

Líquidos. Metiendo un tubo de cristal lleno de líquido hasta cierta altura en una vasija de agua caliente, veremos subir el líquido, dilatado por el calor del agua, hasta trasbordar.

Gases. Aplicando la mano á una bola de cristal que tiene soldado un tubo, y que está lleno de aire ó de otro gas con un índice de mercurio, veremos que el calor dilatando el aire arroja fuera del tubo el índice.

Temperatura. Llámase *temperatura* de un cuerpo los diversos estados caloríficos que le hacen variar de volúmen sin cambiar de estado.

La temperatura de un cuerpo será mas alta ó mas baja segun que haya aumento ó pérdida de calor.

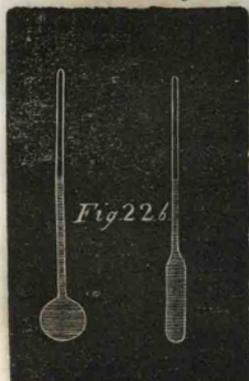
5. Termómetros. Llámense *termómetros* unos instrumentos destinados á medir, es decir, á comparar las diversas temperaturas de los cuerpos, á apreciar sus variaciones y las de las cantidades de calor correspondiente.

6. Principio de construccion de los termómetros. En la dilatacion de los cuerpos por el calórico descansa el principio de la construccion de los termómetros comunes.

7. Eleccion de los cuerpos. Puesto que todos los cuerpos se dilatan, todos pueden servir para la construccion de los termómetros.

Pero los solidos se dilatan muy poco, y solo pueden destinarse á apreciar grandes variaciones de temperatura. Los gases, siendo muy dilatables, solo pueden emplearse á medir variaciones muy ligeras. Los líquidos, cuya dilatabilidad está en un término medio, se emplean con preferencia.

Eleccion del líquido.—El alcohol, ó el mercurio. El alcohol, porque resiste los mayores frios sin congelarse.—El mercurio, porque se dilata mas uniformemente que los demas líquidos, porque es bastante fácil obtenerle puro, porque no se adhiere á las paredes de los instrumentos, no se congela sino con un frio muy intenso, y no hierve sino á una alta temperatura.



8. Termómetros de mercurio. El *termómetro* de mercurio se compone de un tubo capilar de cristallo terminado en una esferita ó cilindro de mucho mayor diámetro. Este aparatito está lleno de mercurio hasta cierta altura (fig. 22 bis).

9. Graduacion. Para graduar este aparato es preciso partir de dos puntos fijos, esto es, de dos fenómenos que puedan reproducirse á volun-

dad, y que exijan siempre una misma cantidad de calórico.—Estos dos puntos se han hallado en el *hielo derretido* y el *agua hirviendo*; porque en ambos puntos la temperatura es constante, mientras el agua subsiste en dichos estados.—El primer punto se marca con *cero*.—Para fijar el segundo se necesitan tomar muchas precauciones: 1.^a *que el agua esté destilada*; 2.^a *que hierva en una vasija metálica*; 3.^a *que se opere bajo la presión normal de 0.^m, 76*.—Estas tres precauciones son necesarias, porque la temperatura del agua hirviendo varía con la naturaleza de las sustancias que tiene en disolución, con la naturaleza de la vasija en que esté contenida, y con la presión atmosférica que se ejerce en su superficie.

Colocada la esfera del tubo termométrico sobre la superficie del agua en ebullición, el mercurio sale por el tubo, y allí donde se mantiene estacionario es el maximum de temperatura de la escala.

10. Diversas escalas.—1.^a **Centigrada.** El intervalo comprendido entre los dos puntos fijos se divide en 100 partes iguales, que se llaman grados del termómetro.—Se prolongan las divisiones sobre 100.^o y bajo cero.—Las temperaturas sobre cero se marcan con el signo +, las que están bajo cero con el signo —.

11. 2.^a **De Reaumur.** En esta escala el intervalo entre los dos puntos fijos se divide en 80 partes iguales.

12. 3.^a **De Fahrenheit.** Esta escala se usa mucho en Inglaterra.—El punto del *hielo derretido* corresponde al grado 32.^o, el del *agua hirviendo* está marcado 212.^o, y la distancia entre ambos es por consiguiente de 180 grados.

13. **Conversion de las escalas.** Resulta de lo dicho que 100.^o C. = 80 R. = 180 F., ó lo que es lo mismo, 5.^o C. = 4.^o R. = 9.^o F. Luego para convertir en grados de *Reaumur* un cierto número de *grados centígrados* es suficiente multiplicar este número por $\frac{4}{5}$, ó rebajar la 5.^a parte.—Recíprocamente para convertir en *grados centígrados* un cierto número de *grados de Reaumur*, multiplicaremos dicho número por $\frac{5}{4}$, ó le añadiremos la cuarta parte del propio número.—Para convertir un cierto número de *grados de Fahrenheit* en *grados centígrados*, comenzaremos por separar 32.^o del número de grados dados, y tomaremos los $\frac{5}{9}$ de la resta, ó los $\frac{1}{9}$ si quisiésemos obtener grados de *Reaumur*.—La operación inversa nos convertiría los *grados centígrados* ó de *Reaumur* en grados de *Fahrenheit*.

14. **Límites del termómetro de mercurio.** El mercurio se congela á la temperatura de 39.^o, y entra en ebullición á + 360.^o—Por consiguiente entre estos dos límites se encierran las indicaciones de los termómetros de mercurio.

15. **Termómetros de alcohol.** El límite superior de estos termómetros es de 76.^o—Son absolutamente lo mismo que los de mercurio, y se gradúan comparándoles con un buen termómetro de mercurio.

16. **Termómetro de gas.** Nos ocuparemos de este aparato y de sus usos al tratar de la medida de la dilatación de los gases.

17. Termómetro diferencial.

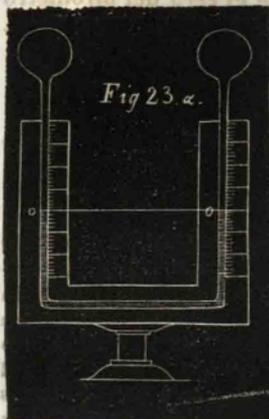


Fig. 23. a.

Este termómetro, inventado por *Leslie*, indica únicamente la diferencia de temperaturas. — Consiste en un tubo horizontal de cristal (fig. 23 a), con dos brazos verticales terminados en dos esferitas de bastante capacidad. — Una columna líquida llena el aparato hasta una misma altura en los brazos verticales. — Mientras que el aire contenido en las dos esferitas está á una misma temperatura, el nivel del líquido está en un mismo plano horizontal; pero aplicando calórico á una de las esferas, el aire se dilata y el líquido sube de nivel en el tubo opuesto. — Para graduar este aparato se marca cero en el punto de nivel horizontal de los dos brazos. — Se coloca una de las esferas en agua á 10.° y la otra en agua á 0.° — Se anota 10 sobre el tubo en el punto donde se detiene el índice. — Se divide el espacio entre 0.° y 10.° en 100 partes iguales, cada una de las cuales corresponde á 0,10 de grado del centígrado entre las temperaturas de las dos esferas.

18. Termóscopo de Rumford. Solo difiere del anterior en que el brazo horizontal es mucho mayor, pues contiene toda la graduacion, y en que los verticales son muy cortos.

19. Pirómetros. Los *pirómetros* son unos instrumentos destinados á medir aproximadamente temperaturas muy altas.

20. Pirómetro de cuadrante. Le hemos descrito al tratar de la dilatabilidad de los sólidos (fig. 22 a).

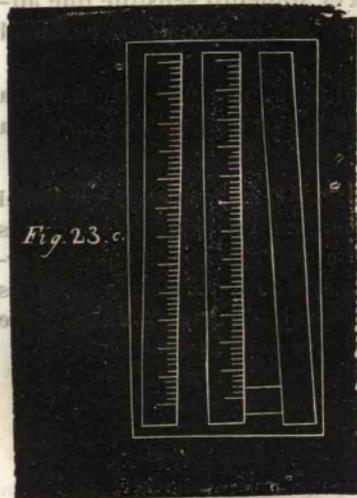


Fig. 23. c.

21. Pirómetro de Wedgwood. Es el mas usado, y está fundado en la propiedad de la arcilla de contraerse por medio del calor. Consiste (fig. 23 c) en una placa de cobre á que se fijan dos barras del mismo metal ligeramente reclinadas, para que formen entre sí una especie de ranura cónica. Uno de los lados de la ranura está dividido en 240 partes iguales ó grados del pirómetro. Cada cilindro de arcilla se introduce hasta cero. Para averiguar la temperatura de un horno, por ejemplo, se somete á ella un cilindro de arcilla, que se introduce luego en el pirómetro. Si se introduce, v. g., hasta el grado 60.°, esta será la temperatura del horno.

22. Observacion. Se admite generalmente que el *cero* del pirómetro corresponde á 580.º del termómetro centígrado, y que cada grado del pirómetro representa 72.º del mismo termómetro.

§. II. Medida de las dilataciones.—Aplicaciones.—Densidad de los gases.

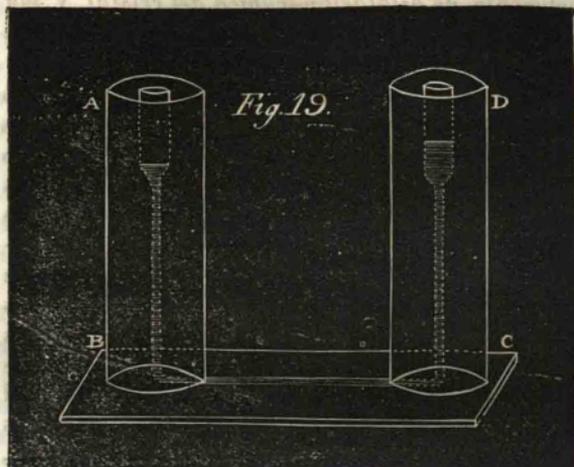
1. Cuántas especies de dilataciones debemos distinguir en los líquidos?—2. A qué se llama coeficiente de dilatacion?—3. Cuál es el coeficiente de dilatacion del mercurio?—Por qué medio ha sido hallada?—Puede hallarse por el mismo método la dilatacion aparente de los demas líquidos?—4. Cuál es el aparato destinado á hallar la dilatacion absoluta del mercurio? cuál es el coeficiente de esta dilatacion?—5. Hay algun otro líquido ademas del mercurio que se dilate uniformemente de 0.º á 100.º?—6. Cuál es el maximum de la densidad del agua?—7. Qué clases de dilataciones se distinguen en los sólidos?—8. Conocida la dilatacion lineal puede conocerse la cúbica?—9. Cuál es la dilatacion del cristal?—10. Qué método se emplea para medir la dilatacion de los sólidos?—11. Cuál es el medio de medir la dilatacion de los gases?—12. Cuáles son las leyes de Gay-Lussac sobre esta dilatacion?—13. Cuál es el coeficiente de dilatacion de los gases segun M. Regnault?—14. Qué es el péndulo compensador?—15. Qué es el termómetro de Breguet?—16. Y el de aire?—17. Cómo se halla la densidad de los gases?—18. Cuánto pesa un litro de aire seco á la temperatura 0.º y á la presion 0.m.,76?

1. Dilatacion de los líquidos. La esperiencia demuestra que debemos distinguir en los líquidos dos especies de dilataciones: 1.ª la dilatacion real ú *absoluta*, esto es, el aumento de volúmen que adquiere la masa líquida considerada independientemente del vaso que la contiene; 2.ª la dilatacion *aparente* ó sea el aumento sensible que adquiere el líquido encerrado en otro cuerpo sólido, que se dilata como él aunque en menor cantidad.

2. Llámase *coeficiente de dilatacion* el aumento que adquiere la unidad de volúmen de un cuerpo al pasar de la temperatura de *cero* á la de *un grado* del termómetro de mercurio.

3. **Dilatacion aparente de los líquidos.** Comenzaremos por la del mercurio. Segun lo ya espuesto, esta dilatacion en un tubo de cristal es siempre uniforme.—MM. Petit et Dulong han determinado por medio del *termómetro de peso* el coeficiente de la dilatacion aparente del mercurio, que es igual á la 6480 parte de su volúmen á *cero*.—Por el mismo método se puede hallar el coeficiente de dilatacion aparente de todos los líquidos.

4. **Dilatacion absoluta del mercurio.** La fig. 19 representa un aparato destinado á hallar el



coeficiente de esta dilatacion.—ABCD son dos vasos cilíndricos que comunican entre sí por el tubo horizontal BC.—Este tubo y vasos llenos de mercurio estan á igual temperatura. Pero si el brazo ó tubo AB está á una temperatura t y CD á la temperatura t' el mercurio no estará en un mismo plano horizontal en ambos brazos. Observando pues por este medio la dilatacion del

mercurio de 10 en 10 grados, á partir desde cero, se halló que:

1.º De 0.º á 100.º el mercurio se dilata *uniformemente* por cada grado centígrado en 5350.º parte de su volúmen á cero.

2.º Desde 100.º la dilatacion *absoluta* del mercurio deja de ser uniforme. El coeficiente de su dilatacion *media* es $\frac{1}{5352}$ entre 0.º y 200.º, y $\frac{1}{5300}$ entre 0.º y 300.º

5. **Medida de la dilatacion de otros líquidos.** La esperiencia comprueba que ningun otro líquido, esceptuando el mercurio, se dilata uniformemente, ni aun de cero á 100.º.

6. **Maximum de la densidad del agua.** Si tomamos una masa de agua á 100.º y bajamos progresivamente su temperatura, hallaremos que hasta 4.º su volúmen disminuye y su densidad aumenta. Pero pasando este límite, el agua en vez de contraerse se dilata y disminuye en densidad, de manera que á 3.º, 2.º, 1.º, y 0.º, tiene sensiblemente el mismo volúmen y densidad que á 5.º, 6.º, 7.º y 8.º Luego el maximum de densidad del agua es á los 4.º, escepcion notable de las leyes generales de dilatacion.

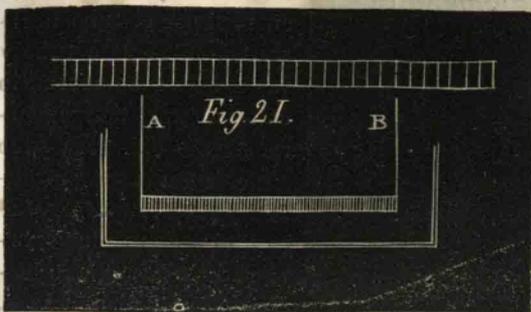
7. **Mediclon de la dilatacion de los sólidos.** Distínguense en los sólidos dos clases de dilataciones: la *lineal* ó de longitud y la *cúbica* ó de volúmen.

8. **Observacion.** Conocida la primera, conoceremos la segunda, puesto que se prueba matemáticamente que: *el coeficiente de dilatacion cúbica es siempre triple del coeficiente de dilatacion lineal.*

9. **Dilatacion lineal.—Dilatacion del cristal.** Puesto que la dilatacion absoluta del mercurio es uniforme de 0.º 100.º, la del cristal lo será tambien, puesto que la dilatacion aparente contenida en el tubo del termómetro es tambien uniforme hasta dicho límite, y esta dilatacion del cristal

será de 38700 parte de su volúmen á cero por cada grado del centígrado. Por manera que $\frac{1}{38700}$ será el coeficiente de dilatacion cúbica del cristal, y por consiguiente $\frac{1}{118100}$ será su coeficiente de dilatacion lineal. Es decir, que una lámina de cristal al pasar de 0.º á 100.º se alargará en $\frac{1}{1181}$.

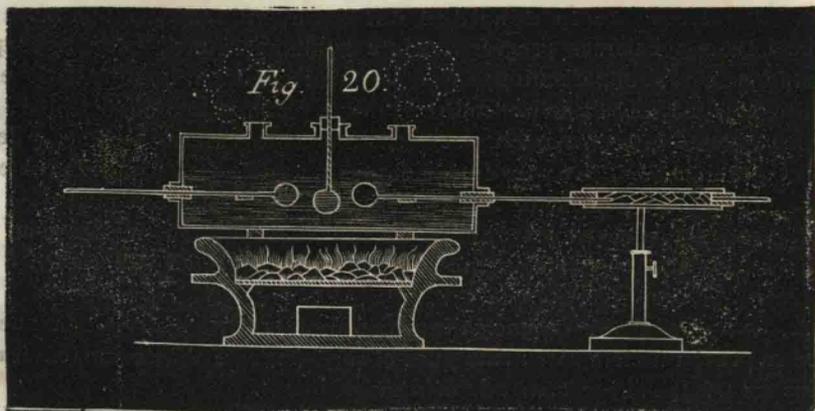
10. **Medios de medir la dilatacion de los sólidos.** Aunque sería



fácil deducirla de la de los líquidos, se han inventado otros medios. Uno de ellos consiste en someter la barra cuya dilatacion se quiere estudiar á un calor capaz de dilatarla. A las estremidades de la barra se adaptan dos barrillas rectangulares que se aproximan ó se alejan al

mismo tiempo que la barra se contrae ó se dilata, y haciendo coincidir las estremidades de las barrillas con las divisiones de una regla bien graduada, se puede medir la dilatacion de los sólidos (fig. 21). La esperiencia comprueba que estos se dilatan menos que los líquidos y desuniformemente. Entre 0.º y 100.º todos los cuerpos sólidos ensayados se dilatan proporcionalmente á la temperatura evaluada en grados del termómetro de mercurio. Fuera de estos límites los coeficientes de dilatacion tienen valores sensiblemente crecientes con las temperaturas.

