librio, fácilmente se comprenden los medios de descender, y de volver á elevarse en caso necesario. El globo lleva una válvula en su parte superior que se abre de fuera adentro, de manera que la presion del gas interior la mantenga cerrada; un cordon fijo á esta válvula, va á parar á la barquilla del aereonauta, el cual para descender abre la válvula tirando del cordon, y el gas se lanza al espacio, en cuyo caso el globo disminuye de volúmen, pesa por consiguiente mas que el de aire que desaloja, y desciende por necesidad: el aereonauta puede moderar el descenso abriendo mas ó menos la válvula, y aun puede cerrarla del todo si desea permanecer á la altura en que se halla. Para elevarse nuevamente el aereonauta, lleva en la barquilla porcion de lastre, que consiste en sacos de arena, y deshaciéndose de ésta poco á poco, disminuirá el peso del globo, y por consiguiente el empuje se hará preponderante, y el aparato se elevará segun se desea.

En cuanto al problema de dar direccion á estos aparatos, está aún esperando resolucion, pues que los medios ideados hasta ahora, distan mucho de lo que necesariamente exige una aplicacion de este género.

ACCIONES MOLECULARES.

LECCION XXXIX.

Capilaridad.—Efectos que produce y exposicion general de su teoría.

185. Al ocuparnos de la fuerza de cohesion vimos que ésta era una accion molecular que se desenvolvia al contacto para agrupar las partículas de los cuerpos, ya fuesen de una misma ó de diferente naturaleza. Sin embargo, esta fuerza ó adherencia que mantiene reunidas las moléculas, no solamente es diferente para cada uno, como lo prueba el diferente esfuerzo que para vencerla se necesita, sino que al considerarla desenvuelta en el contacto de los sólidos con los líquidos ofrece fenómenos dignos de estudiarse, y que sirven de lazo, podemos decir, para unir la fuerza de cohesion de que dependen con la afinidad química que mas adelante estudiaremos.

Si tomamos un disco de vidrio y le suspendemos á un platillo de una balanza, haciéndole equilibrio en el otro con pesos cualesquiera, y en esta situacion le hacemos que toque á una superficie líquida, la fuerza de cohesion aparecerá en el contacto y habrá necesidad de añadir pesos en el otro platillo para conseguir la separacion de las dos superficies de los cuerpos sólido y líquido. Si verificamos este experimento con diferentes líquidos, veremos que en el mercurio la plancha de vidrio se separa sin llevar ninguna partícula adherida, al paso que en el agua la plancha ó disco aparece con una capa de líquido adherido; esto lo espresamos diciendo que el mercurio no moja al vidrio, y sí lo verifica el agua y otros varios líquidos: pero lo que en el mercurio se verifica es que la adhesion establecida entre las moléculas del mismo y las del vidrio es menos enérgica que la que existe entre las moléculas del mercurio mismo; y en el agua por el contrario, la coherencia de las moléculas líquidas entre sí es menor que la que se establece entre ellas y las del vidrio, por cuya razon la capa de líquido que toca al disco permite separarse del resto de la masa del mismo antes que abandonar la superficie del vidrio. Esto nos dice que los pesos empleados para verificar la separacion del disco representan la adherencia establecida entre ambos cuerpos en el caso de que el líquido no moje al sólido; y nos expresan la cohesion de las partículas líquidas unas con otras en el caso de ser el disco mojado por el líquido.

De aquí resulta que esta accion tiene todas las apariencias de electiva; tal líquido puede mojar á tales ó cuales cuerpos y no á otros, así como un sólido dado puede ser mojado por uno ú otro líquido, y de ningun modo por los demas; así que existen líquidos que establecen con varios cuerpos sólidos una union ó adherencia mayor que la que existe entre sus partículas mismas; y otros en que se verifica al contrario, y hasta parece en algun caso que existe un principio de repulsion.

Si introducimos una lámina de vidrio bien limpia en un vaso de agua, veremos que el líquido se eleva al derredor de la lámina sobre el nivel en el vaso, formando una curva cóncava que se produce juntamente con la elevacion en la inmediacion de las paredes del vaso, suponiéndole de una sustancia capaz de ser mojada por el líquido. Si en vez de una introducimos dos láminas paralelas, el mismo fenómeno se produce, pero la curvatura es mayor en la parte comprendida entre ambas láminas, y tanto mas cuanto mas próximas se encuentran éstas, formando siempre un semi-cilindro, cuyo eje es horizontal, y ademas el nivel en este espacio está considerablemente elevado respecto al resto de la vasija, y lo está tanto mas cuanto mas pequeño es el intervalo que separa las láminas. Los mismos efectos se producen sensiblemente introduciendo un tubo de vidrio en el agua; la curvatura interior forma un hemisferio cóncavo si el tubo es bastante estrecho, y la altura del líquido aumenta con la disminucion del rádio del tubo considerado, siendo muy considerable cuando el calibre es comparable al espesor de un cabello, de donde viene el nombre de *tubos capilares* y de *capilaridad*, que es la parte de la física que se ocupa de estos fenómenos.

