó } F:G:: \frac{1}{t^2} : \frac{1}{t'^2}, \text{ de donde}$$

$$t'^2 = \frac{f}{G} t^2 = \frac{1}{289} t^2 \dots t' = \frac{1}{\sqrt{289}} t = \frac{1}{17} t.$$

Lo que nos dice que si la tierra tuviese un movimiento 17 veces más rápido que el que tiene la fuerza centrífuga, sería igual á la pesantez, y los cuerpos no caerían.

Para saber cuanto disminuye la fuerza centrífuga á la pesantez en cualquiera otro punto diferente del ecuador, es preciso hallar el esfuerzo que produce la fuerza centrífuga según la vertical  $OZ$  (fig. 296) en el punto  $B'$  que se considera. Para esto miraremos la tierra como esférica, lo que no influye en el cálculo; la latitud del punto  $B'$  representada por el arco  $A'B'$  se medirá por el ángulo  $BOA=ZB'C=\gamma$ . Llamemos  $R$  el radio  $A'O$  de la tierra, y  $R'$  el radio  $B'D$  del paralelo que pasa por  $B'$ , y tendremos

$$R' = R \cos OBD = R \cos \gamma.$$

La fuerza centrífuga  $CB'$  que obran en  $B$ , segun  $BD$  será  $\frac{4\pi^2 R}{t^2}$ , y la  $f = B'b$  dirigida segun  $BZ$  será

$$f = \frac{4\pi^2 R'}{t^2} \cos \gamma; \text{ y } f:f' :: \frac{4\pi^2 R}{t^2} : \frac{4\pi^2 R'}{t'^2} \cos \gamma: \text{ sustituyendo por}$$

$R'$  su valor  $R \cos \gamma$ , y reduciendo, resulta  $f:f' :: 1: \cos^2 \gamma$ . Pero como 1 representa el cuadrado del coseno del ecuador, que es tambien 1, resulta que las fuerzas centrífugas en diferentes puntos de la tierra son entre sí como los cuadrados de los cosenos de las latitudes.

Por último, si comparamos la expresion  $F = \frac{v^2}{R}$  con la de la fuerza de la gravedad representada por  $e = \frac{v^2}{2g}$  tendre-

mos poniendo por  $v$  su valor  $\sqrt{2eg} \dots F = \frac{2eg}{R}$ , de donde

$$F \times \frac{R}{2} = ge, \text{ y } F:g :: e:\frac{1}{2}R, \text{ lo que nos dice, que en el}$$

*circulo la fuerza central es á la gravedad como la altura que corresponde á la velocidad impulsiva, es á la mitad del radio.*

### 6.<sup>a</sup> Movimiento sobre un plano inclinado. Párrafo 94.

En el plano inclinado se reduce el movimiento de un cuerpo al de un punto material por moverse el centro de gravedad en un plano paralelo al dado. Asi, pues, si representamos por  $RG$  (*fig. 293*) la gravedad del cuerpo  $MN$ , y la descomponemos en las dos fuerzas  $RD$  y  $RE$  respectivamente perpendicular y paralela al plano, la primera se destruirá, y solo quedará la  $RE$ , que hará resbalar al cuerpo á lo largo del plano. En este caso los triángulos  $RGE$  y  $\triangle ACB$  nos

dan  $AC:BC::RG:RE$ , de donde  $RE = RG \times \frac{BC}{AC}$ ; pero  $RG$  es la fuerza de la gravedad  $g$ ; luego llamando á  $BC$  altura

del plano  $a$ , y á AC longitud  $l$ , tendremos  $RE = g \times \frac{a}{l}$ .

Lo cual nos dice que la velocidad con que el movil corre por el plano inclinado es la misma que la de la gravedad, únicamente modificada por la relacion de la altura con la longitud del plano,

Pero por ser RGE triángulo rectángulo se tiene  
1: sen RGE::RG:RC, y como dos triángulos ABC y AGE son semejantes, los ángulos RGE y A son iguales: de lo que resulta  $RE = RG \text{ sen } A = g \text{ sen } A$ , que es otra expresion del valor de RE.

No difiriendo la fuerza RE de la gravedad mas que en la intensidad, si llamamos  $t'$  al tiempo que emplea el movil en recorrer la longitud  $l$  del plano, la misma relacion habia entre este espacio y  $t$ , que entre  $g$  y  $t$  en el movimiento acelerado, y llamando  $g'$  á BE será

$$l = \frac{1}{2} g' t'^2 \text{ de donde } t' = \sqrt{\frac{2l}{g'}}$$

La velocidad que tendrá, pues, el movil en A será  $v = g' t'$ , y sustituyendo por  $t'$  su valor será

$$v = g' \sqrt{\frac{2l}{g'}} = \sqrt{2lg'}$$

$$g \times \frac{a}{l} \text{ tendremos } v = \sqrt{2l + \frac{a}{l} g} = \sqrt{2ag}$$

Expresion que no depende absolutamente de la inclinacion del plano, y nos dice que todos los cuerpos que partan á un tiempo de un punto por diferentes planos inclinados de igual altura, adquieren una misma velocidad al llegar al horizonte.

Esto nos hace conocer una notable propiedad del círculo; á saber, que todas las cuerdas AB, AB', AB'' que nacen del extremo del diámetro vertical AD (fig. 297) son corridas por el movil en el mismo tiempo que dicho diámetro.

En efecto, siendo consideradas estas cuerdas como planos inclinados, y refiriéndose por ejemplo á la AB, se tie-

$$\text{ne } t' = \sqrt{\frac{2l}{g'}} \text{ ó } t' = \sqrt{\frac{2BA}{g'}} \text{ sustituyendo por } g' \text{ su valor}$$

$$g \times \frac{AB}{AC} \text{ será } t' = \sqrt{\frac{2BA}{g \times AC}} = \sqrt{\frac{2AB^2}{g \times AC}}$$

pero por una propiedad geométrica del círculo, se tiene  $AD : AB :: AB : AC$  y da  $AB^2 = AD \times AC$ .

$$\text{Luego } t' = \sqrt{\frac{2AD \times AC}{g \times AC}} = \sqrt{\frac{2AD}{g}} = \sqrt{\frac{2d}{g}}.$$

Este es precisamente el valor de  $t$  para un cuerpo que cayese verticalmente por  $AD$ . Luego queda demostrada la proposición con respecto á la cuerda  $AB$ . Como lo mismo se tendría respecto de las demas, se ve ser cierto en general lo enunciado.

### 7.<sup>a</sup> Movimiento de proyeccion. Párrafo 96.

Concibiendo que desde el punto  $A$  (fig. 298) se haya lanzado un movil en la direccion  $AL$ , es evidente que sin la accion de la pesantez se moveria uniformemente segun  $AL$ ; pero como la pesantez actúa sin interrupcion, en vez de correr la  $AL$  describirá una curva  $AMC$ , á la cual es tangente la  $AL$ . Supongamos que sea  $AN$  la velocidad comunicada al movil; descomponiéndola en las  $OA$ ,  $AP$  una horizontal, y otra vertical, en nada alterará la pesantez la accion de la  $AP$ ; pero sí alterará á la  $NP = AO$ , porque cuando el movil deberia estar en  $N$  solo estará en  $M$ , en razon de que la velocidad vertical debe disminuirse en una cantidad igual á la que la pesantez haria correr al movil en el mismo tiempo.

Llamemos  $v$  á la velocidad comunicada al movil en la direccion  $AL$ ,  $t$  al tiempo que tardaria en ir desde  $AN$ , es decir, que  $AN = vt$ .

Siendo  $g$  la accion de la pesantez, la cantidad  $NM$  que disminuye la velocidad vertical será  $\frac{1}{2}gt^2$ , y llamando al ángulo  $LAC$   $A$ , á  $MP$   $y$ , y á  $AP$   $x$ , tendremos  $LAC = A \dots MP = y \dots AP = x \dots AN = vt \dots NM = \frac{1}{2}gt^2$ . El triángulo recto  $NAP$  da

$$1 : AN :: \text{sen } NAP : PN \dots 1 : AN :: \text{cos } NAP : AP,$$

y como  $NAP = LAC$  y  $AE = vt$ , se tiene

$$PN = vt \text{ sen } A \quad AP = vt \text{ cos } A;$$

pero por la figura se ve que  $PN = NM + PM$ , luego  $MP = PN = NM$ , y sustituyendo resulta

$$x = vt \text{ cos } A \dots y = vt \text{ sen } A - \frac{1}{2}gt^2.$$

Eliminando en estas dos ecuaciones á  $t$ , y teniendo presente

que  $\frac{v^2}{2g}$  representa la altura  $a$  correspondiente á la velocidad

$v$ , que llamaremos  $a$ , resulta que  $v^2 = 2ag$ ,  
y  $4ay \cos^2 A = 4ax \operatorname{sen} A \cos A - x^2$ , que es la ecuacion  
de la curva de proyeccion que se llama *trayectoria*.

$$\text{Despejando á } y \text{ resulta } y = \frac{\operatorname{sen} A \cos A}{\cos^2 A} x - \frac{x^2}{4a \cos^2 A},$$

ó si no  $y = x \operatorname{tang} A - \frac{x^2}{4a \cos^2 A}$  ecuacion, que nos mani-

fiesta que la trayectoria es del género parabólico por su fama.

Para determinar el *mayor alcance* de un proyectil, que es la distancia desde A hasta el punto donde corta al eje AB (fig. 297), ó la *máxima abcisa*, es claro que  $y=0$ , lo que

da  $x \operatorname{tang} A - \frac{x^2}{4a \cos^2 A} = 0 \dots$  de donde  $x = 4a \operatorname{sen} A \cos A$ ,

y como por la trigonometria  $2a \operatorname{sen} A \cos A = \operatorname{sen} 2A$  se tiene  $x = 2a \operatorname{sen} 2A$ .

La *mayor altura* ó *máxima ordenada* se determina por máximos y mínimos, y resulta  $y = a \operatorname{sen} A^2$ .

### 3.ª Movimiento oscilatorio del péndulo. Párrafo 100.

Supongamos que el punto fijo donde está situado el péndulo es C (fig. 299), y su longitud es el radio CA, á cuyo extremo imaginamos colocado el punto que recorre el arco  $\Delta K A'$  durante una oscilacion entera. Consideremos el movimiento en una porcion de arco sumamente pequeña DB correspondiente á un intervalo de tiempo sumamente pequeño. Tiremos pues á este arco BD dos radios CB, CD, y desde los puntos B, D y A, origen del movimiento, bajemos el diámetro KK' las perpendiculares Ag, Bp, Dp', y tomando la distancia interceptada entre g, extremo de la Ag, y el del diámetro K, como otro diámetro, tracemos la circunferencia gr' KD'.

Llamemos pues á gp,  $x$ ; á Kg,  $b$ ; á PB,  $y$  y al radio de  $\Delta K A' K$ , R; y tendremos

$$CD = CA = CB = R \dots gp = x \dots Kg = b \dots PB = y.$$

Por la pequeñez del arco BD puede mirarse el movimiento

sobre él como uniforme, y á él mismo como un plano inclinado: en su consecuencia siendo  $t = \frac{e}{v}$  y  $v = \sqrt{2ag}$  en el caso opre-

sente  $a$  es  $x$  y  $e$ ,  $BD$ , y se tiene  $t = \frac{e}{\sqrt{2ag}} = \frac{BD}{\sqrt{2gx}}$

pero los triángulos semejantes  $CpB$ , y  $BsD$  dan considerando á  $BD$  como recto por su infinita pequeñez  $Bp:BC::sD:BD$  y sustituyendo por  $Bp$   $y$ , por  $BC$ ,  $R$ , y por  $sD$  su igual  $pp'$

tendremos  $y:R::pp':BD$ , de donde  $BD = \frac{R}{y} \times pp'$ ,

$$\text{Luego } t = \frac{R}{y} \times \frac{pp'}{\sqrt{2gx}}$$

Por ser  $Bp$  perpendicular al diámetro  $K/K$  se tiene

$K/P:Bp::Bp:PK$  de donde  $Bp = y = \sqrt{K/P \times PK}$ ;

Pero  $K/P = K/K - PK = 2R - PK$  y  $PK = b - x$  luego

$K/P = 2R - (b - x)$  y de consiguiente

$$y = \sqrt{(2R - (b - x))(b - x)} = \sqrt{2R(b - x) - (b - x)^2}$$

Sustituyendo este valor en  $t$  se tiene

$$t = \frac{R}{\sqrt{2R(b - x) - (b - x)^2}} \times \frac{pp'}{\sqrt{2gx}}$$

Pero como por el supuesto  $b - x$  es sumamente pequeño, mejor lo será su cuadrado, y podremos despreciarle, lo que dará

$$t = \frac{R}{\sqrt{2R(b - x)}} \times \frac{pp'}{\sqrt{2gx}} = \sqrt{\frac{R}{g}} \times \frac{pp'}{2\sqrt{x(b - x)}}$$

Ahora bien, la semejanza de los triángulos  $rr'p''$  y  $rp'p$  que tienen sus lados reciprocamente perpendiculares, y la infinita pequeñez de  $rr'$ , que hace se le considere como recta, dan  $rr':rp'':rp':rp$ .

Ademas una propiedad geométrica del círculo hace que en el  $gr'KD'$  se tenga

$gp:rp::rp:pK$ , de donde  $rp = \sqrt{gp \times pK} = \sqrt{x(b - x)}$ ,

y como  $rp' = pp'$  y  $rp = \frac{1}{2}b$  se tiene

$rr':pp'::\frac{1}{2}b:\sqrt{x(b - x)}$ , de donde  $\frac{rr'}{pp'} = \frac{b}{2\sqrt{x(b - x)}}$ ,

y mudando de lugar á  $b$  y  $pp'$  resulta

II.

Yy

$\frac{rr'}{b} = \frac{pp'}{2\sqrt{x(b-x)}}$ , y sustituyendo una relacion por otra en  $t$

$$\text{tendremos } t = \sqrt{\frac{R}{g}} \times \frac{rr'}{b}.$$

Siguiendo los mismos pasos con otro intervalo infinitamente pequeño  $t'$  correspondiente á otro arco igual con BD, sa-

cariamos  $t' = \sqrt{\frac{R}{g}} \times \frac{r'r''}{b}$ , y así sucesivamente.

La suma de los intervalos  $t, t', t'', \&c.$  compondria el tiempo total de la oscilacion, y la suma de los arcos  $rr', r'r'', \&c.$  compondria la circunferencia, cuyo diámetro es  $b$ , y como la relacion de todo diámetro con su circunferencia es en general  $\pi$ , y  $R$  es la longitud del péndulo,

tendriamos que  $T = \pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ , que es la fórmula general del péndulo simple.

Tomando otro péndulo se tendria  $T' = \sqrt{\frac{L'}{g}}$  de don-

de  $T:T'::\sqrt{L}:\sqrt{L'}::\sqrt{g'}:\sqrt{g}$ , lo que nos dice que los tiempos de las oscilaciones de dos péndulos son como las raices de las longitudes, é inversamente como las raices de las gravedades.

### 9.<sup>a</sup> Choque de los cuerpos. Párrafo 237.

En el momento del choque de los cuerpos blandos, se establece una velocidad comun que se obtiene dividiendo la suma de las cantidades de movimiento por la de las masas. Efectivamente si  $M$  y  $M'$  son las masas, y  $V$  y  $V'$  las velocidades siendo  $V$  positiva ó negativa respecto de  $V'$ , segun los cuerpos vayan en un mismo sentido ó en sentidos contrarios, tendremos que las cantidades serán antes del choque  $MV$  y  $M'V'$ , y despues serán la suma  $(M+M')$  multiplicada por la velocidad que tenga el conjunto que llamaremos  $x$ , es de cir,  $(M+M')x$ . Como han de ser iguales las cantidades de movimiento, resultará  $MV+M'V'=(M+M')x$  de don-

de  $x = \frac{MV + M'V}{M + M'}$ , y siendo  $V$  negativa es  $x = \frac{MV - M'V}{M + M'}$ ,

fórmulas de las que se deducen las necesarias cuando el cuerpo chocante ó chocado son infinitamente grandes, respecto uno de otro, ó cuando el chocado está en reposo, &c., &c.

Pero no solo sirve esta fórmula para el efecto material del choque, sino tambien para cuando un cuerpo tira de otro, ó cuando se empujan, siempre que la accion se trasmita por los centros de gravedad. Asi, pues, si dos cuerpos  $M$  y  $m$  (*fig.* 300), tiran uno de otro por medio de un hilo que pase por una polea sumamente movil  $P$ , y se quiere determinar el movimiento que tomarán abandonados á su pesantez, observaremos que esta procura dar á cada uno igual velocidad en cada intervalo de tiempo. Como el uno no puede moverse sin llevar consigo al otro, y ambos se hallan á cada nuevo impulso, como si tiráran uno de otro en sentidos contrarios con iguales velocidades; para determinar la velocidad que debe resultar es necesario tomar la diferencia de sus cantidades de movimiento, y dividirla por sus masas. Siendo  $p'$  la velocidad de ambos, y  $M$  y  $m$  sus masas se tiene

que  $\frac{Mp' - mp'}{M + m} = \frac{M - m}{M + m} p'$  será la expresion de la velocidad

efectiva que á cada nuevo impulso de la pesantez adquiere el de mayor masa  $M$ . Puesto que  $M$  y  $p'$  son cantidades constantes, es evidente que el cuerpo  $M$  se mueve con movimiento uniformemente acelerado, y que la fuerza que realmente le acelera es á la gravedad como

$\frac{M - m}{M + m} p' : p'$ , ó como

$M - m : M + m$ . Por consiguiente siendo  $p$  la fuerza de gravedad de un cuerpo libre en un segundo de tiempo, tendremos que la que comunique á un cuerpo  $M$  atado por la accion de otro  $m$ , se determinará por la proporcion

$M + m : M - m :: p : \frac{M - m}{M + m} p$ ; luego llamando  $v$  la velocidad

correspondiente á  $m$  despues del tiempo  $t$  será  $v = \frac{M - m}{M + m} tp$ ,

y el espacio corrido  $e = \frac{M - m}{M + m} pt^2$ ; ó poniendo por  $p$  su equi-

valente  $\frac{1}{2} g \dots e = \frac{M-m}{M+m} \times \frac{1}{2} g t^2$ , que es el principio en que

se funda la máquina de Atwood. Si llamamos  $D$  la diferencia de  $M$  y  $m$ , tendremos que  $\frac{M-m}{M+m}$  se convertirá en

$$\frac{D}{D+2m} = \frac{1}{1+\frac{2m}{D}}$$

lo cual nos indica que cuanto menor sea la diferencia entre las masas, tanto mas lentamente descenderá  $M$ , y por consiguiente será muy facil por este medio atenuar el movimiento de los graves, sin alterar sus leyes con solo determinar la relacion  $M:m$ .

Si quisiésemos v. gr. que el espacio corrido en la máquina solo fuese de 3 pulgadas españolas en el primer segundo, como el espacio corrido libremente es 17,58 pies,

ó 210,96 pulgadas tendríamos  $e=3 = \frac{210,96D}{2m+D}$ , y haciendo

que la diferencia fuese 1 saldria  $m=34,66$ .

Luego poniendo dos pesos iguales en los extremos del hilo, y cargando á cada uno con un pesito adicional que esté con ellos en razon de 1:34, el espacio corrido en el primer segundo será de 3 pulgadas, y los efectos que se obtendrán, serán proporcionales á los de la pesantez.

En los cuerpos elásticos no es difícil determinar por el cálculo las circunstancias del choque, suponiendo conocidas sus masas y velocidades primitivas, y su grado de elasticidad. Sean, pues,  $M$  y  $M'$  las masas,  $V$  y  $V'$  las velocidades antes del choque, y  $v$  y  $v'$  las de despues. Si no fuesen elásticos la velocidad comun despues del choque, seria

$$x' = \frac{MV + M'V'}{M + M'}$$

Esta pérdida seria doble si los cuerpos fuesen perfectamente elásticos; esto es,  $2(V-x)$ , y solo un poco mayor que  $V-x$  en los imperfectamente elásticos. En general la pérdida de velocidad del cuerpo chocante será  $v=V-n(V-x)$ , siendo  $n$  un número intermedio entre 1 y 2.

Del mismo modo el cuerpo chocado  $M'$ , no siendo elástico gana por el choque la velocidad  $x-V'$ , y si es perfec-

tamente elástico  $2(x-V')$ , ó en general  $n(x-V')$ ; de suerte que su velocidad despues del choque es  $v'=V'+n(x-V')$ . En el caso de elasticidad perfecta es

$$v=V-2(V-x)=2x-V \dots v'=V'+2(x-V')=2x-V'$$

Tomando las ecuaciones generales, y sustituyendo por  $x$  su

$$\text{valor se tiene } v=V-n\left(V-\frac{Mv+M'v'}{M+M'}\right),$$

$$\text{y } v'=V'+n\left(\frac{Mv+M'v'}{M+M'}-V'\right), \text{ y reduciendo}$$

$$v=V-n\left(\frac{V-V'}{M+M'}\right)M' \dots v'=V'+n\left(\frac{V-V'}{M+M'}\right)M,$$

que son las fórmulas generales para el choque de los cuerpos elásticos, considerando siempre á  $n$  como un número intermedio entre 1 y 2, segun la mayor ó menor elasticidad.

### 10.<sup>a</sup> Rozamiento. *Parrafo 260.*

El rozamiento se valúa por medio del plano inclinado. Sea para esto MN (*fig 293*) el cuerpo, cuyo rozamiento se quiere determinar. Si se considera descompuesta la accion de la gravedad RG en dos fuerzas RE y RF una paralela, y otra perpendicular al plano, sus valores dados por los triángulos REG y CAB, y representando por  $g$  la accion de la gravedad RG, y por  $A$  el ángulo  $A$  serán;  $RE=RG \text{ sen GRD}=RG \text{ sen CAB}=g \text{ sen } A$ .  $RF=RG \text{ cos GRD}=RF \text{ cos CAB}=g \text{ cos } A$ ; pero siendo  $R$  el rozamiento, su intensidad se medirá por  $A \times RF$ , ó poniendo por  $RF$  su valor, por  $g \text{ cos } R \times A$ , y equilibrará á la fuerza  $RE$ , que tiende á mover el cuerpo sobre  $AB$ , de lo cual resulta que ambas fuerzas son iguales; lue-

$$\text{go } g \text{ cos } A \times R = g \text{ sen } A, \text{ de donde } R = \frac{g \text{ sen } A}{g \text{ cos } A} = \text{tang } A.$$

Es decir, que el rozamiento está medido por la tangente del plano sobre que se hace el experimento.

### 11.<sup>a</sup> Capilaridad. *Parrafo 347.*

Para que un liquido suba por un tubo capilar, es preciso que la atraccion de la materia de que se compone el tubo,

sea mayor que la que tienen entre sí las partículas del líquido; luego llamando  $Q$  la primera, y  $q$  la segunda,  $Q-q$  representará el exceso de la atracción capilar, es decir, la del tubo con el líquido sobre la molecular; este exceso estará medido por el peso del líquido que haya en el tubo sobre el nivel exterior, y llamando  $V$  el volumen del líquido,  $D$  su densidad, y  $g$  la fuerza de la gravedad, dicho peso estará representado por  $DVg$ , y tendremos  $DVg=Q-q$ .

Para determinar el volumen de esta columna líquida observaremos que la parte superior del líquido en el tubo no es horizontal, sino cóncava ó convexa, según la naturaleza del líquido, pues en el agua y espíritu de vino es cóncava, y en el mercurio convexa. Suponiéndola cóncava, tenemos que esta parte es generalmente semiesférica, v. gr. en  $S$  (fig. 301), y la línea de nivel es  $MN$ . Por consiguiente, llamando  $a$  la altura  $SH$  contada desde la línea de nivel hasta el punto mas bajo de la semiesfera, el volumen  $V$  se compondrá de un cilindro, cuya base es la del tubo, y su altura  $a$ , mas una porción esférica, cuyo radio es el mismo que el del cilindro que llamaremos  $r$ , y tendremos que el volumen  $V=\pi r^2 a - \frac{1}{3} \pi r^3$ , y substituyendo en  $Q-q$  tendremos

$$Q-q=Dg\left(\pi r^2 a + \frac{\pi r^3}{3}\right).$$

Ahora bien, puesto que la acción capilar no es sensible sino á distancias imperceptibles, se puede hacer abstracción de la curvatura de las paredes del tubo; y considerarlas como un plano. Entonces la fuerza  $Q$  será proporcional á la latitud del plano, ó lo que es lo mismo al contorno de la base interior del tubo. Luego llamando  $C$  este contorno, que es la circunferencia del tubo, se tendrá  $Q=mC$ , siendo  $m$  un coeficiente constante que podrá representar la intensidad de la atracción capilar en caso que esta dependa siempre de la distancia; pero que en todos casos es una cantidad dependiente de dicha atracción, é independiente de la figura, y tamaño del tubo. Del mismo modo se tendrá  $g=nC$ , expresando  $n$  con respecto á la atracción molecular del fluido, lo que  $m$  respecto la capilar.

De consiguiente  $Q-q=mC-nC=C(m-n)$ , y substituyendo por  $C$  su valor  $2\pi r$  se tiene  $Q-q=2\pi r(m-n)$ . E igualando los dos valores de  $Q-q$  se tendrá

$$2\pi r(m-n)=Dg\left(\pi r^2 a + \frac{\pi r^3}{3}\right), \text{ dividiendo por } 2\pi rg \text{ será}$$

$r(a + \frac{r}{3}) = \frac{2(m-n)}{Dg}$  fórmula que espresa la relacion que existe entre la atraccion del tubo capilar, su diámetro, la gravedad y la densidad del liquido.

Comparando dos tubos de igual materia, sumerjidos en un mismo liquido, y á igual temperatura, las cantidades  $Dm$ ,  $n$  y  $g$ , serán las mismas para ambos; el segundo miembro será constante, y representándole por  $A$  tendremos

$A = r(a + \frac{r}{3})$ . Si el tubo es sumamente estrecho, la altura

$a$  de la columna liquida será muy grande respecto de  $r$ , y entonces podrá despreciarse la pequeníssima cantidad  $\frac{1}{3}r^3$ , á no ser que se exija suma escrupulosidad, y resulta

$a = \frac{A}{r}$ , lo que nos dice que las alturas medias son reciprocamente proporcionales á los diámetros interiores de los tubos.

## 12.<sup>a</sup> Salida de un líquido por un orificio. Párrafo 355.

Suponiendo un depósito lleno de un líquido ABDE, que se vacía por un orificio  $abcd$  (fig. 302) colocado en el fondo, la cantidad de agua que sale en un tiempo dado, es proporcional á la superficie del orificio.

Consideremos, pues, dividida la masa liquida en capas horizontales sumamente pequeñas  $ABB'\Delta'$ , tales que cada una contenga el mismo volumen de liquido que sale por el orificio en el tiempo dado; de este modo al paso que vayan saliendo sucesivamente estas capas iguales, irá bajando el nivel del liquido, y como son iguales en volumen, lo que se diga de una, podrá decirse de todas. La presion sobre el fondo se valúa por el producto de la base por la altura de la columna liquida; luego la presion de la capa superior será  $A'C' \times AA'$ . El volumen del liquido que sale por el orificio es un prisma, cuyo valor es tambien su base por su altura; luego siendo  $bc$  la altura de la capa del liquido que sale por el orificio, y  $ab$  la base de este, se tiene que  $ab \times bc$  representa dicho volumen. Como por el supuesto son iguales estos valores, se tiene  $A'C' \times AA' = ab \times bc$ .

Pero  $AA'$  y  $bc$  son los espacios corridos por ambas capas

de líquido, y como estas caen perpendicularmente en virtud de la gravedad, dichos espacios serán proporcionales á las velocidades: llamando á estas  $V$  y  $V'$ , y sustituyéndolas por  $\Delta A'$  y  $bc$  en la ecuacion anterior se tiene

$A'B' \times V = ab \times V'$  de donde  $V':A'B':v:ab$ ; pero  $v$  es la velocidad con que sale el líquido por el orificio, y  $ab$  es la area ó superficie de este; luego está demostrada la proposicion.

Fundados en esta proposicion, vamos á demostrar que la velocidad del líquido al salir por el orificio es igual á la raiz cuadrada de la altura del líquido desde su nivel en el vaso hasta el orificio.

Sea  $ABCD$  (*fig.* 300) un vaso lleno de líquido hasta  $\Delta B$ , y sea su orificio  $abcd$ . Considerando la columna  $efba$  que está sobre el orificio, vemos que cae por su propio peso; y siendo  $g$  la gravedad específica del líquido, la presion sobre el fondo será llamándola  $P$ , la siguiente  $P = ab \times ae \times g$ . Considerando únicamente la columna  $abcd$ , que sale por el orificio, y llamando  $P'$  su presion será  $P' = cd \times ad \times g$ .

Como las presiones  $P$  y  $P'$  producirán dos fuerzas, que serán proporcionales á las velocidades, tendremos

$$ab \times ae \times g : ab \times ad \times g :: v : v';$$

pero siendo las masas de los cuerpos proporcionales á los volúmenes cuando la gravedad específica es la misma, y estos volúmenes  $ac \times ab$  y  $ad \times ab$ , tendremos

$$ab \times ae \times g : ab \times ad \times g :: ac \times ab \times v' : ad \times ab \times v'$$

suprimido el factor comun queda  $ae : ad :: ac \times v' : ad \times v'$ .

