Las vibraciones se producen del mismo modo en todos los cuerpos; es decir, por medio de condensaciones y dilataciones, cuya amplitud para una misma fuerza de conmocion pende de la elasticidad del cuerpo. En las cuerdas y varillas por consecuencia de este modo de vibrar, se producen nodos, que son secciones del cuerpo que permanecen inmóviles en tanto que se agitan las demas: tales son las A, B, C y D (fig. 84); y las partes comprendidas entre estos nodos, que son las que vibran, se llaman vientres de vibracion. En las láminas elásticas de metal ó vidrio, si se las coloca fijas por su centro, se las recubre de arena bien seca para que se marquen las líneas nodales, y hacemos pasar un arco comun de violin sobre sus bordes, se ve inmediatamente agitarse la arena (fig. 85) para fijarse en la posicion de las diagonales cuando el arco se pasa por el medio de un lado; y en la disposicion (fig. 86) perpendicular á los lados cuando el arco toca á la inmediacion de un ángulo.

se pueden obtener lineas nodales de formas variadas hasta lo infinito.

La vibracion establecida en un cuerpo puede trasmitirse á los inmediatos, ya por el intermedio del aire, ya por el de los demas cuerpos; en lo cual está fundado el empleo de cajas sonoras que, vibrando con el cuerpo principal, dan mas brillo é intensidad á los sonidos.

Variando la naturaleza y forma de las placas y el modo de ponerlas en vibracion

Cuando la onda sonora encuentra un obstáculo material para su propagacion, retrocede ó se refleja formando el ángulo de reflexion geométricamente igual al de incidencia, cuya propiédad es la misma que examinamos en el choque de los cuerpos elásticos. En esta reflexion del sonido están fundados los ecos y las resonancias; los primeros se producen cuando el plano reflectante se halla á una distancia tal que el sonido refléjado puede llegar al observador, contando la distancia de ida y vuelta, despues de percibir el sonido directo; así es como se oye distintamente la repeticion de la última ó de las últimas sílabas segun la distancia, y la resonancia tiene lugar cuando el plano encoutrándose á poca distancia, el sonido directo se confunde mas ó menos exactamente con el reflejado.

Las resonancias que siempre tienen lugar en un recinto cerrado sostienen la voz de un orador; pero no así los ecos que producen una confasion intelerable, de donde viene la práctica de cargar de colgaduras las paredes del templo ó salon que tenga este defecto, pues las ondas chocando con cuerpos poco clásticos, no producen reflacion sensible.

Las relaciones entre las longitudes de las cuerdas, y el número de vibraciones producidas, da orígen á la comparacion de los sonidos, y al estudio de sus accidentes, consourncias, disonancias y demas que no puede acomodarse á la extensión de un curso elemental.

## DEL CALOR.

#### LECCION XLII.

Idea general de los fluidos imponderables, y mas principalmente del calor.—Aparatos empleados para su medida.

191. Los fluidos imponderables, de cuyo estudio vamos á ocuparnos, son agentes inseparables de los cuerpos ponderables estudiados hasta ahora; produciendo en ellos modificaciones, ya en su modo de ser, ya en su modo de estar, sin cuyo conocimiento ni aun lo que ya llevamos explicado puede entenderse debidamente. Estos fluidos son: el calor, la luz, el magnetismo y la electricidad; mas como en el dia los dos últimos se cuentan como uno solo, resultan únicamente tres, que son: calor, luz y electricidad. No falta quien admite solo dos, sosteniendo que el calor y la luz son uno mismo; pero si bien esto puede admitirse como cierto, falta todavía en la ciencia una teoría general que ligue los fenómenos considerados bajo este aspecto, siendo mas sostenible la opinion de no admitir mas que un solo fluido, cuyas modificaciones dan lugar á los diversos fenómenos, ya caloríficos, ya luminosos, 6 ya eléctricos.

Para la explicacion de estos fluidos imponderables se ha admitido por mucho tiempo la existencia de moléculas caloríficas, luminosas etc., que se movian en lo interior de los cuerpos y eran lanzadas de unos en ottos, dando así lugar á los fenómenos observados. En nuestros dias se admite un fluido eminentemente sutil y elástico, llamado éter, en el cual se producen vibraciones análogas á las que en el aire tienen lugar por la accion de los cuerpos elásticos, y que así como éstas producen el sonido, aquellas dan lugar á las acciones que constituyen el calor, la luz y la electricidad.

192. El agente que produce en los cuerpos modificaciones mas variadas, y aun puede anadirse mas importantes, es el calor, el cual produce en nosotros las impresiones que en las diversas épocas del año y en los diferentes climas del globo designamos con los nombres de calor y de frio. Para el estudio de éste. como de los demas fluidos imponderables, no podemos seguir mas camino que el de observar las modificaciones que ellos producen en los cuerpos ponderables ya conocidos, ó las que estos cuerpos ponderables producen en aquellos fluidos.

Para hacer constar la imponderabilidad del calor, se toma una vasija de vidrio con tapon esmerillado, se echa dentro agua y ácido sulfúrico con el cuidado suficiente para que no se reunan, y se pesa: en seguida se agita el líquido, y bien pronto se nota un gran desprendimiento de calor por la parte exterior del vaso;

se le deja reposar para que el calor se desvanezca, y pesándolo en seguida, se halla el mismo resultado que antes de emitirse el calor.

Entre las diferentes modificaciones que el calor produce en los cuerpos, hay una que estudiaremos con el nombre de dilatacion, y que consiste en variar el volúmen de todos ellos, la cual nos puede dar medios de medir del modo posible las cantidades del mismo fluido. Se observa que en igualdad de circunstancias los líquidos se dilatan mas que los sólidos, y los gases aun mas que los líquidos; así que no será indiferente el empleo de los unos ó de los otros para la medida que buscamos. Los aparatos destinados á esta medida son los designados con el nombre de termómetros ó medidores del calor; y como se presentarán ocasiones en que se necesite medir grandes cantidades, otras en que por el contrario solo se desee el conocimiento de acciones muy pequeñas, y otras, que serán las mas frecuentes, en que haya necesidad de estudiar las ordinarias ó intermedias, resulta que deberán construirse termómetros de cuerpos sólidos, líquidos y gases, los cuales reciben el nombre de pirómetros cuando el cuerpo termométrico es un sólido, y de termóscopos cuando el cuerpo dilatable es un gas.

El estudio del termómetro exige el conocimiento de toda la teoría del calor; pero en la casi imposibilidad de presentar ésta sin el uso del referido instrumento, preferimos explicar antes su construccion y uso, y tener luego en cuenta la justificacion de los procedimientos necesarios en los lugares oportunos de estas lecciones.

## LECCION XLIII.

## Construccion de las diferentes clases de termómetros.

· 193. Para construir el termómetro de líquido, que es el mas usado, se toma un tubo capilar de vidrio bien calibrado, á cuya extremidad se sopla una esfera 6 se suelda un cilindro, de modo que resulta una capacidad ó vasija con un cuello largo y capilar. Para introducir el líquido en este aparato tenemos necesidad de desalojar préviamente el aire, puesto que, siendo el tubo estrecho, sabemos que no permitirá la salida de un fluido y entrada del otro simultáneamente; para esto se calienta el tubo y depósito, á fin de que el aire salga en virtud de la dilatacion, y cuando esto parece haberse conseguido, se le introduce invertido en una vasija que contenga el líquido que deseamos introducir; entonces en el tubo existirá un vacío mas ó menos completo, la presion de la atmósfera se hará preponderante, y el líquido se lanzará al depósito para llenarle, así como á una porcion del tubo. Introducido ya el líquido, que es generalmente mercurio ó alcohol, se le calienta de nuevo para desalojar el aire que sobre la columna líquida haya quedado, y se le cierra herméticamente á la lámpara.