11. **Medio de medir la dilatacion de los gases.** Un tubo de cristal casi capilar terminado en una esferaita, y dividido en partes iguales, es el aparato destinado al efecto (fig. 20). Por una esperiencia preliminar se gra-



dúa á cuántas divisiones del tubo equivale la capacidad de la esfera. Llena esta y el tubo del gas cuya dilatacion se quiere estudiar, se somete á la temperatura del hielo derretido, y se mira en qué division del tubo se detiene un

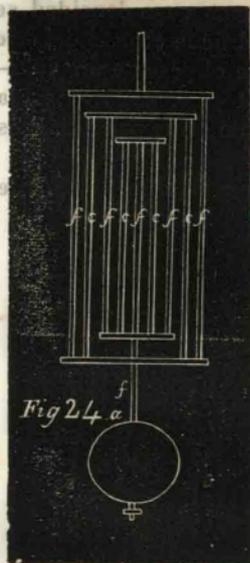
pequeño índice de mercurio que debe haber quedado en el tubo. Se coloca en seguida el aparato en una caja rectangular de hoja de lata, cuya pared lateral está perforada para dejar pasar el tubo. La caja está llena de agua y provista además de dos termómetros de mercurio. — Una hornilla eleva progresivamente la temperatura del líquido. Se nota así exactamente los diversos puntos en que se detiene el índice de 5 en 5 grados, y se obtiene fácilmente los volúmenes sucesivos por que pasa la masa líquida.

12. Leyes de Gay-Lussac sobre la dilatacion de los gases. Operando del modo que acabamos de manifestar, M. Gay-Lussac halló las leyes siguientes:

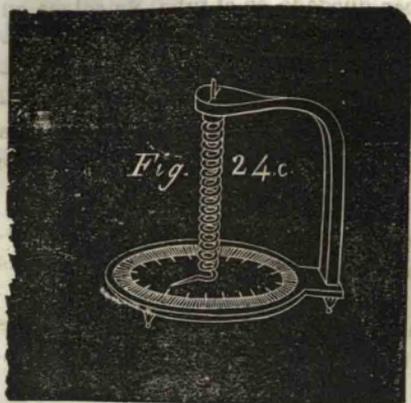
1.ª Bajo una presión constante, el aire y todos los gases secos, simples ó compuestos, se dilatan en una misma fracción de su volúmen por una misma elevacion de temperatura.

2.ª Su dilatacion es uniforme de 0.º á 100.º, y cada uno de ellos, por el aumento de un grado en la temperatura, aumenta un 0,00375 de su volúmen á cero.

13. Observacion. Sin embargo, M. Regnault en sus nuevas esperiencias halló que el coeficiente de dilatacion del aire bajo la presión ordinaria era 0,003665.



14. Aplicaciones. 1.ª Péndulo de compensacion. La fig. 24 a representa el péndulo compensador mas usado. Las barrillas señaladas *f* son de hierro, las señaladas *c* son de latón. Segun su disposicion, la dilatacion de las barrillas de hierro se efectúa de arriba abajo y las de cobre de abajo arriba, y tienden á volver á hacer subir la lenteja.

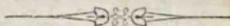


15. 2.^a **Termómetro de Breguet.** Este termómetro está formado de una cinta metálica compuesta de dos metales, plata y platino, soldados entre sí y contorneados en espiral. Cuando la temperatura sube, la plata, dilatándose mas que el platino, todas las espirales de la hélice tienden á abrirse y desenroscarse, y la aguja gira en un sentido. Si la temperatura baja, la aguja marcha en sentido contrario.—Este termómetro se gradúa por medio de un termómetro de mercurio (fig. 24 c).

16. 3.^a **Termómetro de aire.** El aparato descrito en la fig. 20 es un termómetro de esta clase, y puede servir para medir temperaturas mas exactamente que el de mercurio, maxime siendo mas elevadas que 100.^o.

17. 4.^a **Densidad de los gases.** El conocimiento de las leyes de dilatacion era indispensable para entrar en esta nueva investigacion. En ella se toma por unidad el aire atmosférico. Se pesa primero una esfera de cristal llena de aire, luego vacía, y finalmente llena del gas cuya densidad se busca.—Restando la segunda pesada de la primera se obtiene el peso del aire que llena la esfera, y restándole de la tercera se obtiene el peso de un volúmen igual de gas. Dividido el peso del aire por el del gas, hallaremos la densidad buscada. Sin embargo, es necesario ademas de otras precauciones tener en cuenta la temperatura y presion atmosférica.

18. Un litro de aire seco á la temperatura de 0.^o y bajo la presion de 0.m,76 pesa 1.gr, 3.



§. III. Propagacion del calor.—Calor radiante.

1. De cuántas maneras se propaga el calor?—2. Cómo se prueba la radiacion?—3. Se trasmite el calórico en el vacío?—4. Cómo se demuestra que el calórico se trasmite en línea recta cuando atraviesa un medio homogéneo?—5. Demostrar la reflexion del calor.—6.Cuál es la velocidad del calor?—7.Cuál es la ley de Newton sobre el calor radiante?—8. Describir el reflector de Leslie.—9. Para qué sirve este instrumento?—10. Demostrar que: 1.º La intensidad del calor radiante varia en razon inversa del cuadrado de la distancia.—11. 2.º que es proporcional á la temperatura del foco calorífico.—12. 3.º que varia con la inclinacion de los rayos caloríficos.—13. Qué efecto natural esplica esta ley?—14. De qué otras causas depende la intensidad del calor radiante?—15. A qué se llama poder emisivo y cómo se demuestra?—16. Qué se entiende por poder reflectante y absorbente?—17. Demostrar que el poder reflectante y absorbente sigue siempre un órden inverso.—18. Qué consecuencia se deduce de esta demostracion?—19. Demostrar que la relacion entre la cantidad absorbida y la reflejada varia con la naturaleza de los cuerpos y con el estado de su superficie.—20. Demostrar la identidad del poder emisivo y absorbente.—21. A qué se llaman cuerpos diatermanes y atermianes?—23. Qué cuerpos poseen en mayor grado la primera de estas propiedades?—23. Aplicaciones: 1.ª al equilibrio de temperatura.—2.ª á la reflexion aparente del frio.—3.ª A los usos comunes de la vida.

1. El calor se propaga de un cuerpo á otro de dos maneras:

- 1.ª Cuando los cuerpos estan distantes unos de otros por *radiacion*.
- 2.ª Cuando estan en contacto por *comunicacion ó conductibilidad*.

2. **Radiacion.** *Un cuerpo caliente emite calor al rededor suyo y en todas direcciones.*

Demostracion. Colocando un foco de calor, una hornilla por ejemplo, vemos que en cualquier direccion en que nos pongamos á su alrededor y á cierta distancia nuestros órganos experimentan una sensacion de calor.

3. *El calórico se trasmite tambien en el vacío.*

La esperiencia de Rumford ha comprobado esta verdad.

4. *El calor se trasmite en línea recta cuando atraviesa un medio homogéneo.*

Demostracion. Efectivamente, si en la misma línea recta que une un foco de calor con la esfera de un termómetro se interpone una pantalla opaca, el termómetro no indica ninguna elevacion de temperatura; pero si se quita la pantalla sube instantáneamente, lo que prueba lo que queríamos demostrar.

5. **Reflexion del calórico.** *Cuando un rayo calorífico cae sobre una superficie pulimentada, es reflejado en un plano normal á la superficie, formando el ángulo de reflexion igual al de incidencia.*

Demostracion. Para comprobar esta ley se colocan uno enfrente

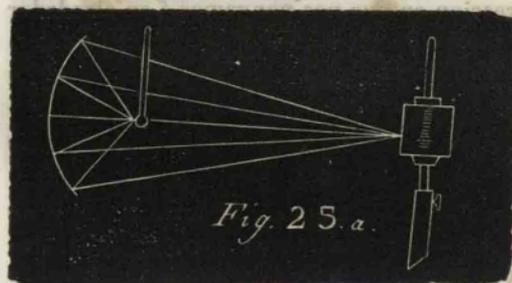


de otro dos espejos esféricos (figura 22). $MMM'M'$.— Si conocemos sus centros CC' , conoceremos también sus focos, mitad de los radios AC y $A'C'$.— Ahora bien: colocando un

cuerpo caliente (carbones encendidos por ejemplo) en F y un termómetro en F' , veremos que el termómetro sube. Luego es evidente la ley propuesta. Por este medio, sustituyendo al termómetro un poco de yesca, lograríamos inflamar esta á una distancia de mas de 23 á 30 pies.

6. Velocidad del calor radiante. Se ha admitido generalmente que es igual á la de la luz, esto es, de 80000 leguas por segundo.

7. Leyes de la intensidad del calor radiante. Ley de Newton. Cuando la temperatura de un cuerpo no escede mas que en un número pequeño de grados á la del medio donde se enfria, la pérdida de calor que experimenta en cada instante, es proporcional al exceso de su temperatura sobre la del medio que la rodea.



8. Reflector de Leslie. Consiste en un espejo esférico cóncavo (fig. 25 a), sobre cuyo eje se coloca un cuerpo caliente, y en el punto donde los rayos emitidos por el cuerpo y reflejados por el espejo una de las esferitas de un termómetro diferencial.

9. Este instrumento sirve para medir la energía del calor radiante y comprobar sus

10. Leyes. 1.^a La intensidad del calor radiante varia en razon inversa del cuadrado de la distancia al cuerpo que le emite.

Demostracion. Colocando sucesivamente delante del reflector de Leslie un cubo lleno de agua caliente, con temperatura constante y á distancias iguales 1, 2, 3..... el exceso de temperaturas que marca el termómetro

son entre sí como los números 1, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, etc, lo que demuestra la ley enunciada.

11. 2.^a *La intensidad del calor radiante es proporcional á la temperatura del foco calorífico de que emana.*

Demostracion. Colocando el cubo metálico en un punto fijo, y llenándole sucesivamente de agua á la temperatura de 90.°, 80.°, 70.°... los escos de temperaturas correspondientes indicadas por el termómetro serán entre sí como los números 9, 8, 7....

12. 3.^a *La intensidad de los rayos caloríficos varia con su inclinacion con relacion á la superficie que los emite; y esta intensidad está en su maximum cuando los rayos son perpendiculares á la superficie radiante, y decrece á medida que su oblicuidad aumenta.*

Demostracion. Presentando alternativamente al reflector la superficie plana y la convexa de un vaso semi-cilíndrico, el efecto producido seria el mismo en ambos casos. Lo que comprueba que la perpendicularidad de los rayos equivale al mayor número de estos siendo oblicuos.

13. **Observacion.** Esta ley explica por qué los rayos solares no calientan igualmente la tierra en las diversas épocas del año y á las diferentes horas del dia.

14. La intensidad del calor radiante de los cuerpos depende tambien de su naturaleza y del estado de su superficie, lo que conduce á estudiar su

15. **Poder emisoro.** Llámase asi la propiedad que tienen los cuerpos á temperaturas iguales de emitir al exterior una cantidad de calor mas ó menos grande, segun la naturaleza de su sustancia y el grado de pulimento de su superficie.

Demostracion. Colocando delante del reflector de Leslie un vaso de forma cúbica lleno de agua hirviendo, cuyas caras esten cubiertas de negro-humo, cristal, cobre y estaño, y volviendo sucesivamente las caras al aparato, se observa que el termómetro varia cada vez de temperatura.—Las caras pueden tambien platearse, dorarse, pulimentarse, despulimentarse, rayarse etc.—El termómetro comprobará la diferencia del poder emisoro en cada uno de los casos.—Se nota asimismo que un mismo metal pulimentado, despulimentado y rayado, adquiere sucesivamente en cada uno de estos casos mayor poder emisoro.—La sustancia que en igualdad de circunstancias tiene mas desarrollada esta propiedad es el negro-humo. Representando por 100 el poder emisoro de esta sustancia, se halla para las demas los números siguientes: papel 98; cristal 90; tinta de china 88; mercurio 20; plomo 19; hierro 13; estaño, plata y cobre pulimentados 12.

16. **Efectos del calor radiante en los cuerpos que le reciben.—Poder reflectante y absorvente.** La propiedad que tienen los cuerpos de reflejar y absorber una porcion mas ó

menos grande del calor que cae sobre sus superficies , constituye su poder *reflectante* y *absorbente*.

17. *El poder reflectante y absorbente siguen siempre un orden inverso en un mismo cuerpo.*

Demostracion. Efectivamente, si de 100 rayos caloríficos que caen sobre la superficie de un cuerpo absorbe 70, reflejará 30 ; por manera que las cantidades de calor absorbido y reflejado son siempre complementarias.

18. **Consecuencia.** Por consiguiente, el conocimiento del poder *reflectante* conduce al conocimiento del *absorbente* y reciprocamente.

19. *La relacion entre la cantidad absorbida y reflejada varia con la naturaleza de los cuerpos y con el estado de su superficie.*

Demostracion. Alterando la superficie del espejo del aparato de Leslie podemos demostrar lo enunciado. Efectivamente, si el espejo es de cobre pulimentado, apenas se calentará sensiblemente y reflejará casi del todo el calor emitido por el foco calorífico.—Si se raya la superficie del espejo se disminuirá el poder *reflectante* y se aumentará el *absorbente*. Finalmente, cubriendo con una capa de negro-humo la superficie del espejo , absorberá enteramente el calor incidente y no reflejará nada , puesto que el termómetro no indica ninguna elevacion en la temperatura.

20. **Identidad del poder emisor y absorbente.** *Los poderes emisivos de los cuerpos son siempre idénticos á sus poderes absorbentes.*

Demostracion. Efectivamente, si un cuerpo cualquiera á la temperatura de 10.º colocado en un recinto á 0.º emite en un segundo, por ejemplo 5.º, este mismo cuerpo á 0.º colocado en un recinto á 10.º absorberá en el mismo tiempo otros 5.º

21. **Trasmision del calor radiante al través de los cuerpos.** Los cuerpos que dejan atravesar por su interior una parte del calor radiante incidente sobre ellos se denominan *diatermanes*, los que no tienen esta propiedad *atermanes*.

22. **Observaciones.** El aire y los gases son eminentemente *diatermanes*. Los líquidos no lo son tanto. Entre los sólidos , los que son transparentes para la luz , lo son mas ó menos para el calor.

23. **Aplicaciones.** 1.ª De la teoría espuesta se deduce que , colocados varios cuerpos á temperaturas desiguales en un mismo recinto , la radiacion mas ó menos intensa que se establecerá entre ellos constituirá una temperatura igual en todo el recinto ; pero no por eso dejarán de continuar la radiacion. Este efecto se denomina *equilibrio móvil de temperatura*.

2.ª **Reflexion aparente del frio.** Este fenómeno se explica perfectamente por la teoría del equilibrio móvil de temperatura.

Colocando dos espejos esféricos cóncavos uno frente á otro , de manera que sus ejes coincidan , y poniendo un termómetro en uno de los focos y un

matraz lleno de nieve en el opuesto, se nota que el termómetro baja muchos grados. Lo que es efecto de la diferente intensidad de radiación que se establece entre el termómetro y el matraz.

3.^a Las leyes del calor radiante tienen muchas aplicaciones no solo en varias teorías físicas, sino en los diversos usos de la vida común. En efecto, para calentar un cuerpo procuraremos que su superficie sea escabrosa y negra, y para conservar los líquidos calientes usaremos de vasijas blancas y bien pulimentadas.—Por eso los braseros deben estar bien pulimentados, y las estufas, por el contrario, negras y poco lisas. Los vestidos en tiempo de frío deben ser blancos á la sombra y negros al sol; en verano al contrario etc.

§. IV. Continúa la propagación del calor.—Conductibilidad.

1. Qué es conductibilidad?—2. Demostrar que: 1.º el calor se propaga en los sólidos por una radiación interior.—3. 2.º esta radiación solo influye en la exterior hasta cierto límite.—4. 3.º la propagación del calor decrece en progresión geométrica.—5. 4.º la misma varía con la naturaleza de los cuerpos.—6. Qué consecuencia se deduce de esta última demostración?—7. Demostrar que: 1.º El movimiento del calor en los líquidos es debido á las corrientes que se establecen en su masa.—8. Consecuencia de esta demostración.—9. Demostrar que: 1.º Los gases se calientan y enfrian como los líquidos por medio de corrientes.—10. Consecuencia de esta demostración.—11. Aplicaciones.