Pero  $ac$  y  $ad$  son los espacios que corren las columnas líquidas, y son proporcionales á las velocidades; luego podemos sustituir por  $ae$  y  $ad : v$  y  $v'$  lo cual dará

$$ae : ad :: v' \times v' :: v^2 : v'^2.$$

Pero suponiendo que un cuerpo cae de la altura  $ae$ , su movimiento será uniformemente acelerado, y llamando  $y$  su velocidad, el espacio corrido será proporcional al cuadrado de su velocidad; se tendrá que como el espacio es uno mismo,  $v^2$  será igual á  $y^2$  y de consiguiente  $v = y$ , es decir que la velocidad de un líquido al salir por un orificio, es igual á la que adquiriría un cuerpo que cayese de la altura del líquido en el vaso. Pero siendo la velocidad de un cuerpo al caer de una altura, igual á la raiz cuadrada del duplo de

la gravedad por la altura ó  $\sqrt{2ga}$ , como la velocidad del líquido es igual á ella se tiene  $v = \sqrt{2ag}$ , y como aqui  $g$  es constante por referirse al mismo líquido, puede representarse

por la unidad, de lo que resulta que  $v = \sqrt{2a}$ ; que es lo que queríamos demostrar.

### 13.<sup>a</sup> Máquina Neumática. Párrafo 406.

Para determinar la densidad del aire que queda en la campana de una máquina neumática despues de un número cualquiera de emboladas, tendremos que llamando  $V$  el volumen de la campana,  $B$  el volumen del cuerpo de bomba que corre el embolo, y  $p$  la fuerza elástica inicial, la tension

despues de la primer embolada será  $t = p \times \frac{V}{V+B}$ , despues

de la segunda será  $p \times \frac{V}{V+B} \times \frac{V}{V+B} = p \times \left(\frac{V}{V+B}\right)^2$  despues

de la tercera será  $p \times \left(\frac{V}{V+B}\right)^2 \times \frac{V}{V+B} = p \times \left(\frac{V}{V+B}\right)^3$ . Y en general al cabo del número  $n$  de emboladas será

$$x = p \left(\frac{V}{V+B}\right)^n.$$

### 14.<sup>a</sup> Bombas. Párrafo 418.

Para determinar las circunstancias del juego de las bombas tomaremos por ejemplo la aspirante (fig. 303) y llamaremos  $e$  el espacio comprendido entre la válvula  $EV$  y la cabeza del embolo en el punto mas bajo de su curso,  $E$  el espacio comprendido entre dicha válvula y el punto mas alto del curso de dicho embolo;  $s$  la seccion horizontal del vacio interior del tubo de aspiracion;  $y$  y  $a$  las distancias respectivas de la válvula  $EV$  á la superficie  $JN$  del agua en el tubo de aspiracion y á la  $RS$  superficie del agua en el depósito. Cuando el embolo está bajado, el aire comprendido en el espacio  $e$  está enrarecido y su fuerza elástica es  $x$ ; es decir que  $x$  es igual á la altura de una columna de agua que produciría en  $JN$  la misma presion que el aire enrarecido que contiene el tubo de aspiracion.

Si en este estado se levanta el embolo, cuando llegue á  $O$ , punto mas alto de su subida, el agua habrá ascendido por  $NV$

y el aire estará igualmente enrarecido en el tubo y en el cuerpo de bomba. Llamaremos  $x'$  é  $y'$  lo que entonces son  $x$  é  $y$ , y buscaremos sus valores. La masa de aire encerrada en DN es  $e+sy$ , y despues de la subida del embolo está encerrada en el espacio  $E+sy$ .

Siendo la  $p$  pesantez específica del aire no enrarecido, la masa de este aire comprendida en VD será  $pe$ ; y siendo  $p'$  la pesantez específica del aire enrarecido, contenido en EN, se determinará por la proporcion

$$37,198:x::p:p' \dots p' = \frac{px}{37,198} \text{ y llamando } \Lambda \text{ estos } 37,198 \text{ pies}$$

$$\text{será } p' = \frac{px}{\Lambda}.$$

Por consiguiente la masa del aire enrarecido, contenido en EN será  $\frac{p.xsy}{\Lambda}$ , y la masa total del aire encerrada en el espacio DN ó  $E+sy'$  será  $p(e + \frac{xsy}{\Lambda})$ . La elasticidad de este aire se hallará por la proporcion

$$p(E+sy') : p(e + \frac{xsy}{\Lambda}) :: \Lambda : x'$$

$$\text{de donde } x' = \frac{\Lambda e + xsy}{E + sy'}.$$

Esta es la altura de la columna de agua que produciria sobre la superficie superior del agua en el tubo de aspiracion la misma presion que el aire enrarecido. Pero la elasticidad  $x$  del aire en VN, mas el peso de la columna de agua contenida desde N hasta RS, produciria una presion igual á la del aire exterior, la altura de esta columna es  $a-y$  luego haciendo á  $\Lambda - a = b$  se tendrá

$$x - y = b \dots x' - y' = b.$$

Eliminando las  $y$  é  $y'$  de la ecuacion de  $x'$  por medio de estas otras dos se tendrá

$$x' = \frac{bs - E}{2s} \pm \sqrt{\left(\frac{bs - E}{2s}\right)^2 + \frac{\Lambda e}{s} + x^2 - bx}$$

Solo se tomará de las dos raices de esta ecuacion la de  $x' > \Lambda$  y despues se determinará la  $y'$  por medio de la ecuacion  $y' = x' - b$ .

Por medio de estas dos ecuaciones de  $x'$  é  $y'$  se pueden hallar las densidades sucesivas del aire y las alturas á que se eleva el agua en cada embolada. Efectivamente cuando no se ha dado ninguna embolada se tiene  $x=A$  y los valores de  $x'$  é  $y'$  dan á conocer la elasticidad del aire y la elevacion del agua despues de la primera embolada. Asi se puede hacer sucesivamente, sustituyendo por  $x$  los valores que vayan resultando para la elasticidad del aire en las ecuaciones de  $x'$  é  $y'$ .

Puesto que  $y-y'=x-x'$  si el agua dejase de subir se tendria  $y-y'=0$ , de lo que resultaria  $x-x'=0$ , y el primer valor de  $x'$  se reduciria á  $x=\frac{E}{e}A$ , y el de  $y'$  á  $y=a-\frac{E-e}{E}A$ .

De estas ecuaciones resulta que cuando hay un espacio entre el punto mas bajo del juego del embolo y la válvula E el agua podrá detenerse antes de llegar á esta válvula, lo cual se verificará siempre que  $a > \frac{E-e}{E}A$ .

Si la válvula se halla en la separacion K del cuerpo de bomba y el tubo de aspiracion, la relacion  $\frac{E-e}{E}$  será la de la longitud del juego del embolo á la distancia comprendida entre K y el punto mas alto á que puede llegar el embolo.

En caso de ser  $a = \frac{E-e}{E}A$  se tiene á  $y=0$ , y entonces el agua debe subir hasta la válvula.

Cuando  $a < \frac{E-e}{E}A$  se hace  $y$  negativa, y el agua debe pasar de la válvula. Si el embolo baja hasta la válvula el agua subirá siempre, pues  $e$  se reduce á cero, y produce en  $y=a-A$  un valor negativo á causa de que  $A > a$ .

Supongamos que la válvula esté al nivel del agua en el depósito, ó aun mas baja, ó que hallándose en un punto cualquiera, ha pasado de ella el agua, y se quiere continuar la aspiracion. En este caso sean E y e los espacios comprendidos desde el punto de union K, hasta los extremos del juego del embolo,  $y$  y  $a$  las distancias desde K á las superficies del agua en el tubo y en el depósito,  $s$ ,  $x'A$ , y  $b$  lo que eran antes.

Estando bajado el embolo, el aire contenido en la parte inferior está en estado natural, y ocupa un espacio representado por  $e+sy$ . Cuando el embolo sube, este aire se dilata, y el agua sube, convirtiéndose  $y$  en  $y'$ , y el aire dilatado ocupa un espacio  $E+sy'$ . Estando la elasticidad del aire en razon inversa del espacio que ocupa, se tiene

$$e+sy : E+sy' :: x' : A, \text{ de donde } x' = \frac{e+sy}{E+sy'} A; \text{ pero como}$$

anteriormente  $x'-y'=b$ ; luego eliminando se tiene

$$y = \frac{E+bs}{2s} \pm \sqrt{\left(\frac{bs-E}{2s}\right)^2 + \frac{e+sy}{s} A},$$

por donde pueden calcularse tambien las dilataciones sucesivas del aire, y las alturas correspondientes del agua.

El liquido dejará de subir si se tiene  $y'=y$ . Esta hipótesis da  $x' = \frac{e+sy}{E+sy} A$ , y como  $y=y'=x'-b$  resulta

$$y = \frac{as-E}{2s} \pm \sqrt{\left(\frac{as-E}{2s}\right)^2 + \frac{Ae-(A-a)E}{s}},$$

valor que, si la cantidad que hay debajo del radical no es negativa, dará dos puntos, entre los cuales no se verifica la subida del agua, antes por el contrario bajaria este liquido á no impedirlo la válvula. Esta cantidad será imaginaria cuando se tenga  $\frac{1}{4}(a+m)^2 < Ai$ , siendo  $i$  el juego del

embolo  $\frac{E-e}{s}$ , y  $m$  la altura mayor del mismo  $\frac{E}{s}$ . Luego

*para que la bomba aspirante produzca su efecto es menester que el cuadrado de la mitad de la mayor altura del embolo sobre el nivel del agua sea menor que el producto del fuego del embolo por la altura  $A$  á que puede subir el agua en el vacio, es decir, por 37,198 pies castellanos.*

Concluiremos este punto determinando la fuerza que debe aplicarse al embolo para hacerle subir. Para esto suponemos que estando en ejercicio la máquina, y llegada el agua á la mayor altura en el cuerpo de la bomba,  $OO'$ , el embolo esté en el punto mas bajo de su curso  $VV'$  (figura 303). En este caso sostiene primero el peso de la columna de agua  $O'OVV'$ ; y 2.º considerando como unifor-

me la densidad de la atmósfera en toda la altura correspondiente á la bomba, la presión del aire en  $OO'$  puede equilibrarse con la que ejerce en  $GH$ , que es la que hace subir el agua por la bomba, porque entonces estas presiones son proporcionales á las bases sobre que obran. Pero la presión de la atmósfera sobre una base cualquiera es igual al peso de una columna de agua de igual base, y de 37,198 pies de altura; luego en virtud de esto el embolo sostiene una fuerza representada por  $37198 V/V$ . Como en virtud de la misma presión atmosférica en  $GH$  la columna de agua  $GFV/VKH$  empuja hácia arriba al embolo con una fuerza representada por  $37,198 \times VV'$  menos el peso de esta misma columna, que es  $VV' \times EH$ , se ve que hay que rebajar de la segunda fuerza, que obra sobre el embolo, esta otra que obra en sentido contrario. Verificando la resta, se halla que la fuerza efectiva que sostiene el embolo además del peso de la columna de agua  $O'OVV'$ , está representada por  $V/V \times BH$ , es decir, que el embolo sostiene una columna de agua de igual base que él, y cuya altura es la total de la bomba, es decir, que añadiendo á este peso el del mismo embolo, esto será lo que represente la fuerza que hay que emplear para hacerle mover.

### 15.<sup>a</sup> Globo aerostático. *Párrafo 427.*

Los globos aerostáticos, balones, ó simplemente aerostatos, son cuerpos que se elevan en el aire por su ligereza específica. Su primera idea se debió á Montgolfier en 1782, quien los formó de una cubierta de papel llena de aire dilatado por el calor. El primero ascendió el 5 de junio de 1783 en Annonay. Poco despues Mr. Charles ideó substituir el gas hidrógeno al aire dilatado, y una cubierta de tafetan engomado al papel. De esto resultaron entre otras muchas ventajas la de tener una cubierta capaz de resistir á la dilatacion del gas interior, y á la accion de la humedad. Otra no menos importante es la de proporcionar una fuerza ascendente mucho mayor que la del aire dilatado, que no pasa de  $\frac{1}{13}$  de su peso por cada  $100^\circ$ , al paso que el gas hidrógeno es trece veces mas ligero que el aire comun.

Los aerostatos, que sirven para ascensiones atmosféricas, tienen una figura casi esférica (*fig. 304*): la cubierta está compuesta de cachos cosidos y cubiertos con un barniz de goma elástica, ó de aceite de linaza con litargirio. En la

parte superior se halla una válvula sostenida por un muelle, que puede abrirse por un cordón que atraviesa al balón, y cuelga á la parte inferior. El hemisferio superior está cubierto además por una redcilla, cuyos hilos reunidos por grupos en su mitad inferior sostienen una barquilla de mimbrés. Se infla el balón poniéndole por su parte inferior en comunicacion con toneles que contengan hierro ó zinc con agua y ácido sulfúrico. El balón jamás debe estar exactamente cerrado; pues la fuerza expansiva del gas le rompería infaliblemente en las regiones altas de la atmósfera; por esto se le deja abierto por abajo, y no se infla enteramente; la dilatacion del gas le llena á medida que se eleva. Cuando se quiere ascender se arroja lastre del que va en la barquilla; cuando se quiere bajar se abre la válvula, y sale el gas, con lo que disminuye el volumen, y baja el globo lentamente.

Para determinar el volumen del aerostato supondremos que debe sostener el peso  $P$ ; que  $p$  es el peso de la unidad de superficie de la cubierta,  $d$  el peso de la unidad de volumen de aire, y  $d'$  el de la de hidrógeno. La fuerza vertical del balón es pues evidentemente igual al peso de la cubierta, mas el del gas, mas el de la barquilla. Luego llamando  $R$  el radio del balón supuesto esférico, se tiene  $4\pi R^2 p + \frac{4}{3}\pi R^3 d' + P$ , y la fuerza ascendente será  $\frac{4}{3}\pi R^3 d$ ; luego  $\frac{4}{3}\pi R^3 d = 4\pi R^2 p + \frac{4}{3}\pi R^3 d' + P$ .

Los viajes aerostáticos mas importantes han sido los de Mr. Gay-Lussac y Biot en 1805 que subieron hasta 4000 metros, y despues el mismo Gay-Lussac hasta 7000 metros, ambas veces con objeto de hacer experimentos, como lo ejecutaron.

En Madrid y Sevilla ha verificado varias ascensiones Mr. Robertson y su familia. En el día se echan mongolfieras en Vista Alegre y en varias funciones.

### 16.<sup>a</sup> Barómetro. Párrafo 433.

Siendo la fórmula barométrica una de las mas interesantes, pondremos su deduccion sacada de la Astronomía física de Mr. Biot.

Concibamos un tubo vertical lleno de aire, que comunique desde la superficie de la tierra hasta los límites de la atmosfera. Para simplificar todo lo posible el problema supondremos que toda la columna está compuesta de aire per-

fectamente seco, de temperatura enteramente uniforme, y haremos abstraccion del decrecimiento de la pesantez segun la altura, de suerte que esta fuerza tenga igual intensidad en todas las alturas.

En estas suposiciones examinemos el estado de equilibrio de la columna. Es claro que cada molécula estará comprimida por el peso de todas las que están encima, y como el aire por su elasticidad se condensa proporcionalmente á los pesos con que se le comprime, es facil concebir que la densidad de este aire irá decreciendo de abajo á arriba insensiblemente. Para descubrir la ley de este decrecimiento, dividiremos la columna en una infinidad de capas delgadissimas, de suerte que la densidad pueda considerarse como uniforme en toda la altura de una capa, y solo varíe de una de estas á su inmediata. Si se examinan con un barómetro estas diferentes capas se hallará cierta relacion entre las distancias de ellas al centro de la tierra representadas por  $x'$ ,  $x''$ ,  $x'''$ , &c. y las elevaciones del mercurio en el barómetro, representadas por  $a'a''a'''$ , &c., cuya relacion tratamos de buscar.

Para esto observaremos que el espesor de la primera capa es  $x''-x'$ . El descenso del mercurio, encima de esta capa, es  $a'-a''$ ; por consiguiente á esta elevacion una columna de aire de la altura  $x''-x'$  pesa tanto como una columna de mercurio de igual base y de la altura  $a'-a''$ , y como las densidades son proporcionales á los volúmenes en igualdad de pesos, la densidad de la capa comparada con la del mer-

curio es  $\frac{a'-a''}{x''-x'}$ .

Pero esta relacion puede valuarse de otro modo, puesto que á igualdad de temperatura, la densidad de cada capa es proporcional á la presion que sufre, es decir, al peso de las capas superiores. Supuesto que todas las capas tienen igual temperatura, la presion que cada una sufre es proporcional á la altura del mercurio en el barómetro. Asi pues las densidades de las diferentes capas pueden representarse por  $Ca'$ ,  $Ca''$ ,  $Ca'''$ , &c., siendo C un coeficiente constante comun á toda la columna. Asi obtenemos para la primera capa dos valores que pueden igualarse y dan

$$Ca' = \frac{a'-a''}{x''-x'} \text{ de donde } a'' = a'(1 - C(x''-x')).$$

La misma relacion subsistirá entre las demas capas por el supuesto, y tendremos

$$\begin{aligned} a''' &= a''(1 - C(x''' - x'')) \\ a'' &= a'(1 - C(x'' - x')) \\ &\&c. \end{aligned}$$

Y representando por D el espesor  $x'' - x'$ ,  $x''' - x''$ , &c. que es supuesto el mismo en todas las capas, se tiene

$$\begin{aligned} a'' &= a'(1 - CD) \\ a''' &= a''(1 - CD) \\ a'''' &= a'''(1 - CD) \&c. \end{aligned}$$

de donde sustituyendo por  $a''$ ,  $a'''$ , &c. sus valores, sale

$$\begin{aligned} a'' &= a'(1 - CD) \\ a''' &= a'(1 - CD)^2 \\ a'''' &= a'(1 - CD)^3 \&c. \end{aligned}$$

Y como  $D = x'' - x' = x''' - x'' =$ , &c. se tendrán las dos series siguientes para las diferencias de nivel y para los descensos del mercurio

$$x'' - x' = D \qquad \frac{a''}{a'} = 1 - CD$$

$$x''' - x' = 2D \qquad \frac{a'''}{a'} = (1 - CD)^2$$

$$x'''' - x' = 3D \qquad \frac{a''''}{a'} = (1 - CD)^3$$

$$\begin{aligned} x''''' - x' &= 4D \qquad \frac{a'''''}{a'} = (1 - CD)^4 \&c. \\ &\&c. \end{aligned}$$

Siendo C y D ambos positivos,  $1 - CD$  es precisamente una fracción, por lo cual las potencias sucesivas serán menores y menores. Asi pues se ve que cuando las alturas sobre la primera estacion, crecen en progresion aritmética, la elevacion del mercurio en el barómetro decrece en progresion geométrica.

Hemos obtenido este resultado, suponiendo que cada capa de aire tiene un espesor pequeño; y como este puede tomarse tan pequeño como se quiera, la ley que acabamos de descubrir es independiente de toda suposicion sobre este espesor, como vamos á ver.

Si representamos por  $n$  el rango de un término cual-

quiera en las series precedentes, y se toma el valor de  $n$  en la segunda por medio de los logaritmos, tendremos

$$n = \frac{x - x'}{D} \dots n = \frac{\log a' - \log a}{\log(1 - CD)}$$

de donde  $x - x' = \frac{D(\log a' - \log a)}{\log(1 - CD)}$ .

Siendo el primer miembro la diferencia de nivel entre dos estaciones, que para mayor sencillez la llamaremos  $X$ ;  $a'$  es la altura mercurial, correspondiente á la estacion mas baja, que llamaremos  $A$ , y  $a$  la correspondiente á la estacion

mas alta, que llamaremos  $a$ , para evitar la confusion de la acentuacion. Asi pues tendremos

$$X = \frac{D}{\log(1 - CD)} (\log A - \log a)$$

El valor de  $X$  parece depender del espesor  $D$ , pero no es asi en el fondo. En efecto desarrollando el  $\log(1 - CD)$  por medio del teorema de Taylor se tiene

$$\log(1 - CD) = -\frac{1}{M} \left( CD + \frac{C^2 D^2}{2} + \frac{C^3 D^3}{3} + \dots \right)$$

siendo  $M$  el módulo de las tablas comunes 2,302585092994.

Por consiguiente

$$\frac{D}{\log(1 - CD)} = \frac{M}{C + \frac{C^2 D^2}{2} + \frac{C^3 D^3}{3} + \dots}$$

Pero siendo por el supuesto, el espesor  $D$  tan infinitamente pequeño como se quiera, para mayor rigorismo podremos suponerle nulo en el segundo miembro, mucho mas cuando sus potencias serán aun mas infinitamente pequeñas ó casi nulas; por consiguiente

$$= \frac{D}{\log(1 - CD)} = \frac{M}{C}$$

donde vemos que el coeficiente es enteramente independiente del espesor, y que el diferir nosotros el hacer este

espesor nulo, no ha sido mas que para poder establecer el raciocinio y efectuar los cálculos. Queda pues la fórmula reducida a

$$x = \frac{M}{C} (\log. A - \log. a)$$

es decir que la diferencia de nivel es proporcional á la diferencia de los logaritmos de las alturas del mercurio en el barómetro.

Solo nos falta determinar el valor de C. Para esto representando por  $d$  la densidad del aire bajo la presión  $A$ , siendo la del mercurio la unidad, se tiene por los supuestos anteriores  $d = CA$ , representando  $A$  la altura del mercurio en el barómetro. Se tiene pues el valor de  $C = \frac{d}{A}$  siempre que por

experimentos escrupulosos se logre saber la relacion entre las densidades del aire y del mercurio, bajo una presión atmosférica dada. Esta relacion no es la misma en todos los paises, puesto que la pesantez no tiene la misma intensidad, como se ha averiguado por medio del péndulo; así es que la

relacion  $\frac{d}{A}$  varia segun la pesantez. En efecto segun la pesantez sea mas fuerte ó mas debil, pesará mas ó menos la

columna de mercurio, siendo siempre su altura la misma; y por consiguiente el aire estará mas ó menos comprimido. Por los experimentos hechos con el péndulo á diferentes latitudes, se halla que siendo 1 la gravedad en el paralelo de  $45^\circ$  la gravedad en otra latitud  $\gamma$  está expresada por  $1 - 0,002837 \cos. 2\gamma$ . Por consiguiente la densidad  $d$  proporcional á la pesantez, variará con ella, y á la presión  $a$  y latitud  $\gamma$  será

$$d(1 - 0,002837 \cos 2\gamma).$$

por lo tanto el coeficiente C se convertirá en  $C(1 - 0,002837 \cos 2\gamma)$  y el valor de X en

$$X = \frac{M}{C(1 - 0,002837 \cos 2\gamma)} \log \left( \frac{A}{a} \right).$$

Para hacer desaparecer el denominador se desarrolla la

fracción  $\frac{1}{1 - 0,002837 \cos 2\gamma}$  en serie y da

$1 + 0,002837 \cos 2\gamma + 0,0000804857 \cos^2 2\gamma + \&c.$ ; y como

el tercero y demas términos sucesivos son casi enteramente inapreciables, se puede limitar á los dos primeros la aproximacion, y la fórmula X se convierte en

$$X = \frac{M}{C} (1 + 0,002837 \cos 2\gamma) \log \frac{A}{a}.$$

Hemos hasta aqui supuesto, que C ó  $\frac{d}{A}$  tiene el mismo

valor en todas las capas de la columna, lo cual no es exacto en la naturaleza, pues muchas causas tienden á hacer variar esta relacion. La primera es la desigualdad de la temperatura en las capas, por el aumento de elasticidad del aire por el calor; la segunda es la cantidad de vapor acuoso que se halla suspendido en las diversas capas; y por último la tercera es el decremento de la gravedad á medida que la altura se aumenta.

Para valuar numéricamente la influencia de estas causas sobre el valor de C, principiaremos por la variacion de pesantez en linea vertical. Sean  $g'$ ,  $g''$ ,  $g'''$  las diversas intensidades de esta fuerza. Los pesos de las columnas de mercurio  $a'$ ,  $a''$ ,  $a'''$ , &c. serán proporcionales á ellas si las demas circunstancias son iguales; y  $\frac{d}{A} = C$  debe variar de una capa á otra proporcionalmente á la gravedad  $g$ .

La accion de la temperatura hace que siendo la misma la presión barométrica, una masa de aire de un volumen 1, tenga un volumen  $1 + 0,00375 t$  á la temperatura  $t$  del termómetro centigrado. Como las densidades de esta masa bajo una presión constante son proporcionales á los volúmenes que ocupa, siendo 1 su densidad á 0°, la misma á  $t$  será  $\frac{1}{1 + 0,00375 t}$  y en esta proporcion debe tambien

variar C ó  $\frac{d}{A}$ .

Examinemos por último la influencia del vapor acuoso. Segun los experimentos de Saussure y Watt su peso es al del aire como 10:14 en igualdad de temperatura y elasticidad. La introduccion del vapor en las capas de aire las hace especificamente mas ligeras, sin disminuir su elasticidad. Para valuar este efecto, sea A la presión barométrica de una

capa de aire,  $F$  la fuerza elástica del vapor que ésta contenga, y  $p$  el peso total de la capa. El peso del mismo volumen de aire seco bajo la presión  $A - F$  será  $p \times \frac{A - F}{A}$ ; bajo la presión  $F$  será  $p \frac{F}{A}$ ; y por último el mismo volumen compuesto enteramente de vapor á la presión  $F$  será  $\frac{10}{14} \times \frac{pF}{A}$ . Por ex-

perimentos muy positivos y exactos se sabe que en una mezcla de vapor y aire llegada al estado de equilibrio permanente, ambos fluidos están repartidos uniformemente en todo el espacio que puedan ocupar. Así pues el peso de la mezcla será igual á la suma de los pesos del aire y del vapor, y en el caso presente es  $p \frac{A - F}{A} + \frac{10}{14} \frac{pF}{A}$  ó mas sencillamente

$p \times \frac{A - \frac{2}{7} F}{A}$ : Ahora bien, antes de la introducción del vapor

el peso del aire seco á la presión  $A$  era  $p$ . Siendo las densidades proporcionales á los pesos, si  $d$  es la densidad de la capa en estado de sequedad, en estado de humedad será

$d \left( \frac{A - \frac{2}{7} F}{A} \right)$  ó  $d \left( 1 - \frac{2}{7} \frac{F}{A} \right)$  bajo la misma presión. Luego

la introducción del vapor en las capas de aire hace variar á  $C$  proporcionalmente á  $1 - \frac{2}{7} \frac{F}{A}$ .

Resumiendo las tres variaciones que sufre el coeficiente se tiene que su expresión general será de la forma siguiente

$$C = \frac{Bg \left( 1 - \frac{2}{7} \frac{F}{A} \right)}{1 + 0,00375 t}$$

siendo  $B$  una cantidad constante comun á todas las capas.

Es, pues, preciso determinar los valores de  $g$ ,  $A$ ,  $F$  y  $t$  en las diversas capas.

Principiemos por  $g$ . Alejándose del centro de la tierra sabemos, que la intensidad de la pesantez es recíproca al cuadrado de la distancia; luego siendo  $x'$ ,  $x''$ ,  $x'''$  &c.,

las distancias de las diversas capas, y  $g'$ ,  $g''$ ,  $g'''$ , &c. las intensidades correspondientes, se tiene

$$g' = g' \dots g'' = \frac{g' x'^2}{x''^2} \dots g''' = \frac{g' x'^2}{x'''^2}, \text{ \&c.}$$

Sigamos al vapor acuoso. Su tension  $F$  es siempre muy pequeña en las temperaturas en que se hacen las observaciones barométricas. Según esto, calculando sus valores por las fórmulas dadas por Laplace, y deducidas de los experimentos de Dalton, se tiene que á  $0^\circ$ ,  $F=0,005122$  metros, y á  $30^\circ$ ,  $F=0,31690$  metros, y como estos  $0^\circ$  y  $30^\circ$  del termómetro centígrado son casi los límites en que se hacen las observaciones, puede representarse el aumento de  $F$  por la expresión siguiente:  $F=0,005122+0,0008646t$ , siendo  $t$  el número de grados que marca el termómetro centígrado. Es preciso hacer aun otra corrección en este valor de  $F$ : nace de la saturación extrema que casi nunca se verifica en la atmósfera, y que por lo tanto aumenta el valor de  $F$  mas de lo que realmente es, y según los experimentos hechos sobre el particular, parece que tomando la mitad del valor perteneciente á la humedad extrema, es como se aproxima mas á la realidad, y resulta  $F=0,002561+0,00043245t$ .