Falta poner una escala al tubo que permita medir la dilatacion que el mercurio experimente, y juzgar por ella de la cantidad de calor que la ha producido. Para esto, y en la imposibilidad de conocer inmediatamente la extension de cada una de las divisiones, se toman dos puntos fijos, que son el del hielo fundente y el del

agua hirviendo: para marcar el primero se introduce la bola y la parte de tubo que contenga líquido en hielo fundente, y se hace una señal en el punto en que el líquido permanece estacionario, lo que verificará al cabo de algun tiempo; y para señalar el segundo se le colocará en agua hirviendo, marcando con otra señal el punto en que el líquido se detenga. Para tomar el primer punto es conveniente y aun preferible la nieve al hielo producido por un agua cualquiera; pero para marcar el segundo se necesitan algunas precauciones: es indispensable que el agua sea destilada, que la vasija en que se contiene sea metálica, que el termómetro no se introduzca en el líquido y quede solo rodeado del vapor que se produce; el cual debe tener libre comunicacion con la atmósfera; y finalmente, se necesita consultar el barómetro para tener en cuenta la presion atmosférica, que, como veremos mas adelante, influye poderosamente en el punto de ebullicion.

Tomados los dos puntos fijos del modo que va dicho, se coloca el termómetro sobre una plancha, en la cual se marcan los puntos tomados, y se divide el intervalo comprendido entre ambos en un número de partes iguales, que reciben el nombre de grados. Tres escalas termométricas son las usadas: la de Reaumur, la centígrada y la de Farenheit; la primera se verifica marcando cero en el punto del hielo fundente, ochenta en el de la ebullicion, y dividiendo este espacio en ochenta grados ó partes ignales; la Centígrada señala cero como en la anterior y ciento en el punto de la ebullicion, estando dividido en cien partes el intervalo correspondiente; y la de Farenheit marca treinta y dos en el hielo fundente y doscientas doce en el agua hirviendo, hallándose por consiguiente dividido este intervalo en ciento ochenta partes que, prolongadas por la parte inferior, nos darán el cero treinta y dos grados de estos, mas bajo que el de los otros dos termómetros. En todas las escalas puede prolongarse la division por la parte superior é inferior, siendo estos últimos los que llamamos grados bajo cero.

Nada hay mas fácil que referir una escala á otra por medio de una simple proporcion; así para reducir 40 grados centígrados á los de Reaumur, diriamos: las partes en que se halla dividida la escala centígrada, son á las en que se encuentra la de Reaumur, como 40 grados centígrados son el cuarto término, esto es,

$$100:80::40:x$$
;  $5:4::40:x = \frac{40\times4}{5} = 8\times4 = 32$  grados de Reaumur. Si fue-

sen dados 60 de Reaumur para reducir á centígrados, seria 80:100::60:x;

4:5::60: 
$$x = \frac{5 \times 60}{4}$$
 =5×15=75 centigrados. Si se nos diesen 59 de Farenheit para reducirlos à Reaumur, notariamos que el cero del segundo equivale 6

heit para reducirlos á Reaumur, notariamos que el cero del segundo equivale á 32 del primero, y que este se halla dividido en 180 partes en el intervalo que corresponde á 80 en el de Reaumur, así que, dirá, 180:80::59-32:x; 9:4::27:x=

para reducirlos á Farenheit, diriamos, 80:180::16:x; 4:9::16:x=
$$\frac{9\times16}{4}$$
=9×4

=36, á los que añadidos los 32 que hay hasta el cero, darán 68 grados de Farenheit.

194. El termómetro de máxima y mínima, llamado termometrógrafo, se compone de un tubo dos veces encorbado (fig. 87) terminado por dos depósitos; la parte inferior AB lleva mercurio y la superior del lado A va llena de alcohol, incluso el depósito C; la otra parte B lleva tambien alcohol hasta la mitad del depósito D, cuya otra mitad contiene aire; dos pequeños cilindros de vidrio con eje de hierro se encuentran en A y B sobre la superficie del mercurio destinados á servir de índices. Cuando la temperatura aumenta, todo el aparato se dilata, y como el aire es muy compresible, se reducirá de volúmen por la presion que sobre él produce la dilatacion de los líquidos, así que el índice B se elevará y permanecerá fijo en la posicion que haya adquirido por medio de un pequeño resorte que lleva unido, diciéndonos por tanto la mayor altura á que ha llegado en ausencia del observador. Si la temperatura desciende, los líquidos se contraen, y auxiliados por la fuerza elástica del aire que se hallaba comprimido, obligarán á elevarse al índice A, que conser-\* vará la posicion que adquiera, por las mismas razones expuestas al tratar de B. El lado ó índice B nos dirá las temperaturas máximas y el A las mínimas. Este aparato se gradúa por comparacion.

195. El térmómetro diferencial, debido á Leslie, es un termóscopo destinado á medir pequeñas diferencias de temperatura. Se compone de un tubo dos veces encorbado (fig. 88) terminado por dos esferas C y D; lleva ácido sulfúrico coloreado hasta cosa de la mitad de las ramas A y B, y aire en el resto del aparato. Si imaginamos que el tubo tenga el mismo calibre en todas sus partes, y que las esferas que le terminan sean perfectamente iguales, el líquido quedará á la misma altura en los dos brazos cuando la cantidad de aire y la temperatura sea igual en ambas esferas, y en este caso se marcará cero en los puntos A y B: rodeando en seguida la bola C con hielo á cero y la D con agua, v. gr. á 10°, el líquido descenderá en B por la elasticidad que el aire adquiere, y se elevará en A, en cuyo punto se marcará 10, se dividirá este intervalo en diez partes iguales, que serán grados termométricos, y se prolongará la division hasta la bola, y por la parte inferior hasta donde el tubo lo permita.

El termóscopo, debido á Rumford (fig. 89), difiere del termómetro diferencial en tener la rama horizontal mas larga y cortas las verticales, y en que, en vez de llevar una columna de líquido, solo tiene una gota ó índice A de mercurio. La graduación es la misma que la del anterior; el índice estará en la mitad del tubo cuando sufra presiones iguales de cada lado, y allí se pondrá cero para proseguir luego idénticamente, como ya se ha explicado en el aparato precedente. Estos aparatos marcan siempre cero; cualquiera que sea la temperatura que los rodee, con tal que sea la misma para ambas esferas; de forma que los grados que señalan solo nos dicen la diferencia de temperatura entre las mismas.

196. Én cuanto á pirómetros, la ciencia desea todavía uno que cumpla con todas las condiciones necesarias; pero entre los diferentes que se han propuesto, el de arcilla, debido á Wedgwood, es el mas usado. Se compone de dos reglas de

metal ó porcelana, ligeramente inclinadas y divididas en 240 partes iguales. Unos cilindros de arcilla, que se denominan piezas pirométricas, se acomodan exactamente en el cero de la division que corresponde á la máxima abertura; los mismos que, sufriendo una contraccion por el calor, se introducen hasta una division mas avanzada.