1. La facultad que tienen los cuerpos de transmitir el calor de cerca en cerca en sus masas se llama *conductibilidad*. Examinaremos sucesivamente esta facultad en los *sólidos*, los *líquidos* y los *gases*.

2. **Conductibilidad de los sólidos.** 1.º *El calor se propaga en los cuerpos sólidos por una radiación interior de molécula á molécula.*

Demostración. Efectivamente, colocando una capa de barniz de una 20000 parte de pulgada de grueso sobre una de las caras del cubo del reflector de Leslie, la cantidad de calor emitida varía; la adición de una 2.^a, 3.^a 4.^a capa de barniz, aumenta la radiación. Luego es evidente el calor no emana solo de las capas superficiales, sino de las que están debajo. Luego hay una radiación molecular.

3. 2.º *La radiación molecular influye en la radiación exterior solo hasta cierto límite.*

Y en efecto, si proseguimos la experiencia precedente hasta que la capa de barniz llegue á una milésima de pulgada de espesor, la adición de nuevas capas no se hace ya sensible en el aparato. No por eso las moléculas interiores dejan de radiar, sino que el calórico emitido es absorbido por las capas que le rodean antes de llegar al exterior.

4. 3.º *La intensidad de propagación del calor en los cuerpos decre-*

ce en progresion geométrica si las distancias de las diferentes partes del cuerpo al foco calorífico crecen en progresion aritmética.

Demostracion. Si colocamos la estremidad de una barra metálica en un foco calorífico y la subdividimos en secciones, colocando en cada una de ellas un termómetro, veremos que las temperaturas marcadas por estas siguen una progresion geométrica decreciente, siguiendo sus distancias al foco la progresion aritmética creciente.

5. 4.º *El poder conductor ó la conductibilidad de los cuerpos varia con la naturaleza de estos.*

Demostracion. El aparato de *Ingenhouz* nos servirá al efecto. Consiste en una caja rectangular de cobre llena de agua hirviendo, en uno de cuyos lados se colocan varitas cilíndricas iguales, pero de distintas sustancias, y cubiertas de una capa de cera. Es evidente que la distancia á que se estienda la fusion de la cera estará en relacion con el poder conductor de la sustancia que reviste.

6. **Consecuencas.** De aqui la division de los cuerpos en buenos conductores y malos conductores. Los metales estan en el primer caso. Los óxidos, las piedras, el mármol, la porcelana, el cristal, la lana, el carbon y especialmente la madera seca, son malos conductores.

7. **Conductibilidad de los líquidos.** 1.º *El movimiento del calor en los líquidos es debido casi enteramente á las corrientes que se establecen en su masa y que mezclan todas sus partes, siendo esencialmente débil la radiacion molecular.*

Demostracion. Si consideramos una vasija de cristal llena de un líquido que solo esté en comunicacion con un foco calorífico por su parte inferior, las capas líquidas inferiores inmediatamente calentadas, se hacen menos densas que las demas y suben á la parte superior del líquido, formando una corriente ascendente; y las capas laterales menos calientes, y por consiguiente mas densas, forman corrientes descendentes: por manera que todas las partículas del líquido vienen alternativamente al fondo de la vasija á recibir la impresion del calor.—Estas corrientes se hacen sensibles mezclando al líquido un polvillo coloreado, cuya densidad sea igual á la suya. Estas particillas sólidas suben y bajan con las corrientes, é indican á la vista su direccion y movimientos.

Si el líquido se calienta por la parte superior, la comunicacion del calor solo se estiende á una profundidad muy corta, lo que se comprueba colocando un termómetro horizontalmente á una profundidad cortísima del líquido que se calienta: sin embargo, esta misma esperiencia comprueba que la conductibilidad de los líquidos de capa á capa, cuando no se efectúan las corrientes, no es enteramente nula, pues el termómetro la hace sensible, aunque en cantidad muy tenue.

8. **Consecuencia.** Los líquidos son pues en general malos conducto-

res del calórico: el mercurio es el mejor conductor de todos ellos, y por eso se experimenta una sensación de frío al meter la mano en una vasija que le contenga.

9. **Conductibilidad de los gases.** 1.º *Los gases se calientan y se enfrían como los líquidos por medio de corrientes que es imposible impedir.*

Demostracion. Si colocamos en una habitacion un foco calorífico, veremos establecerse las mismas corrientes que en los líquidos, puesto que las capas de aire en contacto con el foco se dilatan, y se hacen específicamente mas ligeras, por lo cual suben á la parte superior, desde donde bajan las mas densas á ocupar su lugar. Estas corrientes pueden hacerse sensibles por medio de termómetros, ó bien observando la salida y entrada del aire en la estancia: aquella se verifica por una corriente superior que puede hacer sensible la direccion de una veleta, y esta por otra inferior cuya direccion al foco nos indicará otra veleta.

10. **Consecuencia.** Los gases son pues los cuerpos peores conductores del calor; y si se pudiese impedir la formacion de las corrientes, el calor se trasmitiria muy dificilmente por su medio.

11. **Aplicaciones.** Un vestido de lana trasmite dificilmente el calor del cuerpo en invierno, y deja dificilmente penetrar el calor del sol en verano.—Una sartén de metal se calienta mas pronto que una de loza.—Los mangos de los útiles de cocina suelen ser de madera para evitar la trasmision del calor.—En general las sustancias filamentosas, como la lana, la pluma, el cotton, etc., ya por sí malas conductoras, aumentan esta propiedad con la interposicion del aire é impiden que se desperdicie al exterior el calor de los cuerpos que envuelven; lo que esplica las propiedades y usos de los forros y pieles en los paises frios.—Las ventanas dobles deben á la misma causa, esto es, á la interposicion del aire, su facultad preservadora contra la pérdida del calor interior de los aposentos.—Una bola de mercurio congelado, colocada en la mano, causa una sensacion de quemadura é inflamacion, resultados de una gran cantidad de calor, que se precipita de todas partes hácia un punto tan escesivamente frío.—Por la misma razon, suelen calentarse las manos frotándolas con nieve.

§. V. Capacidades calorificas.

4. De qué elementos depende la cantidad de calor que un cuerpo emite ó absorve cuando sufre un cambio dado de temperatura?—2. Cuál será la espresion de la cantidad de calor absorvida y emitida por un cuerpo, segun los elementos referidos?—3. A qué se llama capacidad calorífica?—4. Cuál es la unidad del calor específico?—5. Cuáles son los métodos mas sencillos para hallar el calor específico de los cuerpos?—6. En qué consiste el método de las mezclas?—7. En qué consiste el método de la fusion del hielo?—8. Describir el calorimetro de Lavoisier y Laplace?—9. Cómo se determina el peso P del agua procedente de la fusion por medio del pozo de nieve?—10. La temperatura de los cuerpos altera su capacidad calorífica?

1. La cantidad de calor que un cuerpo emite ú absorve cuando sufre un cambio dado de temperatura depende de tres elementos.

1.^o *Masa del cuerpo*, esto es, que una masa doble, triple..... exige cantidad de calor doble, triple.

2.^a *Temperatura*, esto es, que para elevar 2.^o la de un cuerpo se necesita mas calor que para elevarle 1.^o

3.^a *Capacidad calorífica*, esto es, la diferente cantidad de calor que necesitan los cuerpos de distintas naturalezas, pero de igual peso, para elevar su temperatura en un mismo número de grados.

2. **Consecuencia.** Dedúcese de estos tres principios que si la temperatura de un cuerpo cuya masa sea m , la capacidad calorífica c , se ha elevado ó bajado t .^o, la cantidad de calor absorbida ó emitida estará espresada por el producto $m. c. t$.

3. **Medida de las capacidades caloríficas de los cuerpos.—Capacidad calorífica.** Llámase *capacidad* de un cuerpo para el calor, ó *calor específico*, la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado la temperatura de la unidad de peso del cuerpo.

4. Se ha tomado por unidad del calor específico la del agua destilada, esto es, la cantidad de calor necesaria para elevar un grado la temperatura de un *gramo* de agua.

5. Los métodos mas sencillos para hallar el calor específico de los cuerpos son el de las *mezclas* y el de la *fusion del hielo*.

6. **Método de las mezclas.** En este método se mezclan siempre dos cuerpos á distintas temperaturas, de manera que el calor que salga del uno se emplee en el otro hasta que ambos queden con una temperatura igual. Se emplea generalmente el agua y un cuerpo á mayor temperatura.

En efecto, sea M la masa de agua fria; C , su capacidad; t , su temperatura.

M' la masa del cuerpo caliente, C' su capacidad y t' su temperatura.

Finalmente, sea T la temperatura de la mezcla.

Luego la temperatura del agua se habrá elevado en $T-t$, y la cantidad de calor absorbida por este líquido podrá espresarse por $MC (T-t)$. Pero la cantidad de calor perdida por el cuerpo caliente podrá tambien espresarse por $M'C' (t'-t)$. Por consiguiente tendremos la ecuacion :

$$MC (T-t) = M'C' (t'-t), \text{ de donde } \frac{C'}{C} = \frac{M (T-t)}{M' (t'-t)}$$

Y como el segundo miembro solo contiene cantidades conocidas por la

esperiencia, será muy fácil deducir la razon $\frac{C'}{C}$; y finalmente, siendo C la uni-

dad como suele hacerse, las capacidades de los cuerpos serán comparadas á las del agua tomada por unidad.

Efectivamente, supóngamos que mezclamos una pulgada cúbica de mer-

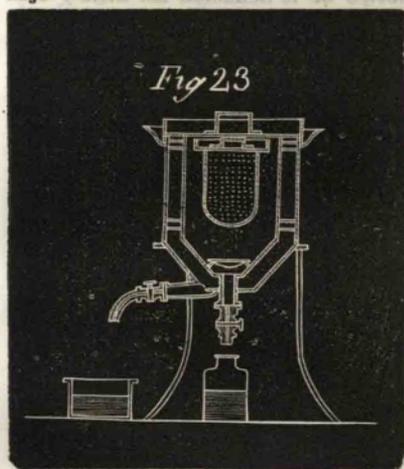
curio á 100.º con otra de agua á 0º, el resultado seria 2 pulgadas cúbicas de mezcla á 3.º, esto es, que el mercurio pierde 97.º, mientras que el agua gana solo 3.º.—Luego la capacidad del mercurio será de 3/97 ó próximamente de 0,03.

7. Método de la fusión del hielo. Este método está fundado en la esperiencia siguiente. Si se mezcla una libra de agua á 79.º con otra de hielo á 0.º, se obtienen 2 libras de agua á 0.º. Resulta de aqui que la cantidad de calor necesaria para fundir un peso dado de hielo, es necesaria y suficiente para elevar un peso igual de agua de 0.º á 79.º (1).

Esto supuesto, si por un medio cualquiera podemos determinar la cantidad de hielo que un cuerpo podria fundir al bajar de una temperatura dada á 0.º, seria fácil calcular la capacidad de este cuerpo para el calórico. En efecto: sea M el peso del cuerpo; C, su capacidad; T, su temperatura. Finalmente, sea P el peso de hielo fundido. La cantidad de calor perdida por el cuerpo será pues $M \times C \times T$. Pero la cantidad necesaria para fundir P libras de hielo es igual á la necesaria para elevar P libras de agua á 79.º Luego tomando el calor específico del agua por unidad, el calor necesario para fundir el agua podrá espresarse por $P \times 79.º$. Luego tendremos $M \times C \times T = P \times 79$,

$$\text{de donde } C = \frac{P \times 79.º}{M \times T}.$$

Solo resta determinar P por la esperiencia. Lavoisier y Laplace nos han dejado un medio en su



8. Calorímetro. Este aparato (figura 23) se compone de tres cavidades metálicas circulares y concéntricas. La mas pequeña é interior está destinada á contener los cuerpos cuyo calor específico se busca. La segunda cavidad se llena de hielo á 0.º, de cuya fusión sale el agua, cuyo peso P es necesario determinar. La tercera cavidad es la mas exterior, y está tambien llena de hielo, á fin de evitar que el aire exterior no contribuya tambien á la fusión del hielo de la segunda cavidad. Todo el aparato tiene una cobertera llena tambien de hielo.

(1) Se habia admitido hasta estos últimos tiempos que la cantidad de calor necesaria para la fusión del hielo era 75.º, número hallado por Lavoisier y Laplace por medio de su calorímetro; pero las recientes esperiencias de MM. Provostaye y Desains han demostrado que dicha cifra es inexacta y que debe aumentarse en 4 unidades. (Véase Anales de Quimica y Física 1843, tomo VIII).

9. **Pozo de hielo.** Puede sustituirse al calorímetro el aparato llamado *pozo de nieve*. Consiste en un pedazo de hielo, en el cual se abre una cavidad bastante profunda, destinada á contener el cuerpo cuya capacidad calorífica se busca. Se tapa con otro pedazo de hielo, y luego que el cuerpo ha llegado á la temperatura de 0.°, se recoge exactamente el agua producida por la fusión, cuyo peso P se determina para sustituirle en la fórmula

$$C = \frac{P \times 79}{M \times T}$$

Esta es la experiencia mas corta y menos sujeta á error.

10. Las esperiencias de MM. Dulong y Petit han probado que la capacidad calorífica de un mismo cuerpo aumenta en general con la temperatura; de manera que para elevar un mismo cuerpo de 100.° á 150.° se necesita mas calor que para elevarle de 0.° á 100.°.

§. VI. Cambio de estado.

1. Qué comprende el estudio del cambio de estado de los cuerpos?—2. De cuántos modos pueden pasar los sólidos á líquidos?—3. Cómo se efectúa la fusión por la acción del calor?—4. Qué fenómenos se observan en el paso de sólidos á líquidos?—5. Qué se deduce de estos dos fenómenos?—6. Cómo se llama el calor insensible al termómetro durante la fusión?—7. Cómo se solidifican los líquidos?—8. Qué fenómenos se observan en el paso de líquidos á sólidos?—9. Cómo se prueba la absorción del calor durante la fusión y su emisión en la solidificación?—10. Cómo se mide el calor latente?—Método de las mezclas.—11. Cómo se halló el calórico de la licuación del hielo y cuál es el número que expresa en la actualidad la medida proporcional de este fenómeno?—12. Se solidifica siempre un líquido á la misma temperatura de fusión?—Cómo puede retardarse este efecto en el agua?—13. Qué otro fenómeno se observa en el paso del agua á hielo?—14. Por qué flota el hielo en el agua?—15. Cómo se efectúa la licuación por una acción química y qué fenómeno se observa generalmente?—16. De qué depende la mayor intensidad del frío producido por la fusión recíproca del hielo y las sales?—17. Cuáles son las principales mezclas frigoríficas?

1. El estudio del *cambio de estado de los cuerpos* comprende: 1.° el paso del estado sólido al líquido, y el paso inverso del estado líquido al sólido; 2.° la transformación de los líquidos en gases ó vapores, y el regreso de estos á líquidos.

2. **Fusión.** Los cuerpos pueden pasar del estado sólido al líquido de dos modos: 1.° por la acción del calor; 2.° por una acción química.

3. **Fusión por el calor.** El primer efecto de la acción del calor sobre un cuerpo sólido es apartar sus moléculas y elevar su temperatura; pero si la intensidad aumenta progresivamente, llegará un momento en que las moléculas adquieren la movilidad de los líquidos, y el cuerpo se fundirá.

4. En el paso de sólidos á líquidos se observan los dos fenóme-

nos siguientes: 1.º La fusion se verifica constantemente en un mismo cuerpo á una misma temperatura; 2.º esta permanece siempre invariable durante todo el tiempo de la fusion.

5. **Consecuencia.** Dedúcese de aqui que el calor que el foco calorífico trasmite al cuerpo durante todo el tiempo de la fusion se emplea enteramente en producir su cambio de estado.

6. Este calor, insensible al termómetro, se denomina *calórico latente*.

7. **Solidificacion.** Si despues de haber liquidado un cuerpo se baja progresivamente su temperatura, la fuerza de cohesion recobra su vigor, y el cuerpo pasa de nuevo al estado sólido.

8. En el tránsito de líquidos á sólidos se observa: 1.º que la temperatura de solidificacion es generalmente la misma que la de fusion (1), 2.º que al volver al estado sólido, el cuerpo desprende toda la cantidad de calor latente que habia absorbido para licuarse.