Para sustituir este valor en  $C$  es preciso multiplicarle por  $\frac{2}{7A}$ ; pero por la pequeñez de esta corrección, y la corta diferencia de los valores de  $A$  en la extensión de las columnas de aire medidas generalmente, puede ponerse por  $A$  la presión media de la atmósfera al nivel del mar, que es  $0,76$  metros; adoptando esta simplificación se tendrá

$$1 - \frac{2}{7} \frac{F}{A} = 1 - \frac{2}{7 \times 0,76} (0,0002561 + 0,00043245t) \\ = 1 - 0,0009628 - 0,0001627t, \text{ que sin error sensible puede ponerse bajo la forma } (1 - 0,0009628)(1 - 0,0001627t), \text{ lo}$$

$$\text{cual da } C = \frac{B(1 - 0,0009628) \times g(1 - 0,0001627t)}{1 + 0,00375t}; \text{ pero tras-}$$

ladando el último factor  $1 - 0,0001627t$  al denominador por medio de la forma  $\frac{1}{1 + 0,0001627t}$ , como puede hacerse sin error sensible, y despreciando el producto de  $0,0001627$

por 0,00375 por su suma pequeñez tendremos

$$C = \frac{B(1-0,0009628)g}{1+0,004t}$$

Busquemos ahora en este caso general la relacion de las alturas del barómetro con las de las capas. Consideremos pues, la primera capa  $x''-x'$ , y la altura  $\frac{A'-A''}{g'}$ . Para

expresar el peso de la primera capa de aire en partes de la columna mercurial  $A'$ , es preciso multiplicar  $A''$  por  $\frac{g''}{g'}$  que es la relacion entre las gravedades de ambas capas, lo

cual da  $A' - \frac{A''g''}{g'}$ . La relacion con la densidad será

$$\frac{A' - \frac{A''g''}{g'}}{x''-x'} \quad \text{ó} \quad \frac{A'g' - A''g''}{g'(x''-x')}$$

relacion que tambien puede representarse por  $C'A'$ , siendo  $C'$  el valor de  $C$  en la capa de que tratamos; asi, pues, siendo siempre  $D$  el espesor de la capa, se tendrá

$$x''-x' = D \dots \frac{A'g' - A''g''}{g(x''-x')} = C'A' \quad \text{ó}$$

$$x''-x' = D \dots A''g'' = A'g'(1-C'(x''-x')).$$

Las demas capas dan las ecuaciones análogas siguientes:

$$x'''-x'' = D \dots A'''g''' = A''g''(1-C''(x'''-x''))$$

$$x''''-x''' = D \dots A''''g'''' = A'''g'''(1-C'''(x''''-x''')), \text{ \&c.}$$

Efectuando sucesivamente las eliminaciones como anteriormente hasta la última capa, cuyo rango es  $n+1$  se tiene

$$x - x' = nD \dots$$

$$A_{n+1} g = A' g' ((1-C'D)(1-C''D)(1-C'''D) \dots (1-C_n D)).$$

El segundo miembro tiene tantos factores como capas hay. Apelando á los logaritmos tendremos

$$\log \frac{A'}{A^{n+1}} + \log \frac{g'}{g^{n+1}} = -\log(1-C'D) - \log(1-C''D) \dots - \log(1-C_n D),$$

y tomando el valor de  $x - x'$  se halla

$$x - x' = \frac{-nD \left( \log \frac{A'}{A^{n+1}} + \log \frac{g'}{g^{n+1}} \right)}{\log(1-C'D) + \log(1-C''D) \dots + \log(1-C_n D)}$$

Desarrollando los logaritmos, efectuando la division por  $D$ , y suponiendo como antes á  $D$  nulo, tendremos

$$x - x' = Mn \frac{\log \frac{A'}{A^{n+1}} + \log \frac{g'}{g^{n+1}}}{C' + C'' + C''' + \dots + C_n}$$

siendo  $M$  el módulo de las tablas logaritmicas, es decir, 2,30258509. Esta fórmula es análoga á la del principio, solo que en vez de  $C$  tenemos  $C' + C'' + C''' + \dots$ , por cuya razon queda  $n$  en el numerador. Si todos estos coeficientes  $C', C'', \dots$  fuesen iguales, su suma seria  $nC$ , y desaparecería  $n$ . Para abreviar representaremos por  $SC'$  la suma de los coeficientes, y  $X$  la diferencia de nivel, y se tendrá

$$X = Mn \frac{\log \frac{A}{a} + \log \frac{g'}{g^{n+1}}}{SC'}$$

Para valuar  $\frac{g'}{g^{n+1}}$  recordaremos que la intensidad de la pesantez es reciproca al cuadrado de la distancia al centro de

la tierra, lo cual dá

$$\frac{g'}{n+1} = \frac{(x \dots)^2}{x'^2}$$

$$\text{y como } x \dots x' = X \dots x = X + x',$$

$$\text{y por consiguiente } \log \frac{g'}{g} = 2 \log \left(1 + \frac{X}{x'}\right).$$

Como  $x'$  es la distancia al centro de la tierra, y la diferencia de nivel  $X$  es muy pequeña respecto á esta distancia, nos limitaremos al radio medio de la tierra, que representaremos

$$\text{por } R \text{ se tendrá } \log \frac{g'}{g} = 2 \log \left(1 + \frac{X}{R}\right)$$

$$Mn \left( \log \frac{A}{a} + 2 \log \left(1 + \frac{X}{R}\right) \right)$$

$$\text{por consiguiente } X = \frac{\text{SC}'}{\text{SC}'}$$

introduciendo la correccion de  $\text{SC}'$  relativa á la latitud que determinamos antes y pasándola al numerador, la fórmula es

$$X = \frac{Mn(1+0,002837 \cos 2 \gamma) \left( \log \frac{A}{a} + 2 \log \left(1 + \frac{X}{R}\right) \right)}{\text{SC}'}$$

Falta valuar ahora  $\text{SC}'$ , y segun la expresion general del coeficiente  $C$ , que ya hemos determinado, tendremos

$$\text{SC}' = B(1 - 00,009628) \left( \frac{g'}{1 + 0,004t'} + \frac{g''}{1 + 0,004t''} + \frac{g'''}{1 + 0,004t'''} + \dots \right)$$

Para determinar esta suma de un modo riguroso seria necesario conocer la ley de decrecimiento de las temperaturas

en la atmósfera. Esta ley está sujeta á muchas irregularidades; pero generalmente en alturas de corta entidad, como son las que se consideran en las operaciones barométricas, se puede mirar como una progresion aritmética, y tomar la temperatura media entre las de las capas extremas, es decir,

en general  $\frac{T+t}{2}$ : de este modo se tiene

$$SC' = \frac{B(1-0,0009628)}{1 + \frac{T+t}{2} \times 0,004;0001} \times g' \left( 1 + \frac{g''}{g'} + \frac{g'''}{g'} + \frac{g''''}{g'} + \&c. \right)$$

pero como la pesantez es reciproca al cuadrado de las distancias, se tiene

$$\frac{g''}{g'} = \frac{x'^2}{x''^2} \dots \frac{g'''}{g''} = \frac{x'^2}{x'''^2}, \&c.$$

y puesto que la diferencia de distancia entre dos capas consecutivas es D, se tiene

$$\frac{g''}{g'} = \frac{x'^2}{(x'+D)^2} \dots \frac{g'''}{g''} = \frac{x'^2}{(x'+2D)^2} \dots \frac{g''''}{g'''} = \frac{x'^2}{(x'+3D)^2}, \&c.$$

Efectuando la division algebraicamente, y limitándonos á la primera potencia de  $\frac{D}{x'}$  tendremos

$$\frac{g''}{g'} = 1 - \frac{2D}{x'} \dots \frac{g'''}{g''} = 1 - \frac{4D}{x'} \dots \frac{g''''}{g'''} = 1 - \frac{6D}{x'},$$

de suerte que

$$1 + \frac{g''}{g'} + \frac{g'''}{g''} + \&c. = n - \frac{2}{x'} (D + 2D + 3D + \dots nD).$$

La suma del paréntesis es  $\frac{n(n+1)D}{2}$ , y puesto, que nD es la diferencia de nivel de las estaciones extremas, ó X, se tiene

$$1 + \frac{g''}{g'} + \frac{g'''}{g''} + \&c. = n \left( 1 - \left( 1 + \frac{1}{n} \right) \frac{X}{x'} \right).$$

Para sustituir este valor en  $SC'$  tomaremos en vez de  $x'$  el radio medio de la tierra  $R$ , y daremos á  $\frac{T+t}{2} \times 0,004$  otra transformación mas cómoda, lo cual producirá

$$B(1-0,0009628)g \times n \left(1 - \frac{X}{R}\right).$$

$$SC' = \frac{B(1-0,0009628)g \times n \left(1 - \frac{X}{R}\right)}{1 + \frac{2(T+t)}{1000}}$$

Sustituyendo este valor en  $X$  desaparece  $n$ , y se tiene

$$M(1+0,002837 \cos 2\gamma) \left(1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right) \left(\log \frac{A}{a} + 2 \log \left(1 + \frac{X}{R}\right)\right)$$

$$X = \frac{M(1+0,002837 \cos 2\gamma) \left(1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right) \left(\log \frac{A}{a} + 2 \log \left(1 + \frac{X}{R}\right)\right)}{Bg'(1-0,0009628) \left(1 - \frac{X}{R}\right)}$$

y haciendo pasar el factor  $1 - \frac{X}{R}$  al numerador por medio del desarrollo en serie,  $\frac{1}{1 - \frac{X}{R}} = 1 + \frac{X}{R} + \frac{X^2}{R^2} + \dots$  to-

do solo los dos primeros términos tendremos

$$X = \frac{M}{Bg'(1-0,0009628)} \left\{ (1+0,002837 \cos 2\gamma) \left(1 + 2 \frac{T+t}{1000}\right) \left(\log \frac{A}{a} + 2 \log \left(1 + \frac{X}{R}\right)\right) \left(1 + \frac{X}{R}\right) \right\}$$

No falta ya mas en esta fórmula que determinar el valor de  $B$ , para lo cual recordando el punto en que la introdujimos tendremos que llamando  $d$  la relacion de las densidades del aire seco y del mercurio, á la presión  $A$ , y temperatura  $t$  en un punto cuya latitud es  $\gamma$ , y la pesantez  $g$  se

$$\text{tiene } d = \frac{B(1+0,002837 \cos 2\gamma)gA}{1+0,00375t}.$$

El medio mas sencillo de hallar á B es pesar muy escrupulosamente, volúmenes conocidos de aire y mercurio bajo una presión y temperatura determinadas, en un parage cuya latitud y altura sean conocidas. Asi lo han hecho Mr. Biot y Arago, y han hallado á la temperatura 0°, y la presión de 0,76

metros que  $d = \frac{1}{10463}$  de donde se deduce que

$$B = \frac{1}{10463g(1 - 0,002837 \cos^2 \gamma) \times 0,76}$$

siendo  $\gamma$  la latitud de París. Por consiguiente siendo M el módulo de las tablas logaritmicas ó 2,3028509, el coeficiente

$$\frac{M}{Bg'} \text{ será } \frac{M}{Bg'} = 10463(1 - 0,002837 \cos^2 \gamma) \times 0,76 \frac{g}{g'}$$

reduciendo á números estos valores, teniendo presente que la latitud del observatorio de París es 48°—50'—14" se halla

$$\frac{M}{Bg'} = 18316,82 \text{ metros} \times \frac{g}{g'}$$

continuando Biot y Arago sus experimentos hallaron que siendo  $r$  la elevación de la estación inferior sobre el nivel del mar, R el radio medio de la tierra, el coeficiente

$$\frac{M}{Bg'}, \text{ se convertirá en } 18334 \text{ metros} \times \left(1 + \frac{2r}{R}\right)$$

Por lo tanto, reasumiendo todas las correcciones indicadas, se tiene

$$X = 18334(1 + 0,002837 \cos^2 \gamma) \left\{ \left(1 + \frac{2r}{R}\right) \left(1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right) \right. \\ \left. \left(1 + \frac{X}{R}\right) \left(\log \frac{A}{a} + 2 \log \left(1 + \frac{X}{R}\right)\right) \right\}$$

que es la fórmula tal como la deduce Mr. Biot, que despues la redujo á tablas.

La altura de Madrid sobre el nivel del mar, segun las observaciones hechas con suma escrupulosidad por el señor don Juan Lopez Peñalver en 18 y 19 de junio de 1801 es de 2394 pies, ó 798 varas españolas, como puede verse en el *Curso de matemáticas* de don J. M. Vallejo tom. 3.º

17.<sup>a</sup> Dilatación de los sólidos. Párrafo 480, tomo 2.<sup>o</sup>

El conocimiento de la dilatación de los cuerpos sólidos es muy útil en muchos casos, por lo cual vamos á demostrar que *la dilatación cúbica de un cuerpo sólido en las temperaturas á que generalmente se hacen las observaciones, es triple de la dilatación lineal*; es decir, que si ésta se llama  $D$ , la dilatación cúbica para la unidad de volumen es  $3D$ , y si  $V$  es el volumen del cuerpo á la temperatura mas baja, el mismo á la mas alta será  $V(1+3D)$ .

En efecto, supongamos que  $V$  exprese un volumen cualquiera homogéneo, que dilatándose por el calor se convierta en  $V'$ : la forma se conservará la misma en ambos estados, y como los volúmenes de cuerpos semejantes son como los cubos de los lados homólogos; llamando  $l$  y  $l'$  estos lados, tendremos  $V':V::l'^3:l^3$  que da  $V'-V::l'^3-l^3:l^3$  de donde

$$\frac{V'-V}{V} = \frac{l'^3-l^3}{l^3} = \frac{(l'-l)(l'^2+ll+l^2)}{l^3}$$

como  $D$  expresa la dilatación  $l'-l$  tendremos que  $D=l'-l$ ...

y  $l'=l+D$  valor que sustituido en  $\frac{V'-V}{V}$

$$\text{da } \frac{V'-V}{V} = \frac{D(3l^2+3lD+D^2)}{l^3};$$

pero si la dilatación  $D$  es muy pequeña en comparación de  $l$ , como efectivamente se verifica en todos los cuerpos sólidos observados á temperaturas muy distantes del punto de fusión respectivo, la dilatación  $V'-V$  será tambien muy pequeña respecto de  $V$  por el factor  $D$  que influye en su valor en el segundo miembro: luego tendremos un valor bastante aproximado, útil para la mayor parte de los casos, con solo tomar el primer término del paréntesis, despreciando los demas en que influyen potencias de  $D$ , que deben ser infinitamente menores que la misma  $D$ : luego resultará

$$\frac{V'-V}{V} = \frac{D \times 3l^2}{l^3} = 3 \frac{D}{l}; \text{ pero } \frac{V'-V}{V} \text{ es la dilatación cúbica}$$

para la unidad de volumen: luego se verifica que esta dila-

tacion es triple de la lineal  $\frac{D}{l}$ .

Despejando á  $V'$  tendremos  $V' = V + 3V \frac{D}{l}$ , y poniendo por

D su valor  $l - l$  resultará  $V' = V \left( 1 + 3 \frac{l' + l}{l} \right)$ ;

pero en los cuerpos sólidos, especialmente en las temperaturas comprendidas entre el hielo y el agua hirviendo, la dilatacion lineal se puede reputar como proporcional al número de grados del termómetro, contados desde  $0^\circ$ : luego expresando por  $V$  el volumen del cuerpo á  $0^\circ$ , por  $t$  el número de grados que se eleva la temperatura, y por  $k$  la dilatacion lineal para un grado;  $kt$  será la dilatacion lineal para  $t$  grados, y  $V' = V(1 + 3kt)$ , y llamando  $K$  al factor  $3k \dots V' = V(1 + Kt)$ . Por medio de esta fórmula podrá hallarse tambien el volumen primitivo conocido el dilatado  $V'$ ,

pues se tiene  $V = \frac{V'}{1 + Kt}$ ;

Tambien podria hallarse la dilatacion correspondiente partiendo de otro volumen cualquiera. Efectivamente representando por  $V'$  y  $V''$  los volúmenes correspondientes á dos temperaturas  $t'$  y  $t''$ , se tendrá  $V' = V(1 + Kt')$ ...  $V'' = V(1 + Kt'')$ , y eliminando  $V$ , que es el volumen primitivo á  $0^\circ$  se tendrá

$$V'' = V' \frac{1 + Kt''}{1 + Kt'} = V' \left( 1 + \frac{K(t'' - t')}{1 + Kt'} \right).$$

Pero todos estos cálculos suponen á  $K$  bastante pequeña para poder limitarse á la primera potencia de la fracción que expresa; por lo cual podremos despreciar el término  $Kt$  para seguir el mismo grado de aproximacion que antes, lo cual da  $V'' = V'(1 + K(t'' - t'))$ , que es el mismo resultado que si la dilatacion se contase desde la temperatura  $t'$ , y volumen  $V'$ , con el mismo coeficiente.

Si se quiere mayor aproximacion no se despreciará ningún término, ó solo el último de la expresion  $3l + 3lD + D^2$ ; però no se conoce hasta el dia cuerpo alguno que exija tal escrupulosidad.

Por medio de la dilatacion de los diversos metales, se forman los péndulos de compensacion; es decir, péndulos

que conservan siempre la longitud necesaria para la igualdad de las oscilaciones. Para esto se emplean varillas compuestas de diferentes metales como cobre, acero, hierro, laton, oro, plata y platino, con los cuales se forman bastidores, en los que se compensa la dilatacion de un metal con la de otro, de modo que el sistema total no varie de longitud.

### 18.<sup>a</sup> Fórmulas de las lentes. Párrafo 561.

En el texto del autor se explican todos los fenómenos de la Dióptrica y Catóptrica por medio de las *caústicas*, ó sea por construcciones gráficas. Consecuente Mr. Beudant con su objeto de poner la explicacion al alcance de los menos instruidos, no emplea nada de cálculo en este asunto; pero sin embargo, como, segun el mismo dice, las propiedades de la luz se pueden explicar analíticamente, creo no será fuera de propósito poner en este lugar la deduccion de las fórmulas generales sobre vidrios ó *lentes*, y sobre *espejos*, sacadas de la física-mecánica de Fischer como sigue:

Lo esencial de la teoría de todos los vidrios esféricos, á lo menos para la inteligencia de los fenómenos dióptricos, se deduce de dos teoremas, uno relativo á la refraccion de un punto cualquiera del eje, y el otro relativo á la refraccion de un punto cercano al eje.

Nos limitaremos al primero; sea ABC (*fig. 305*) la mitad superior de un vidrio convergente; sea D el centro geométrico de la superficie AC, y E el centro geométrico de la superficie; y supongamos que el plano del perfil ABC pase por ambos: la línea FI tirada por D y E será perpendicular á A y B, y por consiguiente el eje del vidrio: tirese ahora por G y D la KD, y segun la ley fundamental de la dióptrica el rayo refractado que caiga desde E á G, quedará en el plano de la figura, y hará con la línea GD un ángulo, que será menor en el vidrio que en el aire. Sea GH su direccion; si del punto H en que toca á la superficie CB, se tira á esta la normal EHL, el rayo despues del paso por dicha superficie permanecerá en el mismo plano; pero se alejará de HL hácia abajo, y cortará al eje en algun punto, v. gr. I.

En este caso el problema puede expresarse así: *Hallar la posición del punto I cuando los radios de las superficies, las posiciones de sus centros, y las de los puntos F y G son conocidas.*

Para resolver este problema con todo rigor se necesitan

cálculos largos y complicados; pero es fácil hacerlos de un modo aproximativo suficiente para las aplicaciones. Este consiste en hallar la relacion entre los radios AD BE, las distancias AF BI, y la fuerza de refraccion, que debe suponerse conocida.

La circunstancia que facilita este camino es que la curvatura de los arcos sea pequeña para que los vidrios den imágenes claras; por consiguiente los ángulos agudos en D y en E son siempre muy pequeños, siéndolo tambien en virtud de esto los ángulos agudos en F, I, G y H, lo que hace que puedan considerarse los arcos GA y HB como líneas perpendiculares al eje, y paralelas é iguales entre sí á causa del cortísimo espesor del vidrio.

Hagamos, pues, á  $AD=r$   $EB=r'$   $AF=a$   $BI=a'$ , y la relacion de refraccion del aire al vidrio  $=n:1$ , y busquemos la relacion entre  $r$ ,  $r'$ ,  $a$ ,  $a'$  y  $n$ .

Puesto que los ángulos KGE, HGD, GHE, LHI son pequeños, podemos atribuirles la relacion constante que hay entre la incidencia y la refraccion, lo que dá

$$KGE:HGD::n:1$$

$$LHI:GHE::n:1$$

$$KGF+LHI:HGD+GHE::n:1.$$

Para mayor sencillez designaremos los ángulos agudos por solo las letras de sus vértices, lo que dará, porque cada ángulo externo es igual á la suma de los dos internos opuestos,

$$KGF=F+D...LHI=E+I.$$

Luego

$$KGF+LHI=F+D+E+I,$$

y por lo mismo

$$HGD+GHE=GHE=E+D.$$

sustituyendo en la proporcion resulta

$$F+D+E+I:E+D::n:1,$$

ó componiendo las primeras razones dá

$$F+I:E+D::n-1:I \text{ de donde}$$

$$F+I=(n-1)(E+D)=(n-1)E+(n-1)D;$$

pero como los ángulos se suponen muy pequeños, se tiene sin error sensible

$$E = \frac{BH}{BE} = \frac{BH}{r} \quad D = \frac{AG}{AD} = \frac{AG}{r}$$

$$F = \frac{AG}{AF} = \frac{AG}{a} \quad I = \frac{BH}{BI} = \frac{BH}{a'}$$

sustituyendo en la ecuacion anterior será

$$\frac{(n-1)BH}{r'} + \frac{(n-1)AG}{r} = \frac{AG}{a} + \frac{BH}{a'}$$

pero á causa de la excesiva pequeñez del grueso del vidrio los puntos H y G son casi coincidentes; y como por otra parte las líneas FG, GH y HI hacen ángulos pequenísimos con el eje; se sigue que puede considerarse á  $AG=BH$ , y dividir la ecuacion por una ú otra, y dá

$$\frac{n-1}{r'} + \frac{n-1}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'}$$

que expresa la relacion pedida.

Esta fórmula expresa la relacion que existe entre las distancias del objeto y su imagen al vidrio, la fuerza refringente de este, y los radios de curvatura de las superficies refringentes. De ella se pueden deducir las expresiones pertenecientes á todos los casos de las lentes.

En efecto, supongamos que el objeto luminoso esté á una distancia infinita de la lente, entonces  $a=\infty$ , y la fórmula se convierte en

$$\frac{n-1}{r} + \frac{n-1}{r'} = \frac{1}{a'}$$

porque en este caso el rayo incidente es paralelo al eje,

y  $\frac{1}{a} = \frac{1}{\infty} = 0$ . y  $a'$  determina la distancia á que se cortan los

rayos paralelos, despues de la refraccion, la cual se llama *distancia focal*.

En el caso mas sencillo de que los radios de curvatura sean iguales, ó las superficies simétricas  $r=r'$ , y si la lente es *biconvexa*, se tiene

$$\frac{1}{a'} = \frac{2(n-1)}{r} \text{ de donde } a' = \frac{r}{2(n-1)}$$

si la lente es *bicóncava*,  $a' = -\frac{r}{2(n-1)}$ .

Si la lente es *plano-convexa* uno de los radios, v. gr.  $r$  es  $\infty$ ,

$$y \frac{n-1}{r} = 0 \text{ de donde } \frac{1}{a'} = \frac{n-1}{r}; \text{ ó } a' = \frac{r}{n-1}$$

En la lente plano-cóncava  $\frac{1}{a'} = -\frac{n-1}{r} \dots a' = -\frac{r}{n-1}$ .

19.ª Fórmulas de los espejos. Párrafo 585.

Pasemos á la fórmula general de los espejos : su deducción estriba en la resolución del problema siguiente:

*En el eje ED de un espejo esférico (fig. 306) se halla un punto luminoso E. Un rayo EA emanado de él cae sobre el espejo en A, y es reflejado hácia F. Se quiere, pues, hallar una ecuación entre la distancia focal del espejo d; la distancia del punto luminoso a, y la distancia a' á la cual el rayo reflejado corta al eje.*

Se tiene pues  $\frac{1}{2} DC = d$   $DA = a$   $DF = a'$ .

Siendo C el centro geométrico del espejo, CA será normal en A á su superficie. Segun la ley de la captótrica, el ángulo de incidencia es igual al de reflexion  $CAF = CAE$ . La geometria da  $CAF = AFD - ACF$ .  $CAE = ACF - AEC$ , de aqui  $AFD - ACF = ACF - AEC \dots 2ACF = AFD + AEC$ .

Ahora bien, en la trigonometría se demuestra que en un triángulo rectángulo que tiene un ángulo agudo muy pequeño, este es proporcional al lado opuesto dividido por el adyacente, con tanta mayor exactitud, cuanto menor es el lado opuesto. Para producir imágenes claras, debemos considerar al arco AD, como infinitamente pequeño respecto á DF, DE y DC; podemos, pues, considerarle como una línea recta perpendicular al eje DE, y por lo tanto mirar á ADF, ADC, ADE, como triángulos rectángulos que tienen ángulos muy pequeños sobre la base en F, C y E.

Por consiguiente ACF será proporcional á  $\frac{AD}{DC}$

AFD. . . . .  $\frac{AD}{DF}$

AEC. . . . .  $\frac{AD}{DE}$

sustituyendo en  $2ACF, 2\frac{AD}{DC} = \frac{AD}{DE} + \frac{AD}{DF} \dots \frac{2}{DC} = \frac{1}{DE} + \frac{1}{DF}$ .

Poniendo por DC, DE y DF sus valorse  $2d, a$  y  $a'$  se tiene

II.

Ccc

$\frac{1}{d} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'}$ , ecuacion que contiene la relacion pedida.

Determinando en ella la  $d$  se tiene la expresion siguiente para la *distancia focal*:  $d = a + a'$ , es decir, que *la distancia focal es igual á la suma de las distancias del objeto, y su imagen al espejo.*

La expresion deducida antes se aplica á todos los casos. En el que la hemos deducido las tres cantidades  $d$ ,  $a$  y  $a'$  se consideran como positivas, porque estan colocadas todas hácia un mismo lado; pero si una de ellas estuviese en una situacion opuesta, entonces seria negativa. Con esta modificacion la fórmula es aplicable á todos los casos imaginables. Mientras el punto E permanece delante del espejo,  $a$  es positiva; pero si el rayo luminoso no viene de un punto del eje, sino de un punto situado fuera de él, y se dirige hácia él, entonces la distancia DE es negativa, y la imagen se forma detras del espejo. Para un espejo *cóncavo* se tiene

$$\frac{1}{d} = -\frac{1}{a} + \frac{1}{a'}$$

Si el espejo es *convexo* el rayo y la distancia focal tienen posicion opuesta, y  $d$  es negativa, de lo que nace

$$-\frac{1}{d} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'}$$

Si la interseccion del rayo incidente con el eje se hiciese detras del espejo,  $a$  seria tambien negativa, y se tendria

$$-\frac{1}{d} = -\frac{1}{a} + \frac{1}{a'}$$

Como esta fórmula se aplica á todas las posiciones del punto luminoso, se produce siempre por reflexion una nueva imagen de este punto, situada en el eje. Esta imagen está delante del espejo si el cálculo da un valor positivo para  $a'$ ; está detras si  $a'$  es negativa; está á una distancia infinita si  $a'$

es  $\infty$  ó  $\frac{1}{a'} = 0$ . Este último caso se verifica en un espejo *convexo* cuando se supone  $a = d$ .

Cuando el espejo es plano entonces  $d = \infty$ , y se tiene

$\frac{1}{a} = -\frac{1}{a'}$ , de donde  $a = -a'$ , es decir, que la imagen es

igual al objeto, y está situada detras del espejo á igual distancia que el objeto.

20.<sup>a</sup> Teoría de la pila voltaica. *Párrafo 633.*

Llamemos  $n$  el número de elementos de la pila, de suerte que el número total de piezas sea  $2n$ . Suponiendo que la pieza inferior es de cobre, y la superior de zinc, y representando por  $x$  la cantidad de electricidad acumulada en esta última, tendremos que las tensiones de las piezas de zinc formarán la progresion aritmética

$x, x-1, x-2, \dots, x-(n-1)$ , cuya suma es

$nx - \frac{n(n-1)}{2}$ , y las tensiones de las piezas de cobre serán

$x-1, x-2, x-3 \dots, x-n$ , cuya suma es

$nx - \frac{n(n+1)}{2}$ . Luego la carga total debe ser  $2nx - n^2$ . En

estado de equilibrio, cuando la pila está aislada, esta carga es nula, pues el exceso de las piezas superiores no puede adquirirse sino á expensas de las inferiores, por estar la pila en estado natural, cuya electricidad es cero. Luego

$2nx - n^2 = 0 \dots 2nx = n^2 \dots x = \frac{n}{2}$ , y esta es la tension de

la pieza superior cuando la pila está aislada. La tension de la pieza inferior que es  $x-n$  se convierte en  $-\frac{n}{2}$ , es decir, es igual á la anterior, pero con signo contrario.

La tension de una pieza de zinc del rango  $m$  será

$x - (m-1)$  ó  $\frac{n}{2} - (m-1)$ , y la del correspondiente cobre

será  $x - n + m - 1$  ó  $-\frac{n}{2} + m - 1$ . Es decir, que ambas estan

en igual grado; pero con signo contrario. Si hay una pieza de zinc en estado natural, su tension será nula, y será

$\frac{n}{2} - (m-1) = 0$  de donde  $m = 1 + \frac{n}{2}$ , y debiendo ser  $m$  un

número entero y positivo, solo puede verificarse esta condición cuando  $n$  sea número par. Entonces la pieza de cobre de igual tensión con signo contrario, está también en estado natural, y siendo sus distancias respectivas á los extre-

mos de la pila  $1 + \frac{n}{2}$ , se deben hallar en su medio.