#### LECCION XLIV

## Calor radiante.—Influencia del estado de las superficies, y esperimentos relativos á esta propiedad.

197. Un cuerpo, colocado en un recinto de una temperatura inferior á la suya, emite, lanza ó radia calor en todas direcciones. Para asegurarnos de esta propiedad no habrá mas que colocar el cuerpo en el vacío, y poner termómetros á igual distancia en todas direcciones, y se notará que suben todos igualmente: decimos que el cuerpo se coloque en el vacío, porque en el aire el experimento no saldria cual deseamos, elevándose mas la temperatura del termómetro colocado en la parte superior, en razon á que el aire calentándose por su contacto con el cuerpo y haciéndose menos denso en virtud de lá dilatacion, se elevaria estableciendo una corriente de aire caliente, que produciria la elevacion del termómetro segun va dicho.

Si el cuerpo, en vez de hallarse en un recinto de temperatura inferior á la suya, se encontrase en uno de temperatura superior, el cuerpo recibiria calor, ó como vulgarmente se dice, se calentaria: y si estuviese en un recinto de una temperatura igual á la suya, ésta no sufriria variacion alguna.

En el primer caso considerado, el cuerpo se enfria por la radiacion, y este enfriamiento ó descenso de temperatura continúa hasta que haya equilibrio entre las temperaturas del cuerpo y del recinto, 6 lo que es lo mismo, hasta que sean iguales. Para darse cuenta de cómo el enfriamiento se verifica, debemos recor dar lo que deciamos al explicar la salida de los gases, lo cual facilita bastante la inteligencia de este fenómeno; así es que la velocidad del enfriamiento no será uni forme, ya tenga lugar la radiacion en un recinto de temperatura variable ó constante. En el primer caso la diferencia entre las temperaturas del recinto y del cuerpo irá desapareciendo por el descenso de la temperatura del uno, y la elevacion que este calor radiado producirá en el otro; y en el caso de ser invariable la temperatura del recinto, como sucederia si la radiación se verificase al aire libre, la diferencia disminuiria tambien, aunque con menos rapidez que en el caso anterior. En lo que va dicho suponemos que el enfriamiento se verifica en el vacío, ó que solo es debido á la radiacion; pero si así no fuese, las diferencias se aniquilarian mas pronto en razon al calor que al cuerpo robaria el gas que le rodease: mas en todos los casos, y sobre todo cuando el exceso inicial no excede de 15 á 20 grados, podemos admitir la ley de Newton, que nos dice que un cuerpo caliente pierde en cada momento una cantidad de calor proporcional al exceso de su temperatura sobre la del recinto.

198. La observacion y la experiencia nos enseñau, como veremos mas adelante, que los cuerpos radian á todas temperaturas; así que, llegado el caso de que la temperatura del cuerpo sea igual á la del recinto, la radiacion no cesa, y el equilibrio que se establece tiene por causa el recibir el cuerpo cantidades de calor iguales à las que emite, lo que se designa con el nombre de equilibrio movible de temperatura. De aquí resulta que todo cuerpo está sin cesar radiando y absorviendo calor, de modo que se enfriará cuando emita una cantidad mayor que la que reciba, se calentará cuando absorva una cantidad mayor que la que radie, y no variará su temperatura cuando absorva cantidades iguales á las emitidas.

Los cuerpos pueden ser estudiados con relacion al calor radiante, bajo el aspecto de emitir ó radiar calor, ó sea enfriarse, bajo el de absorver este fluido ó calentarse, y tambien por la propiedad de rechazarle, reflejarle ó no admitirle. La propiedad emisiva ó radiante pende de la relacion entre la temperatura del recinto y la del cuerpo, de la naturaleza de éste y del estado de su superficie. La primera causa modificante se comprende muy bien en virtud de lo que dejamos establecido para el enfriamiento; puesto que el cuerpo radiará tanto mas y con tanta mavor energía, cuanto mas alta sea su temperatura respecto del recinto y de los cuerpos que le rodean: en cuanto á la segunda causa de modificacion, tambien sin dificultad se concibe que todos los cuerpos no radiarán igualmente, pero hay que reservar para mas adelante el fijar bien la influencia de esta circunstancia, lo cual verificaremos al tratar de la capacidad calorífica de los cuerpos. En cuanto á la influencia del estado de las superficies, nada hay mas fácil de hacer constar: se toma un cubo hueco de metal (fig. 90), conocido con el nombre de cubo de Leslie, el cual tiene cada una de sus cuatro caras laterales en estado diferente, una pulimentada, otra mate, otra barnizada de negro y la última de blanco. Se echa agua caliente en el cubo A, y colocando sucesivamente sus caras en frente de un espejo cóncavo C, que dirige el calor sobre la bola de un termómetro diferencial B, se nota que la cara ennegrecida radia mas y la pulimentada menos; así que para radiar calor son preferibles las superficies mates ó deslustradas y las ennegrecidas.

199. La facultad absorvente se halla modificada por las mismas circunstancias que la emisiva; pues que absorverá un cuerpo tanto mas calor cuanto mas baja sea su temperatura respecto de los que le rodean; y en cuanto á la naturaleza del cuerpo nos referimos á lo expuesto mas arriba. Por lo que respecta á la influencia del estado de la superficie, el mismo aparato de Leslie puede servir para el estudio de esta circunstancia. Se coloca en el cubo agua á la temperatura ordinaria, y se observa la elevacion de temperatura que produce un cuerpo caliente colocado sucesivamente á distancias iguales delante de cada una de sus caras; lo cual da que absorve mas la cara ennegrecida y menos la pulimentada, que es lo mismo que se observó en la radiacion, de donde podemos concluir que el cuerpo que mas radia mas absorve, ó que la facultad emisiva y la absorvente son iguales.

El calor radiante lanzándose á distancia notamos con facilidad que su accion 6 intensidad decrece cuando la distancia aumenta; y nada hay mas fácil que darse

cuenta de la relacion que existe entre estos dos datos. Sea para esto un cuerpo A (fig. 91) colocado en el centro de una esfera BD, y ninguna duda puede quedarnos de que todo el calor radiado es recibido por la superficie interior de la esfera y distribuido con igualdad entre sus elementos: imaginemos ahora el cuerpo A en el centro de otra esfera EF de mayor radio, y tambien se verificará que todo el calor será recogido por su superficie interior y repartido con igualdad sobre sus elementos; pero esta superficie es mayor, y por consiguiente contiene mayor número de pequeñas porciones ó elementos, de donde resulta que siendo la misma la cantidad de calor absoluto recibirá una porcion menor cada uno de estos elementos; esta disminucion será en razon de las superficies de las esferas que sabemos son como los cuadrados de los rádios, y como estos son las distancias del foco calorífico al punto considerado, resulta que la intensidad del calor radiante se halla en razon inversa del cuadrado de la distancia. Esta demostracion es la misma en el fondo que la expuesta para la intensidad del sonido, y la misma que corresponde á la intensidad de la luz.

#### LECCION XLV.

## Reflexion del calor.—Reflexion aparente del frio. —Aplicaciones de la radiacion.

200. En la leccion anterior hemos visto que los cuerpos mates y deslustrados son mas á propósito para radiar y absorver calor; lo cual parece provenir, aun cuando no sea enteramente exacto, de que las asperezas de los no pulimentados, aumentan la totalidad de las superficies, y por consiguiente los puntos radiantes ó absorventes.