9. **Pruebas del calórico latente.** Para probar que durante la fusion los cuerpos absorben calor, y le desprenden en su regreso á su estado líquido, es suficiente las dos esperiencias siguientes: 1.º colocando en una hornilla, á un mismo grado de calor, dos vasijas idénticas, provistas cada una de un termómetro, y llenas, la una de agua líquida á 0.º, y la otra de hielo, se observa que el termómetro de la primera sube progresivamente, pero el de la segunda marca constantemente 0.º durante todo el tiempo de la fusion. Luego es evidente que el calor absorbido por el cuerpo en fusion no eleva su temperatura. 2.º Sometiendo á una temperatura de 5.º ó 6.º bajo cero dos vasijas, llena la una de agua pura á 0.º, y la otra llena tambien de agua á la misma temperatura, pero saturada de sales para oponerse á su congelacion, se observa que en la primera vasija el agua se congela y el termómetro marca siempre 0.º mientras dura la congelacion; por el contrario, el agua de la segunda permanece líquida, y el termómetro baja gradualmente. Luego es evidente que el calor que se desprende durante la congelacion es lo que mantiene el termómetro estacionario en la primera vasija.

10. **Medida del calor latente.—Método de las mezclas.** Este método consiste en fundir un cuerpo y mezclarle con el agua fria. En efecto, sea m el peso del cuerpo fundido y t su temperatura; m' la masa de agua fria y t' su temperatura. Llamemos T la temperatura de la mezcla.

Ahora bien: la masa de agua m' al pasar de t' á T , adquiere $m'(T-t')$. La pérdida de calor que esperimentó el cuerpo se compone: 1.º de $mc(t-T)$; 2.º del calor latente desprendido al solidificarse. Luego si designamos por x el calórico desprendido en cada unidad de peso del cuerpo, hallaremos que

(1) Este principio está sujeto á algunas escepciones de que hablaremos luego.

la cantidad desprendida por la masa total estará representada por $m x$, y tendremos la ecuacion

$$m x + m c (t - T) = m' (T - t'), \text{ de donde}$$

$$m' (T - t') - m c (t - T)$$

$$x = \frac{\quad}{m}$$

11. Por este medio se halló el calórico de la licuacion del hielo. — La medida proporcional de diez y siete observaciones muy concordantes, hechas por MM. La Provostaye y Desains, ha dado el número 79,4, que excede en 4,4 al hallado por Lavoisier y Laplace.

12. **Retardo de congelacion del agua.** No siempre un líquido se solidifica á la misma temperatura de su fusion. El agua es una de estas escepciones en casos dados. Efectivamente, cuando se halla perfectamente pura y libre de toda agitacion puede bajarse á 8.º, 10.º y hasta 12.º sin congelarse. Pero entonces un ligero movimiento impreso á la masa líquida, ó cualquier causa que altere su equilibrio, produce la congelacion, y el termómetro sube rápidamente.

13. **Fuerza expansiva del hielo.** Cuando el agua se convierte en hielo aumenta considerablemente de volúmen, y ejerce una fuerza de expansion tal que ninguna vasija la resiste, como demuestran varias esperiencias.

14. Esta dilatacion del agua al congelarse esplica por que los témpanos de hielo flotan á la superficie del agua.

15. **Fusion de los cuerpos por una accion química.** La afinidad química cuando se ejerce entre dos cuerpos puede producir su licuacion ó fusion, y de que resulta por lo general una baja de temperatura.

16. La intensidad del frio producido por la fusion recíproca del hielo y de una sal depende de varias causas: 1.ª La naturaleza de la sal. Las sales diluciescentes son las mas ventajosas. 2.ª Las cantidades relativas del hielo y sal mezcladas. Estas cantidades deben estar en tal proporcion que la fusion sea completa. 3.ª La gran divisibilidad de los dos cuerpos. La nieve caida recientemente es preferible al hielo. 4.ª La temperatura inicial de los dos cuerpos. Cuanto menor sea esta temperatura, mayor será el frio producido por la mezcla.

17. **Mezclas frigoríficas.** Partes iguales de hielo pisado ó nieve y de sal comun en polvo produce una temperatura de $-17^{\circ},77$. — Tres partes de cloruro de calcio con dos de nieve, una de $-27^{\circ},77$. — Si antes de esta mezcla se baja la temperatura de estos cuerpos á $-17^{\circ},77$, se obtiene despues de mezclados una de $-54^{\circ},44$. — Una mezcla de partes iguales de nieve y ácido sulfúrico á $-6^{\circ},66$ da una de -51° . — Enfriando estos cuerpos separadamente á -54° , se obtiene una de -68° .

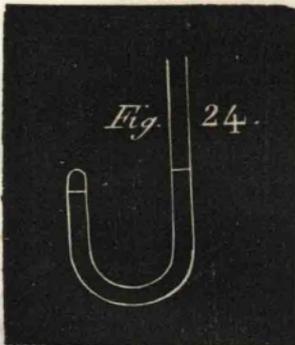
§. VII. *Continúa el cambio de estado.—De los vapores.*

1. Cuando se dice que los líquidos se volatilizan ó trasforman en vapores?—2. Demostrar que los vapores son unos verdaderos gases y en qué se diferencian de estos.—3. Demostrar que los líquidos se trasforman en vapores espontáneamente y á cualquier temperatura.—4. Demostrar que el vapor se forma instantáneamente en el vacío.—5. Cómo se mide la tension ó fuerza elástica del vapor?—6. Demostrar cuál es la tension maxima del vapor en una misma temperatura.—7. A qué se llama espacio saturado?—Cuándo recibe el vapor el nombre de vapor de saturacion ó de tension maxima?—8. Qué leyes siguen los vapores cuando el liquido generador se volatiliza totalmente?—9. Cómo se mide la tension maxima del vapor á diferentes temperaturas?—10. Demostrar que la tension maxima del vapor á la temperatura de ebullicion de su liquido generador es igual á la presion atmosférica.—11.Cuál es la tension del vapor de agua sobre 100.º?—12.Cuál es la tension maxima de un vapor en un espacio cuya temperatura es desigual?—13. Cuáles son las mas importantes aplicaciones del vapor. Explicar: 1.º el principio de las máquinas de simple efecto; 2.º de las de doble efecto; 3.º de las de alta presion.—14. Cómo se mide la densidad de los vapores?—15. Qué consecuencias se han sacado de este conocimiento?

1. Casi todos los líquidos pueden pasar al estado de flúidos elásticos, ya espontáneamente, ya por la accion del calor. Dícese entonces que se *volatilizan* ó que se trasforman en vapores.

2. *Los vapores son unos verdaderos gases, dotados de una fuerza lástica, que crece con la temperatura; pero se diferencian de los gases comunes en que pueden volver fácilmente al estado liquido ya disminuyendo su temperatura, ya aumentando su presion.*

Demostracion. Si tomamos un tubo encorvado de dos brazos desiguales (fig. 24), y colocamos una gota de éter en la estremidad del mas corto, llenando el resto de mercurio hasta que obtengamos el mismo nivel en el mayor, observaremos al meter este aparato en un baño de agua caliente á 50.º ó 55.º que el éter se gasifica, y su fuerza elástica, impeliendo el mercurio del brazo corto, hará subir su nivel en el brazo mayor.—Si quitamos el tubo del baño, y le dejamos enfriar, la gota de éter volverá á su estado liquido. Finalmente, si dejamos el tubo en el baño de agua caliente y añadimos mercurio en



el brazo mayor pa a aumentar la presion que sufre el vapor, este volverá á su estado liquido.

3. *Los líquidos se trasforman en vapores espontáneamente y á cualquier temperatura.*

Demostracion. En efecto, estendiendo una corta porcion de liquido en una vasija de gran superficie, veremos que disminuye poco á poco, has-

ta que desaparece totalmente. Este fenómeno es tanto mas rápido, cuanto mas volátil sea el líquido, como el agua, el alcohol, el éter..... etc.

4. **Estudios de los vapores en el vacío.** *El vapor se forma instantáneamente en el vacío.*



Demostracion. Si colocamos dos barómetros en una misma cubeta, y hacemos pasar á uno de ellos algunas gotas de éter, observaremos que tan luego como este líquido haya atravesado la columna de mercurio penetrado en el vacío barométrico, se evaporizará por lo menos en parte, y que la fuerza elástica del vapor espontánea é instantáneamente formado hará bajar la columna mercurial (figura 25).

5. La depresion causada por el vapor, ó las diferencias de alturas del mercurio en los dos barómetros, miden la *tension* ó fuerza elástica del vapor.

6. **Tension máxima del vapor á una misma temperatura.** Cuando un vapor contenido en un espacio dado á una temperatura constante está en contacto con su líquido generador, toma por sí mismo una *tension máxima*: si se le comprime, se licúa una parte; si se dilata, se evapora otra parte del líquido; de tal manera que, disminuyendo ó aumentando el volúmen, la fuerza elástica y la densidad del vapor permanecen constantes.

Demostracion. Supongamos que *permaneciendo la temperatura constante*, el tubo del *barómetro de vapor* de la anterior esperiencia se introduce ó levanta: en ambos casos el nivel del mercurio en el barómetro, *mientras haya liquido que evaporar*, permanece siempre á la misma altura sobre el nivel de la cubeta, notándose ademas que el grosor de la capa líquida que produce el vapor aumenta cuando se interna el tubo, y disminuye cuando se levanta. Esperiencia que demuestra el enunciado.

7. **Definiciones.** El espacio donde está encerrado el vapor en la esperiencia anterior se dice *saturado*, puesto que contiene todo el vapor po-

sible. Este vapor recibe el nombre de vapor de saturacion, ó de *tension maxima*.

8. Advertencia. Si el líquido contenido en el tubo barométrico se volatiliza totalmente, así como se agranda el tubo se disminuye la tension, y el vapor sigue, como los gases, la ley de Mariotte. Recíprocamente comprimido el vapor, y alejado de su punto de saturacion, la tension aumenta en la misma proporcion.

9. Tension máxima del vapor á diferentes temperaturas.—Tension máxima del vapor de agua á 0.º y 100.º Esta tension se mide por la diferencia de nivel de los dos barómetros del *aparato de Dalton*, semejante al descrito en la fig. 25.

10. La fuerza elástica del vapor formado por un líquido cualquiera, á la temperatura de su ebullicion al aire libre, es igual á la presion atmosférica.

Demostracion. Efectivamente, cuando el agua que rodea los tubos barométricos del aparato mencionado ha llegado á la temperatura de ebullicion del líquido que produce el vapor, esto es, á 100.º para el agua, á 97.º para el alcohol, á 37.º,8 para el éter..... se observa que el mercurio del barómetro de vapor se ha deprimido hasta el nivel exterior de la cubeta.

11. Tension del vapor de agua sobre 100.º. MM. Dulong y Arago, aumentando la presion atmosférica, consiguieron medir la fuerza elástica del vapor de agua hasta veinte y cuatro atmósferas. El aparato de estos físicos consiste esencialmente en una pequeña caldera perfectamente cerrada, en la cual puede elevarse tanto como se quiera la temperatura del agua. Cada grado lo indica un termómetro, y la fuerza elástica del vapor se mide por un manómetro.

12. Tension maxima en un espacio cuya temperatura es desigual. *En un espacio cuya temperatura es desigual, la tension de un vapor en contacto con su líquido generador es igual, y la misma en todas partes á la correspondiente á la temperatura mas baja.*

Demostracion. Consideremos por ejemplo dos vasos, A y B reunidos

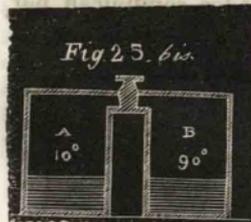


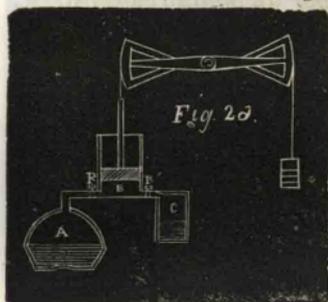
Fig 25. bis.

por un tubo con su llave, el uno á la temperatura de 10.º, y el otro á la de 90.º, conteniendo entrambos vapor de agua y un exceso de líquido (fig. 25 bis). La tension del vapor será de 9.mill.,5 en el primero y de 525 en el segundo. Si abrimos la llave R, cesará el equilibrio: el vapor saturado á 90.º irá á condensarse en parte en el vaso frio, el líquido del vaso B producirá nuevo vapor, que irá á condensarse á su vez, y el fenómeno se reproducirá hasta tanto que el líquido de B haya desaparecido totalmente, y solo quedará en este vaso vapor cuya fuerza elástica sea igual á 9.mill.,5.—

1. **Advertencia.** En cuanto precede hemos supuesto el vapor en contacto con el líquido generador. En el caso contrario los vapores siguen exactamente las mismas leyes que los gases.

13. **Aplicaciones del vapor.** Son generalmente conocidos los admirables resultados del vapor empleado como fuerza motriz. Las máquinas en las artes, los buques, los carruajes de vapor son aplicaciones felices que han dado resultados grandiosos. Desde *Heron*, que dió la primera idea del uso del vapor de agua como fuerza motriz, hasta el célebre mecánico *Watt*, se han multiplicado los inventos aplicados á las necesidades de la industria. El primer barco de vapor realmente empleado se construyó por *Fulton* en 1807 en *New-York*.

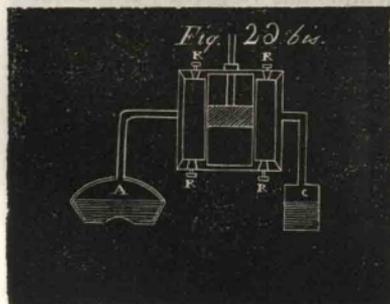
1.º **Máquinas de vapor.—Máquinas de simple efecto.** En estas



máquinas (fig. 26) el cilindro B en que se mueve el pistón ó émbolo, comunica por la parte superior con la atmósfera, y por la inferior está en comunicación: 1.º con la caldera A, donde se forma el vapor por medio de una llave R, y 2.º con el condensador C, cavidad á la cual se hace llegar continuamente agua fría por medio de la llave R'. El tronco del pistón está fijo por medio de una articulación á un balan-

cu que lleva a su otro extremo un contrapeso. Cuando la llave R está abierta, el cilindro está en comunicación por su base con la caldera: el vapor á 100.º que la llena impele de abajo arriba el pistón con una fuerza elástica igual á la de la atmósfera, y el pistón, igualmente impelido por arriba que por abajo, sube en virtud de la fuerza que le imprime el contrapeso. Al llegar á lo mas alto de su curso se cierra la llave R, y se abre la R', y el vapor del cilindro se licúa en el condensador, conservando únicamente la tensión de la temperatura del agua fría, por lo cual la presión atmosférica le baja arrastrando consigo el contrapeso y vuelve á comenzar la misma serie de fenómenos descrita.

2.º **Máquinas de doble efecto.** En estas máquinas (fig. 26 bis) la



caldera y el condensador comunican por una llave doble con la parte alta y baja del cilindro. Las llaves situadas á los extremos de una misma diagonal están siempre abiertas ó cerradas á un mismo tiempo. Supongamos, pues, que R, R_a están abiertas: el vapor de debajo del pistón tendrá una fuerza elástica correspondiente á la temperatura de la caldera, y el vapor colocado encima del pistón una presión casi nula por efecto de su comunicación con el condensador: por con-

UNIVERSIDAD DE HUELVA 2010

siguiente el piston subirá; pero al llegar arriba, las comunicaciones se establecerán en un orden inverso, y el piston bajará, repitiéndose indistintamente la misma serie de fenómenos mientras se reproduzcan sus causas.

3.º **Máquinas de alta presión.** Consisten en el uso que se hace del agua á una temperatura mucho mayor que 100.º; por manera que el vapor puede producir una tension de muchas atmósferas. Generalmente no tienen condensador, y la comunicacion con el aire atmosférico suple por lo comun esta falta.—Tal es el principio en que descansa el efecto de estas máquinas, que para ser bien conocidas necesitan estudiarse en todo su mecanismo.

14. **Densidad de los vapores.** Para reconocer la densidad de los vapores M. Gay-Lussac ha buscado cuál era el volúmen de vapor que producía un peso dado de un líquido á temperaturas y presiones conocidas.—El aparato de que se sirvió Gay-Lussac no puede servir para líquidos cuya temperatura de ebullicion escede de 100.º—Monsieur Dumas ha hallado el medio de verificarlo pesando una redoma llena de aire, y luego llena de vapor, á una temperatura dada.

15. **Consecuencias.** La espresion del vapor de agua, comparado con el aire, es de 0,623. De que se deduce que un gramo de agua ocupará al vaporizarse á la temperatura 100.º en un volúmen 1700 veces mayor.

La densidad *absoluta* del vapor aumenta rápidamente con la temperatura cuando está en estado de saturacion. M. Cagniard halló que el éter sulfúrico se reducía totalmente á vapor á la temperatura de 200.º en un espacio menor que el duplo de su volúmen en estado líquido, y que su vapor poseía entonces una tension de 38 atmósferas.—El alcohol, á 259.º, se gasifica en un espacio triple de su volúmen, y posee una tension de 119 atmósferas.—El agua á mas de 350.º y la tension de su vapor escede entonces 200 atmósferas.