Si se supone establecida la comunicacion entre la base de la pila, y el depósito comun, siendo  $n$  el número de elementos de la pila, las tensiones del zinc serán  $n, n-1, n-2, \dots, 1$ , y las del cobre serán  $n-1, n-2, n-3, \dots, 0$ . Sus sumas

son  $\frac{n(n+1)}{2}$  y  $\frac{n(n-1)}{2}$ , cuyo total es  $n^2$ , y es la carga total

de la pila, que como vemos es el cuadrado del número de elementos.

Los signos electrométricos son muy débiles en la pila aislada, y es difícil cargar el condensador de un modo sensible cuando el número de elementos es corto: el cálculo da fácilmente la razon de este fenómeno.

Representemos por  $g$  la capacidad del platillo colector tomando por unidad la de una pieza de la pila, de suerte que siendo  $a$  esta, sea precisa la cantidad  $g a'$  para que estén la pieza y el platillo con igual tensión. Llamemos  $i$  la fuerza condensatriz del instrumento cuando está en accion, y el platillo inferior comunica con el depósito comun; de este modo siendo  $b$  la tensión, cuando los platillos estan juntos, será  $bi$  cuando estan separados.

No estando la pila aislada, la tensión de la última pieza de zinc es  $n$ . Puesta en contacto con el platillo colector, le cederá parte de su electricidad; pero como esta pérdida se reemplaza á costa del depósito comun, su tensión permanecerá la misma, y la del condensador será también  $n$ . La cantidad absoluta de que estará cargado, que llamaremos  $X'$ , será  $X' = gni$ ,

Si al contrario la pila está aislada, la pieza superior no puede permanecer en equilibrio con el condensador, sin que su tensión varie. Sea  $x$  esa tensión, la cantidad absorbida por el condensador será  $gix$ .

La suma de las tensiones de la pila es  $2nx - n^2$ , luego esta suma, junta con la carga del condensador, debe ser nula en la pila aislada, que no tiene mas que su electricidad natural. Asi, pues, se tendrá  $2nx - n^2 + gix = 0$ , de donde

$x = \frac{n^2}{2n + gi}$ , que es la expresion de la tension en la parte

superior de la pila : para tener la carga del condensador será preciso multiplicarla por  $gi$ , y llamando  $X$  á dicha carga

en la pila aislada será  $X = \frac{n^2 gi}{2n + gi}$ , y como  $ngi = X'$  será

$X = X' \frac{n}{2n + gi}$ . La fraccion presente es tanto menor cuanto

mas considerable es la fuerza del condensador ; y así es, que este se carga mucho menos cuando la pila está aislada , que cuando no lo está.

Sea por ejemplo 30 el número de pares, y supongamos que el condensador solo tiene la capacidad de una de las placas, y condensa por 120 veces : se tendrá,  $n=30$ ,  $g=1$ ,  $i=120$ ; de donde  $X = \frac{1}{6} X'$  siendo entonces la carga del condensador en la pila aislada 6 veces menor que en la no aislada. Si la capacidad del platillo colector es mayor , v. gr. es 4 se tendrá que  $X = \frac{1}{18} X'$ , es decir, que la carga entonces es 18 veces menor en un caso que en otro.

En la pila aislada hemos visto que cuando el número de elementos es par, existen en su centro dos piezas, una de zinc y otra de cobre, que estan en su estado natural. Esto no se verifica así cuando el condensador está aplicado á la parte superior de la pila, y el punto de tránsito de lo positivo á lo negativo varía. En efecto, la tension de una placa zinc del rango  $m$ , partiendo de la parte superior, es  $n - (m - 1)$ , y para que sea nula es preciso que  $m = 1 + x$  ó

$m = 1 + \frac{n^2}{2n + gi}$ ; donde vemos que el valor de  $m$ , que es el

rango de la placa, depende del número de las placas, y de la fuerza del condensador, siendo ademas preciso que  $m$  sea un número entero.

Así, pues, en el caso precedente en que  $n=30$ ,  $g=1$ ,  $i=120$  se halla que  $m=6$ , lo que indica que el tránsito está en la 6.<sup>a</sup> placa de zinc, que estará en estado natural. Sin la accion del condensador resultaria  $m=16$ , es decir, que el tránsito estaria en la 16.<sup>a</sup> placa de zinc. En general el valor de  $m$  disminuye á medida que  $gi$  aumenta, permaneciendo  $n$  el mismo. Si  $gi$  fuese infinito, se tendria  $m=1$ ,

lo que nos dice que si la fuerza del condensador es bastante considerable para que la electricidad de que se carga la pila, no produzca tension sensible, absorberá toda esta electricidad, la pila se hará enteramente negativa, y solo la pieza superior se hallará en estado natural. Este es el caso de una pila aislada por su base, y cuyo extremo superior zinc comunica con el depósito comun.

Si en vez de aplicar el condensador á la parte superior de la pila, se aplicase á una placa de zinc, cuyo rango fuese  $m$ , partiendo de la parte superior, la tension de esta placa seria  $x - (m-1)$ , y la carga del condensador seria  $gi(x - (m-1))$ . Añadiendo la suma de la electricidad de la pila, que es  $2nx - n^2$ , en el caso de equilibrio es preciso que el total sea cero, es decir  $2nx - n^2 + gi(x - (m-1)) = 0$ ,

lo cual da  $x = \frac{n^2 + gi(m-1)}{2n + gi}$ .

Donde se ve que la tension varia en la pieza superior segun la posicion del condensador. Si  $m$  fuese la unidad volveriamos á obtener  $x = \frac{n^2}{2n + gi}$  como antes.

Con estas fórmulas se puede determinar el rango de la pieza que está en estado natural, dada la posicion del condensador, pues llamándole  $m'$  partiendo de la parte superior, se tendrá  $m' = 1 + x = 1 + \frac{n^2 + gi(m-1)}{2n + gi}$ . Para seguir

la ley de estas variaciones es preciso notar que si  $m-1 < \frac{n}{2}$

el condensador estará aplicado á la mitad superior de la pila,

y si  $m-1 > \frac{n}{2}$  á la inferior. Si  $m-1 = \frac{n}{2}$  el valor de  $x$  es tam-

bien  $\frac{n}{2}$ , es decir, que aplicado el condensador al medio de

la pila aislada, la tension de la pieza superior es la misma

que antes. La carga del condensador, que es  $gi(x - \frac{n}{2})$  se

reduce en este caso á cero : por consiguiente el condensador no adquiere nada de electricidad.

Si hacemos  $m-1 = \frac{n}{2} - r$ , siendo  $r$  una cantidad positiva en la mitad superior de la pila, y negativa en la inferior; el valor de  $x$  tomará esta forma  $x = \frac{n}{2} - \frac{gir}{2n+gi}$ ,

y mientras que  $r$  sea positiva será  $x < \frac{n}{2}$ ; cuando sea negativa

será  $x > \frac{n}{2}$ . Así, pues, la tension de la placa superior disminuye cuando el condensador se aplica á la mitad superior, y aumenta si se aplica á la inferior.

La carga del condensador se convierte en este caso en  $gi(x - \frac{n}{2} + r)$ , y sustituyendo por  $x$  su valor, y representando por  $X$  dicha carga, será  $X = \frac{2nrgi}{2n+gi}$ ; siendo  $X$  positiva ó negativa, segun lo sea  $r$ ; es decir, que el condensador se carga positivamente cuando se le coloca en la mitad superior, y negativamente si se aplica á la inferior.

Si el condensador está aplicado en la última placa de zinc, junto la base de la columna, la tension de la pieza superior que es  $x = \frac{n}{2} - \frac{gir}{2n+gi}$  se convierte en

$$x = \frac{n}{2} \left(1 + \frac{gi}{2n+gi}\right) - \frac{gir}{2n+gi} \text{ pues } r = -\frac{n}{2} + 1.$$

La tension de la última placa de cobre es

$$x - n = \frac{n}{2} \left(-1 + \frac{gi}{2n+gi}\right) - \frac{gir}{2n+gi}.$$

Si la fuerza del condensador es infinita, el quebrado se reduce á la unidad, lo cual da  $x = n - 1 \dots x - n = -1$ . Es decir, que si la fuerza del condensador es bastante considera-

ble para que la electricidad que trasmite á la pila, no cause tension sensible en el platillo colector, neutralizará toda la electricidad negativa de la pila, excepto la de la placa inferior.

La placa zinc á que se aplica el platillo estará en estado natural, y la inmediata de cobre por encima, en— 1 siendo el resto positivo. Este es el caso de una pila que principia por cobre, concluye por zinc, y en la cual la primera placa zinc comunica con el depósito comun.

### 21.<sup>a</sup> Variaciones en la aguja magnética. *Párrafo 724.*

Terminarán estas adiciones con las observaciones que ha tenido la bondad de proporcionarme el señor don Antonio Gutierrez, sobre las variaciones de la brújula en Madrid.

Don Jorge Juan en 37 de julio de 1748 halló que la declinacion era  $16^{\circ}20'$  próximamente.

El baron de Humboldt en su viage por España en 1798 halló en mayo que la inclinacion era de  $75,20^{\circ}$ , y la declinacion  $22,2$  ambos centesimales, ó reducidos á la division comun del circulo: inclinacion  $67^{\circ}40' 5''$ ; declinacion  $19^{\circ} 58' 5''$ .

Por último en 10 de agosto de 1815 se halló en el Observatorio del depósito de Marina de esta Corte, que la declinacion era  $24^{\circ}40' 40''$  N. O.

F I N.

# TABLA ANALÍTICA

ó

## ÍNDICE

*de las materias contenidas en este tomo.*

PARRAFOS.	PAG.
INTRODUCCION. . . . .	
462. Definicion de los fluidos incoercibles. . . . .	1
464. Hipótesis de Descartes y de Newton . . . . .	3

### LIBRO QUINTO.

*Del calórico.*

#### CAPITULO I. *Fenómenos del calórico radiante.*

467. Reflexion del calórico por los cuerpos pulimentados. — Absorcion del mismo por los mates. . . . .	8
469. Propagacion al traves de los cuerpos diáfanos. . . . .	11
470. Refraccion del calórico. — Variaciones del calor en el espectro solar. — Polarizacion. . . . .	12

#### CAP. II. *Equilibrio de temperatura entre los cuerpos en contacto — Propagacion del calórico.*

473. Equilibrio de temperatura. . . . .	16
474. Leyes de propagacion del calórico. — Facultad conductriz. . . . .	17
478. Leyes del enfriamiento de los cuerpos. . . . .	21

#### CAP. III. *Dilatacion y contraccion de los cuerpos por la mudanza de temperatura.*

479. Ejemplos de la dilatacion. — Máximo de densidad. . . . .	24
484. Rotura de los cuerpos por su contraccion. — Id. por mudanza repentina de temperatura. . . . .	29
487. Termómetros y sus especies. — Su graduacion. . . . .	34
493. Pirómetros. . . . .	42

494. Péndulo de compensacion.—Máquina de vapor.	44
<b>CAP. IV. Absorción y desprendimiento de calórico por la dilatación, y condensación de los cuerpos.</b>	
499. Producción de frío mientras se dilatan los gases.	42
500. Producción de calor por la compresión.—Id. por el forjado de los metales.—Id. por el rozamiento.	53
503. Producción de calor ó frío por la mezcla de varias sustancias. . . . .	55
<b>CAP. V. Calórico combinado.</b>	
504. Idea de la fusión y gasificación.—Calórico combinado ó latente.—Calórico libre ó sensible. . . .	57
<b>ART. I. Fusión de los cuerpos.</b>	
506. Grados diferentes de fusibilidad de los cuerpos.	59
508. Cantidad de calórico combinado.—Baja de temperatura en los cuerpos circunvecinos . . . . .	61
<b>ART. II. Regreso de los líquidos al estado sólido.</b>	
510. Desprendimiento de calórico.—Variaciones de volumen . . . . .	63
<b>ART. III. Gasificación de los líquidos.</b>	
514. Evaporación en el vacío.—Elasticidad del vapor acuoso.—Evaporación en un intermedio. . . . .	67
519. Ebulición de varios líquidos.—Marmita de Papin.	72
521. Calórico combinado en la evaporación. . . . .	75
522. Frío producido por la evaporación.—Alcarrizas.—Congelación del agua. . . . .	76
<b>ART. IV. Regreso de los gases al estado líquido ó sólido.</b>	
524. Desprendimiento de calórico en este regreso. . . . .	78
525. Nieblas y nubes.—Humedad habitual de los cuerpos.—Rocío . . . . .	79
527. Higrometros.—Su construcción y especies. . . . .	82
<b>CAP. VI. Capacidad para el calórico.—Calórico específico.</b>	
530. Distribución del calórico. . . . .	86
531. Calórico específico.—Calorímetro de Lavoisier.	88

## LIBRO SEXTO,

## De la luz.

<b>CAP. I. De la luz directa ú Óptica.</b>	
533. Propagación de la luz. . . . .	96
536. Velocidad de la luz.—Aberración. . . . .	98
539. Leyes del decrecimiento de la intensidad de la luz.—Cuerpos transparentes y opacos. . . . .	99
540. Sombra de los cuerpos.—Fases de la luna. . . . .	103

542. Atracion y repulsion de la luz por los cuerpos.	105
<b>CAP. II. De la refraccion de la luz ó Dióptrica.</b>	
<b>ART. I. Consideraciones y definiciones generales.</b>	
543. Leyes fundamentales de la refraccion de la luz.	107
544. Variaciones del poder refringente de los cuerpos.	109
<b>ART. II. Refraccion en una superficie plana.</b>	
546. Cáusticas por refraccion. . . . .	111
547. Imagen de un objeto colocado en un medio mas refringente que el observador. — Angulo óptico.	112
548. Imagen de un objeto colocado en un medio menos refringente. . . . .	114
<b>ART. III. Refraccion en una superficie curva.</b>	
550. Efectos de la refraccion en una superficie convexa.—Foco de los rayos paralelos. . . . .	115
552. Imagen por refraccion.—Crepúsculo. . . . .	117
553. Refraccion en una superficie cóncava. . . . .	120
<b>ART. IV. Paso de la luz de un medio refringente á otro.</b>	
555. Refraccion en un cuerpo terminado por caras paralelas ó inclinadas entre sí. . . . .	121
557. Refraccion en un cuerpo plano-convexo. — Cámara oscura.—Vidrio de aumento. . . . .	122
558. Refraccion de un cuerpo biconvexo. — Aberracion de esfericidad. — Refraccion en un cuerpo plano-cóncavo ó bicóncavo . . . . .	124
<b>CAP. III. Del ojo y de la vision.</b>	
562. Idea del órgano de la vista. . . . .	127
563. Descripcion del ojo y sus funciones. . . . .	128
568. Modificacion de la vision por el tacto y la costumbre. — Ilusiones ópticas. . . . .	132
572. Nociones generales de perspectiva.—Panorama.	138
573. Defectos de la vista, y medios de remediarlos.	140
574. Anteojos periscópicos. . . . .	141
<b>CAP. IV. De la reflexion de la luz, ó Catóptrica.</b>	
<b>ART. I. Reflexion sobre superficies planas.</b>	
576. Ley general de la reflexion de la luz. . . . .	143
577. Posicion de la imagen de un cuerpo. . . . .	144
578. Multiplicidad de las imágenes entre dos espejos.	145
479. Multiplicidad de imágenes en un espejo comun.	147
580. Fenómeno llamado espejismo. . . . .	148
<b>ART. II. Reflexion sobre superficies convexas.</b>	
583. Cáusticas por reflexion.—Posicion de la imagen.	152
<b>ART. III. Reflexion sobre superficies cóncavas.</b>	
585. Foco de los rayos paralelos.—Reberveros.—Faros	153
586. Foco de los rayos divergentes. . . . .	154

587. Posicion de la imagen. . . . .	157
ART. IV. <i>Especjos prismáticos, cilindricos, piramidales y cónicos.</i> . . . . .	158
CAP. V. <i>De la doble refraccion.</i>	
589. Definicion. — Eje de doble refraccion. . . . .	160
592. Doble refraccion atractiva y repulsiva. . . . .	162
593. Sustancias de dos ejes de doble refraccion. . . . .	164
CAP. VI. <i>Polarizacion fija de la luz.</i>	
595. Propiedad particular que adquiere la luz al atravesar por un romboide de espato de Islandia. . . . .	166
597. Accion de la luz asi modificada. = Polarizacion. . . . .	169
599. Polarizacion de la luz al atravesar una serie de vidrios paralelos. . . . .	172
CAP. VII. <i>Polarizacion movil.</i>	
601. Definicion y experimentos fundamentales. . . . .	175
602. Leyes del fenómeno. — Teoria. — Modificaciones. . . . .	176
606. Acciones polarizantes secundarias. — Polarizacion rotatoria. . . . .	182
608. Polarizacion en los cuerpos incompletamente cristalizados. — Id. en los metales pulimentados. . . . .	138
CAP. VIII. <i>Descomposicion de la luz blanca en rayos coloreados.</i>	
610. Dispersion por un prisma. — Espectro solar. . . . .	185
612. Simplicidad de los rayos coloreados. . . . .	187
615. Recomposicion de la luz. — Colores compuestos. — Colores complementarios. . . . .	189
617. Dispersion por vidrios convexos. — Arco iris. . . . .	191
619. Prisma acromático. — Lentes acromáticas. . . . .	196
621. Descomposicion de la luz por láminas delgadas. — Anillos coloreados de Newton. . . . .	198
622. Acceso de facil reflexion, y de facil trasmision. . . . .	206
623. Difraccion de la luz. . . . .	207
CAP. IX. <i>Opacidad y colorido de los cuerpos.</i>	
624. Circunstancias de que depende la opacidad. . . . .	208
625. Circunstancias del colorido de los cuerpos. . . . .	211
626. Explicacion del colorido. — Colores accidentales. . . . .	219
CAP. X. <i>Instrumentos ópticos.</i>	
628. Definicion de estos instrumentos. . . . .	216
629. Microscopios. — Telescopios y anteojos. . . . .	217
632. Micrometro. — Cámara oscura y lucida. . . . .	219
635. Liuterna mágica. — Fantasmagoria. . . . .	222
637. Microscopio solar. — Colorigrado. . . . .	224
CAP. XI. <i>Origen de la luz.</i>	
629. Luz solar. — Id. producida en varias operaciones	

- químicas.—Meteoros luminosos.—Aurora boreal. 225  
643. Fosforescencia.—Su analogía con la electricidad. 226

## LIBRO SÉPTIMO.

*De la electricidad.*CAP. I. *Medios de producir la virtud eléctrica.*

647. Electricidad por frotacion.—Máquinas eléctricas. 230  
648. Electricidad por contacto.—Id. por compresion. 232  
650. Electricidad por calor — Electricidad animal. . 233

CAP. II. *De los fluidos eléctricos y sus propiedades.*

653. Hipótesis de Franklin y de Symmer. . . . . 234  
655. Propagacion del fluido. — Facultad conductriz. 236  
656. Estado eléctrico de los cuerpos por frotacion. . 238  
657. Atracciones y repulsiones. — Electrómetros. . . 240  
659. Balanza eléctrica. — Ley general. . . . . 242  
661. Combinacion ó paralización mútua. . . . . 244

CAP. III. *Distribucion del fluido eléctrico en los cuerpos.*

662. Expansion del fluido eléctrico. . . . . 245  
664. Distribucion del fluido.—Aplicacion del cálculo. 247  
660. Puntos y penachos luminosos eléctricos. . . . 252

CAP. IV. *Accion de los cuerpos electrizados sobre los que no lo estan.*

670. Chispa eléctrica. — Distancia explosiva.—Esfera de actividad.—Descomposicion. . . . . 253  
672. Accion de las puntas. . . . . 258  
675. Electróforo. — Condensador. . . . . 256

CAP. V. *Fenómenos de la electricidad acumulada.*

676. Acumulacion del fluido eléctrico en el condensador. . . . . 262  
677. Cuadro fulminante.—Botella de Leyden.—Bateria eléctrica. . . . . 267

CAP. VI. *Galvanismo.*

681. Fenómenos fundamentales. — Construccion y teoria de la pila de Volta. . . . . 269  
684. Identidad del fluido de la pila con el eléctrico. . 276  
686. Combustion de los metales, y descomposicion de los cuerpos. . . . . 278

CAP. VII. *Electricidad producida por el calor.*

688. Propiedad de la turmalina y otros minerales. . 282

CAP. VIII. *Electricidad de ciertos pescados.*

690. Pescados eléctricos. — Forma y posicion del órgano eléctrico. . . . . 287

<b>CAP. IX. Del rayo.</b>	
692. Identidad del rayo con la electricidad. — Pararayos. . . . .	288
695. Choque de retroceso. — Ruido del trueno. — Granizo. . . . .	291
<b>CAP. X. Efectos de la electricidad sobre la economía animal y vegetal.</b>	
698. Modo de concebir estos efectos. . . . .	293
699. Aplicacion de la electricidad á la medicina. . . . .	294
<b>CAP. XI. Fenómenos de las corrientes eléctricas.</b>	
702. Definicion de estas corrientes. . . . .	296
703. Atracciones y repulsiones de los hilos conductores. — Movimiento continuo de rotacion. . . . .	298
706. Accion del globo sobre los hilos conductores. — Aparato dirigido segun el meridiano magnético. . . . .	303
712. Accion mútua de dos agujas. — Aparato compensador. . . . .	317
<b>CAP. XII. Fenómenos del iman.</b>	
715. Nociones preliminares. — Imanes artificiales . . . . .	314
716. Direccion á los polos. — Meridiano y ecuador magnéticos. — Declinacion. — Inclinacion. . . . .	316
718. Atracciones y repulsiones magnéticas. . . . .	318
719. Accion recíproca de las agujas imanadas y las corrientes eléctricas. — Aguja astática. . . . .	319
720. Accion de un hilo conductor vertical sobre un iman . . . . .	322
721. Centros de accion de una barra imanada. . . . .	323
722. Ley de las atracciones y repulsiones magnéticas. — Imanacion. — Puntos consecuentes. . . . .	324
<b>CAP. XIII. Magnetismo del globo terrestre.</b>	
723. Comunicacion de la virtud magnética por la accion del globo. . . . .	326
724. Variaciones de la aguja magnética. . . . .	327
727. Intensidad de la accion magnética del globo. . . . .	331
<i>Adiciones</i> . . . . .	333

# ERRATAS.

## TOMO PRIMERO.

<u>Pág.</u>	<u>Lin.</u>	<u>Dice</u>	<u>Debe decir</u>
22	11	que se solicitan	que solicitan
67	25	en punto <i>a</i>	en el punto <i>a</i>
75	33	50 grados	50° que hacen 45° comunes,
103	4	y que se divide	que se divide
122	10	5,1684 lin. cúb. españolas.	133,032 lin. cúb. españolas
223	27	con la de los	con los
225	7	reduciéndose	reduciéndola
278	23	de las cuales	de los cuales
181	22	<i>Pn</i>	<i>pn</i>
id.	27	<i>Pm=ca</i>	<i>pm=ca</i>
294	25	<i>p=b—a</i>	<i>p=a—b</i>
355	15	<i>ab</i>	<i>ac</i>
id.	18	en <i>D</i> un surtidor	en <i>A</i> un surtidor <i>D</i>
id.	21	<i>F</i>	<i>B</i>
361	11	figura 152	figura 153

## TOMO SEGUNDO.

9	23	10°	10, 5°
12	6	color	calor
14	14	color	calor
63	33	elevarse	helarse
66	5	muchos grados sobre cero	algunos grados bajo cero
85	26	(figura 185)	(figura 183)
87	19	0° líquido	de 0° sólido á 0° líquido
90	22	<i>aaa</i>	<i>aaa</i> (figura 175)
98	9	al plano	al objeto
145	9	<i>ac'=ca</i>	<i>a'c=ca</i>
id.	18	<i>ba'</i>	<i>ab'</i>
220	33	luminoso, luego	luminoso <i>de</i> , luego
221	11	<i>bc</i> sobre	<i>bc</i> como sobre
id.	13	objeto	ojo
222	7	figura 230	figura 240
id.	14	<i>FG</i>	<i>HG</i>
id.	15	y va á reflexarla al espejo	y la que reflexa el espejo
id.	23	<i>NZ</i>	<i>NP</i>
224	17	convexo	cóncavo
234	16	Ultimamente	552. Ultimamente
261	10	posiciones	porciones
277	12	sensible para	sensible sino para
291	7	figura 248	figura 258
319	30	de <i>C</i> á <i>B</i> ó de <i>B</i> á <i>C</i>	de <i>C</i> á <i>D</i> ó de <i>D</i> á <i>C</i>
325	19	figura 251	figura 265

Nº	Art.	Nº	Art.
235	Agua 251	11	Agua 133
236	de C. H. de H. A. C.	12	de D. un entidad
237	Agua 252	13	de un entidad D.
238	de C. H. de H. A. C.	14	de un entidad
239	Agua 253	15	de un entidad
240	de C. H. de H. A. C.	16	de un entidad
241	de C. H. de H. A. C.	17	de un entidad
242	de C. H. de H. A. C.	18	de un entidad
243	de C. H. de H. A. C.	19	de un entidad
244	de C. H. de H. A. C.	20	de un entidad
245	de C. H. de H. A. C.	21	de un entidad
246	de C. H. de H. A. C.	22	de un entidad
247	de C. H. de H. A. C.	23	de un entidad
248	de C. H. de H. A. C.	24	de un entidad
249	de C. H. de H. A. C.	25	de un entidad
250	de C. H. de H. A. C.	26	de un entidad
251	de C. H. de H. A. C.	27	de un entidad
252	de C. H. de H. A. C.	28	de un entidad
253	de C. H. de H. A. C.	29	de un entidad
254	de C. H. de H. A. C.	30	de un entidad
255	de C. H. de H. A. C.	31	de un entidad
256	de C. H. de H. A. C.	32	de un entidad
257	de C. H. de H. A. C.	33	de un entidad
258	de C. H. de H. A. C.	34	de un entidad
259	de C. H. de H. A. C.	35	de un entidad
260	de C. H. de H. A. C.	36	de un entidad
261	de C. H. de H. A. C.	37	de un entidad
262	de C. H. de H. A. C.	38	de un entidad
263	de C. H. de H. A. C.	39	de un entidad
264	de C. H. de H. A. C.	40	de un entidad
265	de C. H. de H. A. C.	41	de un entidad
266	de C. H. de H. A. C.	42	de un entidad
267	de C. H. de H. A. C.	43	de un entidad
268	de C. H. de H. A. C.	44	de un entidad
269	de C. H. de H. A. C.	45	de un entidad
270	de C. H. de H. A. C.	46	de un entidad
271	de C. H. de H. A. C.	47	de un entidad
272	de C. H. de H. A. C.	48	de un entidad
273	de C. H. de H. A. C.	49	de un entidad
274	de C. H. de H. A. C.	50	de un entidad
275	de C. H. de H. A. C.	51	de un entidad
276	de C. H. de H. A. C.	52	de un entidad
277	de C. H. de H. A. C.	53	de un entidad
278	de C. H. de H. A. C.	54	de un entidad
279	de C. H. de H. A. C.	55	de un entidad
280	de C. H. de H. A. C.	56	de un entidad
281	de C. H. de H. A. C.	57	de un entidad
282	de C. H. de H. A. C.	58	de un entidad
283	de C. H. de H. A. C.	59	de un entidad
284	de C. H. de H. A. C.	60	de un entidad
285	de C. H. de H. A. C.	61	de un entidad
286	de C. H. de H. A. C.	62	de un entidad
287	de C. H. de H. A. C.	63	de un entidad
288	de C. H. de H. A. C.	64	de un entidad
289	de C. H. de H. A. C.	65	de un entidad
290	de C. H. de H. A. C.	66	de un entidad
291	de C. H. de H. A. C.	67	de un entidad
292	de C. H. de H. A. C.	68	de un entidad
293	de C. H. de H. A. C.	69	de un entidad
294	de C. H. de H. A. C.	70	de un entidad
295	de C. H. de H. A. C.	71	de un entidad
296	de C. H. de H. A. C.	72	de un entidad
297	de C. H. de H. A. C.	73	de un entidad
298	de C. H. de H. A. C.	74	de un entidad
299	de C. H. de H. A. C.	75	de un entidad
300	de C. H. de H. A. C.	76	de un entidad
301	de C. H. de H. A. C.	77	de un entidad
302	de C. H. de H. A. C.	78	de un entidad
303	de C. H. de H. A. C.	79	de un entidad
304	de C. H. de H. A. C.	80	de un entidad
305	de C. H. de H. A. C.	81	de un entidad
306	de C. H. de H. A. C.	82	de un entidad
307	de C. H. de H. A. C.	83	de un entidad
308	de C. H. de H. A. C.	84	de un entidad
309	de C. H. de H. A. C.	85	de un entidad
310	de C. H. de H. A. C.	86	de un entidad
311	de C. H. de H. A. C.	87	de un entidad
312	de C. H. de H. A. C.	88	de un entidad
313	de C. H. de H. A. C.	89	de un entidad
314	de C. H. de H. A. C.	90	de un entidad
315	de C. H. de H. A. C.	91	de un entidad
316	de C. H. de H. A. C.	92	de un entidad
317	de C. H. de H. A. C.	93	de un entidad
318	de C. H. de H. A. C.	94	de un entidad
319	de C. H. de H. A. C.	95	de un entidad
320	de C. H. de H. A. C.	96	de un entidad
321	de C. H. de H. A. C.	97	de un entidad
322	de C. H. de H. A. C.	98	de un entidad
323	de C. H. de H. A. C.	99	de un entidad
324	de C. H. de H. A. C.	100	de un entidad

TOMO SEGUNDO

# NUEVAS ADICIONES

A L

## TRATADO ELEMENTAL DE FISICA

ESCRITO EN FRANCÉS POR MR. BEUDANT,

Y TRADUCIDO AL CASTELLANO

POR DON NICOLAS ARIAS,

hechas con arreglo á la quinta y última edicion de París.