Los cuerpos pulimentados, siendo los menos à propósito para calentarse y para enfriarse, lo son en mayor grado que los mates, para rechazar ó reflejar el calor. La reflexion del calor se verifica, del mismo modo que la del sonido, formando el ángulo de reflexion igual al de incidencia. Dejando para el estudio de la luz la verificacion de estas leyes y determinacion de los focos, pasamos á examinar esperimentalmente lo concerniente á esta cuestion; para lo cual se disponen dos espejos parabólicos A y B (fig. 92), en frente uno de otro, de modo que tengan un eje comun; en el foco del espejo A, se colocan carbones encendidos, y en el de B, un trozo de yesca ó cosa semejante, y como por la propiedad de la parábola los rayos reflejados en el espejo A saldrán paralelos al eje, entrarán con el mismo paralelismo en B, donde se reflejarán de nuevo, reuniéndose en el foco, é inflamando la yesca, aun cuando haya diez ó doce y aun mas varas de distancia. Si en el foco A colocásemos un cuerpo caliente, como v. gr. un matraz con agua hirviendo, y en el foco de B un termómetro muy sensible, veriamos que la reflexion se verifica del mismo modo con el calor oscuro que con el que se encuentra acompañado de luz.

201. Si dejando el termómetro en el foco de B colocásemos en el de A un tro-

zo de hielo, veriamos que el termómetro bajaria, lo que á primera vista parece indicar una reflexion del frio igual á la del calor; pero no es de este modo como se verifica, sino por la radiacion del calor. Cuando el cuerpo situado en A tenia una temperatura superior al colocado en B, ambos radiaban; pero la cantidad de calor absorvida por B, siendo superior á la que emitia, debia por precision calentarse: pero ahora que el hielo emite una cantidad de calor menor que el termómetro. éste se halla en el caso de ser el cuerpo caliente, emitiendo mas calor del que recibe, y por le mismo su temperatura debe descender. Esto nos dice que con efecto los cuerpos radian y absorven siempre, cualquiera que sea su temperatura, y al mismo tiempo nos convence de que no existe un fluido frigorífico diferente del calor; de modo que lo que designamos con el nombre de frio no es mas que un estado relativo respecto de otro en mas elevada temperatura, y con el cual comparamos: así es como la temperatura constante de un sótano algo profundo nos parece fria en verano y caliente en invierno; porque imaginando que la tempera. tura sea en lo interior de 13º R, esta será elevada en invierno, en que la exterior será de 0°, y la hallaremos fria en verano en que marcará el termómetro 30° en el exterior. Una cosa igual sucede con las aguas que corren por conductos algo profundos, que salen frescas en verano y calientes en invierno.

La influencia del estado de la superficie en los fenómenos de radiacion y de absorcion se hace notar en los vasos metálicos, que se enfrian mas pronto ó se calientan segun su caso, cuando están ya usados, y por consiguiente la superficie sin pulimento, que cuando están bien limpios, y la superficie por consiguiente pulimentada y brillante. Los tubos que han de conducir agua ó vapor, radiarán y calentarán el recinto, tanto mas enérgicamente, cuanto menor sea su pulimento. Las estufas vemos que se construyen de chapa metálica, y que no solo no se pulimenta, sino que se recubre de un barniz negro, con el objeto de que radie tan completamente como es posible, y mantenga suficientemente elevada la temperatura de la habitacion.

#### LECCION XLVI.

Trasmision del calor radiante.—Aparato de Melloni considerado únicamente como un termómetro de gran sensibilidad.

202. El calor radiante puede trasmitirse al traves de los cuerpos, mas ó menos libremente, pero sin calentarlos sensiblemente en su tránsito. Tenemos un ejemplo sensible de esto en el calor solar que atraviesa la atmósfera sin calentarla; puesto que si así no fuese, la temperatura de esta seria decreciente desde las altas regiones hasta nosotros, cuando vemos que se verifica precisamente lo contrario, como lo atestiguan los viajes aereostáticos, y mas que todo la existencia de la region de las nieves perpétuas.

Durante mucho tiempo se habia creido que los cuerpos mas diáfanos ó trasparentes para la luz, eran tambien los mas á propósito para dejar paso al calor; mas despues de los experimentos de Melioni, se ha reconocido que no se verifica precisamente de esta manera; así es que el cuerpo mas trasparente para el calor, es la sal gemma, cuya trasparencia para la luz es muy inferior á la de otros muchos. Designándose los cuerpos trasparentes para la luz con el nombre de diáfanos, y con el de opacos los que la interceptan, análogamente se han llamado diatermanos los que dejan paso al calor radiante, y atermanos los que no se dejan atravesar por esta fluido.

La diatermancia de los líquidos da un medio fácil de hacer constar que los cuerpos no se calientan por dejar paso al calor radiante. Si disponemos una caida de
agua formando una tabla que se renueve sin cesar, y colocamos de un lado un
cuerpo chiente, y de otro un termómetro muy sensible, éste se elevará, lo cual
prueba que el calor se trasmite, y la renovacion rápida del cuerpo intermedio aleja completamente la idea de que pudiera verificarse calentándose sucesivamente
las partes 6 capas que le constituyen.

El aparato de Melloni (fig. 93) se compone de una pila termo-eléctrica A, cuya descripcio a no es de este lugar, de una lámpara de Locatelli B, ó de otro foco caloraleo conveniente; de un montante donde se coloca el cuerpo C, que ha de trasmitir ó reflejar el calor, y de dos pantallas D y E destinadas á establecer ó interceptar en un momento dado la comunicacion de los rayos caloríficos con el cuerpo C ó con la pila A. Los hilos de la pila comunican con un multiplicador, que no va indicado en la figura, y que es el que indica el efecto producido por el foco calorífico B sobre la pila A.

Con este aparato pueden verificarse todos los experimentos relativos al calor radiante, pudiendo variar la distancia del foco à la pila; la naturaleza del foco, que puede ser una lámpara como aparece de la figura, puede ser una lámina metálica ennegrecida y fuertemente calentada, puede ser una espiral de platino enrojecida por una lámpara de alcohol, y puede ser tambien un cubo de Leslie, semejante al que ya hemos descrito. Se pueden colocar en C cuerpos capaces de reflejar el calor sobre la pila, para lo que el aparato tiene medios de situarlos bajo el ángulo necesario y correspondiente, 6 cuerpos capaces de absorver el mismo fluido, y tambien cuerpos que dejen pasar mas 6 menos bien el calor para el estudio de la diatermancia, y cuerpos que tengan espesores y curvaturas diferentes para el estudio del desvio 6 refraccion que el calor sufre al atravesarlos.

La sensibilidad de este aparato supera infinitamente á la de los termómetros ordinarios mas delicados; así es que por su medio pueden apreciarse pequeñas variaciones en la trasmision del calor radiante, provenientes no solo de la naturaleza del cuerpo sino de su espesor, de su pulimento y de la densidad respectiva de sus diferentes capas. Para hacer experimentos con los líquidos, se tienen vasijas de vidrio muy delgado y con las caras perfectamente paralelas, las cuales se colocan en C llenas del líquido que se trata de examinar.