Nota. Cuantos hechos hemos examinado pertenecen á la formacion de los vapores en el vacío.

§. VIII. *Continúa el cambio de estado. De la ebullicion y de la evaporacion.*

1. De cuántos modos pueden formarse los vapores al aire libre?—2. Qué es ebullicion?—3. Qué hay que advertir acerca de los dos principios de la ebullicion?—4. Qué causas contribuyen á alterar el punto de ebullicion?—5. Qué consecuencias se deducen de aqui?—6. Qué es la olla de Papino?—7. Qué es evaporacion?—8. Qué circunstancias pueden influir en su actividad?—9. Cuál es la causa del enfriamiento en la evaporacion?—10. Citar algunas aplicaciones.—11. Qué es condensacion?—12. A qué se llama calórico de elasticidad?—13. Citar algunas aplicaciones.

1. Formacion de los vapores en los gases. Un líquido puede reducirse á vapores en el aire de dos modos distintos: 1.º formándose en todos los puntos de la masa líquida, y entonces se dice

que el líquido se *vaporiza*; 2.º formándose únicamente en la superficie líquida, y entonces se dice que el líquido se *evapora*.

2. Ebullicion. Cuando un líquido cambia de estado por la accion del calor, se ven formarse burbujitas de vapor en todo el interior de la masa líquida, subir y deshacerse en su superficie, mezclando todas las partes del líquido, y produciendo una especie de agitacion mas ó menos tumultuosa, que constituye el fenómeno de la *ebullicion*.—Se observan entonces los hechos siguientes: 1.º Un termómetro colocado en el líquido indica una temperatura estacionaria durante el fenómeno; 2.º El vapor de la superficie líquida en ebullicion posee una fuerza elástica igual á la presion atmosférica que le rodea.

3. Advertencia. Los dos principios precedentes solo son verdaderos para las capas superiores del líquido, puesto que la temperatura y la tension aumenta en las inferiores, como es fácil de deducir.

4. Varias causas contribuyen á variar el punto de ebullicion de un líquido.

1.^a *La naturaleza del líquido.*—En efecto, el agua pura á la presion ordinaria hierve á 100.º, y el mercurio á 360.º.

2.^a *La naturaleza de la vasija.*—En efecto, el agua hierve mas pronto en un vaso metálico que en uno de cristal.

3.^a *Las sustancias en disolucion.*—Asi el agua pura que hierve á 100.º solo entra en ebullicion á 109.º cuando está saturada de sal marina (1).

4.^a *La presion exterior.* Asi el agua pura al nivel del mar, bajo una presion de 760 milímetros, hierve á 100.º; y en la cumbre del *Monte-Blanco*, donde la presion es de 417 milímetros, el agua hierve á 84.º.

5. Consecuencias. Dedúcese de esta última circunstancia: 1.º que enrareciendo el aire artificialmente podrá hacerse hervir el agua á muy bajas temperaturas; y en efecto, bajo el recipiente de la máquina neumática se ha obtenido este fenómeno á 20.º, 15.º, 10.º, y hasta á 0.º.—2.º Que si en vez de disminuir la presion se aumenta, podrá elevarse considerablemente la temperatura del agua, sin que esta entre en ebullicion.

6. Olla de Papino. En esta última consecuencia está fundada la *olla de Papino*. Consiste en una vasija de bronce, cuya cobertera, fuertemente adherida á sus paredes por medio de tornillos de presion, tiene un orificio cerrado con una bálbula.—Esta se abre cuando la tension del vapor interior es demasiado fuerte.

7. Evaporacion. El vapor que nace á la superficie del líquido

(1) La causa es sencilla: la atraccion molecular que se ejerce entre las moléculas del agua y de la sal, es una nueva fuerza que se añade á la presion exterior para combatir la fuerza repulsiva del calórico y retardar el fenómeno.

que se volatiliza, constituye el fenómeno de la *evaporacion*.—El agua se *evapora* continuamente á la superficie de los lagos y rios: el rocío y la humedad que cubre el suelo, se disipan igualmente en la atmósfera en estado de vapor.

8. Varias circunstancias pueden influir en la actividad de la evaporacion al aire libre, á saber:

1.^a *La estension de la superficie*. En efecto, la cantidad de vapor producida en un tiempo dado, es proporcional á la superficie del líquido que se evapora.

2.^a *Tension del vapor preexistente*. Efectivamente, el aire atmosférico nunca está completamente seco, y siempre tiene una pequeña cantidad de vapor de agua: por consiguiente la fuerza elástica del vapor existente se opondrá en parte á la formacion de nuevos vapores, de manera que si el aire estuviese saturado, la evaporacion seria imposible, puesto que las fuerzas elásticas del vapor existente y del que debiese formarse serian iguales.

3.^a *La temperatura del líquido*. Puesto que el fenómeno de la evaporacion depende de la fuerza elástica del calor, aumentará con la temperatura.

4. *La agitacion del aire*. Cuando el aire está agitado, las capas de vapor que se forman son llevadas con él y la evaporacion aumenta; por el contrario, la tranquilidad del aire mantiene sobre el líquido las capas saturadas y la evaporacion es lenta.

5.^a *La electricidad*. Se ha comprobado que el estado eléctrico del líquido acelera la evaporacion.

9. **Del enfriamiento producido por la evaporacion**. En este fenómeno, estando obligado el líquido que se evapora á tomar de sí y de los cuerpos que le rodean el calor necesario para trasformarse en vapor, es indudable que deberá producirse frio, que será tanto mas intenso, cuanto mas rápida sea la evaporacion.

10. **Aplicaciones**. Por este medio se explica la sensacion de frio que se esperimenta al salir del baño. Cuando la evaporacion es bastante activa, el frio producido por la parte de líquido que se evaporiza es suficiente para congelar la parte que resta. Para hacer la esperiencia basta rodear de algodones empapados en éter unas ampollitas de cristal llenas de agua, y colocarlas en el recipiente de la máquina neumática; pero al hacer el vacío el éter se evaporiza y el frio que produce congela el agua. Los líquidos volátiles producen tanto mas frio, cuanto mas baja es la temperatura de su ebullicion. Asi, rociando la bola de un termómetro con ácido sulfuroso líquido que hierve á la temperatura de $-10.^{\circ}$ centígrados, inmediatamente se evaporiza, y el termómetro baja rápidamente á $-20.^{\circ}$ — $-30.$, y dentro de algunos instantes se congela. Por manera que el frio que se produce por este medio es de $-40.^{\circ}$, puesto que el mercurio se congela á menos $-39.^{\circ}$.

Alcarrazas. Son unas vasijas formadas de una tierra porosa, y desti-

nadas á refrescar el agua en el verano. Colocadas á una corriente rápida de aire, el líquido que las recubre continuamente se evapora y hace enfriar el líquido interior.

11. Condensacion. Llámase así el regreso del vapor al estado líquido. Se observa en este fenómeno que se desprende durante él una gran cantidad de calor. En efecto, es fácil concebir que cuando un vapor se licua debe restituir todo el *calor latente* que habia absorbido para formarse.

12. Llámase *calórico de elasticidad* el calor latente que la unidad de peso de un líquido exige para trasformarse en vapor, y la que desprende la unidad de vapor para convertirse en líquido.

Los físicos han hallado que la cantidad de calor que exige un gramo de agua para evaporizarse á la temperatura de ebullicion es capaz de elevar un peso igual de este mismo líquido de 0.° á 543.°, ó lo que es lo mismo, elevar 543 gramos de agua de 0.° á 1.°

13. Aplicaciones. El calor latente del vapor de agua se utiliza en muchas circunstancias. Haciendo llegar una corriente de vapor á unas vasijas llenas de agua, se puede elevar esta á la temperatura de ebullicion. Las habitaciones se calientan por medio del calor que recibe el aire de los tubos donde vá á condensarse el vapor etc.

§. IX. Mezcla de los gases y vapores.—Higrometría.—Manantiales de calor.—Hipótesis del calor.

1. Demostrar que la fuerza elástica del vapor en un gas es igual á la del mismo vapor en el vacío barométrico.—Aparato de Gay-Lussac.—2. Consecuencias de este principio.—3. Cuál es el objeto de la higrometría?—4. Qué casos se pueden presentar en la determinacion del vapor de agua contenido en la atmósfera?—5. A qué se llama estado higrométrico de la atmósfera?—6. Qué son higrómetros?—7. En qué principio estan fundados los higrómetros de saturacion?—8. En qué estan fundados los de absorcion?—9. En qué consiste el higrómetro de Saussure?—10. Cómo se prepara el cablelo de este higrómetro?—11. Cómo se gradúa?—12. Cuáles son los manantiales del calor?—13. Cuáles son las principales hipótesis sobre la naturaleza del calórico?—14. En qué consiste el sistema de la emision?—15. En qué consiste el sistema de las ondulaciones?

1. Mezcla de gases y vapores. Cuando se reune en un mismo vaso un gas y un vapor que no tengan entre sí accion química, la fuerza elástica del vapor es la misma que tendria en el vacío barométrico á la misma temperatura.

1. **Demostración.** Verificaremos este hecho por medio del aparato de Gay-Lussac. Consiste en un ancho tubo de cristal, dividido en partes iguales y terminado por dos birolas metálicas provistas de llave (fig. 27). El cilindro AB comunica por su parte inferior con un tubo mas estrecho *ab*, dividido tambien en partes iguales y en comunicacion con la atmósfera. Lleno el aparato de mercurio, se introduce en él un poco de aire ó gas seco, abriendo las llaves RR', con lo cual el mercurio corre en parte y es reemplazado por el gas. Entonces se cierra las llaves, y se añade mercurio por el tubo pequeño hasta que los dos niveles esten sobre un mismo plano horizontal, á fin de que la tension del aire interior sea igual á la presion atmosférica. Se atornilla en seguida á la birola superior una llave particular provista de un embudo, que se llena de líquido, de que se hacen penetrar algunas gotas en el tubo, volviendo alternativamente la llave. Estas gotas se evaporan poco á poco. Se hará tambien correr algun líquido por la superficie del mercurio á fin de saturar los vapores.

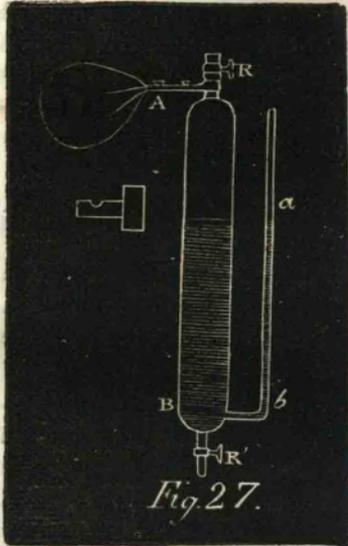


Fig. 27.

Medir la fuerza elástica del vapor en los gases. Dispuesto así el aparato para medir la fuerza del vapor formado, se añadirá mercurio en el brazo estrecho hasta que el nivel del mercurio en el ancho suba al punto en que se hallaba cuando solo contenía el gas. En este caso la diferencia de nivel del mercurio en los dos tubos será la medida exacta de la tensión del vapor. — Ahora bien: comparando esta tensión á la que tendría el vapor del mismo líquido á la misma temperatura, se halla que hay identidad perfecta.

2. **Consecuencias:** 1.^a Cuando un espacio limitado que contiene un gas está en contacto con un líquido, se satura de vapores como si estuviese vacío, y la tensión del vapor saturado es la misma que la tensión máxima en el vacío á temperatura igual.

2.^a Los vapores se forman en los gases como en el vacío, con la sola diferencia que su formación en el vacío es instantánea, y que es lenta en los flúidos elásticos.

3. **Higrometría.** El objeto de la *higrometría* es determinar la cantidad de vapor de agua esparcido en el aire á cualquier temperatura.

4. Dos casos pueden presentarse en esta determinación: 1.º Si el aire está saturado de vapores; 2.º si no está saturado.

Este caso es el mas comun, pues el 1.º nunca ó casi nunca se verifica.

Este caso es el mas comun, pues el 1.º nunca ó casi nunca se verifica.

5. **Estado higrométrico del aire.** Llámase así la relación de la cantidad de vapor de agua que encierra el aire á una temperatura dada, á la cantidad que contendría á igual temperatura si estuviere saturado; ó bien la relación de la tensión natural á la tensión máxima correspondiente á la misma temperatura.

6. **Higrómetros.** Son unos aparatos destinados á dar á conocer el estado higrométrico del aire.

7. **Higrómetros de saturación.** En este género de higrómetros se determina la tensión del vapor contenido en el aire bajando su temperatura hasta tanto que se encuentre saturado el aire con la cantidad de vapor de agua que encierra. Esta clase de instrumentos, aunque los mas exactos, son poco usados. Los mas conocidos son los de *Julian Lervy*, y *Daniel*.

8. **Higrómetros de absorción.** Estan fundados en la afinidad que tienen ciertas sustancias animales, como los cabellos con el vapor de agua, y en la facultad que poseen de alargarse por la absorción de la humedad y disminuir por la emisión del vapor absorbido. — El mas conocido y usado de estos aparatos es el

Fig. 28.



9. **Higrómetro de Saussure.** Este aparato consiste en un *cabello ó pelo* que se suspende por su parte superior (fig. 28) á una uñuela ó palanquilla, que puede subir y bajar por medio de un tornillo, y se enrosca por su parte inferior en una polea de dos carriles ó gargantas. En la misma polea se enrosca en sentido contrario un hilo de seda, á que está suspendido un peso de dos ó tres granos, destinado á dar al cabello una tensión continua y siempre igual. El eje de la polea tiene una aguja cuya estremidad recorre las divisiones de un cuadrante vertical. Según que la humedad del aire aumente ó disminuya, el cabello se alargará ó disminuirá de longitud, y la polea girando dirigirá la marcha de la aguja hácia una de las dos estremidades del cuadrante.

10. **Preparación del cabello de higrómetro del Saussure.** Se hierve en un agua ligeramente alcalina, y se lava en seguida á fin de privarle de la materia crasa para que adquiera toda su longitud por medio de la humedad.

11. **Graduación del higrómetro de Saussure.** Para hacer esta graduación es necesario determinar dos puntos fijos, correspondientes á dos posiciones que toma la aguja, cuando el higrómetro se halla: 1.º en un aire perfectamente seco; 2.º en un aire saturado de humedad.

1.º Punto de sequedad extrema. Para determinar este punto se coloca el higrómetro bajo una campana que descansa sobre mercurio, y en la cual se hayan introducido sustancias muy delicuescentes. El cabello disminuye de longitud, y la aguja se dirige constantemente hácia lo seco con mas ó menos rapidez hasta que queda estacionaria. Este será el punto de sequedad máxima.

2.º Punto de humedad extrema. Para obtenerle se coloca el higrómetro debajo una campana cuyas paredes esten mojadas. La aguja marcha hácia la humedad hasta que permanece estacionaria. Este es el punto de humedad máxima.

Se nota un 0.º en el primer punto, un 100.º en el segundo, y se divide el arco comprendido entre ambos en 100 partes iguales. Estos son los grados del higrómetro.

12. Manantiales de calor. Los principales son :

1.º El sol.

2.º El calor propio del globo.

3.º Las corrientes eléctricas.

4.º El cambio de estado.

5.º Las combinaciones químicas.

6.º La percusion.

7.º El frote.

8.º La compresion y dilatacion de los gases.

13. Hipótesis acerca del calórico. Los físicos han inventado dos sistemas acerca de la naturaleza de este agente, cuyos efectos son tan poderosos y variados. El sistema de la *emision* y el de las *ondulaciones*.

14. Sistema de la emision. Segun este sistema, el calórico es un flúido material, aunque imponderable (1), cuyas moléculas, infinitamente pequeñas, son lanzadas por los cuerpos en todas direcciones con una velocidad inmensa, y que combinándose con las moléculas ponderables de la materia, en cantidades variables, determinan en ellas diferentes grados de calor.

15. Sistema de las ondulaciones. Este sistema está fundado en dos hipótesis: 1.ª, que todo el espacio vacío, comprendiendo en él los poros de los cuerpos materiales, está lleno de un flúido eminentemente sutil é imponderable, llamado *éter*; 2.ª, que las moléculas materiales de los cuerpos no estan jamás en reposo, sino que oscilan continuamente sin po-

(1) Creimos innecesario probar esta propiedad del calórico. Todas las esperiencias hechas en este sentido han dado este resultado. Citaremos aqui la de Lavoisier: tómense cantidades iguales en peso de agua y ácido sulfúrico, y mézclense estos dos líquidos en un frasco bien tapado, lo que producirá una enorme cantidad de calor. Pénsese estos líquidos despues de frios; el peso será igual. Luego el calor perdido no tiene ningun peso sensible.

der nunca llegar á una posición de equilibrio. Esto supuesto, el calórico sería el resultado del movimiento oscilatorio comunicado al éter por las vibraciones de las moléculas materiales.

SECCION SEGUNDA. — MAGNETISMO.