MADRID, FEBRERO DE 1834.

IMPRENTA DE D. M. DE BURGOS.

NUEVAS ADICIONES

A L

TRATADO ELEMENTAL DE FISICA

ESCRITO EN FRANCÉS POR M. BRUDANT,

Y TRADUCIDO AL CASTELLANO

POR DON NICOLAS ARIAS.

hechas con arreglo á la quinta y última edición de París.



MADRID, febrero de 1834.

IMPRENTA DE D. M. DE BURGOS.

## ADVERTENCIA.

---

*El haberse hecho una nueva edición del Bèudant en Paris ha motivado estas adiciones; pero como mas bien que tal edición puede llamarse reimpression, pues solo tiene tres páginas nuevas en toda la obra, he tenido que añadir otras adiciones á las tres levísimas que pone el autor. Así pues, los que tengan la traducción hecha y publicada por mi, con este corto opúsculo pueden asegurar tener en su poder la quinta y última edición francesa, amplificada notablemente. Las otras seis adiciones son enteramente un trabajo nuevo, dirigido á que la juventud se aplique é investigue por sí misma algunos ramos de las ciencias naturales.*

## ADVERTENCIA.

El haberse hecho una nueva edición del *Boudant* en París ha motivado estas adiciones; pero como mas bien que tal edición puede llamarse reimpression, pues solo tiene tres paginas nuevas en toda la obra, he tenido que añadir otras adiciones á las tres lecciones que pone el autor. Así pues, los que tengan la traduccion hecha y publicada por mí, con este corto epísculo pueden asegurar tener en su poder la quinta y última edición francesa, amplificada notablemente. Las otras seis adiciones son enteramente un trabajo nuevo, dirigido á que la juventud se aplique é investigue por sí misma algunos ramos de las ciencias naturales.

## INTRODUCCION.

El mejor prólogo al opúsculo que presentó, me parece sin duda será una brevísima ojeada sobre el estado de la física entre nosotros, al menos desde principios del siglo actual en el que, así esta como las demas ciencias naturales, han hecho maravillosos progresos en el extranjero.

Al principio de este siglo existia en esta Córte una cátedra especial de química, al cargo de don Luis Proust, en la que tambien se daban algunas nociones de física experimental. Existian igualmente cátedras de este ramo con sus competentes gabinetes en el Real seminario de Nobles, y en los estudios públicos de san Isidro. Se empleaba en la enseñanza un año ó curso regular, como sucedia en la cátedra establecida en Segovia con destino á los alumnos del Real cuerpo de Artillería.

Vino la memorable época de 1808, en que la Nacion Española, despreciando todas las ventajas que el vencedor de Marengo la ofrecia, solo consultó á su decision y patriotismo, y solo atendió á la conservacion de su independenciam y dignidad nacional, consiguiendo á fuerza de heróicos sacrificios no verse sujeta al duro yugo del despotismo militar. Pero, ¿cuan cara pagó esta gloria! Todo cuanto habia adelantado en ciencias, artes é industria, se vió perdido por los desastres de una lucha exterminadora y sin ejemplo.

Mucho tardaron en restablecerse algunos de los pocos establecimientos científicos y literarios que existian antes, y aun algunos no han vuelto todavia á su primitivo grado de esplendor. Sin embargo, las ciencias físicas no fueron en esto las mas desafortunadas. El Sermo. Sr. Infante D. Antonio habia adquirido en su cautiverio una extraordinaria aficion al estudio de la física y de la química. Formando á toda costa un completo y grandioso laboratorio químico, y un gabinete fisico, trajo tambien al digno profesor don Juan Mieg, para que no solo cuidase de ambos, sino instruyese á una escogida parte de la juventud española. Llevó su benéfico amor á la ciencia hasta el extremo de admitir á las lecciones de su Real estudio, presididas por S. A. en persona, á unos cuantos jóvenes. Treinta alumnos ó discípulos

de número, y otros tantos oyentes, mitad militares y mitad paisanos, fue el número últimamente señalado para disfrutar de tan singular beneficio. Parte de los oyentes eran profesores ya formados en varios ramos análogos, á quienes se llamaba para que adquiriesen mas solidez en sus conocimientos viendo las operaciones prácticamente. Los jóvenes alumnos debían reunir ciertas circunstancias oportunas para que, formándose en aquella escuela, fuesen con el tiempo buenos profesores.

Duraba la enseñanza cuatro años, dos para la química y otros dos para la física. Un dia se explicaba la lección con toda prolijidad, y al siguiente se repetían los experimentos, ó se hacían las operaciones que nó podían presentarse en la cátedra. No se escaseaba ningun gasto para hacer cuantos experimentos y manipulaciones exigía la materia de que se trataba.

Muchos de los jóvenes que allí estudiaron ocupan ahora puestos que solo deben á la generosidad de tan benéfico personaje, que estimuló su aplicación y dió á conocer su mérito. Don Antonio Moreño, que se halla al frente de la farmacia española: don Alejandro Olivan, que desempeña la cátedra de química aplicada á las artes en la Habana: don Saturnino Montojo, primer ayudante del observatorio astronómico de san Fernando: don Francisco Martinez Robles, que ejerce una cátedra de agricultura, y otros muchos que omito en obsequio de la brevedad, allí estudiaron los elementos de las ciencias naturales que luego desarrollaron en sus respectivas carreras.

Yo tambien tuve, aunque sin méritos por mi parte, el honor de asistir, primero como oyente y despues como discípulo numerario, á gran parte del curso de química, y á todo el que se explicó de física. Allí adquirí las cortas luces que poseo en la materia, á par de la sobrada afición que me arrastra, acaso demasiado, si en ciencias cabe demasía.

¡Qué de opimos frutos hubiera producido semejante establecimiento con los preciosos elementos que le constituían! Y ¿cómo hubiera sido posible que dejase de llenar el grandioso objeto que su augusto fundador se proponía? Pero, ¡oh fatalidad humana! ni aun siquiera tuvo S. A. el placer de ver completa la primera de las enseñanzas que estableció, la química. La inexorable Parca arrebató á las ciencias naturales un distinguido Mecenas, un celoso protector, que hubiera sido la égida de sus profesores, y siempre hubiera cubierto con su poderoso influjo de todo ataque á las pacíficas y encantadoras química y física. Reciba pues, ya que no sea dado otra cosa, este leve pero público homenaje de gratitud que por mi mano, aunque poco digna de tan alto honor, le consagran cuantos han saludado los estudios de la naturaleza en nuestro suelo.

Nuestro difunto Soberano el Señor Don Fernando VII (Q. D. D. G.) tomó bajo su protección el establecimiento, y la malograda Isabel de Braganza sucedió á su benéfico tío en los cuidados del mismo con igual afición, hasta su temprana muerte. Pero cuando estaba la cátedra del Real palacio en su mayor auge, vinieron los sucesos del año 1820, y por una fatalidad inexplicable se cerró el establecimiento. Dispersáronse los alumnos para nunca más reunirse, y se distribuyeron con harto dolor del profesor y de los mismos discípulos los tres ramos que se habian reunido química, física y mineralogía. Los instrumentos y aparatos de física, después de andar errantes por varios puntos, por *sótanos* y *desvanes*, han vuelto al fin á colocarse en el Real palacio, en un nuevo gabinete que no presenta mas que un árido esqueleto, una sombra de lo que fue.

En el año 1821 se refundieron las cátedras del Real palacio y seminario en la universidad Central, poniéndose la asignatura de física á cargo del referido don Juan Mieg, que la desempeñó con igual esmero que antes. También siguió la cátedra de los estudios de S. Isidro. Además, la asociación conocida con el nombre de *Ateneo Español* estableció un gabinete y cátedra de pequeños recursos al principio, pero que paulatina y sucesivamente se proponía enriquecer. Desempeñaba la enseñanza con acierto uno de los alumnos del Real palacio, el referido don Saturnino Montojo.

Las nuevas vicisitudes de 1825 volvieron á suspender los estudios de tan ameno ramo, destruyendo las dos cátedras de la universidad y del Ateneo. Duró la suspensión hasta que, restablecido el orden, volvieron los PP. de la compañía de Jesus á plantear la cátedra del seminario de Nobles, para solo los seminaristas, y tomaron á su cargo la pública de S. Isidro, única que hay en esta Corte. Digo única, porque en el Real Colegio de farmacia, aunque se enseña física, solo es con aplicación al objeto principal del Instituto, y en un tiempo sumamente limitado. Lo mismo sucede en los demas Colegios de farmacia del reino.

No obstante, no debo pasar en silencio la cátedra que en el Real conservatorio de artes desempeña don Antonio Gutierrez, que, como es notorio, ocupa justamente el primer lugar entre los profesores españoles, de ciencias exactas y naturales. A los muchos servicios que su infatigabilidad las ha prestado, especialmente á la física, instruyendo siempre á todos con la mayor generosidad y desinterés, se añade actualmente el de que en su cátedra, á pesar de que la asignatura es puramente de aplicación á las artes, se hacen cuantos experimentos es posible sobre todos los ramos y teorías de la ciencia. Otras varias cátedras

de esta misma naturaleza se han mandado establecer en las provincias

Tambien creo oportuno citar en este lugar la existencia de otro gabinete de fisica que actualmente está formando en el mismo Real palacio S. A. el Sermo. Sr. Infante D. Sebastian, quien muestra mucha aficion á las ciencias naturales, aficion que no puede menos de mirarse como de buen agüero para la futura suerte de tan útiles ramos del humano saber. ¡Ojala el irresistible embeleso que lleva consigo tan hermoso estudio haga de S. A. un nuevo protector ilustrado de las ciencias!

Tal ha sido la suerte de la fisica en la capital, y tal es su estado presente. En las provincias, por punto general, solo se enseña este ramo en las universidades; pero no en todas es la fisica experimental, sino la razonada ó escolástica, sin aparatos, sin experimentos. No es esto decir que no haya en algunos puntos profesores beneméritos ó instruidos; pero no habiendo gabinetes puede mirarse como ilusorio el estudio de estas ciencias.

En Barcelona es donde tengo entendido se enseñan las ciencias naturales con alguna extension, existiendo formada una academia de ellas, pensamiento que seria de desear se imitase en esta Corte. Se ven pues adelantos y aplicaciones de estos ramos allí, y se enseña un año de química y otro de fisica experimental. A pesar de que el principal objeto de estas enseñanzas es la aplicacion de las ciencias naturales á las artes y á la industria tan adelantada en aquel laborioso pais, se dá en lo posible toda la extension á las doctrinas, y se hacen cuantos experimentos permite un buen gabinete puesto en manos de un profesor hábil, don Pedro Vieta, que es en su línea de los de primer orden y goza de reputacion por decirlo así europea.

Hace poco tiempo los PP. de la compañía de Jesus han establecido en Valencia un colegio ó seminario, análogo al de Nobles de aquí, y en el cual enseñan, como en éste, un curso de fisica. En Alcoy se enseña tambien la fisica y mecánica con aplicacion á las artes, por el benemérito profesor don José Subercase. Ignoro si hay algun otro establecimiento público en España destinada á la enseñanza de la fisica, y solo sé que hay algunos gabinetes particulares, siendo digno de notarse el que posee en esta Corte el señor don Francisco Orlando, distinguido aficionado á las ciencias físicas, y sugeto instruido en diversas materias.

De todo lo dicho resulta que el estudio de la fisica no se halla en el grado que por sí requiere, faltando mas que todo, una cátedra ó escuela central, donde se enseñe con toda extension, y donde puedan formarse profesores que despues difundan los conocimientos de este ramo indispensable en el dia para hacer progresos en las ciencias naturales, comprender las que

necesitan su auxilio, tales como la medicina y farmacia, y adelantar en las artes é industria. Es indispensable, repito, pues en el dia todos reconocen que los progresos de estos ramos citados dependen en mucha parte de los conocimientos elementales de aquellas.

Es de esperar que la decidida protección que nuestra amada reina gobernadora, la excelsa Señora Doña Maria Cristina, ha dispensado á la ilustracion general desde los primeros momentos de su bienhechor gobierno, no deje este ramo en el olvido. Por de pronto es una buena prueba de su amor á las ciencias el haber libertado de toda traba la publicacion de escritos relativos á ellas, y el solícito celo con que se esmera en remover cuantos obstáculos se oponen á su enseñanza\*. Sería una ingratitud no manifestar esta dulce esperanza en uno de los primeros escritos que disfrutan de tan importante beneficio, debido á la generosidad de la benéfica madre de nuestra legítima reina Doña Isabel II.<sup>a</sup> y de todos los españoles. La juventud española debe redoblar todos sus esfuerzos en hacerse digna de merecer su protección estudiando sin cesar, á fin de que el reinado de su tierna Soberana sea, al par que el de la paz y felicidad de España, el de las ciencias y las letras. Perdónese esta breve digresion, hija de la lealtad, y volvamos al asunto principal.

El irresistible atractivo que por sí solo tiene el estudio de la física, lo útil y dulce de sus experimentos, que hacen, digámoslo así; entrar la ciencia por los ojos; las frecuentes comunicaciones de los españoles con los países extranjeros, donde las ciencias naturales están en un grado de esplendor difícil de concebir entre nosotros; y los rápidos progresos que por ellas han hecho la industria, las artes y otros importantes ramos, han creado entre nosotros, ya que no conocimientos muy profundos, á lo menos una decidida aficion á iniciarse en los secretos de la naturaleza, y

---

\* Despues de escrito todo este opúsculo, y en confirmacion de las fundadas esperanzas que la inmortal María Cristina hace concebir, he tenido la satisfacion de saber ha prestado su sancion al establecimiento de una *Academia de Ciencias Naturales* en esta Corte, academia que para corresponder de un modo digno á tamaño beneficio, no dudo rivalizará con la nacional ya citada de Barcelona y con las mas acreditadas extranjeras. Los individuos que celosos del bien público y deseosos del adelanto de las ciencias han coincidido por decirlo así con mi pensamiento, y han establecido tan hermosa institucion, merecen que sus nombres no queden entregados al olvido, por lo que aproveché gustoso la ocasion de trasmitirlos á los aficionados á las ciencias, ya que no me sea permitido hacerlo á los demas humanos. Son ya conocidos muchos de ellos en nuestra literatura y entre los profesores de ciencias, y á los demas acaso les impedirá serlo una excesiva modestia. He aqui sus nombres: Excmo. señor don José Virues y Spínola; don Antonio Sandalio de Arias; don Manuel Codorniu; don José Duro; don Antonio Ortiz de Traspeña; don Mariano Delgras; don Francisco Fabra; don José Calvo y Araujo, y don Nemesio de la Llana.

aunque sea sin entenderlas, todos hablamos de química, de física y de ciencias naturales.

De aquí el convencimiento de la necesidad de libros elementales en que aprender sus principios, y de ver experimentos que confirmen las teorías. Esto fue lo que me movió á traducir el *Curso de física de Mr. Beudant*, como el mas á propósito para el objeto. El éxito ha justificado mis esperanzas, pues la mayor parte de los profesores le recomiendan á sus discípulos, habiendo merecido que se designe por texto en las cátedras que dependen del Real Conservatorio de Artes. No es una obra que nada deje que desear, pero sí un guia fiel que conduce por la verdadera senda á los estudiosos, poniéndolos al corriente de los conocimientos actuales, por un método fácil y al alcance de todos.

No perdiendo nunca de vista mi primordial objeto, y hallándome en disposición de seguir el hilo de los descubrimientos modernos, he formado las siguientes adiciones para trasmitirlos á mis compatriotas. Pocos son en verdad por la naturaleza misma de la ciencia inmutable en sus principios, pero cada uno abre un vasto campo á la observacion y al cálculo.

Presento pues al público las cortas adiciones que he podido entresacar en el examen de varias obras modernas. Si mis tareas son útiles á alguno de los que se dedican á tan ameno, instructivo y utilísimo ramo de los conocimientos humanos, quedarán recompensados bastantemente mis desvelos, y conseguido mi objeto de difundir la afición y los conocimientos físicos entre la juventud de mi patria.

*Nicolás Arias.*

---

---

# NUEVAS ADICIONES

AL

## TRATADO ELEMENTAL DE FISICA

DE MR. BEUDANT.

### PRIMERA. *Gravitacion.*

*Párrafo 84 (primer tomo). Peso específico de los sólidos.* — Hay dos modos de reducir el agua y los cuerpos sólidos al mismo volúmen; pero solo citaremos uno por ahora, reservándonos el otro para el libro III, capítulo VIII.

Se pesa desde luego el cuerpo propuesto; despues se toma un frasco de boca ancha cerrado ajustadamente, se le llena del todo con agua, se tapa y seca bien por fuera: en seguida se coloca este frasco en el platillo de una balanza muy exacta con el cuerpo sólido propuesto, y se pesa el conjunto.

Hecho esto, se sumerge el cuerpo en el frasco: evidentemente se derrama ó sale un volúmen de agua igual al del cuerpo. Entonces se vuelve á tapar el frasco, se le seca bien como antes, y se pesa de nuevo. Es innegable que, la diferencia entre el peso actual y el primitivo, representa el peso del volúmen de agua desalojado. Se tiene pues el peso del agua y el peso del cuerpo en igualdad de volúmenes, y no se trata ya sino de hallar su relacion por medio de una simple proporcion.

Para hacernos entender mejor, tomemos un ejemplo. Supongamos un pedazo de plomo del peso de 10 onzas, y un frasco lleno de agua. Pesados juntos, se ha hallado que fras-

co y metal pesan 25 onzas: se sumerge el metal en el frasco, y despues de bien tapado y secado, se pesa nuevamente, hallando que solo pesa 24,119 onzas. Resulta que el peso del volúmen de agua desalojada, es 0,881 onzas, y se tiene

$$p = 0,881.$$

$$p' = 10.$$

La proporción  $p : p' :: 1 : x$  se convierte

$$\text{en } 0,881 : 10 :: 1 : x = \frac{10}{0,881} = 11,33.$$

Resulta que 11,33 es el peso específico del plomo.

*Precauciones que deben tomarse.* = Cuando se quiere determinar el peso específico de un cuerpo, es preciso decidir de antemano si se considerarán los poros ó vacíos que contiene como inherentes á su naturaleza, ó si se mirarán como accidentales, y por consiguiente deberán descontarse para solo atender á la materia pura. En el primer caso, es preciso tomar algunas precauciones respecto de los cuerpos capaces de embeber el líquido, pues es indudable que en el primer modo de operar, el volúmen del líquido desalojado del frasco no es igual al volúmen del cuerpo, y en los demas la pérdida que se observa es mas pequeña que la efectiva. Para evitar el error que se cometeria, es preciso pesar de nuevo el cuerpo despues del embebimiento, y añadir al peso hallado para el líquido desalojado el de este mismo líquido que ha penetrado en los poros.

En el segundo caso, en que se considera á los poros como accidentales, es necesario cuando el cuerpo es susceptible de empaparse, dejarle tomar todo el líquido que pueda absorber, antes de determinar el peso del líquido desalojado, porque entonces no se tiene realmente mas que el desalojamiento causado por la materia. Pero hay cuerpos porosos que no son susceptibles de embeber el agua: desde luego, si se quieren descontar los poros que aumentan su volúmen, no hay mas recurso que reducirlos á polvo; por este medio se destruye el modo de agregacion que originaba estos poros, y se logra en lo posible poner la materia en su densidad real y efectiva. Descontando asi los vacíos que pueden hallarse accidentalmente en un cuerpo, se obtiene lo que pue-

de llamarse *peso específico absoluto* del cuerpo que se examina. Del otro modo solo se obtiene un *peso específico relativo* al modo de agregacion ú organizacion, que es muchas veces variable para un mismo cuerpo.

El *peso específico absoluto* es importante cuando se le quiere emplear como carácter, para distinguir diferentes cuerpos entre sí y reconocerlos á pesar de las variaciones de su estructura interior. El *peso específico relativo* ofrece al contrario un dato muy interesante para una multitud de circunstancias en que hay que atender mas al volúmen exterior del cuerpo que á la cantidad real de materia que encierra.

Terminaremos esta adición con el párrafo del capítulo VII libro III, que se cita al principio, y es el 327 tomo primero.

327. *Principios de la determinacion del peso específico de los sólidos.* = En el conocimiento del fenómeno físico, que los cuerpos sólidos pierden al sumergirse en un liquido una parte de su peso igual al del volúmen líquido que desalojan, se funda el segundo método de hallar el peso específico de un cuerpo, como ya hemos anunciado (84).

Después de pesar un cuerpo en el aire, se pesa en el agua; la diferencia entre el primer peso y el segundo es el peso del volúmen líquido desalojado; pero este volúmen es igual al del cuerpo; luego se tiene el peso del agua y del cuerpo en igualdad de volúmen, y por consiguiente se puede establecer la proporcion  $p$  (peso del agua) :  $p'$  (peso del cuerpo) :: 1 (peso específico del agua) :  $x$  (peso específico del cuerpo).

328. En este método, así como en el otro, es preciso tener presentes las mismas observaciones que se hicieron sobre los cuerpos porosos.

con que están preparadas, mejor que las de otras especies.

SEGUNDA. *Porosidad.*

Párrafo 145 (primer tomo). = Se llaman *poros* las pequenísimas cavidades que existen en el interior de todos los cuerpos sólidos. En el estado actual de la ciencia pueden distinguirse dos especies de porosidad: una accidental que

depende del modo de agregacion ú organizacion de las partículas materiales, y de una multitud de circunstancias accidentales; otra inherente á la materia ó que nace de la naturaleza misma de los cuerpos, segun parece, y que puede existir conjuntamente con la accidental.

146. *Pruebas de la porosidad.* — La facultad que poseen ciertos cuerpos de dejar pasar á tal ó cual líquido, es una prueba evidente de la porosidad. Hay un gran número de ellos que son susceptibles de este fenómeno. Tales son entre otros las piedras calizas y varias areniscas, que sirven en la fontanería para *filtros*, porque dejan pasar el agua con facilidad ó se empapan en ella cuando se las deja sumergidas en un depósito de este líquido. Tales son tambien la mayor parte de los sólidos que provienen de los cuerpos orgánicos, como la madera, varios tejidos vegetales, la piel despojada de la epidermis, &c. &c.

Otros cuerpos que no se dejan penetrar por el agua manifiestan su porosidad por la facilidad con que se empapan en otros líquidos. Los mármoles estatuarios, por ejemplo, á quienes el agua no penetra sensiblemente, son penetrados por el aceite y por los cuerpos crasos fundidos ó derretidos.

Hay tambien algunos cuerpos que contienen muy bien los líquidos en los casos ordinarios, pero que se dejan penetrar de ellos, y aun les dejan paso mediante la aplicacion de una fuerte presion. Los metales, por ejemplo, se hallan en este caso. Si despues de llenar un vaso metálico de paredes delgadas con agua, y teparle herméticamente, se le somete á una fuerte presion, se verá al líquido sudar ó rezumarse por la superficie del vaso. No todos los metales presentan en este fenómeno el mismo grado: unos son mas porosos que otros, y aun su porosidad varía segun el modo con que están preparados, modo que les da diversa estructura interna en un caso que en otro. La fundicion de hierro es una de las materias metálicas mas porosas, de suerte que no puede emplearse en algunos usos, tal como para cilindros de prensas hidráulicas, sin forrarla interiormente con cobre.

La porosidad de ciertos cuerpos se prueba tambien por la mayor ó menor pesantez específica que presentan segun

la diversidad de su estructura interior. Los metales fundidos, cuyo interior es muy cristalino, son específicamente mas ligeros que cuando se hallan forjados ó estirados en hilos. En las sustancias naturales, aquellas variedades que tienen estructura laminosa, fibrosa ó granular, ofrecen menor pesantez específica que las variedades compactas. Asi es que para obtener de la pesantez específica un carácter constante, es preciso tomar en consideracion los *poros* ó pequeños vacíos que las diversas variedades pueden contener (*Véase adición primera y párrafo 85*).

Los ejemplos que acabamos de citar únicamente pueden establecer la porosidad accidental. En cuanto á la porosidad que parece ser inherente á todos los cuerpos, se deduce de varias circunstancias que son difíciles de explicar de otro modo. Se funda particularmente en que todos los cuerpos, por compactos que sean en apariencia, y cualquiera que sea la dificultad que opongan á dejar pasar los líquidos y aun los fluidos aeriformes, todos son susceptibles al pasar de una temperatura á otra mas baja de disminuir en volúmen. En efecto, para explicar este fenómeno es preciso concebir que á la temperatura en que se hallaba el cuerpo tenia varios vacíos en su interior, para que las moléculas hayan podido aproximarse unas á otras mas de lo que estaban. Es tambien preciso que estos vacíos sean bastante considerables para que el cuerpo tenga la propiedad de contraerse continuamente á medida que conseguimos enfriarle mas y mas. Ha llegado hasta á concebirse que existian mas *vacíos* que *llenos* (digámoslo así) en el interior de los cuerpos, ó en otros términos, que la distancia entre las moléculas materiales era incomparablemente mayor que los diámetros de las mismas moléculas. Se admite especialmente este principio para hacer entrar á la atraccion molecular en la misma ley que la atraccion planetaria que obra en razon inversa del cuadrado de las distancias.

### TERCERA. *Sonido.*

*Párrafo 389 al final (tomo primero).*—La velocidad del sonido en los líquidos está determinada por una fórmula algebraica que es función de la densidad y de la compresibilidad del líquido. Pero esta fórmula no ha sido rigurosamente confirmada por la experiencia hasta hace poco tiempo. Mr. Colladon, en consecuencia de un trabajo hecho en unión con Mr. Sturm sobre la compresión de los líquidos, ha hallado en virtud de experimentos verificados en el lago de Ginebra, que la velocidad del sonido á la temperatura de 8° era 1435 metros (1716,7 vs.) por segundo. Introduciendo en la fórmula la densidad de las aguas del lago á dicha temperatura y su compresibilidad hallada por experiencia, el cálculo da 1428 metros (1708,4 vs.) La diferencia entra en el límite de los errores posibles de observación. Beudant hizo en 1812 observaciones y experimentos en el mar por los cuales ha creído poder fijar la velocidad del sonido en 1500 metros (1800 vs.), y aun la ha juzgado algo débil ó menor de lo que en realidad es. Mr. Cagniard-Latour en varios experimentos nuevos sobre la vibración de los líquidos ha obtenido la misma velocidad que yo.

NOTA. *Estas son las tres únicas adiciones que Mr. Beudant ha hecho en la 5.ª edición de su tratado. Las que siguen son enteramente nuevas y recopiladas de otras obras y observaciones.*

### CUARTA. *Gravedad específica.*

*Párrafo 86 (primer tomo).*—En las obras de física se ven tablas de los pesos específicos de los sólidos y líquidos referidos al agua por unidad, y de los gases referidos al aire atmosférico; pero no he visto ninguna en que esten relacionados entre sí. Creo que á veces convendrá tener una tabla general de ellos, para á simple vista hallar la relación de los pesos específicos de los cuerpos, ya sea en estado sólido, líquido ó gaseoso. A este fin he formado la siguiente, refi-

riendo todos los cuerpos al agua cuyo peso específico es la unidad. Debo advertir, que el de los gases está á 0° de temperatura, y el del vapor acuoso á 100°, que es á la que se forma.

## T A B L A.

Platino.	{ forjado. . . . .	23,
	{ fundido. . . . .	20,722
Oro forjado.	. . . . .	19,361
— puro.	. . . . .	19,258
Mercurio ó azogue.	. . . . .	13,586
Plomo.	. . . . .	11,352
Plata.	. . . . .	10,784
Bismuto.	. . . . .	9,822
Cobre puro.	. . . . .	9
Laton fundido.	. . . . .	8,870
Hierro forjado.	. . . . .	8,778
— fundido.	. . . . .	7,788
Zinc forjado.	. . . . .	7,9
— fundido.	. . . . .	7,1
Acero.	. . . . .	7,833
Estaño.	. . . . .	7,299
Diamante.	. . . . .	3,521
Cristal de coches inglés (flint glass).	. . . . .	3,2
— de roca.	. . . . .	2,888
Mármol de Carrara.	. . . . .	2,716
Pedernal.	. . . . .	2,602
Vidrio comun.	. . . . .	2,6
Cristal id.	. . . . .	2,5
Arcilla.	. . . . .	2,415
Porcelana de Sevres.	. . . . .	2,145
Piedra caliza de construccion.	. . . . .	2,077
Azufre.	. . . . .	1,990
Ácido sulfúrico concentrado.	. . . . .	1,850
— nítrico id.	. . . . .	1,554
Amoniaco liquido.	. . . . .	1,42
AGUA destilada.	. . . . .	1
Cera blanca.	. . . . .	0,96

Manteca, sebo y grasa. . . . .	0,942
Aceite de linaza. . . . .	0,94
— comun. . . . .	0,915
Encina verde. . . . .	0,93
— seca. . . . .	0,745
Haya. . . . .	0,852
Alcohol ó espíritu de vino. . . . .	0,837
Madera de ciruelo. . . . .	0,785
Eter sulfúrico. . . . .	0,745
Pino macho. . . . .	0,55
— hembra. . . . .	0,498
Corcho. . . . .	0,24
Gas ácido carbónico á 0.º . . . . .	0,001853
— oxígeno id. . . . .	0,001341
Aire atmosférico id. . . . .	0,001216
Gás azoe id. . . . .	0,001186
— amoniaco id. . . . .	0,000724
Hidrógeno á 0.º id. . . . .	0,000083
Vapor acuoso á 100.º . . . . .	0,000631

El gas hidrógeno carbonado que mas ó menos puro sirve para el alumbrado, es de una gravedad específica casi igual á la del aire atmosférico.