#### LECCION XLVII.

## Dilatacion de los cuerpos por el calor.—Coeficiente de dilatacion en los sólidos.—Dilatacion cúbica.

203. Todos los cuerpos se dilatan por la accion del calor cuando éste aumenta, y se contraen por la disminucion de este fluido. Al ocuparnos de la construccion del termòmetro nos convencimos de que esta propiedad existia en los líquidos y en los gases, y por lo que respecta á los sólidos, no ofrece dificultad alguna el hacerlo constar. Se toma un cilindro de metal que ajuste exactamente con un anillo de lo mismo, se calienta fuertemente el cilindro, y se nota que ya no pasa por el anillo, lo que prueba la dilatacion sufrida. La arcilla, que dijimos contraerse por el calor al explicar el pirómetro de Wedgwood, no es en realidad una excepcion del fenó meno general; solo que en este cuerpo se verifica una combinacion mas íntima entre sus elementos, á lo que se añade la pérdida de una parte del agua que habitualmente posee, todo lo cual explica muy bien la disminucion de volúmen ob servada.

La fuerza del calor en la dilatacion, siendo repulsiva entre las moléculas de los cuerpos, tiene que vencer necesariamente à la atractiva 6 de cohesion que tiende á agruparlas: de aquí resulta, aunque no como causa única, que no teniendo todos los cuerpos la misma fuerza de cohesion entre sus partículas, tampoco se dilatarán igualmente por la adicion de cantidades iguales de calor. Sabemos que en los cuerpos sólidos la fuerza de cohesion, aunque diferente para cada uno, es mas enérgica que en los líquidos; y que en los aeriformes la fuerza atractiva es nula, puesto que las moléculas se hallan en estado continuo de repulsion: de aquí resulta necesariamente que, para cantidades iguales de calor, un cuerpo sólido se dilatará menos que un líquido, y éste menos aún que un gas cualquiera. Siendo los líquidos cuerpos intermedios, y observando la gran movilidad de sus molécujas, podemos decir que en ellos la fuerza atractiva ó de cohesion, se halla en equilibrio con la fuerza repulsiva ó del calor; y segun prepondere una ú otra, los cuerpos pasarán á sólidos ó á aetiformes segun su caso. Si la fuerza de cohesion prepondera por la disminucion de la del calor, el cuerpo se convierte en sólido, como con el agua estamos viendo que sucede con frecuencia; y si se hace preponderante la fuerza repulsiva del calor, el cuerpo se trasforma en aeriforme, como el agua misma nos está probando continuamente; y si en este estado gaseoso el calor disminuye, el cuerpo regresa al estado líquido, de acuerdo con esta teoría. La presion atmosférica, favoreciendo á la fuerza de cohesion, hace papel tambien en estos cambios de estado de que nos ocupamos.

204. La dilatacion que sufre la unidad de volúmen por la unidad de temperatura, es lo que se llama coeficiente de dilatacion; el cual, por lo que llevamos expuesto, es mas pequeño en los sólidos que en los líquidos, y aun mas en estos que en los aeriformes. Para determinar el coeficiente de dilatacion en los sólidos, es

necesario investigar si éste será el mismo para todos ellos, y si en un mismo cuerpo el coeficiente será el mismo á todas las temperaturas. En cuanto á lo primero vemos que el coeficiente no puede ser el mismo para todos los sólidos, puesto que la fuerza de cohesion que se le opone no es tampoco la misma para todos ellos; y por lo que respecta á lo segundo, observaremos que á medida que el calor va aumentando y produciendo una dilatacion mayor sobre el cuerpo, la fuerza de cohesion ha ido disminayendo por el alejamiento de las moléculas, y por consiguiente las nuevas cantidades de calor que vayan llegando, han de producir necesariamente un efecto mayor que las primeras; de donde se sigue que el coeficiente de dilatacion aumenta con la temperatura.

La determinacion del coeficiente de dilatacion de los sólidos, ha sido objeto de numerosas investigaciones; y por último, el procedimiento de Lavoisier y Laplace, resolvió completamente la cuestion, no dejando nada que desear respecto á precision y exactitud. En una artesa de metal, colocada sobre un hornillo, se pone horizontalmente una barra del cuerpo cuya dilatacion se ha de hallar (fig. 94). Esta barra AB se halla fija por su extremidad A en un fuerte prisma de vidrio que impide que pueda extenderse por este lado, y la obliga por consiguiente á verificar su dilatacion por B, en donde toca á una varilla EF, tambien de vidrio, que cuando el agua de la artesa, y por consiguiente la barra AB se hallan á  $0^{\circ}$ , conserva la posicion vertical; en la parte E de esta varilla, lleva un anteojo HI, cuyo eje es perpendicular á la misma, y que sirve para dirijir la visual á una mira PQ colocada á 100 toesas de distancia. Calentando el agua de la artesa, la barra se dilata, empuja la varilla EF, y la hace tomar la posicion EG, girando al rededor del eje E. v el anteojo por consiguiente adquiere la posicion KL y dirige la visual LN; por este medio se obtuvo la medida exacta de la dilatación, pues que por una parte es fácil conocer la temperatura del baño, la cual irá creciendo por el calor que recibe del hornillo inferior, y por otra no ofrece dificultad la medida de lo que la barra se alarga, habiendo observado que un aumento de una linea en su longitud, hacia correr 744 sobre la mira PQ, de donde se sigue la posibilidad de apreciar un aumento de 1 de línea. Por este medio se han obtenido las dilataciones de los sólidos, y se ha visto que si bien es cierto que el coeficiente varía de un grado á otro. puede sin embargo tomarse como constante desde 0º á 200º centígrados.

La dilatacion cúbica se examina admitiendo un cubo formado del cuerpo que deseamos, en el que, dilatándose del mismo modo todas las dimensiones, está reducido á formar el cubo con la expresion (1+d) y despreciar el cuadrado y la tercera potencia que resultan, en cuyo caso se obtiene que la dilatacion cúbica es el triplo de la lineal.

## LECCION XLVIII.

## Coeficiente de dilatacion en los fluidos.—Aplicaciones de las dilataciones en general.—Péndulos de compensacion.—Termómetro de Breguet.

205. El coeficiente de dilatacion de los líquidos es tambien diferente para cada cuerpo, y crece con la temperatura en cada uno. En estos cuerpos hay que distinguir la dilatacion aparente de la dilatacion real: la primera es la que se verifica comprendiendo el aumento de volúmen de la vasija, y la segunda es la que tendria lugar si el vaso fuese de una materia no dilatable.

Para averiguar el coeficiente de dilatacion aparente, se toma un tubo de vidrio terminado en una esfera, y préviamente dividido en partes alícuotas del volúmen de la misma, se llena esta esfera del líquido y se coloca el tubo horizontalmente en un baño de líquido, cuya temperatura pueda elevarse por medio de un hornillo inferior. Termómetros colocados en el baño nos darán la temperatura, y el extremo de la columna líquida en el tubo propuesto, protegida en su caso por un índice de mercurio, nos dará la dilatacion para cada grado. El medio mas exacto es sin embargo el empleado por Dulong y Petit, que consiste en llenar del líquido una vasija terminada en un tubo capilar, conocer el peso de este líquido, y averiguar el de la porcion que hace salir la dilatacion en una temperatura conocida y hallar la relacion entre ambos.

Las principales investigaciones se han dirigido sobre el mercurio, por ser un liquido cuya importancia hemos visto en diferentes ocasiones, y se ha obtenido para su dilatacion aparente  $\frac{1}{6480}$  de su volúmen á cero. El coeficiente de dilatacion real se puede obtener añadiendo al aparente lo que corresponde á la dilatacion del

vaso, y ha dado para el mercurio 5550.