§. I. De los imanes y de las sustancias magnéticas.

1. A qué se llama iman?—2. De cuántas clases son los imanes?—3. Qué son imanes naturales y de qué están compuestos?—4. Qué son imanes artificiales?—5. A qué llamamos magnetismo?—6. De qué manera se ejerce la atracción magnética?—7. Demostrar que un iman no ejerce una acción igual en todos los puntos de la superficie de un hierro.—8. Qué son polos magnéticos y línea neutra?—9. Demostrar que en los dos polos de un iman residen fuerzas de naturaleza contraria.—10. Demostrar que los polos de un mismo nombre se repelen y los de polo contrario se atraen.—11. Hipótesis de los dos flúidos magnéticos.—12. Demostrar que el magnetismo no existe solo en los imanes.—13. Qué consecuencias se deducen de la demostración anterior?—14. A qué se llama fuerza coercitiva, y en qué sustancia se desarrolla?—15. Demostrar que la descomposición magnética es simplemente molecular.—16. Cómo se distingue un iman de una sustancia magnética?—17. Qué son puntos consecuentes?

1. Llámase *iman* cualquiera sustancia que goza de la propiedad de atraer el hierro y de ser atraída por él.

2. Los *imanes* ó son *naturales* ó *artificiales*.

3. Los imanes *naturales*, denominados en otro tiempo *pedras de iman* (1), son así calificados porque se encuentran abundantemente en la naturaleza. Están compuestos de un óxido de hierro llamado *óxido magnético* (2).

4. Los imanes *artificiales* son en general barras ó agujas de acero á que se han comunicado las propiedades magnéticas.

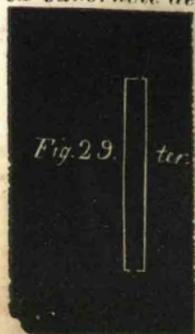
5. Damos el nombre de *magnetismo*, ya á la misma causa á que son debidas las propiedades de los imanes, ya á la reunión de los fenómenos relativos á este agente y á las leyes que le rigen.

6. **Atracción magnética.** La atracción magnética del iman y del hierro se ejerce á distancia; pero decrece rápidamente cuando esta aumenta. Ejérese también en el vacío por medio del aire, de la madera, del cartón, y en general por medio de cualquier sustancia que no sea por sí misma magnética. Esperiencias obvias acreditan este aserto.

(1) Voz griega derivada de Magnesia, comarca de la Lidia, donde se hallaban grandes cantidades de este mineral.

(2) Óxido *ferroso-férrico*, intermedio entre el óxido ferroso y el férrico.

7. *Un imán no ejerce una influencia igual en todos los puntos de la superficie de un hierro.*



Demostracion. Haciendo rodar una barra imantada sobre unas limaduras de hierro, se observa que las limaduras rehusan adherirse á la parte media de la barra, y que lo verifican de una y otra parte de esta línea, formando filamentos erizados, que se hacen mas largos y espesos á medida que se aproximan á los dos extremos de la barra, donde se adhiere el mayor número de limaduras (fig. 29. ter.)

8. **Definiciones.** Los dos puntos extremos en que parece concentrarse la atracción magnética se llaman *polos*; y la línea que los separa, y donde la atracción es nula, *línea neutra*.

9. **Atracción mutua de los polos.** *En los dos polos de un imán residen fuerzas de naturaleza contraria.*

Demostracion. Efectivamente, colocando una barra imantada por su centro de gravedad sobre un quicio vertical, propio á hacerla móvil en él, y presentando alternativamente á sus dos polos, que designaremos por A y B, el mismo polo de otro imán que tengamos en la mano, observaremos que, si por ejemplo el polo A es atraído, el B es repelido. Lo que prueba el enunciado.

10. *Los polos de un mismo nombre se repelen, los de nombre contrario se atraen.*

Demostracion. En efecto, si tomamos otro imán igualmente móvil, y designamos por las mismas letras acentuadas A' y B' los dos polos, de los cuales el primero es atraído y el segundo repelido por el polo del imán fijo, que en la experiencia precedente atraía A y repelía B, reconoceremos la verdad del enunciado.

11. **Hipótesis de los dos flúidos magnéticos.** Se atribuye la causa de los fenómenos magnéticos á un flúido particular imponderable, compuesto de dos flúidos elementales que residen á la vez en un mismo imán, dominando cada uno en su polo, y obrando por repulsión sobre sí mismo y por atracción sobre el flúido contrario. Veamos por qué. Dos son las principales razones en que descansa esta hipótesis: 1.^a que el magnetismo no es inherente al imán ni á los elementos que le constituyen; y en efecto, con calentar hasta el calor rojo un imán, natural ó artificial, se le priva de sus propiedades magnéticas; 2.^a que el magnetismo es imponderado, porque si se pesa una barra de

acero imantada, y luego privada de esta propiedad, se obtendrá en ambos casos el mismo peso.

12. Sustancias magnéticas. *El magnetismo no existe únicamente en los imanes, sino también en las sustancias simplemente magnéticas, como el hierro.*

Demostracion. En efecto, presentando á uno de los polos de un iman un cilindrito de hierro dulce, ya en contacto, ya á distancia, se observa haberse convertido en verdadero iman bajo la influencia del primero, y no solo posee todas las cualidades magnéticas, sino que por la influencia puede trasmitirlas á un tercer cilindro, este á un cuarto etc., hasta que la accion por influencia haya completamente desaparecido. Resta probar que en esta esperiencia el magnetismo desarrollado en el hierro dulce no le ha sido trasmitido por la barra imantada, y efectivamente: 1.º El estado magnético desarrollado en el hierro dulce solo subsiste mientras dura la influencia del iman que obra sobre él; 2.º la esperiencia puede renovarse un número indefinido de veces sin que el iman pierda nada de su fuerza; y 3.º el hierro dulce posee simultáneamente los dos flúidos. Todo lo que comprueba que el flúido desarrollado no ha sido trasmitido por el iman.

13. Consecuencias. Dedúcese pues: 1.º Que el hierro en estado natural posee los dos flúidos magnéticos; 2.º que los dos flúidos magnéticos se encuentran en el hierro en estado de combinacion y de neutralizacion mutua; 3.º que bajo la influencia del polo A de un iman los dos flúidos se descomponen, el flúido B' del hierro es atraido como siendo de nombre contrario, y el flúido A' repelido; 4.º que esta descomposicion es instantánea; pero tan luego como la influencia cesa, se recomponen inmediatamente y forman flúido *neutro*.

14. Fuerza coercitiva del acero. Llámase asi la fuerza que se opone á la separacion de los dos flúidos magnéticos y á su recomposicion una vez separados.

En efecto, en el acero templado la separacion de los dos flúidos exige, ó bien fricciones repetidas, ó un contacto mas ó menos prolongado con el iman; pero en compensacion, una vez que los dos flúidos magnéticos esperimentaron la descomposicion, permanecen separados indefinidamente.

15. La descomposicion del magnetismo, sea en el acero, donde es permanente, sea en el hierro, donde es pasajera, es simplemente molecular.

Demostracion. Efectivamente, divídase en dos una barra de acero imantada: cada mitad formará un iman completo con sus dos polos y su línea neutra; divídase aun de nuevo cada mitad, cada cuarto..... etc., los mas pequeños fragmentos conservarán siempre los dos flúidos, y los polos y la línea neutra no harán otra cosa que cambiar de lugar.

16. Medlo de distinguir un iman de una sustancia magnética.

Un iman posee los dos flúidos en estado libre, y cada uno de sus polos ejerce sobre los polos de una aguja imantada dos acciones; la una atractiva, y la otra repulsiva: la sustancia magnética posee ambos flúidos en estado neutro, y atrae indiferentemente los dos polos de una aguja magnética.

17. Puntos consecuentes. Sucede á veces que una barra ó una aguja magnética tiene mas de una línea neutra, y por consiguiente mas de dos polos magnéticos. Dícese entonces que posee *puntos consecuentes*.

§. II. *Magnetismo terrestre.*

1. Demostrar que la fuerza directiva que solicita la aguja magnética emana de un iman fijo.—2. Qué consecuencias se han sacado de esta demostracion y qué esperiencias se hicieron?—3. A qué se llama polo y flúido magnético boreal de la tierra, polo y flúido austral?—Reciben el mismo nombre los polos de los imanes?—4. Qué consecuencia se deduce de estas definiciones?—5. Coincide la direccion de la aguja imantada con el meridiano astronómico?—6. A qué se llama meridiano magnético?—7. A qué se llama declinacion magnética?—8. Cuándo se dice declinacion occidental ú oriental?—9. A qué se llama brújula de declinacion y en qué consiste?—10. Demostrar que la declinacion magnética varia con las latitudes?—11. Qué es brújula de inclinacion?—12. Qué se entiende por inclinacion magnética?—13. Demostrar que la inclinacion varia con las latitudes?—14. A qué se llama ecuador magnético?—15. Comprobar que la aguja imantada sufre variaciones en un mismo lugar: 1.º seculares; 2.º diurnas; 3.º instantáneas, con las consecuencias que de ello se deducen.—16. Comprobar que la aguja de inclinacion varia tambien de posicion en un mismo lugar.

1. La fuerza directiva que solicita la aguja imantada emana necesariamente de un iman fijo, que obra por atraccion sobre uno de los polos y por repulsion sobre el otro.

Demostracion. Una aguja no imantada de cobre, madera ó acero, suspendida por su centro de gravedad á un hilo sin torsion ó colocado sobre un quicio, permanece en equilibrio indiferentemente en todas las posiciones. Pero una aguja imantada móvil sobre un eje vertical que pase por su centro de gravedad se detiene siempre por sí misma en una posicion fija, á la que vuelve, si de ella se le aparta, por una serie de oscilaciones.—Lo que demuestra el enunciado.

2. Esperiencias y consecuencias. 1.ª Se ha observado ademas que en nuestros climas, uno de los polos se dirige siempre hácia el Norte y el otro siempre hácia el sur; por manera que si se hace girar la aguja hasta que los polos cambien de lugar, describirá una semicircunferencia para recobrar su primera posicion de equilibrio, el único estable y que puede conservar.

2.ª Todas las esperiencias hechas comprueban que la direccion de la aguja imantada es un hecho general, que no es efecto de una causa lo-

cal, que tiene lugar en todos los puntos de la superficie terrestre, y en todas las distancias conocidas del centro del globo.

3^a **Magnetismo terrestre.** De las observaciones hechas con la aguja imantada en una multitud de parajes diferentes, y á distintas latitudes, en virtud de las esperiencias precedentes, se ha llegado á reconocer *que el poder magnético que obra sobre la aguja imantada reside en el mismo globo terrestre, y que por consiguiente la tierra puede asimilarse á un vasto iman natural, cuya linea neutra está colocada en las regiones ecuatoriales, y cuyos polos ó centros de la accion magnética estan próximos á los polos de rotacion.*

3. **Definiciones.** El flúido magnético que domina en el polo norte de la tierra, y el punto donde parece concentrada su accion, se llama *flúido magnético boreal, y el polo magnético boreal de la tierra.*—El flúido y el polo magnético opuestos toman el nombre de *flúido y polo magnético coaustral.*—Los dos flúidos y los dos polos magnéticos de los imanes se denominan tambien, el uno *polo y flúido boreal* y el otro *austral.*

4. **Consecuencia.** Y como los polos de un mismo nombre se repelen, y los de nombre contrario se atraen, es consiguiente que el polo de una aguja imantada que mira al Norte debe contener *flúido austral,* y el polo que mira al sur *flúido boreal.*

5. **De la declinacion.** La direccion de la aguja imantada, móvil al rededor de un eje vertical, no coincide exactamente con el *meridiano astronómico.*

6. **Definiciones.** Llámase *meridiano magnético* de un lugar el plano vertical que pasa por la direccion de la aguja imantada móvil al rededor de un eje vertical, ó lo que es lo mismo, por los dos polos magnéticos del globo.

7. **Declinacion magnética.** Llámase asi el ángulo formado por los planos de los meridianos magnéticos y astronómicos; es decir, el ángulo que hace la direccion de la aguja imantada con el meridiano.

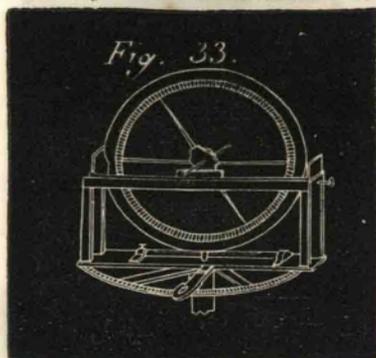
8. La declinacion se llama *occidental* cuando el polo austral de la aguja pasa al oeste del meridiano, y *oriental* cuando al este.

9. **Brújula de declinacion.** Llámase asi cualquier aparato destinado á medir la declinacion. Consiste en una aguja magnética muy ligera, móvil sobre un quicio vertical, y cuyos extremos se mueven al rededor de un cuadrante graduado, que permite calcular el ángulo formado por la direccion de la aguja con el meridiano del lugar.

10. *La declinacion magnética varía con las latitudes.*

Demostracion. En efecto, trasladando una brújula de declinacion á

diferentes latitudes, se ha observado que la aguja se coloca ya hácia el occidente, ya hácia el oriente del meridiano, y que á veces coincide con él.



11. De la inclinacion magnética.—Brújula de inclinacion. Llámase así todo aparato destinado á medir la inclinacion magnética. Consta de una aguja móvil sobre un eje horizontal por su centro de gravedad (fig. 33).

12. Entiéndese por *inclinacion magnética* el ángulo menor que forma la aguja magnética con el horizonte.

13. *La inclinacion varia con las latitudes.*

Demostracion. Efectivamente, imaginemos que damos la vuelta á la tierra siguiendo un mismo meridiano con una brújula de inclinacion. Al llegar al polo magnético boreal de la tierra, la aguja se mantendrá vertical mirando á la tierra su polo austral, que caminando hácia el ecuador continuará inclinado sobre el horizonte; pero irá levantándose progresivamente hasta llegar al ecuador, donde la aguja se colocará en una posicion perfectamente horizontal. Pasando esta línea, y caminando hácia el polo magnético austral, observaremos una serie de fenómenos iguales con el polo boreal de la aguja.

14. Ecuador magnético. Llámase *ecuador magnético* la línea continua producida por la union de los diferentes puntos ecuatoriales en que la brújula de inclinacion se mantiene horizontal.

15. Variaciones de la aguja imantada. *La aguja de declinacion varia de posicion en un mismo lugar.*

Comprobacion.—1.º Variaciones seculares. En 1380 la declinacion en París era de $11.^\circ 30'$ al oriente. En 1663 la direccion de la aguja coincidia con el meridiano. Desde entonces la declinacion ha sido siempre occidental, y fue en aumento hasta 1819, llegando á $22.^\circ 29'$.—En la actualidad parece vuelve lentamente hácia el este.

Consecuencia. *Dedúcese de aqui que la aguja ejecuta al rededor del meridiano oscilaciones cuyo tamaño es desconocido, y cuya duracion, igualmente indeterminada, comprende siglos.*

2.º Variaciones diurnas. La aguja experimenta tambien variaciones diurnas. Efectivamente, estacionaria durante la noche, marcha hácia el oeste desde la salida del sol hasta las 3 de la tarde, y vuelve entonces hácia el este hasta las 9, 10 ú 11 de la noche. La estension de estas escursiones varia. El maximo tamaño medio es de 13 á 15 minutos, y tiene lugar de abril á

setiembre. El mínimo es de 8 á 10, y desde octubre á marzo.—El tamaño de las variaciones diurnas aumenta hácia el norte y disminuye hácia el ecuador magnético; y estas escursiones se ejecutan en sentido inverso en el hemisferio austral.

Consecuencia. De las observaciones indicadas acerca de las variaciones seculares y diurnas, se deduce *que en el ecuador magnético hay un doble movimiento de oscilacion, uno diurno y de poca estension, otro mucho mayor, y cuyo periodo comprende varios siglos.*

3.º Perturbaciones. Llámense así las variaciones accidentales que experimenta la aguja magnética. Son causas que las motivan las auroras boreales, los terremotos, las erupciones volcánicas, y especialmente la caída del rayo.

16. *La aguja de inclinacion varia tambien de posicion en un mismo lugar.*

Comprobacion. Aunque estas variaciones han sido poco estudiadas, es indudable que en París la inclinacion ha disminuido progresivamente desde 1671.

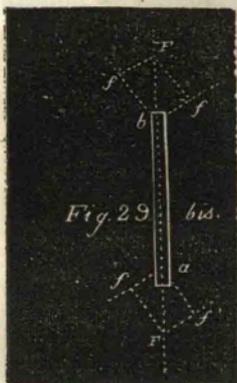
§. III. *Medida de la intensidad magnética del globo y los imanes.—*

Ley de las acciones magnéticas.—Aguja estática.—Procedimientos de imantacion.