Por medio de esta tabla, y sabiendo que la pulgada cúbica de agua pesa 250,695 granos, se puede conocer el peso de la pulgada cúbica de cualquier cuerpo, y de consiguiente el peso absoluto de un volúmen dado.

La pulgada cúbica de platino, que es el cuerpo mas pesado en la naturaleza, pesa por este cálculo 5765,985 granos (10 onzas y 6 granos próximamente) al paso que la pulgada cúbica de gas hidrógeno, que es el cuerpo mas ligero, solo pesa 0,0208 granos (es decir  $\frac{208}{10000}$  de grano). El pie cúbico de platino pesará 1081,122 libras, y el de hidrógeno solo 35,94 granos. Por último, un volúmen ó globo aereostático de 12 pies de radio, supuesto esférico, lleno de hidrógeno, solo pesará de 28 á 29 libras sin contar con el tafetan.

QUINTA. *Cristalización.*

*Párrafo 132 (tomo primero).*—La química enseña que al analizarse ó descomponerse los cuerpos, se produce desprendimiento ó desarrollo de calor, electricidad, y á veces de luz. Los tres fluidos calórico, lumínico y eléctrico, que forman, segun el estado actual de las ciencias naturales, la base de estas sensaciones, se han escapado hasta ahora del poder concedido por el Criador al hombre en punto á sujetarlos á peso y medida como los demas cuerpos, pero no han podido sustraerse de la atenta observacion del filósofo. Pero supuesto el desarrollo de ellos en las operaciones químicas, es muy extraño que no haya llamado la atencion de los naturalistas antes, para aplicarlos á la recomposicion de los cuerpos. Sin embargo, Mr. Beequerel ha conseguido demostrar que pueden influir en la composicion de los cuerpos; pues empleando una ligera dosis de electricidad sobre disoluciones metálicas, ha obtenido la cristalización de los sulfuros de plata, plomo, cobre y hierro. El medio de que se ha valido Mr. Beequerel para el efecto ha sido el de hacer pasar una corriente eléctrica al traves de las disoluciones metálicas. Este descubrimiento importante es un paso muy agigantado para conocer como se forman los sulfuros en la naturaleza, y comprueba tambien lo dicho en las adiciones respecto á la porosidad. Acaso el fluido eléctrico reemplaza los vacíos que dejó al tiempo de la descomposicion, y su presencia determina, llenándolos, la formacion del cristal. Y en las operaciones en grande de la naturaleza, acaso este fluido, cuya acumulacion forma el rayo destructor, es necesario para las combinaciones creadoras de sustancias minerales. En el dia pueden mirarse las diversas capas terrestres como discos de una pila voltaica, y por lo tanto el fluido eléctrico que de su contacto resulta dará tal vez origen á la formacion de dichas sustancias. Tal vez tambien este desprendimiento de electricidad junto con el de calórico originará los volcanes y terremotos. Estas inducciones nos llevarian mucho mas allá de lo que permite la calidad de este opúsculo, y corresponde examinarlas á personas mas

versadas en este ramo, abriendo un vastísimo campo á la observacion de los profesores y aficionados.

### SEXTA. *Presion atmosférica.*

*Párrafo 417 (tomo primero).*—En este párrafo se dice que el mercurio se eleva á la altura de 32,856 pulgadas españolas en el barómetro, y de consiguiente el agua en las bombas á 37,198 pies españoles, se indica desde luego que ambas alturas son al nivel del mar, diciéndose que son variables segun los diferentes lugares y tiempos. Debemos á la generosidad del señor don José María de Nieva el cálculo y observaciones que ha hecho sobre este punto en esta Côte. Como su altura barométrica es muy considerable respecto á dicho nivel, resulta que la presion atmosférica es menor, y las alturas á que suben el mercurio y el agua en el vacío menores por consiguiente. La observacion prueba que la presion media en Madrid está representada por una columna barométrica de 26 pulgadas y pocas líneas. De consiguiente la mayor altura á que puede subir el agua en las bombas y demas máquinas fundadas en sus principios, es de 29 pies españoles sobre poco mas ó menos.

Juzgamos muy interesante esta adición para que sirva de norte á todos los que traten de calcular el efecto de las bombas en esta Côte para sus establecimientos ó usos particulares.

### SÉPTIMA. *Globos aereostáticos.*

*Párrafo 427 (tomo primero).* La importancia de este ramo, que puede mirarse como el complemento de la navegacion, el atraso en que se halla, y las últimas ocurrencias habidas en Madrid con don Manuel Roza sobre ascensiones aereostáticas, hacen que se dé alguna, mas extension á esta adición, para que pueda formarse idea de la materia.

Los globos aereostáticos son, como todo el mundo sabe, cuerpos flotantes en la atmósfera. Pueden construirse con

cualquier gas ó fluido aeriforme que tenga menor peso específico que el aire atmosférico. De aquí nace que tambien puedan construirse con este mismo aire dilatado ó enrarecido por el calórico, en cuyo caso reciben el nombre particular de *montgolfieras*, en obsequio del primero que descubrió este ramo de conocimientos físicos, y fue Mr. Montgolfier, vecino de Annonay (Francia). Pero como hay muy pocos gases que tengan menor peso específico que el aire (véase la adición cuarta); y además su extracción ó fabricación en grande es muy complicada, solo se ha aplicado el gas hidrógeno, mas ó menos puro, para hacer esta clase de cuerpos flotantes, por ser el de mas fácil y barata fabricación, y el mas ligero de todos los cuerpos coercibles conocidos.

Por lo general se hacen con tafetan barnizado con una disolución de goma elástica en espíritu de vino, con el objeto de que el gas no traspase por su sutileza los hilos del tafetan. Este tafetan se corta en cachos como las rajas de melon, que después se cosen: se tapan las costuras con tiras del mismo tafetan bien pegadas á los cachos con cola de pescado, y barniza todo el conjunto con dicha disolución, y se cubre con una redecilla de seda bien ligera y fuerte para atarla á la barquilla en donde debe ir el aereonauta, quien tiene buen cuidado de llevar muy á mano los cordones de las válvulas de seguridad de que tiene que ir provisto el globo por necesidad, y son por lo regular dos. En el cuidado de esto pende en gran parte la seguridad personal del aereonauta. La figura 404 correspondiente á la 15.<sup>a</sup> de las adiciones que puse al tomo segundo representa circunstancialmente el globo y todas sus partes.

La operacion de hacer globos, llenarlos, lanzarlos al espacio, y aun subir y bajar con ellos, es en el dia muy conocida. En los países extranjeros es objeto de diversion, y por eso practican las ascensiones hombres arrojados, y por lo general de poca instruccion en física, y no profesores, sin que por esto desconozcamos que algunos de los aereonautas lo han sido, como Mr. Robertson, y que varios profesores franceses é italianos han verificado ascensiones aereostáticas para hacer observaciones é indagaciones científicas. Como quiera que sea, el total de la operacion, privada de los

adornos y preparativos con que la amenizan los que se dedican á ejecutarla, es de muy poca vista; mucho mas cuanto que entre el momento de lanzar un globo al espacio y perderse de vista en él pasan muy cortos instantes. Creemos que seria mucho mas interesante verle descender, si fuese posible saber de antemano á donde va á caer una vez elevado.

Para llenar un globo con gas hidrógeno se prepara ó extrae éste por medio de una operacion química. Dos son las de este género que se emplean comunmente: una es con hornillos, en que se descompone el agua por medio de hierro hecho ascua; el metal se apodera del oxígeno, y deja libre al hidrógeno que pasa al depósito destinado para el efecto. Este medio es bastante complicado y aun costoso, y por haberlo querido emplear aqui en esta Corte Madama Garnerin, desoyendo los consejos de personas instruidas, quedó mal y comprometió la tranquilidad pública, desacreditando ademas la ciencia á los ojos del vulgo. La otra operacion, mas sencilla é infalible, es la de emplear agua y ácido sulfúrico con zinc ó hierro. El ácido sulfúrico puesto en contacto con uno de estos metales descompone al agua, y combinándose el oxígeno con el metal, viene á formarse un sulfato, quedando libre el hidrógeno, que pasa al depósito ó al globo directamente. Lunardi, Robertson y el desgraciado Rozo, han empleado este método en todas sus operaciones.

El aparato de Lunardi constaba de 72 cubas, segun la relacion que se publicó de sus ascensiones: nada dice en ella de sus dimensiones, pero es natural fuesen del tamaño regular de nuestras fuentes. Esto le proporcionaba hacer la operacion mas prontamente, en razón de haber 72 puntos de produccion, y de ser mas fáciles de manejar para reemplazar los ingredientes cuando ya estuviese finalizada su descomposicion y recomposicion. Ignoramos las que tenia Robertson en sus operaciones. Rozo tenia 16 grandes toneles, cuya carga reemplazaba cuando cesaba la produccion del gas. Segun se vió en ambas de sus desgraciadas tentativas, y especialmente en la segunda, es indudable que, á no haber despreciado neciamente las advertencias y consejos de muchas personas instruidas y bien intencionadas, relativas al mal estado del globo, y á que lo examinase y recompusiese, ó me-

jor hiciese otro nuevo, no se hubiera visto en el conflicto que se vió, ni burlado tan escandalosamente la pública expectacion, con harto sentimiento de los poco ó mucho versados en estas ciencias.

Las proporciones de los ingredientes para producir el gas son las mismas en todos los países: una parte de ácido sulfúrico, otra de metal y dos de agua, es decir que si se echan 20 libras de ácido, deben echarse otras 20 de zinc ó de hierro, y 40 de agua. Para las operaciones en pequeño que se hacen en los gabinetes se emplean limaduras de hierro, pero para las operaciones en grande es preferible el zinc por ser mas pronta la accion del ácido sobre él. Tambien se emplea el hierro, bien sea en limalla, bien en chapa delgada y partida en trozos pequeños, ó bien en clavazon menuda. Lunardi empleó en una ascension limaduras de hierro; en otra zinc, y en otra clavazon menuda. Robertson empleó esta misma; y Rozo en su primera tentativa, clavazon; y en la segunda, zinc partido en trozos de cosa de media á una pulgada cúbica el mayor. El objeto de que, bien sea zinc ó hierro, esté partido en trocitos pequeños, es para que el metal presente mas puntos de accion al ácido, y el desprendimiento del gas hidrógeno sea mas pronto y eficaz.

Hemos dicho antes que las válvulas de seguridad son de todo punto necesarias. En efecto, sin ellas, llegado el aeronauta á cierta altura, no puede bajar á menos que no snelte el globo, lo que tiene mil peligros. El cordon de las válvulas debe ir atado á la barquilla para cogerlo facilmente. Rozo en los últimos momentos de su tentativa segunda se aturdió, y descuidó este requisito, dejando flotar el remate ó cuello del globo y el referido cordon á merced del viento. Es infalible que, si se hubiese elevado en el espacio, hubiera perecido en él por solo esta falta de precaucion.

Pero cuando la ascension se verifica según debe, el aeronauta se eleva rápida y majestuosamente hasta perder de vista la tierra, que se le presenta como una extensa nube; y cuando ya conoce poderle ser perjudicial subir mas, tira del cordon de las válvulas, se abren estas, y se escapa una porcion de gas, con lo que el total del aparato se hace específicamente mas pesado, y baja. Si ve que viene bajando de-

masiado rápidamente (para lo cual le sirven unas tiritas de tafetan que al subir permanecen en posición vertical, y al bajar se mueven hácia arriba, y es lo que llaman *cata-descenso*) arroja parte del lastre, que en general se compone de saquillos de arena; teniendo la precaucion de no echarlos llenos, sino desparramar su contenido. Con esta alternativa de dar salida al gas y arrojar lastre, un aereonauta instruido puede subir y bajar segun le acomode. El famoso Lunardi lo hizo asi en una de sus ascensiones, tomando tierra dos veces, y elevándose otras tantas en el espacio.

Los primeros globistas subian como ahora con las válvulas de seguridad; pero despues inventaron, creyéndolo mejor, el *paracaidas*, que es en el fondo un gran paraguas abierto que sostiene la resistencia del aire hasta llegar al suelo; lo que hace que la bajada sea menos rápida. Acaso esta idea se debe á las anécdotas que se cuentan de varios presos escapados de altas torres con el auxilio de un simple paraguas y gran serenidad.

El paracaidas iba unido al globo por medio de un cordón análogo al de las válvulas; cuando se queria bajar se cortaba, y perdiéndose el globo en el espacio, se desplegaba el paracaidas bajando á tierra, sosteniendo al aereonauta en su barquilla. Pero antes de abrirse y al llegar á tierra, habia un intervalo de tiempo en que todo el aparato caía con la fuerza entera de la gravedad, ademas de que el mas pequeño enredo entre las cuerdecillas laterales producía no abrirse, y todo hecho un lío bajaba con la mayor aceleracion y precipitaba al aereonauta. Varias desgracias ocurridas con este aparato han hecho se le abandone por casi todos los globistas, volviendo al de las válvulas como mas seguro.

Cuando se quiere hacer una ascension, lo primero es calcular el volumen del globo, el del aire que desaloja, y examinando la diferencia que hay entre ambos, se tiene determinado el peso que puede sostener el globo lleno de hidrógeno. En este peso debe contarse el del tafetan, redécilla, barquilla de mimbres, lastre y demas. Para hacer el cálculo, hay la fórmula que pusimos en la adición 15: (véase el tomo segundo).

Se ha creído equivocadamente en Madrid por los no

versados en las ciencias físicas, que la altura barométrica del lugar es un obstáculo para las ascensiones. Pero esto es un error: la altura del lugar solo influye en la densidad del aire y del hidrógeno, por lo cual es preciso entablar el cálculo con estos datos para no exponerse á errores y no valerse del cálculo hecho para otra localidad. Por ejemplo, el globo de Rozo estaba calculado que podria sostener en Cádiz y otros puntos á orillas del mar, unas 24 ú 25 arrobas, pues en Madrid entablado el mismo cálculo, teniendo en cuenta hallarse á 800 varas sobre el nivel del mar, y que la densidad del aire atmosférico es menor que la que tiene en este nivel, resultaria que solo podria sostener unas 18 ú 20, lo cual no perjudicaria á la ascension, sino solamente haria que no pudiese llevar tanto lastre como en Cádiz y en la Habana.

El error de Rozo estuvo, no en la preparacion del gas, ni tampoco en este cálculo, sino solamente en su obstinacion de no admitir consejos de ningun inteligente ni aficionado, y no revisar ó construir de nuevo el globo que estaba estropeado ya de cinco ascensiones anteriores, siendo asi que no pueden servir mas que para dos ó tres á lo sumo. Pero para los que no entienden los principios de física, é ignoran que la causa de subir un globo en el espacio es únicamente la gran diferencia de peso específico entre el aire y el hidrógeno, que en todos los paises es de 1 á 13, lo cual hace que aun en la cima del Chimborazo, montaña de 22000 pies de altura vertical sobre el nivel del mar, se pueda lanzar un globo, pues los aeronautas franceses é italianos han subido á mayor altura; pondremos aqui una breve noticia de tres ascensiones verificadas en Madrid por un mismo sujeto, el profesor don Vicente Lunardi, ya tantas veces citado.

La primera el domingo 12 de agosto de 1792, á las 6 de la tarde en el Parterre del Retiro. Bajó á las 7 cerca de Daganzo (5 leguas de Madrid).

La segunda el martes 8 de enero de 1793, á la una de la mañana, en la plazuela del mediodia del Real palacio. Bajó á las 5½ en el Horcajo de Ocaña (14 leguas de Madrid), despues de bajar otras dos veces á tierra y volverse á remontar.

La tercera el domingo 3 de marzo de 1793, á las 6 de

la tarde en el Parterre del Retiro. Bajó poco antes de las 7 en la ermita de Nuestra Señora de la Torre, término de Vicálvaro.

Con esto y la ascension de Robertson en la plaza de Torres el año 1822, queda demostrado que no depende de Madrid el mal éxito de las ascensiones aereostáticas, ni de su altura, ni de la delgadez de su ambiente, sino puramente de falta de docilidad y conocimientos, ó de un sórdido interés acompañado de impericia.

Supuesto que nos proponemos dar una idea de todo lo relativo á globos, debemos hablar de los riesgos que acompañan á esta operacion. Consisten sobre poco mas ó menos en los cuatro siguientes: el de perecer de frio ú de hemorragia, por elevarse demasiado y romperse el globo con la excesiva dilatacion del gas: el de caer en el mar, donde es inutil la barquilla por su frágil consistencia: el de caer entre árboles, tejados ó precipicios: por último, el de pasar por entre nubes muy cargadas de electricidad, que produzcan la inflamacion ó detonacion del hidrógeno. De todos el que no puede preverse ó remediarse es el último, y por esto se busca siempre un tiempo muy sereno y despejado para las ascensiones. Los otros tres se pueden remediar mas ó menos segun el punto de la ascension y la prudencia é instruccion del aereonauta. Con todo, á pesar de estos riesgos, comparadas las desgracias ocurridas á los aereonautas con la totalidad de estos, resulta que su número es mucho menor que las que diariamente ocurren en la navegacion marítima, respecto á la totalidad de navegantes.

Réstanos hablar de la direccion de los globos aereostáticos. Este punto es muy controvertido; y los extranjeros han prometido cuantiosos premios por medio de sus academias al que descubra el modo de dirigir un globo en el espacio. Infinitas tentativas se han hecho para obtener este resultado y completar así la navegacion por el aire, dejándose de la ridícula idea de volar como los pájaros, que tambien ha atormentado á muchos humanos. Remos, velas, aletas, timones, todo se ha puesto en ensayo, y todo inútilmente. Salen muy bien las operaciones en pequeño y en un salon ó laboratorio, pero en llegando al ensayo en grande y en el

espacio, se concluyó todo. Sin embargo, no está aun demostrada la imposibilidad, y acaso mas lo está la posibilidad, aunque conocemos la gran dificultad que ofrece este descubrimiento. Consiste esta, en nuestro concepto, en que, asi como los barcos tienen que navegar en dos fluidos, uno que los sostiene que es el agua, y otro que los empuja que es el aire; los globos tienen que emplear uno solo, que es el aire para ambas operaciones. Por esto cuantas combinaciones se ideen análogas á la navegacion acuea, son, en nuestro entender, inaplicables á la aerea. Solo sí hay una que tal vez podrá aplicarse, bien estudiada, que es el vapor. Acaso el mecanismo de estos barcos que, como es sabido, nada necesitan del aire para moverse y caminar rapidísimamente, podrá aplicarse con las modificaciones oportunas á este ramo de conocimientos. Nada podemos hacer mas que indicar, pues ni nuestros conocimientos ni nuestra posicion social nos ponen en estado de hacer experimentos. Por lo tanto dejamos este punto á la investigacion de los sábios y de los emprendedores, y terminamos aqui una adiccion que la importancia de la materia y otras circunstancias particulares habrán hecho acaso demasiado larga.

#### OCTAVA. *Espejismo.*

*Párrafo 580 (tomo segundo).*—El célebre profesor Monge observó el fenómeno que se conoce con el nombre de *espejismo*, *espejeo* ó *espejo ilusorio*, en la famosa expedicion de Napoleon á Egipto, que tantos descubrimientos ha producido en las ciencias. Despues le observó tambien en las llanuras del mediodia de la Francia, y en las Landas ú arenas de Burdeos.

Los marinos han comprobado este fenómeno en el mar, y de las repetidas observaciones se formó un cuerpo de doctrina relativa á las llanuras extensas en general y á la planicie del mar.

En España no tengo noticia se haya observado este fenómeno mas que hácia Lugo, como consta del siguiente relato que se insertó en el *Correo Literario Mercantil*.

"El 23 (de mayo) por la tarde se observó hácia las cos-

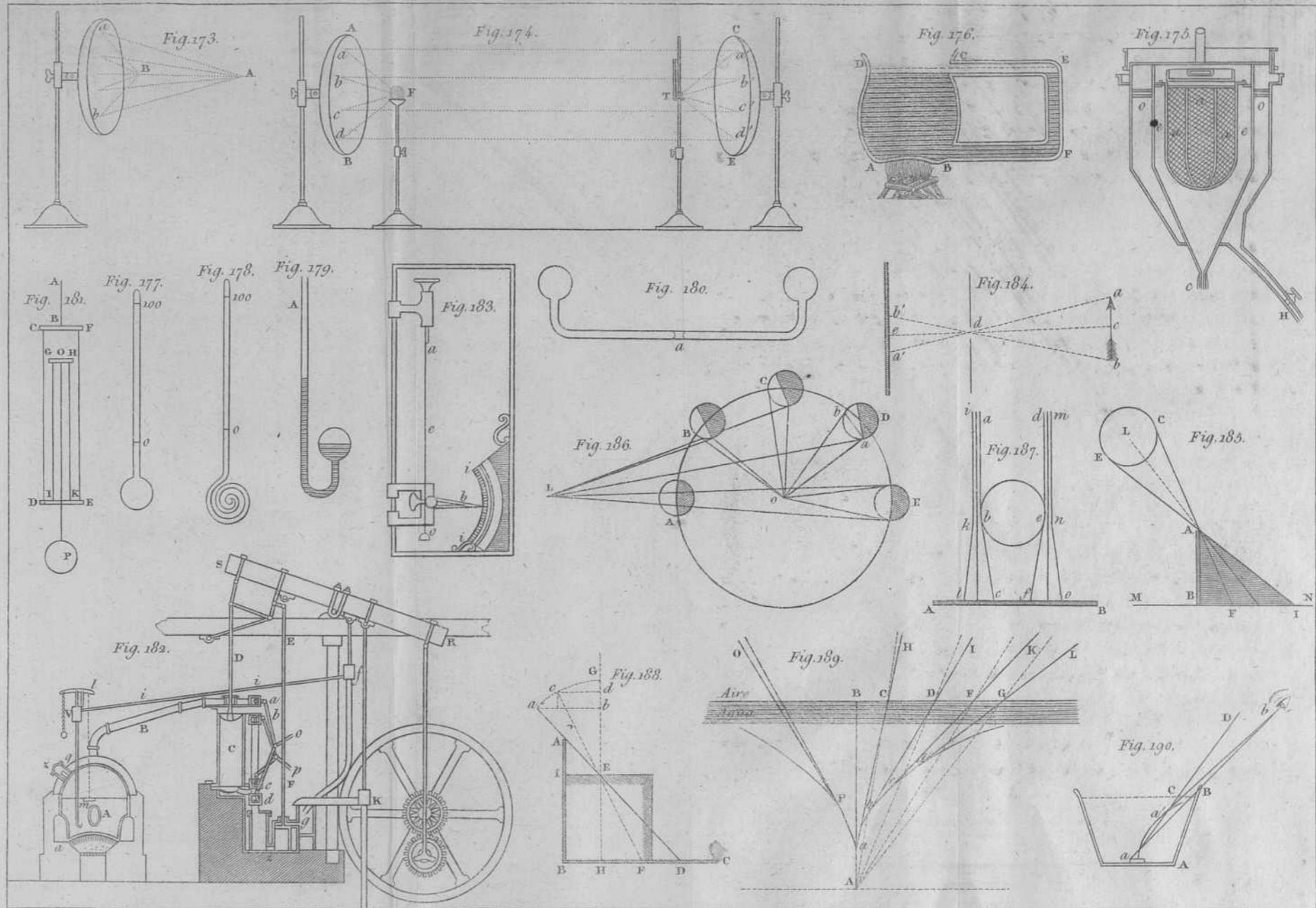
tas un fenómeno muy parecido á los que se describen en el Viajero Universal, y en las obras de los naturalistas. Eran nubes muy resplandecientes que representaban buques y poblaciones, con otras varias figuras caprichosas." Es lástima ciertamente que el observador no fuese persona versada en las ciencias físicas para que hubiese descrito completamente el fenómeno y confirmase así nuestras sospechas.

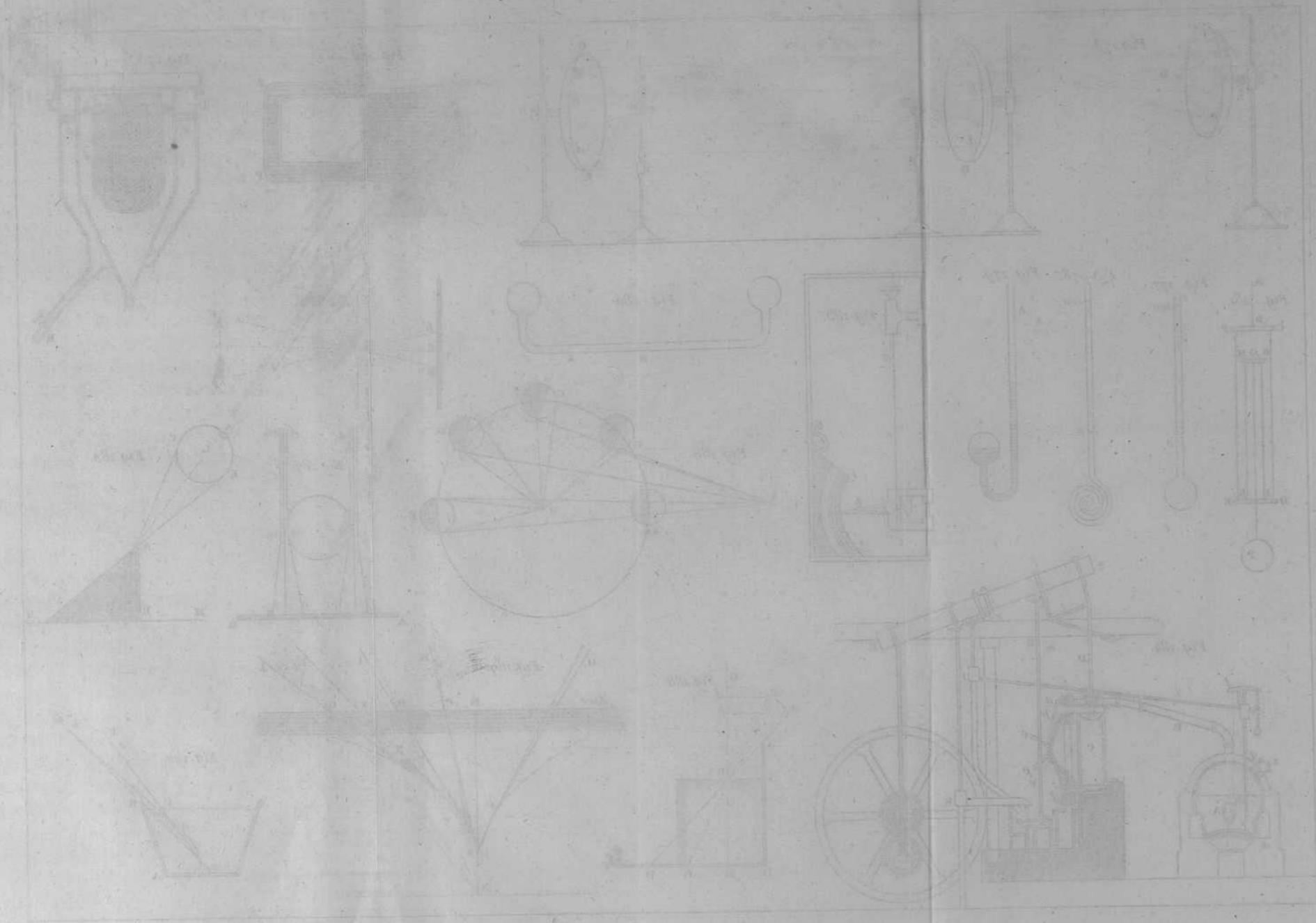
Por mi parte ví tambien hace algunos años un principio de fenómeno en la gran llanura de Fuenlabrada, Humanes y pueblos inmediatos de esta provincia. No se completó del todo el espejismo, pero sí vi claramente la separación de capas, de que habla Monge, en una mañana de mayo, cuando la fuerza del sol principiaba á obrar sobre los vapores emanados de la tierra. No he tenido proporcion de comprobar en otra ocasion este fenómeno, pero estoy persuadido de que en las dilatadas llanuras de la Mancha y Castilla podrá un observador inteligente ejercer con bastante fruto su aficion y pericia.