El coeficiente de dilatacion de los líquidos varía con la temperatura en cada uno de ellos, siendo estas variaciones mas rápidas cerca de los cambios de estado; así es que el agua, que solo recorre en estado líquido la extension de la escala termométrica, es el cuerpo que presenta mas irregularidad en su coeficiente de dilatacion, y por lo mismo el mercurio, que recorre en estado líquido una extension de 400°, puesto que se solidifica á 40° bajo cero, y se reduce á vapor á 360°, tiene sus dilataciones sensiblemente proporcionales con los aumentos de temperatura entre 0° y 100°, por cuya causa es preferible para los termómetros.

206. El coeficiente de dilatacion de los gases puede determinarse por el mismo procedimiento que hemos explicado para los líquidos, haciendo el vacío en el tubo y en la esfera que le termina, llenándole de aire seco, ó del gas que necesitemos, y colocando un índice de mercurio que sirva para indicarnos la dilatacion y para se parar el gas interior del aire exterior. Por este medio se ha obtenido que el coeficiente buscado es el mismo para todos los gases y constante á todas las temperatu-

ras, expresado por 0,00375; lo cual está conforme con la circunstancia que presentan de ser ellos nula la fuerza de cohesion. Sin embargo, muy modernamente, empleando medios mas exactos, se ha venido á establecer que el coeficiente no es el mismo para todos los gases ni á todas las temperaturas, lo cual se sospechaba hace mucho tiempo; pero estas variaciones son muy pequeñas, y tanto, que para las aplicaciones pueden mirarse como nulas.

Ahora se comprende la necesidad de la correccion de temperatura en el barómetro, puesto que el calor, aumentando en general el volúmen del mercurio, le hace disminuir de densidad, y por consiguiente, la columna, pesando menos, tiene que llegar á mayor altura. Por razones análogas se necesita la correccion respectiva en la determinacion de las densidades, puesto que éstas cambian con la temperatura, por cuya razon para la determinacion de la densidad de los gases se necesita que los volúmenes iguales que se comparan se hallen á una misma presion y temperatura.

La máxima densidad de los cuerpos, parece que debe hallarse en el mínimum de temperatura á que se los someta; pero sin embargo hay escepciones, como sucede con el agua. Si tomamos una esfera de marfil y la pesamos dentro del agua á diferentes temperaturas, veremos que pierde mas de su peso á 4, 1 centígrados, lo que nos dice que el máximum densidad del agua es á esta temperatura.

207. Las dilataciones de los sólidos tienen aplicacion para los péndulos, dando lugar á los llamados de compensacion. Sabemos que la longitud de la varilla influye en la duracion de las oscilaciones, y que esta longitud no será constante por la dilatacion ó contraccion que necesariamente han de producir las variaciones de temperatura; y en la imposibilidad de hacerlo de una sustancia no dilatable se han discurrido diferentes medios de corregir la dilatacion. Uno de ellos es (fig. 95) poner en vez de lenteja un vaso P con mercurio; cuando la temperatura se eleva, la varilla se dilata y el centro de oscilacion baja; pero dilatándose tambien el mercurio, el nivel Q se eleva y puede establecer la compensacion buscada. Otro medio es (fig. 96) hacer que la varilla C del péndulo se interrumpa en A en la parte superior de un bastidor B de acero, que lleva dentro otro D de laton, de cuya parte superior pende la varilla E y la lenteja L. Cuando la temperatura se eleva, se dilata todo el aparato, y la lenteja L y el centro de oscilacion debe bajar; pero la dilatacion del cuadro D de laton, debiendo verificarse indispensablemente por la parte superior, hará alzar la lenteja y establecerá así la compensacion.

El termómetro de Breguet se compone de tres láminas delgadas de plata, oro y platino, contorneadas en helice ó espiral, dispuestas de modo que la plata ocupe la parte convexa, el platino la cóncava, y el oro queda en el medio. Las variaciones de temperatura hacen que la espiral se arrolle ó desarrolle mas ó menos, lo cual marca una aguja que lleva á la extremidad sobre el limbo de un círculo dividido, en que se han colocado los grados termométricos marcados por comparacion con un buen termómetro de mercurio. Este aparato es muy apreciable, no solo por su sensibilidad, sino por la gran rapidez con que marca las variaciones transitorias de temperatura.

### LECCION XLIX.

# Conductibilidad de los cuerpos sólidos, líquidos y aeriformes.

208. Averiguado ya el efecto que el calor produce sobre los cuerpos en su dilatación, nos falta examinar ahora el modo de propagarse este fluido en lo interior de los cuerpos mismos, que es lo que llamamos conductibilidad.

Los cuerpos no se calientan todos del mismo modo, ó en otros términos, no son igualmente conductores, habiendo entre los sólidos algunos, como los metales en general, que son buenos conductores; y otros, como la madera, que son malos conductores; así es como si tenemos una barra metálica enrojecida por un extremo, no la tocaremos impunemente á corta distancia de este extremo, y sí podremos verificarlo con un trozo de madera ó de carbon. Debe advertirse, sin embargo, que todos los cuerpos conducen mas ó menos bien el calor, y por tanto no hay cuerpo alguno que pueda ser mirado como no conductor.

La conductibilidad debe verificarse por radiacion molecular, toda vez que las moléculas no se hallan en contacto, y se trasmite en el cuerpo de capa en capa, como lo prueba el irse haciendo sensible sucesivamente en las diversas secciones del mismo. El calor, trasmitiéndose de este modo, se halla en su máximum en la parte del cuerpo que está en contacto con el foco, y va luego decreciendo mas 6 menos rápidamente hasta el extremo opuesto; porque cada una de las secciones del cuerpo recibe de la anterior la cantidad de calor que ella tomó de la que la precede, pero disminuida con lo que ha radiado en el recinto en razon de su superficie. Para ver la influencia de la seccion y de su superficie no hay mas que observar qué es lo que sucede con dos varillas de una misma sustancia, v gr. de hierro, pero de un diámetro muy pequeño en la una y considerable en la otraponiéndolas en un foco de calor, de modo que se enrojezca uno de los extremospodemos asir impunemente la mas delgada á corta distancia del trozo enrojecido, pero no nos será posible verificar lo mismo con la otra. Esto nos dice tambien la dificultad de hacer que una barra adquiera una temperatura uniforme, no habiendo mas medio que introducirla en un líquido para conseguirlo, que fue el procedimiento citado en las dilataciones.

Para ver la relacion que existe entre la distancia al foco y la elevacion de tem; peratura, se hacen, á distancias iguales en la barra, huecos en que se puedan colocar las esferas de termómetros muy exactos, y se observa que para las distancias toma, das en progresion aritmética, las temperaturas decrecen en progresion geomé-

209. Los líquidos son peores conductores del calor que los sólidos, y sin embargo se calientan con mas facilidad; lo que proviene de la gran movilidad de sus partículas. Un vaso calentado por la parte inferior, segun se acostumbra, hace

que la capa de líquido que toca al fondo sea la que se caliente la primera, esta se dilata por el calor recibido, disminuye por consiguiente de densidad y se eleva á la parte superior, cediendo el sitio á la siguiente, que se eleva á su vez por la misma causa, y así continuando. Se da lugar, pues, á dos corrientes de partículas líquidas, las que forman las capas calientes que se elevan, y las que producen, las que llamaremos frias, que descienden; las primeras suben por la inmediación de las paredes de la vasija, pues que siendo un cuerpo sólido conduce mejor el calor, y ayuda, digámoslo así, á calentar las partes de líquido que le tocan, y cuya elevación franquea el camino á las que provienen del fondo; las segundas descienden por el eje del vaso para calentarse y elevarse á su vez por las paredes, y así prosiguiendo.