1. Demostrar que la fuerza magnética terrestre está representada por un par de fuerzas etc.—2. Cuál es el principio de la medida de la intensidad magnética del globo?—3. Medida de la intensidad por las oscilaciones del péndulo de inclinacion.—4. Qué resultados ha dado esta medida?—5. De qué medios podemos valernos para medir la intensidad de las barras imantadas?—6. Esponer el método de las oscilaciones.—7. Cuál es la ley de las acciones magnéticas?—8. Quién demostró esta ley y por qué medios.—9. Qué elementos caracterizan el magnetismo terrestre en cada punto?—Cómo determinan estos elementos la distribucion del magnetismo en la superficie terrestre?—10. A qué se llaman agujas estáticas?—11. Esponer uno de los medios de hacer estática una aguja?—12. Cuáles son los principales procedimientos de imantacion?—13. En qué consistió el método del simple contacto?—14. Y el de doble contacto?—15. Y el de Duhamel?—16. Y el de Épinus?—17. Qué son hacecillos magnéticos?—18. Qué son armaduras?

1. Punto de aplicacion, direccion é intensidad de la fuerza magnética terrestre. *La fuerza magnética terrestre sobre una aguja imantada: 1.º Está representada por un par de fuerzas; 2.º estas dos fuerzas no pueden estar en equilibrio sino cuando su direccion coincide con el eje magnético de la aguja; 3.º estas dos fuerzas estan situadas en el plano del meridiano magnético, y son paralelas á la aguja de inclinacion, puesto que dan á esta y á la declinacion una direccion fija.*

Demostracion. En efecto, concibamos (fig. 29 bis) una aguja imanada que pueda girar libremente al rededor de su centro de gravedad. Todas las líneas tiradas desde uno de los polos magnéticos del globo á las diferentes moléculas de la aguja pueden considerarse como paralelas, puesto que estan á una distancia casi infinita. Esto supuesto, el polo ejercerá sobre todos los elementos del fluido austral de la aguja *fuerzas atractivas paralelas*, cuya resultante f será igual á su suma, y aplicada á un punto a que será su centro. El mismo polo boreal de la aguja ejercerá sobre todos los elementos del fluido boreal de la aguja *fuerzas repulsivas paralelas*, cuya resultante f será igual á su suma, y aplicada al punto b de la aguja. Del mismo modo hallaríamos que la acción del polo austral de la tierra sobre la aguja se compondria de dos fuerzas paralelas iguales y contrarias f' y f'' , la una repulsiva aplicada al punto a , y la otra atractiva aplicada al punto b de la aguja. Y segun el paralelogramo de las fuerzas obtendremos dos resultados finales F y $-F$, que serán necesariamente paralelas, iguales y contrarias: luego constituirán un par. Los demas enunciados se deducen de este como consecuencias.



La acción del polo austral de la tierra sobre la aguja se compondria de dos fuerzas paralelas iguales y contrarias f' y f'' , la una repulsiva aplicada al punto a , y la otra atractiva aplicada al punto b de la aguja. Y segun el paralelogramo de las fuerzas obtendremos dos resultados finales F y $-F$, que serán necesariamente paralelas, iguales y contrarias: luego constituirán un par. Los demas enunciados se deducen de este como consecuencias.

Medida de la intensidad magnética del globo.

Una aguja de inclinacion ó de declinacion, apartada de su posicion de equilibrio, oscilará como un péndulo en virtud de una fuerza, que estará en razon compuesta de la intensidad magnética de la aguja y de la tierra. Si suponemos la primera constante, las oscilaciones solo varían con la segunda y conforme á esta ley. *La intensidad de las fuerzas que producen los movimientos del péndulo son proporcionales á los cuadrados del número de oscilaciones efectuadas en el mismo tiempo.* Luego podremos medir la intensidad magnética del globo ya con el auxilio de una aguja de inclinacion ó de declinacion. Solo espondremos el primero de estos medios.

3. Medida de la intensidad por las oscilaciones de la aguja de inclinacion. Si hacemos oscilar una aguja de inclinacion en el plano del meridiano magnético, la fuerza magnética terrestre obrará con toda su intensidad, y designando por n el número de oscilaciones efectuadas en un tiempo dado, cuando la intensidad magnética terrestre es m , y por n' el número correspondiente á una intensidad magnética diferente m' , tendremos

$$\frac{m}{m'} = \frac{n^2}{n'^2}$$

4. Resultados. Trasportando á diversos parajes una aguja magnética, y haciéndola oscilar, se ha hallado:

1.º Que la intensidad magnética mínima de la tierra tiene lugar en el

ecuador magnético, y aumenta progresivamente hasta los polos magnéticos, en cuyo punto es doble del ecuador.

2.º Que la intensidad magnética decrece sensiblemente en un mismo punto á medida que uno se eleva sobre la superficie terrestre.

3.º Que en un mismo punto la intensidad magnética sufre variaciones sensibles y á veces rápidas.

5. **Intensidad magnética de las barras imantadas.** Para medir la intensidad magnética de las barras imantadas pueden emplearse dos métodos: 1.º el de las oscilaciones; 2.º el de la balanza de torsion. Solo espondremos el primero.

6. **Método de las oscilaciones.** Suspendemos la barra imantada de un hilo de seda sin torsion. Se hará oscilar bajo la influencia terrestre, y hará n oscilaciones en el tiempo t . Se hará oscilar de nuevo cuando su intensidad magnética ha variado, y hará n' oscilaciones en el mismo tiempo. Si la intensidad magnética del globo no ha variado, las intensidades del iman

móvil F y F' serán entre sí como los cuadrados de n y n' es decir
$$\frac{F}{F'} = \frac{n^2}{n'^2}$$

7. **Ley de las acciones magnéticas.** *Las atracciones y repulsiones magnéticas estan en razon inversa del cuadrado de las distancias.*

8. Coulomb ha demostrado esta ley por dos métodos, á saber: el de las oscilaciones y el de la *balanza de torsion*.

9. **Distribucion del magnetismo en la superficie terrestre.** Tres elementos caracterizan el magnetismo terrestre en cada punto: la *declinacion*, la *inclinacion* y la *intensidad*. Observando coordinadamente estos tres elementos en una multitud de puntos, se llega á conocer la distribucion del magnetismo en la superficie terrestre, es decir, la determinacion: 1.º de las líneas de igual declinacion ó *isógonas*, y en particular de las *curvas sin declinacion*; 2.º de las líneas de igual inclinacion ó *isoclineas*, y en particular de la *curva sin inclinacion* ó *ecuador magnético*; 3.º de las líneas de igual intensidad ó *isodinámicas*; 4.º de los *meridianos magnéticos*; y 5.º de los *polos magnéticos* superficiales, asi como de los centros de accion interiores del globo (1).

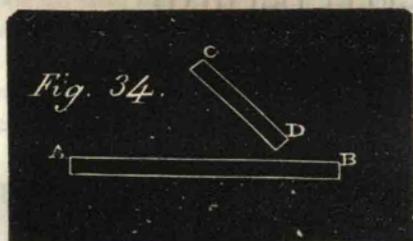
10. **Agujas estáticas.** Llámanse asi las agujas magnéticas que, conservando su movilidad no tienen empero una posicion fija de equilibrio, por haberlas privado en parte ó en su totalidad de la influencia magnética del globo.

(1) MM. Duperrey, Sabine, Barlow... han construido cartas que representan estos diversos elementos; pero estos trabajos solo pueden ser útiles para la época, porque las diversas curvas magnéticas varian con el tiempo, y siguen una ley desconocida aun.

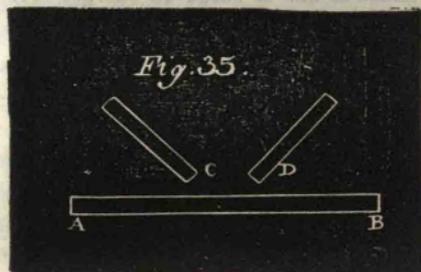
11. Hay varios medios de hacer estáticas las agujas : solo espon-
dremos el siguiente:

Medio de hacer estática una aguja. Supongamos una aguja móvil al rededor de un eje paralelo á la inclinacion magnética. Las dos fuerzas del par terrestre siendo paralelas al eje de rotacion en todas las posiciones de la aguja tenderán únicamente á romper este eje, serán destruidas por su resistencia, y no podrán ejercer sobre la aguja ninguna fuerza directiva. Luego será perfectamente *estática*.

12. **Procedimientos de imantacion.** Se conocen varios; pero los principales son el de simple y doble contacto, el de Duhamel y el de Æpinus.



13. **Método de simple contacto.** El procedimiento mas sencillo para imantar á saturacion una aguja ligera ó una barrita de acero consiste en deslizar sobre toda su longitud el polo de un fuerte iman, y repetir varias veces en el mismo sentido las fricciones (fig. 34).



14. **Método de doble contacto.** Se reunen en el centro de la aguja que se quiere imantar los dos polos contrarios de dos imanes de igual fuerza, y se hacen deslizar simultáneamente cada uno hácia su polo, cuya operacion se repite diversas veces (fig. 35).

15. **Método de Duhamel.** Es una modificacion del anterior y el mejor para imantar agujas de brújula. Consiste en hacer descansar los dos extremos de la barra ó aguja que se desea imantar sobre los polos contrarios de dos imanes fijos, colocados enfrente uno de otro y en la misma línea recta. Se practican en seguida las fricciones como en el método de doble contacto, cuidando que el ángulo formado por los imanes del frote sea de $29.^{\circ}$ sobre el horizonte.

la bola de la misma sera atraida, y la direccion perpendicular á la línea de contacto entre la bola y el tubo cilindrico; pero asi

16. Método de *Æpinus*. Todo como en el caso anterior, con la única diferencia que el ángulo formado será de 15.º á 16.º, y las fricciones partirán desde un extremo y terminarán en el otro, volviendo á repetir las varias veces del mismo modo. Este método es el mas enérgico.

17. Haccillos magnéticos. Son unos imanes artificiales muy poderosos, formados por la reunion de varias barritas de acero delgadas é imantadas á suturación.

18. Armaduras. Son unas piezas de hierro dulce que se ponen en contacto con los polos de los imanes, ya para conservar su poder magnético, ya para aumentarle.

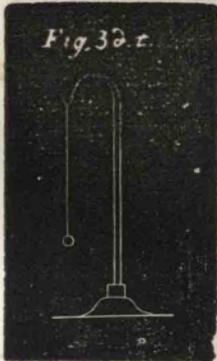
SECCION TERCERA.—ELECTRICIDAD.

§. I. *Electricidad desarrollada por el frote.—Hipótesis de los dos fluidos eléctricos.*

1. Cuáles son los fenómenos fundamentales de la electricidad, y de qué se deriva este nombre?—2. Qué otros fenómenos se observan además del mencionado?—3. A qué se llama conductibilidad?—4. A qué se llaman cuerpos buenos y malos conductores?—5. A qué se llama depósito comun?—6. Qué son cuerpos aisladores?—7. Demostrar: 1.º Que existen dos electricidades. 2.º Que los cuerpos cargados de una misma se repelen y los cargados de distinta se atraen.—8. A qué se llama electricidad vitrea ó positiva, y resinosa ó negativa?—9. Demostrar la ley de la electrización por el frote.—10. De qué circunstancias depende la especie de electricidad de que se carga un cuerpo?—11. Cuál es la hipótesis teórica de Simmer acerca de la electricidad?—12. Qué causas motivan la descomposición del fluido natural?—13. A qué se llama electricidad estática y dinámica?

1. Hay ciertas sustancias, como el vidrio, el lacre, el ambar, el azufre..... que cuando se les frota con un pedazo de lana ó piel de gato adquieren la propiedad de atraer los cuerpecillos ligeros, como pedazos de papel, las barbas de las plumas, hojas metálicas... Esta propiedad ha sido observada por la vez primera en el ambar amarillo, llamado *electron* en griego, y de aqui el nombre de *electricidad*.

Fig. 32 r.



Comprobacion. El péndulo eléctrico ofrece uno de los medios mas sencillos de comprobar que un cuerpo se electriza con el frote. Consiste en una bolita de medula de sauco suspendida á la estremidad de un hilo muy fino: por poco que un cuerpo esté electrizado, si se presenta al péndulo, atraerá hácia sí la bolita de sauco, apartándola de su posición de equilibrio (fig. 36 t).

2. **Otros fenómenos.** Además del fenómeno de atracción, se observa al frotar un pedazo de ambar con una piel de gato ó lana: 1.º Que aproximando la mano ó la cara á la superficie del cuerpo electrizado, se siente en la piel una sensación ligera, análoga á la producida por una tela de araña; 2.º se percibe un olor fosfórico; 3.º si se le toca con el dedo ó con una bola metálica, se siente un chirrido de una débil chispa; 4.º en la oscuridad se observa un resplandor azulado seguir el frotador por todos los puntos por que se pasea sobre el cuerpo que se electriza.

3. **Cuerpos buenos y malos conductores.** La propiedad que tienen algunos cuerpos de transmitir la virtud eléctrica, y de electrizarse en toda su estension luego que están puestos en contacto por un sólo punto con un cuerpo ya electrizado, se llama *conductibilidad eléctrica*.

4. Los metales y demás cuerpos que no pueden electrizarse directamente por el frote, aunque sí poseen en alto grado la propiedad de la conductibilidad, se llaman *buenos conductores*.

La resina, el ambar, el vidrio, las piedras preciosas y demás cuerpos que se electrizan por el frote directo se llaman *malos conductores*.

5. **Depósito comun.** Cuando un cuerpo conductor electrizado se pone en contacto con una esfera metálica, se nota que las propiedades eléctricas del cuerpo se debilitan tanto más cuanto mayor sea el volumen de la esfera. De manera que si el volumen de la esfera fuese infinitamente grande con relación al del cuerpo electrizado con el cual estuviese puesto en contacto, todos los signos de electricidad desaparecerían de repente. Esto es justamente lo que sucede cuando un cuerpo electrizado está en comunicación con la tierra, porque el globo terrestre está compuesto de sustancias que conducen bastante bien la electricidad, y porque su volumen es inmenso.—Por esta razón llaman á la tierra en las teorías eléctricas *depósito comun*.

Cuerpos aisladores. Para que un cuerpo conductor conserve su electricidad es necesario que esté separado de la tierra por medio de un cuerpo mal conductor. Entonces se dice que el cuerpo está *aislado*, y el cuerpo que le sirve de sustentáculo se llama *aislador*.

7. 1.º *Existen dos electricidades de diversa naturaleza.*

2.º *Dos cuerpos cargados de una misma electricidad se repelen; y cuerpos aislados cargados de electricidad contraria se atraen.*

Demostracion. Consideremos dos péndulos aislados: A y B. Si después de haber frotado un tubo de cristal con lana se aproxima al péndulo A, la bola de sauco será atraída, y la atracción persistirá mientras no haya contacto entre la bola y el tubo electrizado; pero así que la bola y el

tubo se toquen, la atracción se cambiará en una vivísima repulsión. Luego la bola A es repelida por el tubo de cristal que le ha comunicado su electricidad. Del mismo modo si se presenta á la bola del péndulo B un cilindro de resina frotado con una piel de gato se repetirá el fenómeno precedente. Sin embargo, si al péndulo A, electrizado por el vidrio y repelido por él, se presenta el cilindro de resina electrizado, será atraído vivamente. Del mismo modo, si al péndulo B, electrizado por la resina y repelido por ella, se presenta el tubo de vidrio electrizado, habrá también una gran atracción. Todos los demás cuerpos electrizados de cualquier manera atraen también uno de los péndulos y repelen otro. Luego es evidente lo enunciado.

8. Definiciones. La electricidad que se desarrolla en el vidrio cuando se frota con la lana se denomina *electricidad vítrea ó positiva*; la que se desarrolla en la resina cuando se la frota con la lana ó con una piel de gato se llama *electricidad resinosa ó negativa*.

9. Ley de la electrización por el frote. *Siempre que dos cuerpos de cualquier naturaleza que sean, aislados siendo preciso, se electrizan por su frote mutuo, adquieren el uno electricidad positiva, y el otro negativa, pero en cantidad igual.*

Demostración. Para demostrar este hecho, que no tiene escepcion, se toman dos discos aislados de metal ó de otra cualquier sustancia, se frotran el uno con el otro y se separan rápidamente. Presentándoles luego sucesivamente á un péndulo aislado, cargado por ejemplo de electricidad vítrea, se observa que siempre uno de dichos cuerpos repele el péndulo, y otro le atrae. Luego es evidente el enunciado.