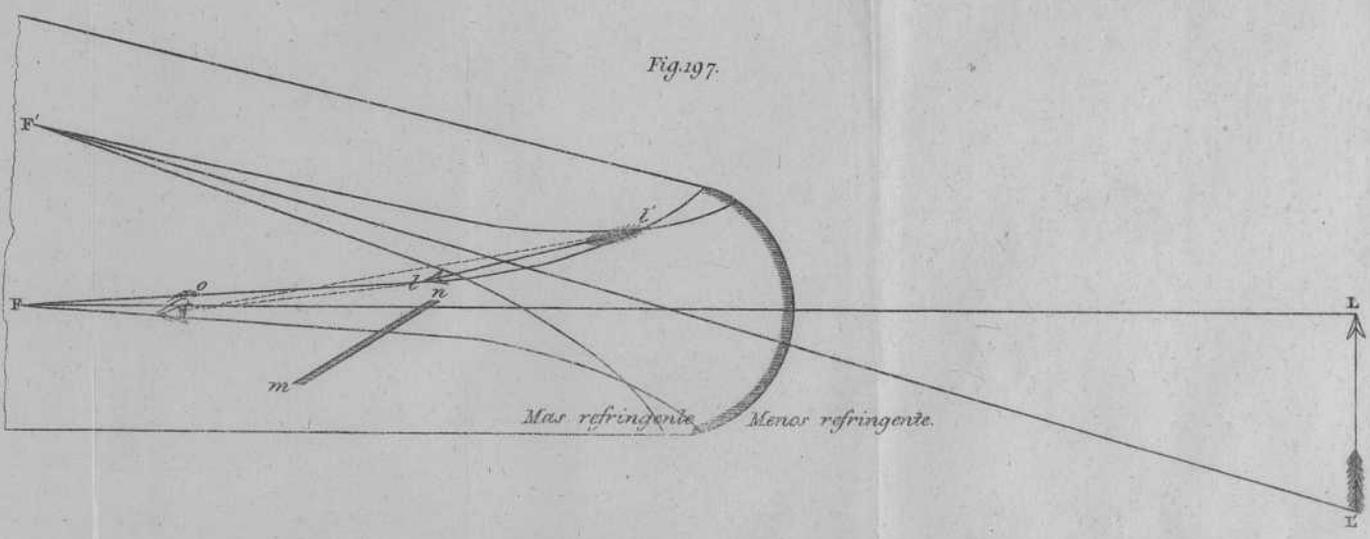
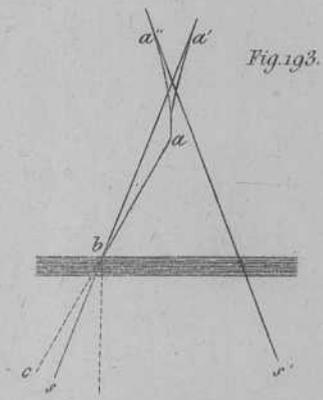
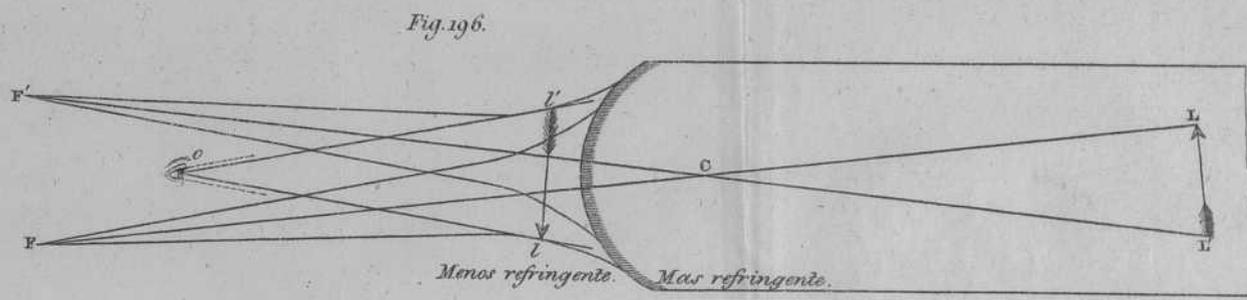
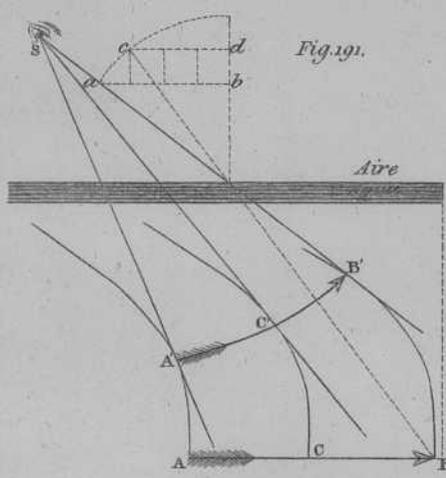
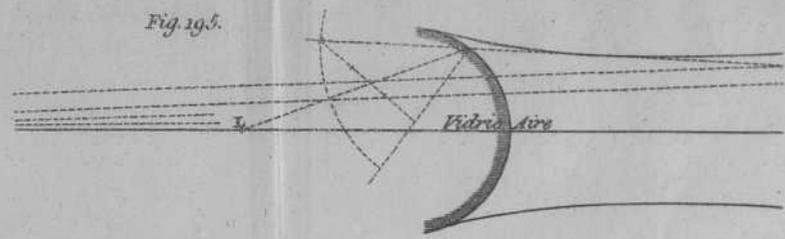
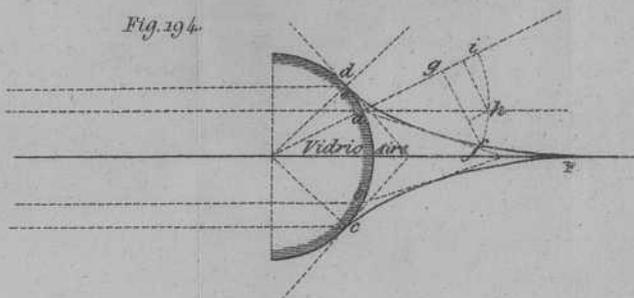
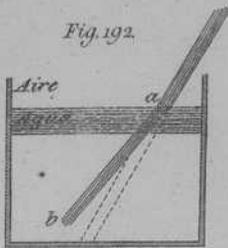
#### NOVENA. *Aurora boreal.*

*Párrafo 642 (tomo segundo).* Sabido es que el fenómeno de la Aurora boreal no se explica aun. Por esta razon no es extraño que cuando el año 1831 apareció entre nosotros un fenómeno análogo en cierto modo á este, no se pudiese explicar, mucho mas cuando es rarísimo en nuestro clima. Contentarémonos pues con solo referir el fenómeno tal como se presentaba. Por muchos dias, despues de puesto el sol y cuando el crepúsculo vespertino concluía, se distinguía una inmensa claridad por encima de la cordillera de Guadarrama de Poniente á Norte. Duraba esta claridad una hora poco mas ó menos, formando un segundo crepúsculo mas magnífico que el ordinario, y desapareciendo como este por grados. Igual fenómeno sucedia por las madrugadas, anteponiéndose al crepúsculo matutino en la misma forma.

FIN.









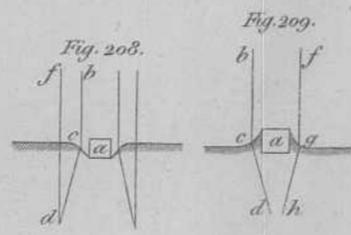
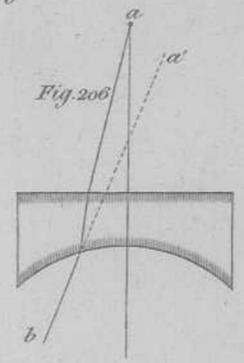
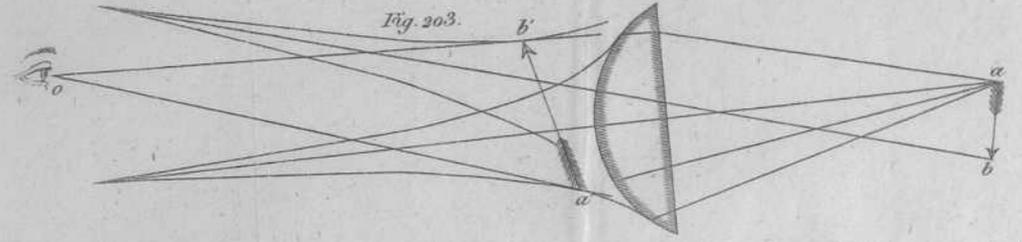
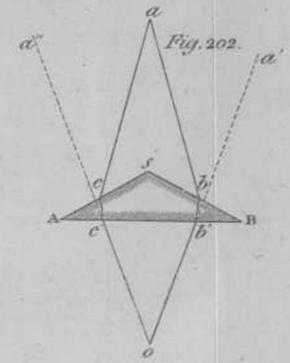
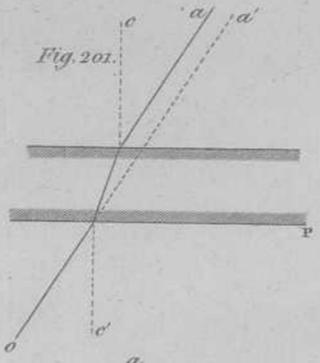
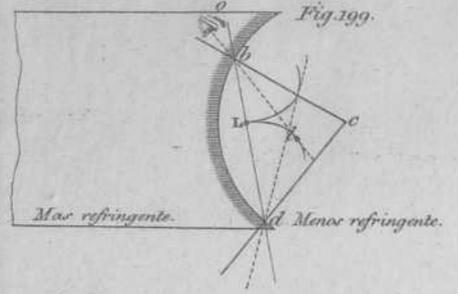
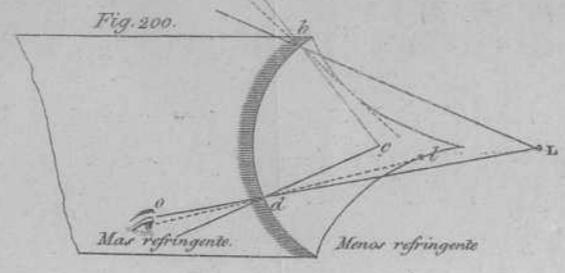
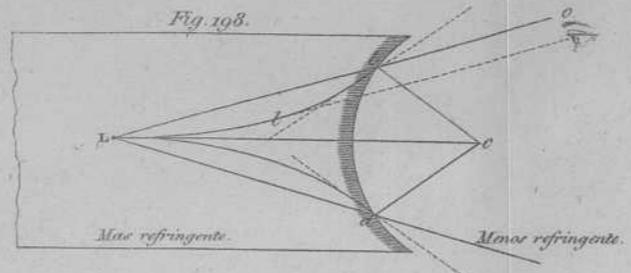


Fig. 209.

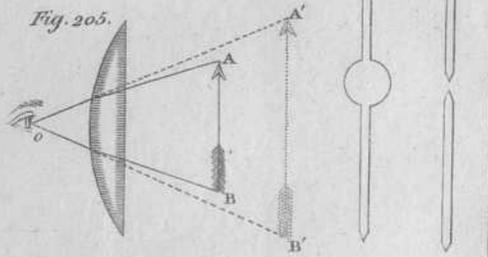
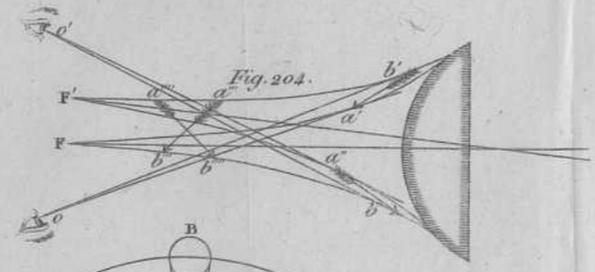
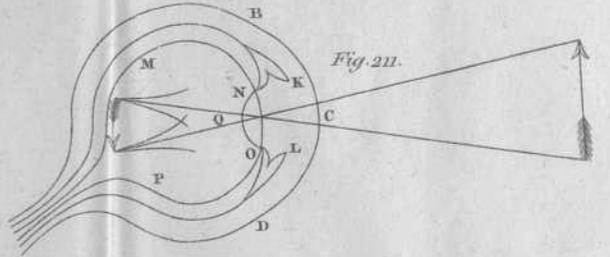
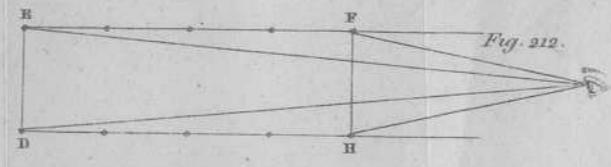
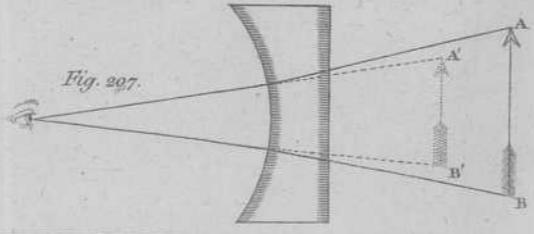
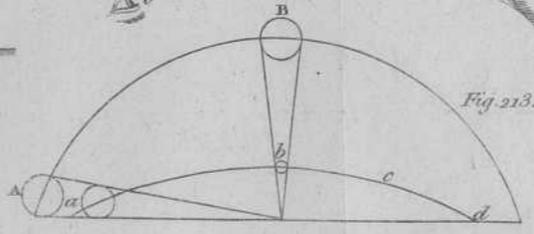
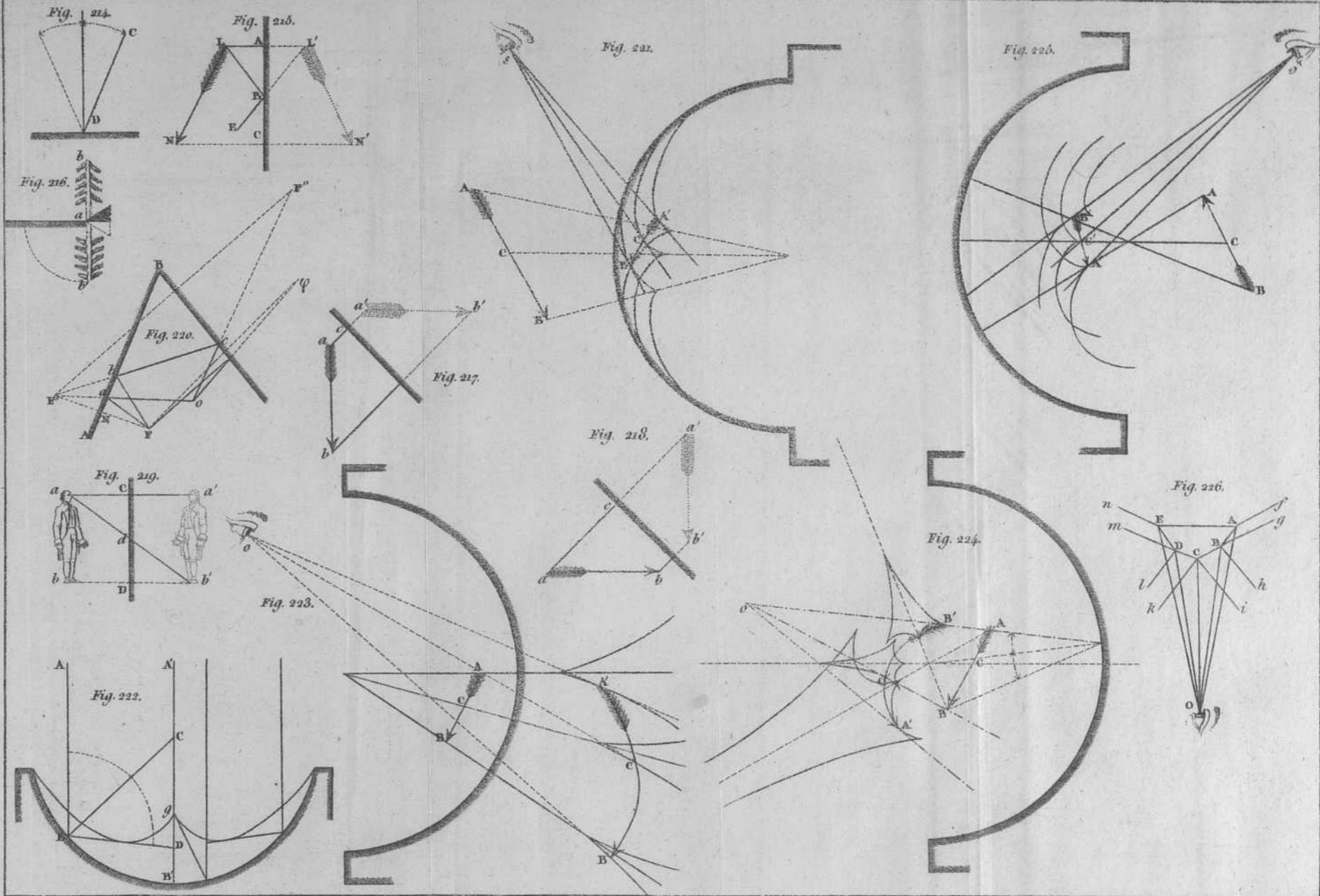
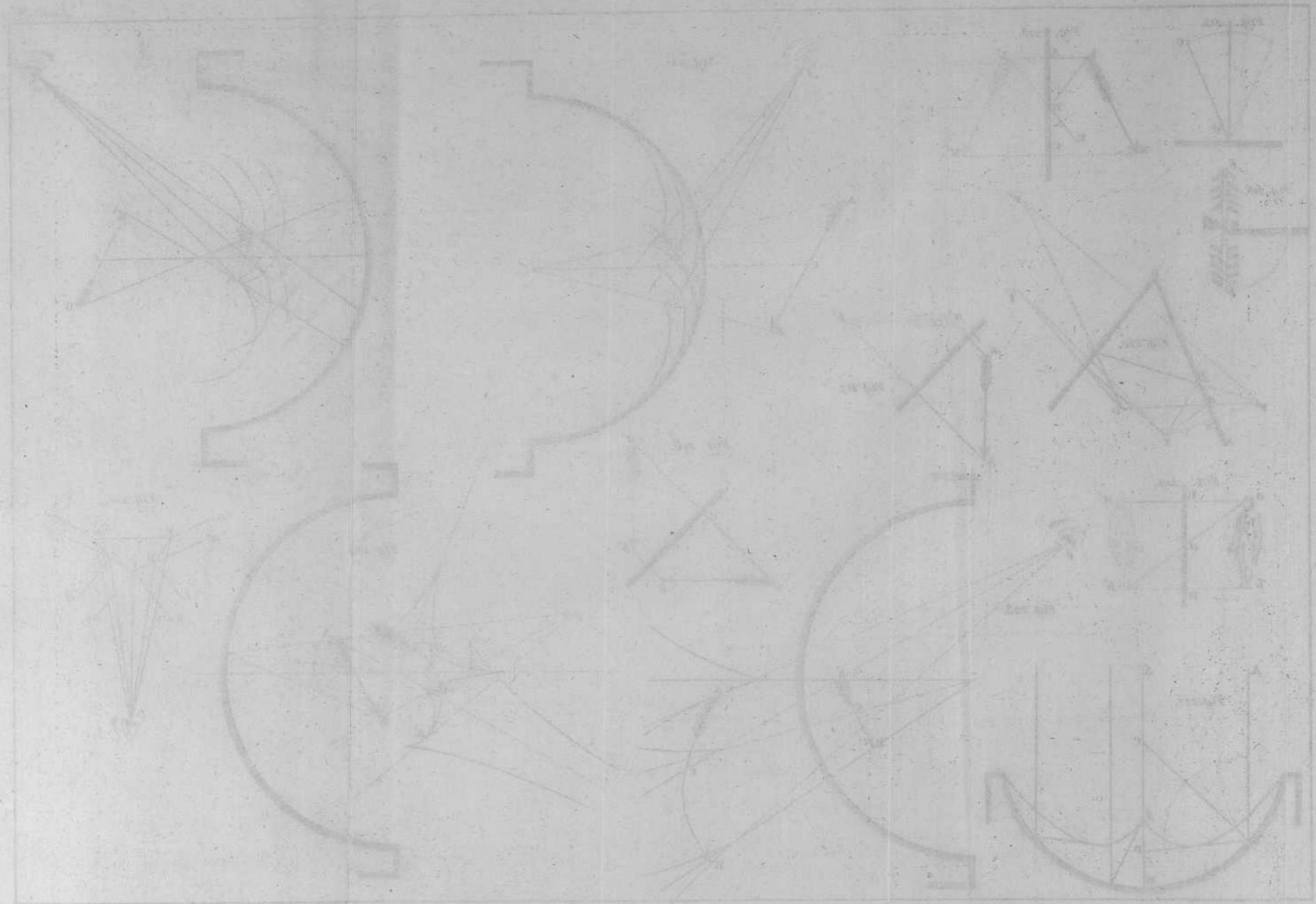


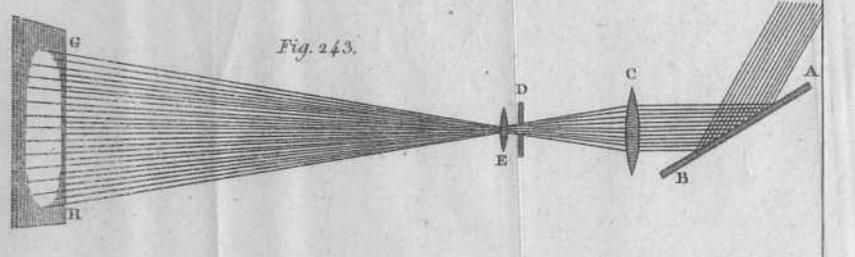
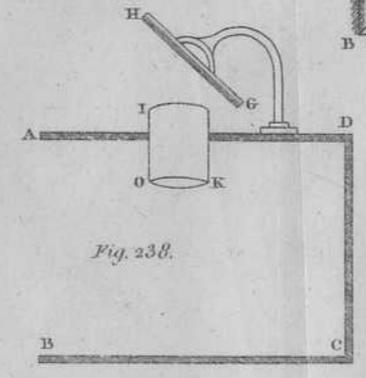
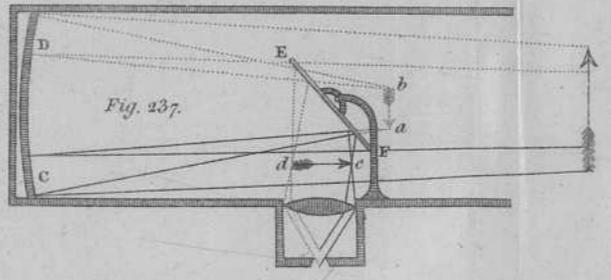
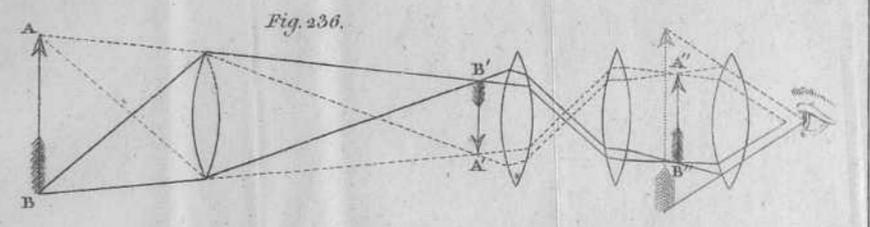
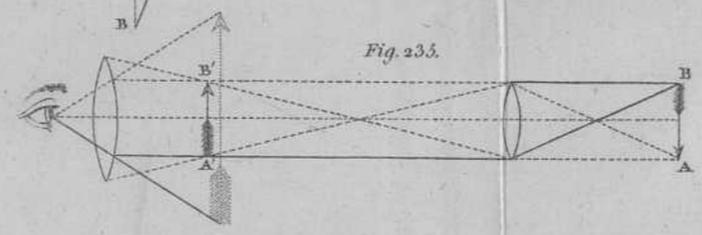
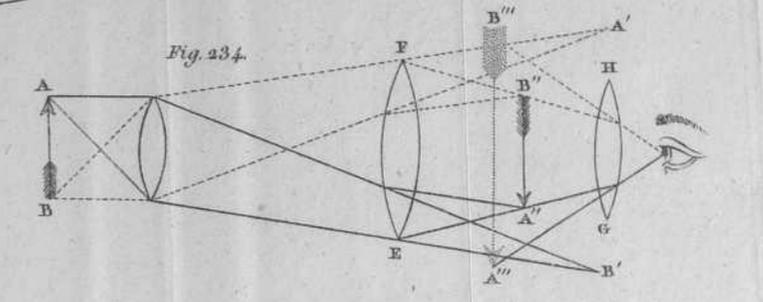
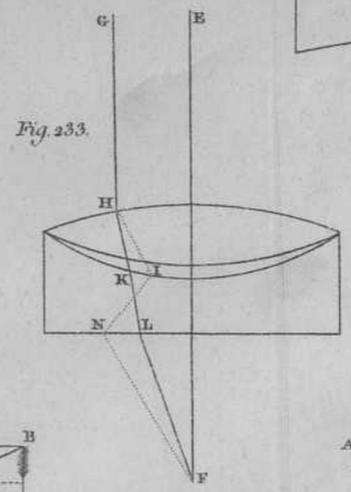
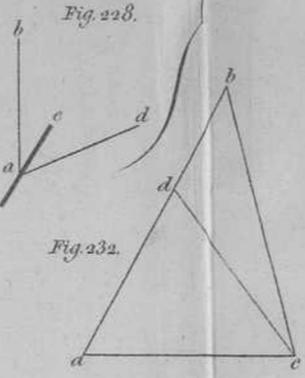
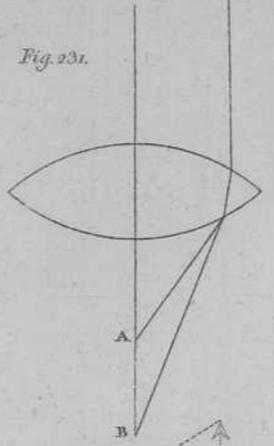
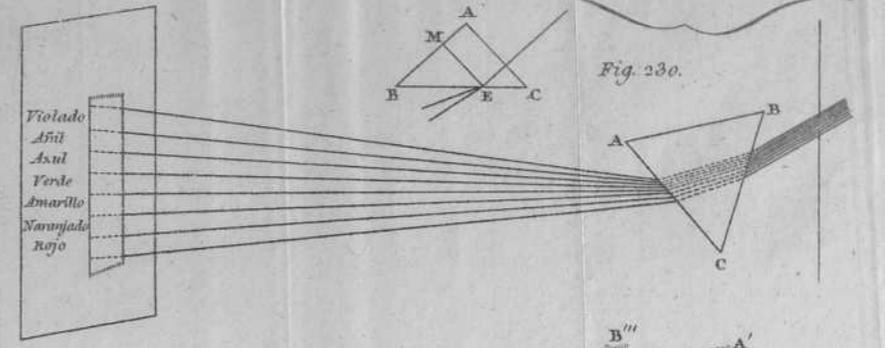
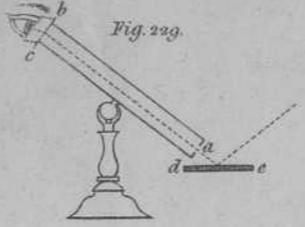
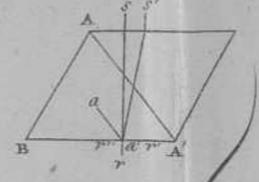
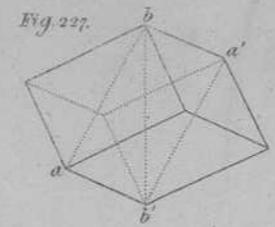
Fig. 210. A B