Por esta razon, si se separa el vaso del foco de calor, las corrientes aparecen todavía, pero en sentido contrario; las que descienden lo verifican por la inmediacion de las peredes, y las que se elevan por el centro; en razon á que en virtud de la radiacion, las paredes y las capas de líquido inmediatas son las que bajan primero de temperatura, contrayéndose y haciéndose mas densas por consecuencia, lo cual determina su descenso y la elevacion de las mas calientes por el eje, para descender en seguida por la paredes, y así prosiguiendo hasta que el equilibrio de temperatura se establezca.

Para ver la mala conductibilidad de los líquidos no hay mas que calentarlos por la parte superior, en cuyo caso la capa mas próxima se calienta la primera, como anteriormente, se dilata y disminuye de densidad; pero como ocupa ya la parte superior, que es el sitio que á su menor densidad corresponde, permanece fija, y solo puede trasmitir el calor á la siguiente por radiacion molecular, como se verifica en los sólidos, sucediendo lo mismo en las capas siguientes unas respecto de otras; así se observa la poca conductibilidad de estos cuerpos, y que aun apareceria menor si no condujese calor el vaso en que están encerrados.

210. Los gases son aun peores conductores que los líquidos; pero no puede probarse empleando el mismo procedimiento, porque, en razon á la mayor movilidad de sus partículas, dan el mismo resultado por cualquier parte que se aplique el foco calorífico; por lo que el medio que se emplea es impedir las corrientes de gas, introduciendo en el vaso, en que le suponemos encerrado, cuerpos tales como algadon en rama, plumazon &c., que dejen mucho gas interpuesto y que dificulten, segun va dicho, la produccion de las corrientes. Así puede observarse el tiempo que tarda un termómetro introducido en el centro en elevarse 6 descender un número dado de grados.

Esta poca conductibilidad de los fluidos, puede, hasta cierto punto, explicarnos lo mal que conducen los sólidos pertenecientes á cuerpos muy porosos ó sustancias fibrosas, pues que en las cavidades habrá necesariamente fluidos que produzcan este efecto. Se comprende tambien cómo esta propiedad se une con lo expuesto en la radiacion acerca de los medios de propagar ó de conservar el calor; empleándose para lo primero cuerpos buenos conductores, como sucede en las estufas construidas con planchar metálicas; y para lo segundo sirviéndose de cuer-

pos malos conductores, lo que explica el empleo de la piedra y de los ladrillos en la construccion de los hornos.

Lo expuesto acerca de la mala conductibilidad de los fluidos y produccion de las corrientes, nos explica lo que se verifica en la atmósfera, en la que el aire, calentado en su parte inferior por el contacto, radiacion y reflexion sobre la tierra, se dilata, y haciéndose menos denso, se eleva, siendo reemplazado por otro que se precipita de las regiones mas frias à ocupar el espacio que aquel deja. El aire que se eleva lleva calor que es pronto absorvido por las capas superiores, y en las que sin embargo no aumenta de densidad por el enfriamiento, en razon á que la falta de presion que allí experimenta, produce una expansion que compensa superabundantemente, para el efecto de que tratamos, la disminucion de temperatura.

#### LECCION L.

### Capacidad de los cuerpos para el calor.—Medios de medirla.—Consideraciones á que da lugar.

211. Los cuerpos, colocados en igualdad de circunstancias en presencia de un foco de calor, no adquieren todos una misma temperatura; así la cantidad de calor que bastará para elevar de 20° la temperatura de un cuerpo, podrá elevar á 100° la de otro, y tal vez solo de 1° la de un tercero. Esta circunstancia de necesitar los diferentes cuerpos cantidades tambien diferentes de calor, para variar un mismo número de grados su temperatura, es lo que se ha llamado capacidad calorífica ó calor específico de los cuerpos.

Para establecer comparaciones, ya que en esta cuestion, como en todas las semejantes, nada podemos determinar de un modo absoluto, hay que tomar la unidad de masa, pues que ella, y no el volúmen, es la que influye en el calor adquirido, ya se consideren emanaciones ó vibraciones; pues siempre la radiacion molecular, de que antes nos hemos ocupado, tendrá lugar en razon al número de estas mismas moléculas, que son las que han de adquirir ó perder el calor de que se trata. Así diremos, que capacidad calorífica de un cuerpo es la cantidad de calor que necesita la unidad de masa para variar la unidad de temperatura.

Para darnos cuenta de estas diferencias entre las cantidades de calor que producen un mismo cambio de temperatura, observaremos que si reunimos una libra de agua líquida á 0° con otra libra á 40°, nos resultarán dos libras á la temperatura media de 20°; pero si ponemos una libra de agua como antes á 0° con otra libra de mercurio á 100°, tendremos dos libras en su reunion como anteriormente, y la mezcla marcará 3°, lo que nos dice que el mercurio ha perdido 97°, que solo han podido elevar de 3° una masa igual de agua, ó que la cantidad de calor, capaz de elevar de 3° un peso dado de agua, elevará de 97° un peso igual de mercurio; de donde resulta que las capacidades caloríficas se hallan en razon inversa de las variaciones de temperatura.

Las capacidades caloríficas se determinan por tres métodos distintos, que son: el

de las mezclas, el del calorímetro y el del enfriamiento. El primero consiste en mezclar dos cuerpos á temperaturas conocidas y tomar la de la mezcla, que es lo que antes hemos expuesto respecto al agua y al mercurio; método muy exacto, pero que necesita numerosas correcciones respecto á la masa de la vasija, respecto al líquido evaporado durante la operacion, y respecto al calor radiado ó absorvido por la vasija en el recinto.

El segundo procedimiento, debido á Lavoissier y Laplace, consiste en el aparato llamado calorímetro, que es un vaso de enrejado de hierro (fig. 97) M donde se coloca el cuerpo, el cual va rodeado por hielo machacado y á 0º contenido en el vaso ACD, y éste se halla rodeado por el hielo en igualdad de circunstancias que llena el BEF, el cual tiene una llave B para que salga el líquido producido, y el interior da salida al misma líquido por la llave y tubo A, que atraviesa el depósito exterior sin comunicar con él, y finalmente lleva una tapadera con un reborde que se llena tambien de hielo fundente. Conocida la temperatura del cuerpo colocado en M, sabemos que radiará calor hasta llegar á 0°, esto es, hasta establecerse el equilibrio de temperatura, y este calor desprendido ha de fundir necesariamente una cantidad de hielo, cuya agua producida saldrá por A, y será pesada con sumo cuidado; se concibe perfectamente por lo que va dicho que dos cuerpos de igual masa y temperatura, sus capacidades caloríficas serán como las cantidades de hielo fundidas. La capacidad exterior BEF se llena de hielo fundente, á fin de que la radiación de los cuerpos circunvecinos no ejerza acción sobre el hielo que rodea al cuerpo.