10. Observación. Las circunstancias que determinan la especie de electricidad de que un cuerpo se carga varían en sumo grado, y dependen en general: 1.º *De la naturaleza de los cuerpos.* En efecto, el vidrio y la resina frotados con lana adquieren el uno electricidad positiva, y la otra negativa. 2.º *El grado de pulimento.* Frotando un tubo de cristal pulimentado con otro por pulimentar, el primero se electriza positivamente, y el segundo negativamente. 3.º *El sentido de las fricciones.* En efecto, de dos pedazos de una misma cinta de seda, frotados en cruz, el que es frotado trasversalmente adquiere fluido negativo, y el que lo es longitudinalmente fluido positivo. 4.º *La temperatura:* de dos cuerpos idénticos á diferente temperatura frotados entre sí, el que tiene mayor temperatura adquiere fluido positivo y el otro negativo.

11. Hipótesis de los dos flúidos eléctricos. Varias han sido las hipótesis inventadas para explicar los fenómenos eléctricos. Solo mencionaremos la de *Simmer*, que es la generalmente admitida, y se deduce naturalmente de los hechos y observaciones espuestas. De ellas en efecto resulta la hipótesis teórica siguiente:

1.º La *electricidad* puede asimilarse á un fluido imponderado que se des-

tiza fácilmente por la superficie de ciertos cuerpos, mientras que otros oponen una resistencia mas ó menos directa á su movimiento.

2.º Deben existir dos flúidos eléctricos, el uno positivo y el otro negativo, que obran cada uno por repulsion sobre sus propias moléculas y por atraccion sobre las del otro.

3.º Todos los cuerpos poseen en cantidad igual é indefinida los dos flúidos eléctricos en estado de combinacion ó de neutralizacion mutua. Esta combinacion de los dos flúidos toma el nombre de *flúido natural ó neutro*.

4.º La electricidad de dos cuerpos en estado *natural* cuando se les frota es el resultado de la separacion de los dos flúidos, que se reparten entonces desigualmente entre los dos cuerpos: el que posee en mayor grado flúido positivo, se electriza positivamente; aquel en que domina el negativo negativamente, y su doble electrizacion, es siempre simultánea.

12. **Causas de la descomposicion del flúido natural.** La mas notable es el *frote*; pero la descomposicion se logra tambien por la *presion*, el *calor*, el *simple contacto de los cuerpos* y las *acciones químicas*.

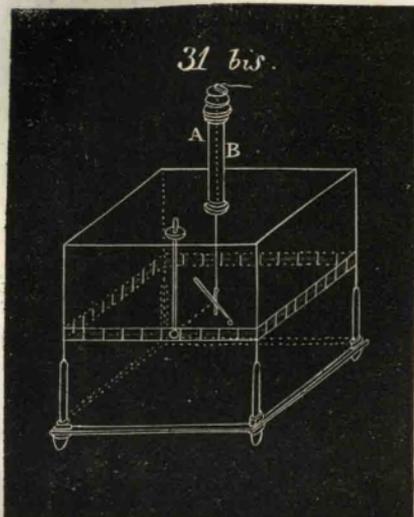
13. La electricidad desarrollada por el frote, y que forma en la superficie de los cuerpos electrizados una capa mas ó menos gruesa en estado de *tension* y de reposo, se llama electricidad *estática*, por oposicion á la electricidad de las pilas voltaicas que producen sus notables efectos en estado de movimiento, por lo cual se denomina electricidad *dinámica*.

§. II. Ley de las atracciones y repulsiones eléctricas.—Distribucion de la electricidad en la superficie de los cuerpos.

1. Por qué medio se demuestran las leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas?—
2. Descripcion de la balanza de Coulomb.—3. Demostrar la 1.ª ley de las atracciones y repulsiones.—4. Demostrar la 2.ª ley.—5. Demostrar que la presion del aire es lo que retiene en los cuerpos conductores la capa superficial de electricidad.—6. Demostrar el primer principio de la distribucion del flúido eléctrico sobre los cuerpos conductores.—
7. Demostrar el segundo principio.—8. Demostrar el tercer principio.—9. Consecuencia que se deduce del tercer principio y como por ella se viene en conocimiento del poder de las puntas metálicas.

1. **Ley de las atracciones y repulsiones.** Estas leyes se demuestran por medio de la balanza de Coulomb.

2. **Descripcion de la balanza de Coulomb.** La balanza eléctrica



de torsion se compone de una gran caja de vidrio (fig. 31 bis), cuya cubierta es tambien un platillo de vidrio con dos agujeros. El uno, cerca de la circunferencia, sirve para introducir una bola metálica aislada; el otro, en el centro, tiene encima un tubo de vidrio vertical, en cuyo eje está suspendido un hilo metálico muy fino, sujeto por su parte superior á una palanquilla que forma parte de un tambor metálico, que está embutido en otro tambor fijo sobre el cual puede girar, y que se halla graduado en un limbo superior. El primero lleva consigo una señal que sirve para contar los grados de rotacion. En la parte inferior del hilo metálico, y en medio de la caja

de cristal, está suspendida una palanca horizontal de goma laca, cuya estremidad lleva un pequeño disco de bricho ó papel dorado.—Finalmente, en las paredes laterales de la caja estan trazadas las divisiones angulares, en el plano horizontal que contiene el centro del disco de bricho, y el centro de la bola metálica, y cuyos dos puntos deben hallarse á la misma distancia del hilo metálico que constituye el centro de rotacion.

3. **1.ª Ley.** *La fuerza repulsiva de dos cuerpos electrizados está en razon inversa del cuadrado de la distancia que les separa.*

Demostracion. Colocando el tambor móvil de la balanza de manera que, hallándose el hilo metálico sin torsion, la palanca horizontal esté dirigida hácia el cero de la division, y su disco de bricho en contacto con la bola metálica, cuyo centro debe tambien corresponder al cero, se electriza la bola y el disco de bricho participando de su electricidad es repelido y toma una posicion nueva, en equilibrio con la fuerza repulsiva y de torsion, en cuyo caso ambas fuerzas serán iguales. Pero siendo la de torsion proporcional al ángulo de torsion, podremos medir por este la de repulsion. En efecto, figurémonos que el disco se detiene en la division 36.º.—La repulsion eléctrica estará representada por este número.—Haciendo ahora girar el disco superior, coloquemos el disco de bricho enfrente de las divisiones 18.º y 9.º.—Las distancias de la bola al disco serán entonces 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$.—En cualquiera de estas posiciones de equilibrio, la fuerza de repulsion y la de torsion serán iguales. Pero esta se compone evidentemente del ángulo 18.º ó 9.º, mas el número de grados que haya sido necesario para hacer girar el tambor móvil. Ahora bien : Coulomb halló que para la segunda posicion del disco fueron necesarios 126.º y para la tercera 367.º.—Por manera que las distancias del disco

á la bola, siendo sucesivamente 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, las torsiones del hilo y las fuerzas repulsivas correspondientes fueron entre sí como los números 36, 18 + 126 = 144, 9 + 367 = 376, ó lo que es lo mismo, como los números 1, 4, 16. Lo que demuestra la primera ley enunciada.

4. **2.^a Ley.** *Las acciones eléctricas están en razón directa de las cantidades de electricidad de los dos cuerpos que obran uno sobre otro.*

Demostracion. En efecto, si cuando el disco de bricho está repelido á 18.^o de distancia de la bola metálica, tocamos esta en otra, exactamente igual y en estado natural, la electricidad se distribuirá por mitad en ambas, y conoceremos que la fuerza repulsiva se ha hecho dos veces menor: pues para mantener el disco á los mismos 18.^o es necesario disminuir en una mitad la torsion total.

5. *La presión del aire exterior es únicamente lo que retiene en los cuerpos conductores la capa superficial de electricidad.*

Demostracion. En efecto, en el vacío la electricidad sobre los cuerpos conductores se disipa instantáneamente.

6. **Distribucion del flúido eléctrico sobre los cuerpos conductores.—1.^{er} principio.** *Cuando un cuerpo conductor está electrizado, el flúido eléctrico libre que posee, obedeciendo á la fuerza repulsiva que sus moléculas ejercen unas sobre otras, abandona el interior del cuerpo, y forma una capa superficial de un pequeño espesor.*

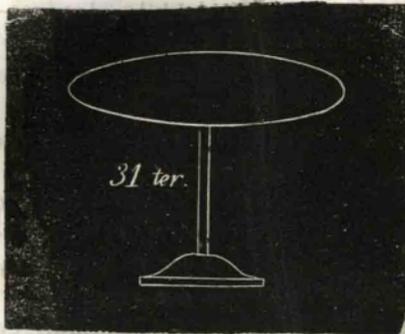
Demostracion. En efecto, si se toca una bola maciza de metal electrizado con una bola igual, la primera pierde la mitad de su electricidad.—Si se toca la bola metálica con otra del mismo radio, pero hueca, ó con otra de cristal igual y cubierta únicamente con una hojilla de oro, la division de la electricidad de por mitad se efectúa exactamente lo mismo que en el primer caso.—Luego es evidente el principio sentado.

7. **2.^o Principio.—Distribucion de la electricidad en un cuerpo esférico.** *El espesor de la capa eléctrica en un cuerpo esférico conductor y aislado, es igual en todos los puntos de su superficie.*

Demostracion. Efectivamente, siendo todo simétrico al rededor del centro, no hay razón para que el flúido eléctrico se acumule con desigualdad.—Un pequeño disco de papel dorado colocado á la estremidad de una aguja de goma laca, quita, tocándole tangencialmente al cuerpo electrizado y levantándole perpendicularmente, una cantidad igual de electricidad en todos sus puntos.

flúido natural del cuerpo conductor cubrenla bajo la esfera de actividad, otros á la parte mas próxima el flúido de actividad contrario, y repelen á la opuesta el del mismo nombre.

Demostracion. Efectivamente, si electrizamos, por ejemplo positivamente un cuerpo, y colocamos bajo su esfera de actividad el cilindro aislado de que hicimos mencion en las experiencias anteriores, veremos



8. 3.^{er} Principio.—Distribucion de la electricidad en un elipsoide (fig. 31 ter).

El espesor de la capa eléctrica en un elipsoide conductor aislado es mínimo á los extremos del eje menor, y aumenta partiendo desde esta seccion media hasta los extremos del eje mayor, donde es su máximo.

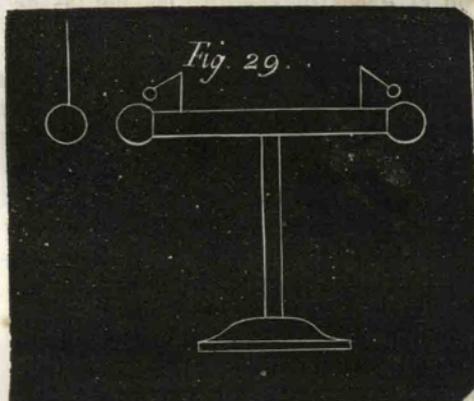
Demostracion. Efectivamente, tocando con el disco de la experiencia anterior varios puntos de su elipsoide electrizado, se obtiene en cada contacto una cantidad de electricidad proporcional al espesor eléctrico del punto tocado, cuya proporcion sigue la ley del principio sentado.

9. Consecuencia. — Poder de las puntas. Un cuerpo conductor cónico puede considerarse como el polo de un elipsoide muy prolongado, resultando por consecuencia de la estension del tercer principio sentado que el espesor de la capa eléctrica en el vértice del cono debe ser infinitamente grande; como la resistencia del aire que únicamente retiene el fluido eléctrico es sumamente pequeña, la electricidad abandonará el cuerpo, siempre que la tension eléctrica supere la presion del aire.—Concibese tambien fácilmente que en la estremidad de una punta metálica electrizada la tension eléctrica debe tener siempre la ventaja, y el fluido se disipará enteramente; lo que así comprueba la experiencia.—Por consiguiente, un cuerpo terminado en punta, ó cuya superficie presente varias prominencias salientes y aguzadas, no conservará la menor señal de electricidad. Por eso las puntas impiden que las máquinas eléctricas se carguen, pues dejan salir el fluido á manera que se desarrolla.—En la oscuridad la salida del fluido presenta á la vista el aspecto de un bonito *penacho luminoso* cuando el fluido es positivo, y de un *punto brillante* siendo negativo.—Poniendo la mano delante de la punta á cierta distancia, se experimenta sobre la piel la sensacion de un ligero soplo.—Franklin hizo una feliz aplicacion del *poder de las puntas*, de que luego hablaremos.

§. III. *Electricidad por influencia.*

1. Demostrar que un cuerpo electrizado descompone por influencia el fluido neutro de un cuerpo conductor.—2. Demostrar que la descomposicion por influencia tiene un limite.—3. Demostrar que el cuerpo electrizado atrae á sí el fluido de nombre contrario, y repele el del mismo nombre en el cuerpo aislador.—4. Demostrar la recomposicion del fluido natural cuando cesa la influencia.—5. Demostrar que cuando el conductor que sufre la influencia está en comunicacion con el depósito comun se carga de un solo fluido.—6. Demostrar que hay una distancia en la cual la electricidad se reune por medio de chispas eléctricas.—7. Describir la máquina eléctrica.—8. Cómo se aumenta el poder de la máquina?—9. Cuáles son los efectos de la máquina?—10. Describir el electróforo.—11. Qué se entiende por electróscopos?—Qué usos se hacen del electróscopo?

1. *Un cuerpo electrizado descompone por influencia el fluido neutro de un cuerpo conductor colocado á cierta distancia.*



Demostracion (figura 29).

Electricese un cuerpo cualquiera, colóquese á cierta distancia de un cilindro metálico aislado y en cuyos extremos lleve dos bolitas de medula de sauco suspendidas en unos apéndices verticales, y se observará que los pendulitos se apartan de los apéndices de que estan pendientes mientras el cuerpo electrizado tenga accion sobre el cilindro.

2. *La descomposicion por influencia tiene un limite: la distancia á que este fenómeno puede tener lugar se llama ESFERA DE ACTIVIDAD del cuerpo electrizado.*

Demostracion. Efectivamente, á medida que el cilindro metálico se separa del cuerpo electrizado, la divergencia de los dos péndulos decrece poco á poco hasta que llega á un punto á cuya distancia los péndulos se caen verticalmente, y cesan todos los signos de electricidad.

3. *En la descomposicion por influencia el cuerpo electrizado al descomponer el fluido natural del cuerpo conductor colocado bajo su esfera de actividad, atrae á la parte mas próxima el fluido de nombre contrario, y repele á la opuesta el del mismo nombre.*

Demostracion. Efectivamente, si electrizamos, por ejemplo positivamente un cuerpo, y colocamos bajo su esfera de actividad el cilindro aislado de que hicimos mencion en las esperiencias anteriores, notaremos

que la parte del cilindro mas próxima al cuerpo electrizado está cargada de electricidad *negativa*, puesto que la bolita de sauco es repelida por una barrita de resina electrizada *negativamente*, y que la estremidad opuesta del cilindro está cargada de electricidad *positiva*, porque la bolita de este lado es tambien repelida por un tubo de cristal electrizado *positivamente*.

4. *Cuando la influencia del cuerpo electrizado cesa sobre el cuerpo conductor, ya por salir de su esfera de actividad, ya por la descarga súbita del cuerpo electrizado, los dos flúidos, momentáneamente separados en el cuerpo conductor, se recomponen y forman flúido natural. En el primer caso la recomposicion es lenta, en el segundo instantánea.*

Demostracion. En efecto, separando poco á poco el cilindro metálico, las bolitas van demostrando del mismo modo la recomposicion del flúido, que puede comprobarse ademas por el aumento progresivo de la línea neutra, que va creciendo siempre en anchura. Si se descarga el cuerpo electrizado haciéndole comunicar con el *depósito comun*, las bolitas de sauco toman de repente la posicion vertical, y demuestran asi la recomposicion instantánea de los dos flúidos.

5. *Si un cuerpo conductor sometido á la influencia de un cuerpo electrizado se pone en comunicacion con el depósito comun, llegará á adquirir únicamente un flúido eléctrico contrario al del cuerpo cuya influencia sufre.*

Demostracion. Efectivamente, supongamos el cilindro de las experiencias precedentes, sea cual fuere la parte que de él toquemos, es decir, la anterior, la media, ó la posterior; observaremos siempre que el péndulo mas distante del cuerpo electrizado baja instantáneamente á su posicion vertical, y el péndulo mas próximo se coloca en una posicion horizontal. Ensayando luego la especie de electricidad que permanece en el cilindro, se ve siempre que es de *nombre contrario* á la del cuerpo de que ha sufrido la influencia.

6. **Comunicacion de la electricidad.—Chispa eléctrica.** *Dentro de la esfera de actividad de un cuerpo electrizado, que descompone por influencia el flúido natural de un cuerpo conductor aislado, hay otra distancia llamada DISTANCIA ESPLOSIVA, en la cual los dos flúidos de nombre contrario acumulados en demasia vencen con su tension la resistencia del aire, y se unen por medio de una chispa eléctrica mas ó menos viva acompañada de un chasquido particular.*

Demostracion. En efecto, aproximemos mas y mas el cilindro metálico del cuerpo electrizado cuya influencia sufre, y veremos comprobado por la experiencia la proposicion sentada.