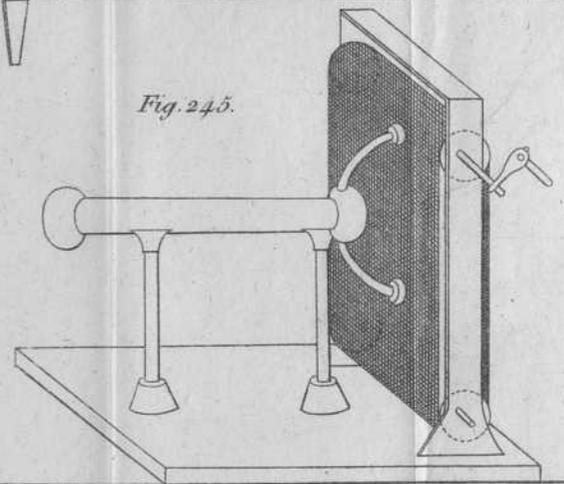
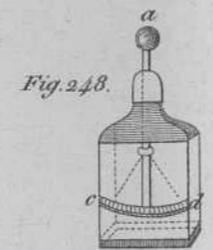
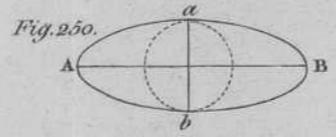
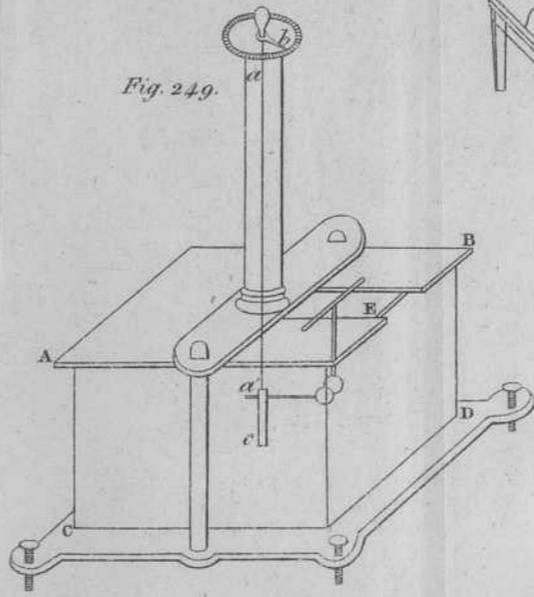
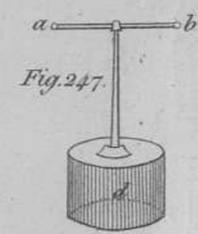
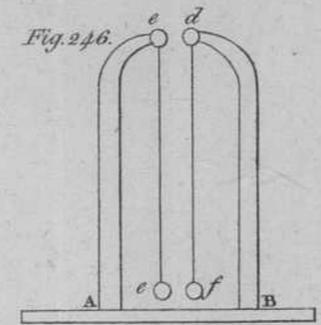
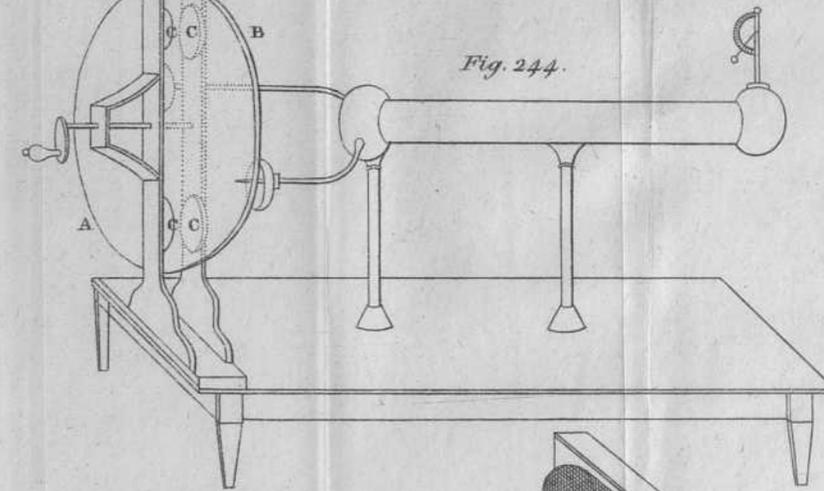
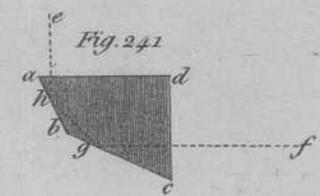
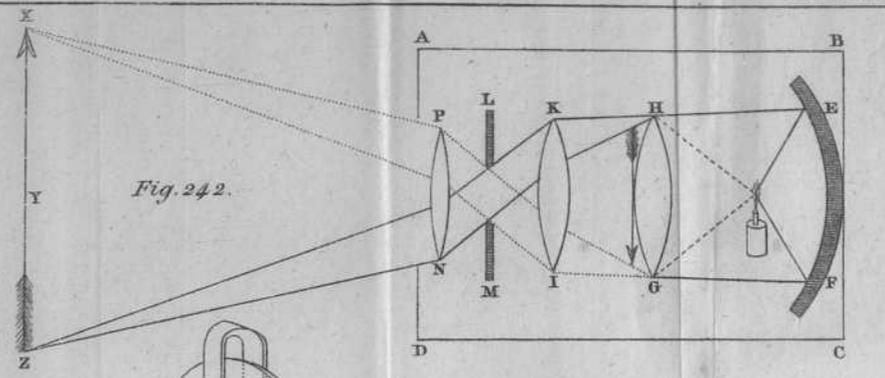
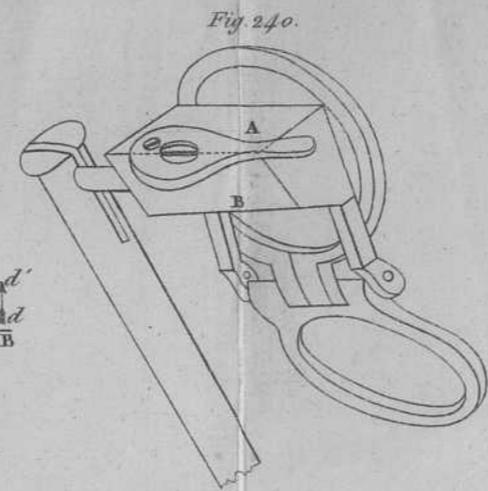
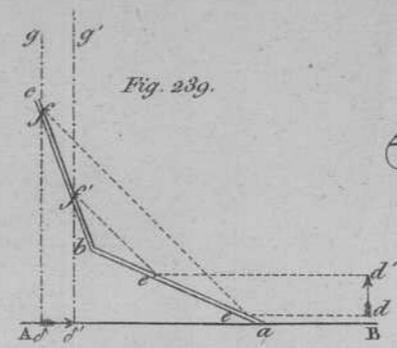




Fig. 251.

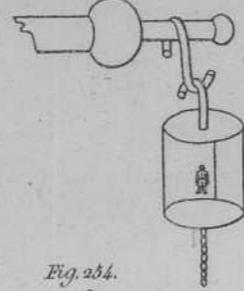


Fig. 252.

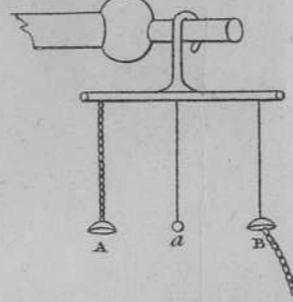


Fig. 253.

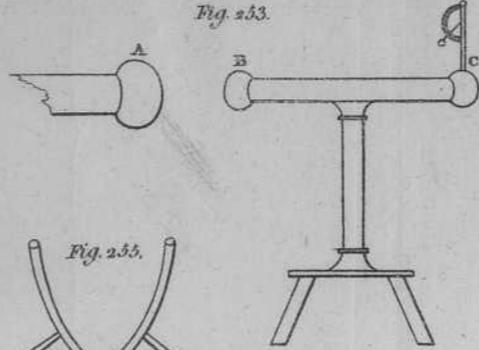


Fig. 255.

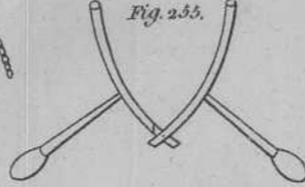


Fig. 258.

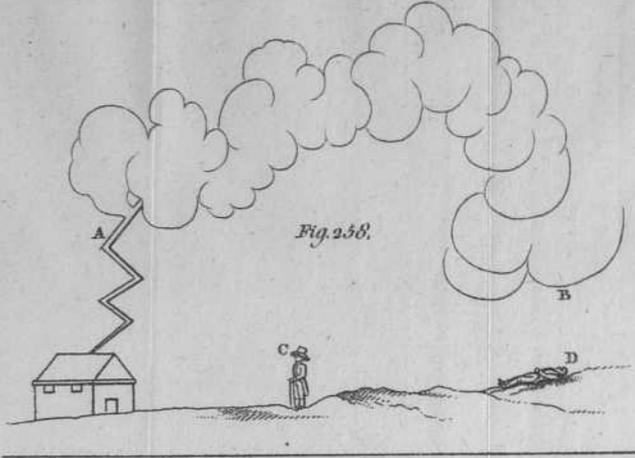


Fig. 254.

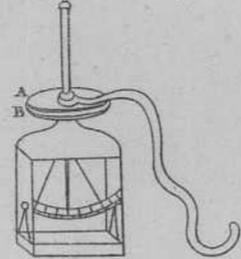


Fig. 256.

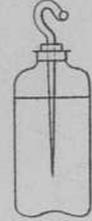


Fig. 257.

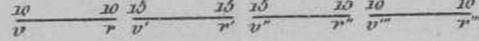


Fig. 259.

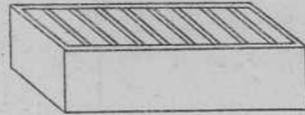


Fig. 260.

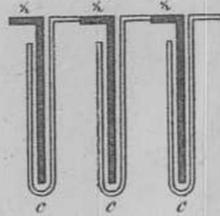


Fig. 261.



Fig. 262.

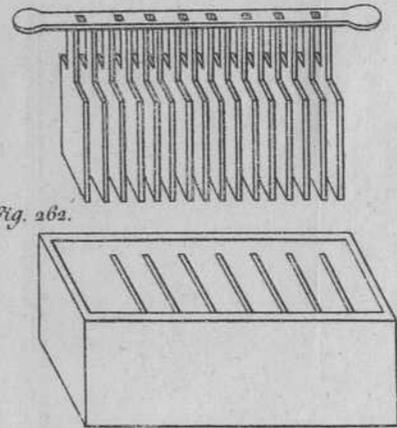


Fig. 266.

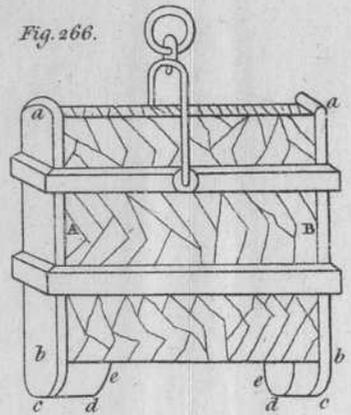


Fig. 265.

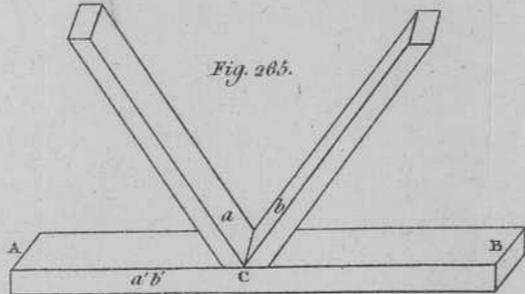


Fig. 263.

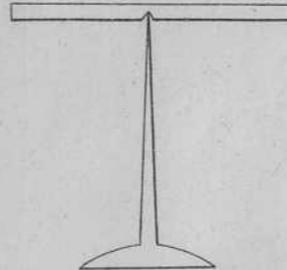


Fig. 264.

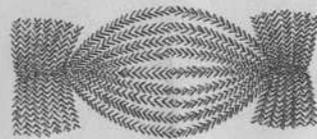
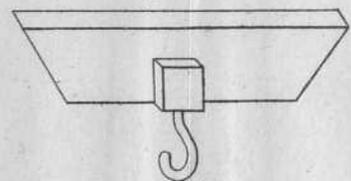
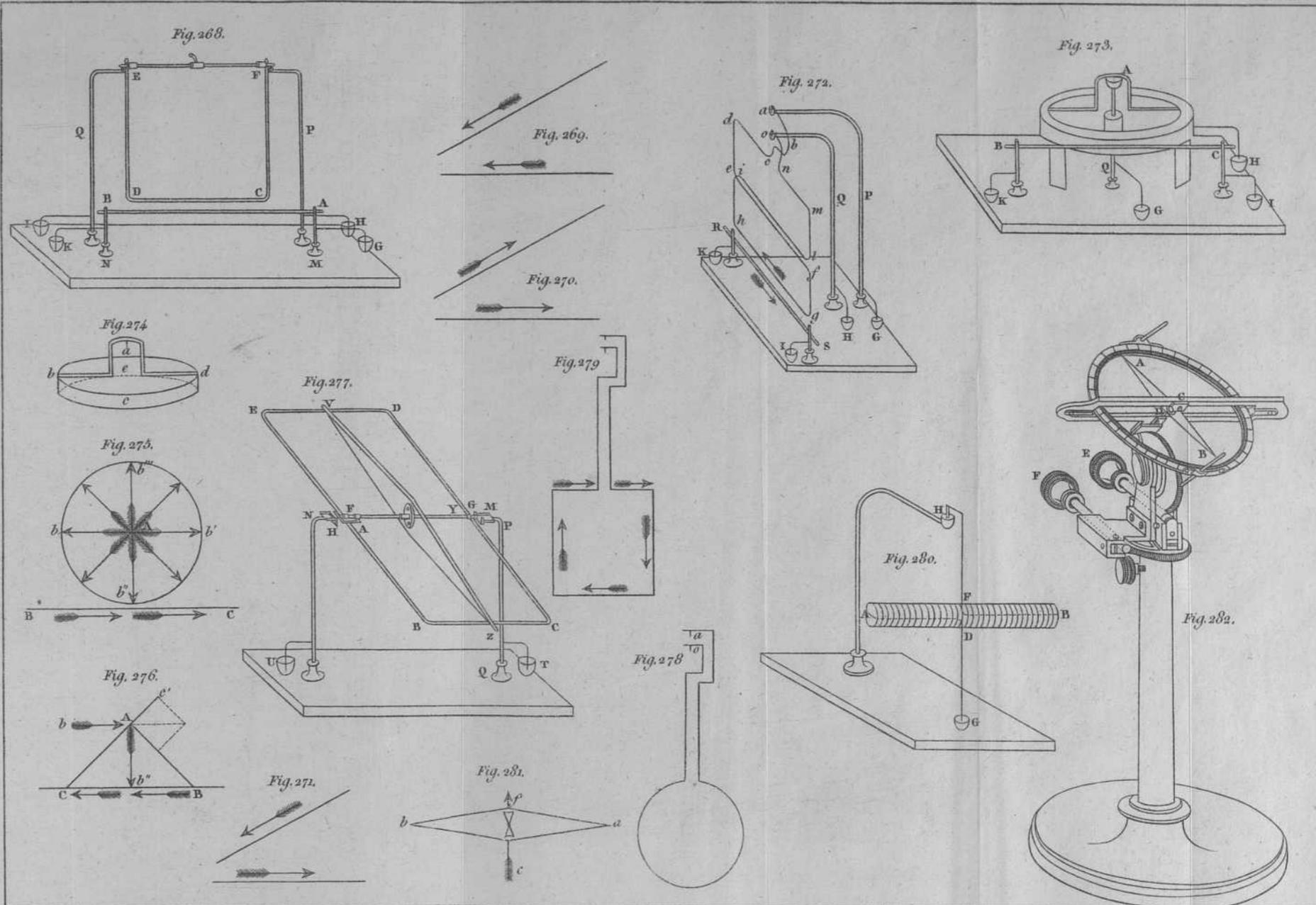


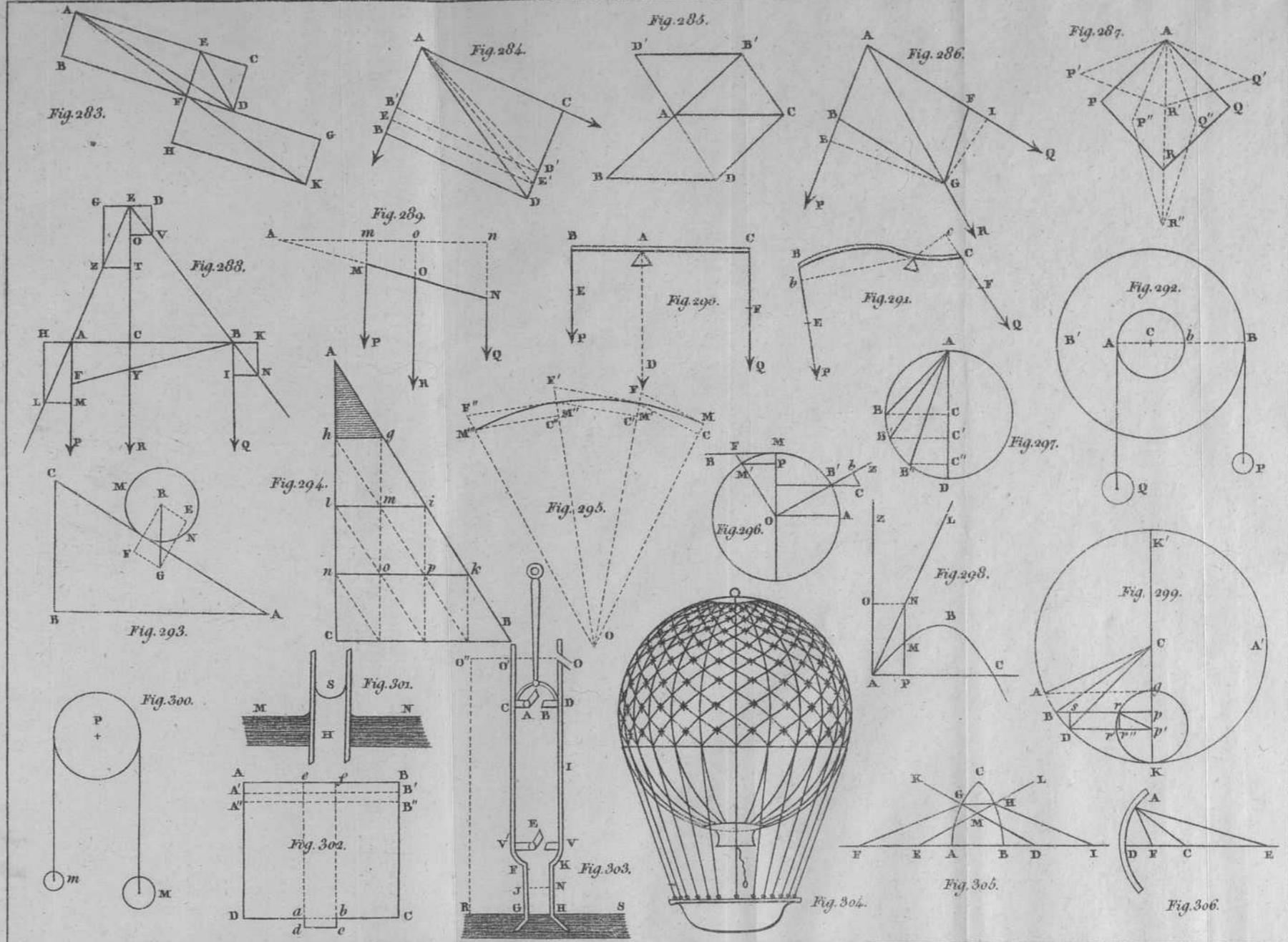
Fig. 267.

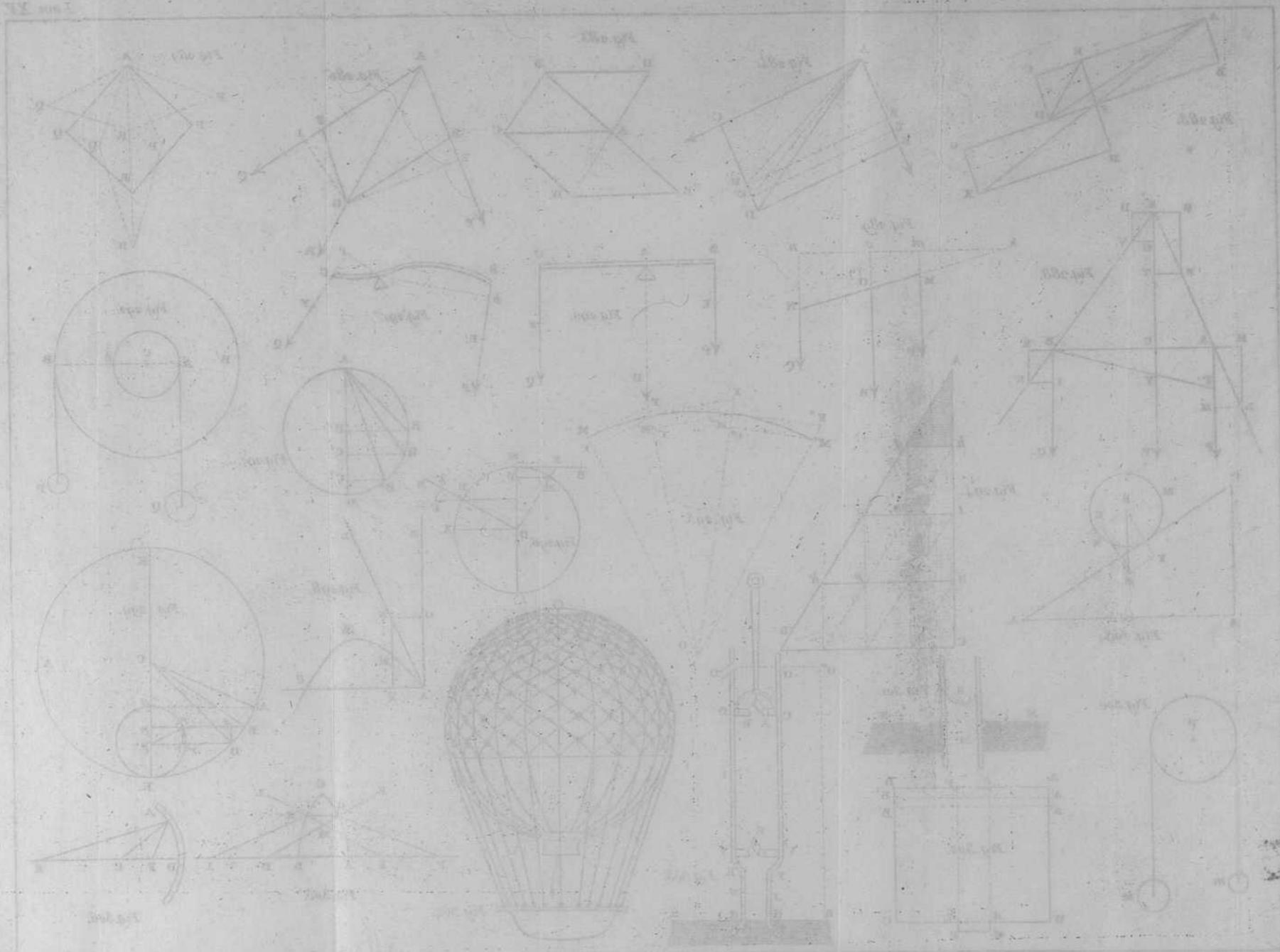




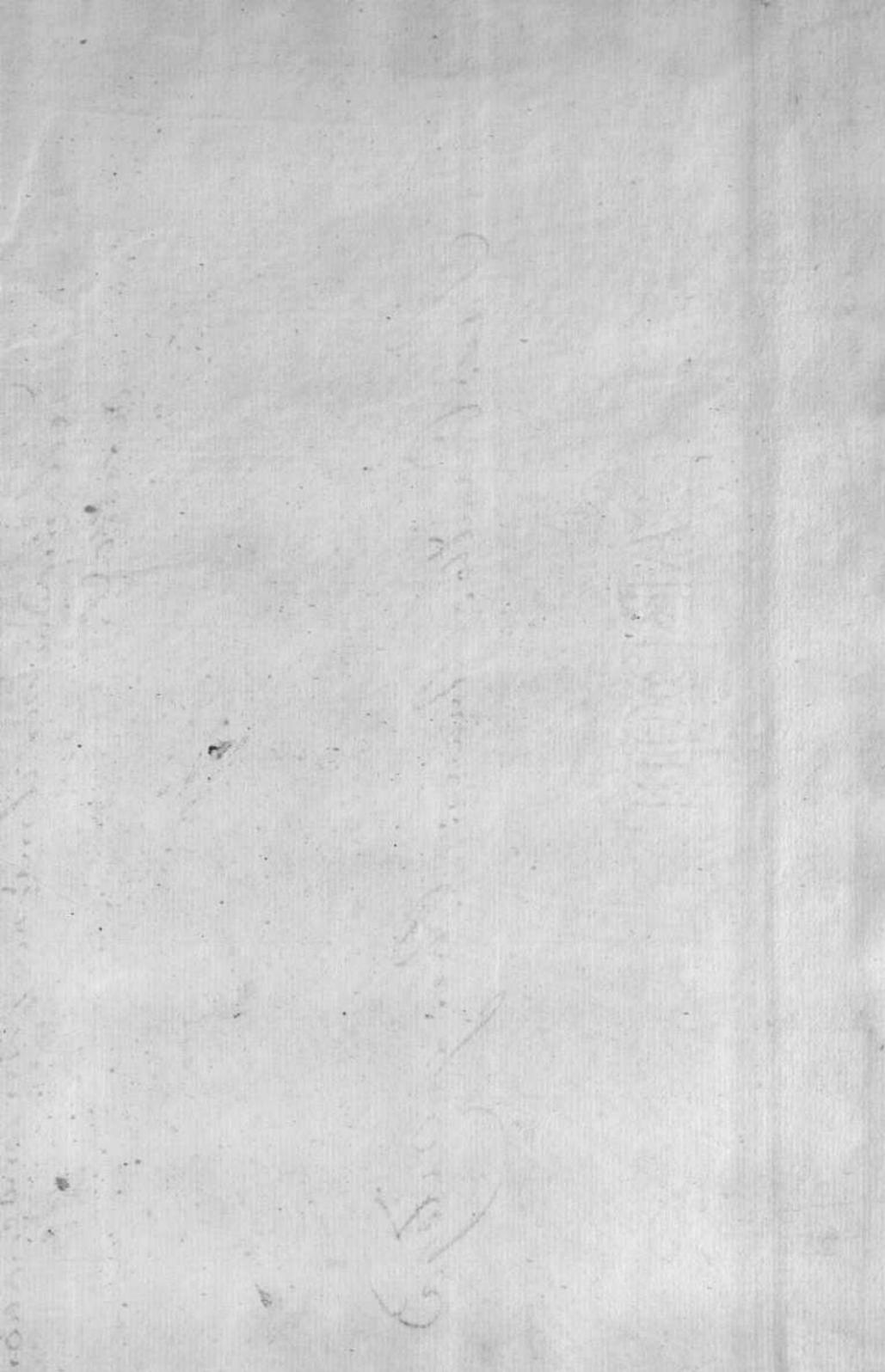






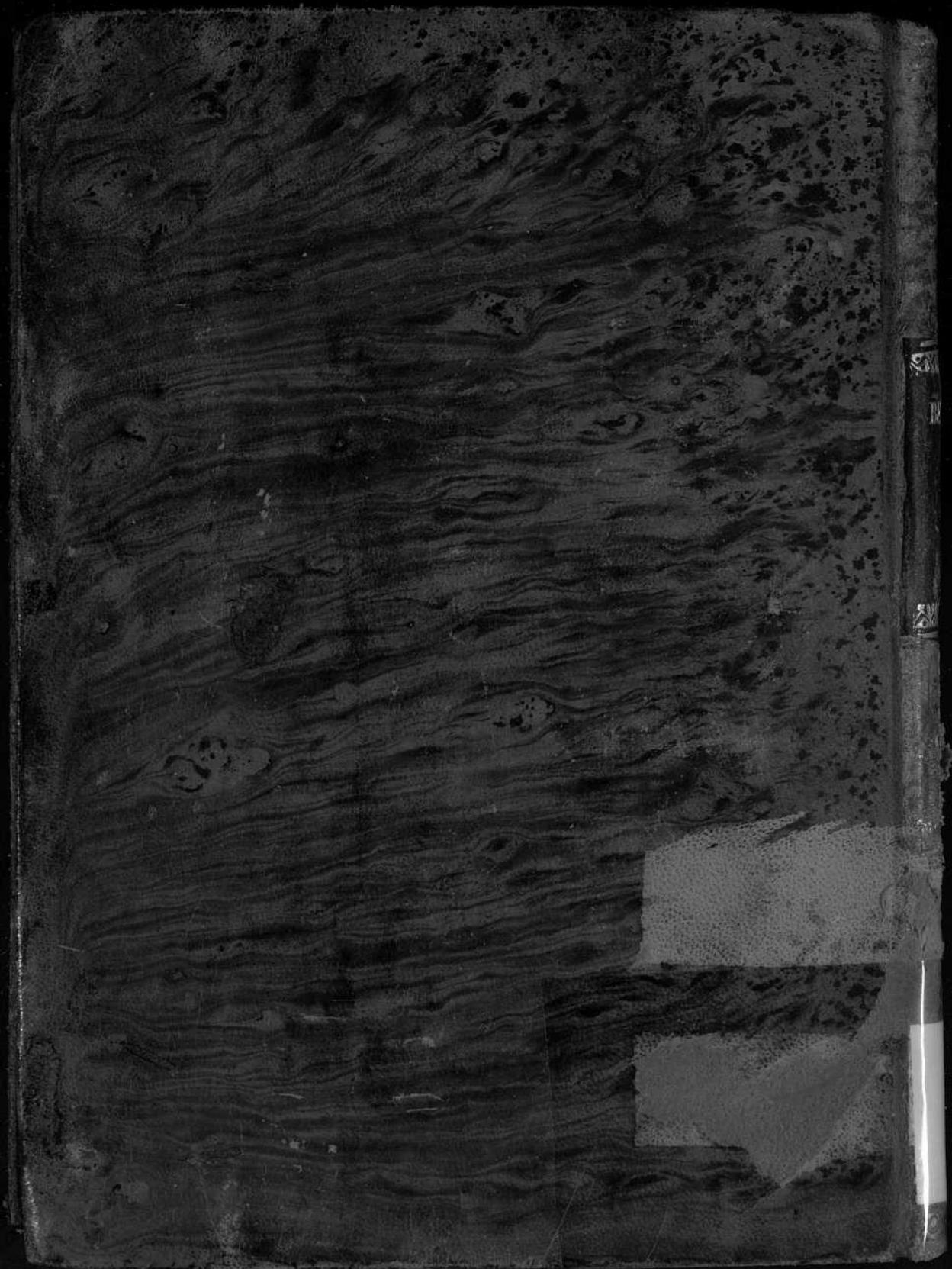


BIBLIOTECA  
INSTITUTO PROVINCIAL  
SORIA









BEUDANT  
DE  
FÍSICA

2

D-1  
1259