Si se tratase de un líquido seria necesario introducirle en una vasija, cuya capacidad calorífica conociésemos préviamente para poder descontar en el resultado final la parte correspondiente á ésta, y deducir con exactitud lo que corresponde al líquido propuesto.

El método de enfriamiento consiste en ver lo que tardan los cuerpos en descender un número de grados de temperatura, supuestas enteramente iguales las condiciones para la radiacion en ambos, y sus capacidades se hallarán en razon de los tiempos empleados.

Las capacidades caloríficas de los cuerpos no son las mismas á todas las temperaturas; necesitando un cuerpo tanta mas cantidad de calor para elevar un grado su temperatura, cuanto mas alta sea aquella en que le consideramos, que es lo mismo que decir, que las capacidades crecen con la temperatura.

212. Para determinar las capacidades de los gases se hace pasar por un serpentin, rodeado de agua, una corriente constante de gas á una temperatura superior á la del líquido, al cual cederá calor y elevará poco á poco su temperatura. Haciendo igual operacion con el aire, ó con otro gas que se haga pasar tambien con la misma velocidad, cederá una cantidad diferente de calor, y por consiguiente la temperatura de equilibrio será diferente tambien de la primera. Con estos datos se puede hallar la capacidad calorífica de gas, conocida su temperatura inicial y la cantidad perdida al atrayesar el serpentin.

Las capacidades caloríficas explican lo que deciamos en la radiacion respecto á

LECCION LI.

105

la naturaleza de los cuerpos; pues que desde luego se echa de ver que en igualdad de todas las demas circunstancias, el cuerpo que haya necesitado mayor cantidad de calor para elevar un grado de temperatura, habrá de desprender mayor cantidad para el descenso de ese mismo grado, ó lo que es lo mismo, radiará tanto mas cuanto mayor sea su capacidad calorífica. Sucede lo mismo en las dilataciones, pues que el cuerpo se dilata en razon del calor recibido y no de lo que marca el termómetro; así es que nada tiene de extraño que el coeficiente de dilatacion sea diferente para cada cuerpo, puesto que el calor necesario para elevar su temperatura de un grado es tambien diferente en cada uno, y tampoco debe sorprender que el coeficiente aumente con la temperatura, puesto que tambien aumenta la capacidad caorífica.

En la conductibilidad se nota que tambien tiene influencia esta propiedad en la razon de una y atra progresion, ó sea en la rapidez del descenso de temperatura á una distancia dada del orígen. Vemos por todo esto que la cuestion de las capacidades caloríficas, no solamente es importante por sí misma, sino que arroja una nueva luz que permite explicar y profundizar los fenómenos de que anteriormente nos hemos ocupado.

#### LECCION LI

Cambio de estado de los cuerpos.—Tránsito de sólido á líquido y vice versa.—Calor latente.—Medios de apreciarle.

213. Desde las primeras lecciones hemos admitido que el cambio de estado de los cuerpos era producido por el agente llamado calor; pero en la altura que ya nos encontramos se debe averiguar del modo que estos tránsitos se verifican. Hemos expuesto, al tratar de las dilataciones, las condiciones necesarias para que un cuerpo se halle en uno ú otro de los tres estados en que puede presentarse; así que concebiremos muy bien que un cuerpo sólido sufriendo la accion de un foco de calor, debe dilatarse, é ir por consiguiente aumentando la fuerza repulsiva, y disminuyendo la atractiva hasta llegar á ser ambas iguales, ó estar en equilibrio. en cuyo caso el cuerpo pasará y se hallará en estado líquido.

Estudiando detenidamente el fenómeno, se observa que, para que el cambio de estado se verifique, es indispensable que la accion del foco de calor no cese, ni el cuerpo se aleje de su inmediata esfera de actividad; y ademas, que el tránsito no se verifica de un modo brusco, sino que va produciéndose sucesivamente, aunque con mas ó menos rapidez, segun la energía del foco. Se observa tambien que la temperatura del cuerpo se eleva hasta empezar á convertirse en líquido, en cuyo caso permanece estacionaria, en tanto que el cambio se verifica, y continúa elevándose luego que todo el cuerpo se ha reducido á líquido. Esta temperatura fija es siempre la misma para cada cuerpo, y diferente para cada uno de ellos.

Esta es la razon de elegir para uno de los puntos fijos del termómetro la temperatura del hielo fundente, porque siempre es la misma, y como permanece constante todo el tiempo que dura la licuación, nos facilita el marcarla con exactitud. Allí se pone cero, porque es el principio de la escala; pero pudiera ponerse otro número cualquiera, como resulta en el termómetro de Farenheit, toda vez que este punto es el cero del aparato, pero no el cero de calor que siempre nos será desconocido.

Importa mucho averiguar qué se hace del calor que el foco emite durante el cambio de estado, puesto que es insensible al tormómetro. Este calor queda oculto en el cuerpo, como lo prueba su aparicion ó desprendimiento al regresar al estado sólido; así ha recibido el nombre de calor ó calórico latente: este calor se emplea en mantener las moléculas á las distancias necesarias para que el cuerpo afecte el estado líquido, y no influye ni se hace sensible en la temperatura del cuerpo.

214. Tampoco la solidificacion ó regreso de los cuerpos de líquido á sólido se verifica de un modo brusco ó instantáneo; pero aquí ya se hallan causas que hacen que este punto no sea tan fijo como el de la licuacion, por cuya razon se ha destinado para punto fijo del termómetro el de la fusion del hielo y no el de la solidificacion del agua. Con efecto, y dejando aparte que el agua sea mas ó menos pura, lo que en realidad constituye ya un líquido diferente, este cuerpo puede estar algunos grados bajo cero sin congelarse, lo cual se verifica estando el líquido en una tranquilidad perfecta, ó introducido en tubos capilares.

Líquidos hay tambien, como el éter y el alcohol, que no se solidifican nunca, por cuya razon se prefiere el alcohol al mercurio en la construccion de termómetros que hayan de servir para muy bajas temperaturas; no solo porque el mercurio se solidifica á 40°, sino que el coeficiente de dilatacion del mercurio no puede mirarse como constante hasta este punto; y el del alcohol que no lo es en temperaturas altas por hallarse cerca de su punto de ebullicion, que es á 78°, tiene toda la regularidad deseada en las bajas temperaturas.

La medida del calor latente puede efectuarse al pasar el cuerpo de sólido á líquido, ó en el cambio contrario; esto es, puede medirse cuando le absorve, ó tambien cuando le desprende, ó pasa, como se dice, á ser calórico sensible. El procedimiento no difiere sensiblemente del método de las mezclas, espuesto con otro objeto y en otro lugar; todo está en poner el cuerpo que haya de liquidarse en contacto con el mismo cuerpo, á fin de que la capacidad calorífica sea tambien la misma, á una temperatura suficientemente elevada para que la fusion sea completa, y tomar la temperatura final que nos dirá la cantidad que ha absorvido la parte sólida para liquidarse.

Así es que si ponemos una libra de agua líquida á  $0^\circ$  con otra libra á  $79^\circ$  resultan dos libras á la temperatura media de 39,5: pero si empleamos una libra de hielo à  $0^\circ$  y otra de agua á  $79^\circ$ , obtendremos dos libras de agua á  $0^\circ$ ; luego los  $79^\circ$  de la una libra han sido empleados en fundir la otra, y por lo tanto el número  $79^\circ$  expresa el calor latente del agua.

Esto explica la dificultad de congelarse el agua en grandes masas, porque para