Si la lámina ó láminas de vidrio las introducimos en mercurio, la curvatura es convexa, y á la elevacion anterior del líquido sucede una depresion ó descenso en iguales proporciones que en el caso anterior. Introduciendo un tubo capilar se forma un hemisferio convexo, deprimiéndose el líquido en lo interior.

Vemos que los líquidos se elevan sobre su nivel en los espacios capilares cuando mojan al sólido, y se deprimen en el caso contrario de no mojarle, dando lugar á una curva cóncava en el primer caso y convexa en el segundo. La observacion y la experiencia, auxiliadas de la geometría, dan que la elevacion ó depresion de los líquidos en los tubos capilares se halla en razon inversa del rádio de los mismos.

186. La adherencia mas ó menos enérgico que se establece entre los sólidos y líquidos da lugar á la curvatura de las superficies, y ésta, en virtud de la diferente presion que sobre el líquido determina, produce la elevacion ó depresion del mismo. Si las dos láminas de vidrio de que antes nos hemos ocupado se introducen en el líquido de modo que formen ángulo, el agua se elevará entre ellas á tanta mayor altura cuanto mas se vaya estrechando el espacio angular que las separa; de modo que formará una curva que por consideraciones geométricas resulta ser una rama de hipérbola equilátera. Si tenemos un tubo de vidrio de brazos comunicantes, de los que uno sea capilar (*fig.* 81) y echamos agua, veremos que el nivel, ademas de tomar la curvatura que ya conocemos, se eleva mas en el brazo capilar, llegando á A′ cuando se queda en A en la otra rama Si añadimos agua con precaucion por el tubo ancho, el nivel subirá en ambos, pero llegado que sea á B′, límite del brazo estrecho, la curvatura en esto irá desapareciendo hasta convertirse en plana, en cuyo caso quedará el líquido á igual altura en ambos. Si continuamos aumentando agua, la curvatura aparecerá en C′, pero la superficie será convexa, el tuvo estará mas que lleno, y la altura sera mayor en el otro brazo. Si aun echásemos mas agua, la adherencia establecida con el espesor del tubo en el orificio se romperia y el líquido se derramaria por él.

La capilaridad explica los movimientos que los cuerpos flotantes ejecutan, ya para reunirse unos con otros, ya para adherirse á las paredes de la vasija. Supongamos dos cuerpos A y B flotantes (*fig.* 82) que puedan ser mojados por el líquido, éste se elevará todo alrededor de los cuerpos, pero mas principalmente en el espacio que los separa, donde se elevará mas que el nivel, como sabemos; y esta fuerza de elevacion disminuirá la presion por esta parte, haciéndose por tanto preponderante la opuesta, y produciendo la union de estos cuerpos y aun la de los mismos con las paredes de la vasija. Si el líquido no fuese capaz de mojar los cuerpos A y B (*fig.* 83), el líquido se deprimiria, sobre todo en el espacio comprendido entre ambos, de forma que el líquido, estando menos elevado en este espacio, no produciria una presion capaz de equilibrar la contraria, de modo que ésta se haria preponderante y los cuerpos se reunirian como en el caso anterior.

La elevacion del aceite en las mechas, que no son otra cosa que sistemas de tubos capilares, la humedad de las habitaciones bajas, el efecto que se produce sobre un trozo de azúcar introducido en parte en una taza de café, que todo él se recubre del líquido, y otros varios fenómenos que seria prolijo enumerar, son debidos á le capilaridad; todos ellos dependen de las modificaciones que la fuerza molecular da cohesion adquiere, segun que los líquidos pueden ó no mojar á un sólido determinado.

LECCION XL.

Acústica.—Produccion y propagacion del sonido en los diferentes intermedios.

187. Al ocuparnos de la elasticidad hemos explicado las acciones moleculares que se ejercen los cuerpos produciendo movimientos de va-y-ven ú oscilatorios, que determinan el regreso del cuerpo á su forma ó volúmen primitivo, cuando éste ha sido alterado por un desarreglo producido en la situacion de las moléculas.

Los cuerpos elásticos, al verificar los movimientos expresados, los trasmiten á los cuerpos inmediatos, obligándolos, por decirlo así, á vibrar con ellos, en cuyo movimiento vibratorio consiste la produccion y propagacion del sonido, que es de lo que la acústica se ocupa.

El sonido no se propaga sin el auxilio de cuerpos ponderables que se hallen en comunicacion directa con el cuerpo que le produce, ó como acostumbra á decirse, con el centro de conmocion; así es que en el vacío no puede propagarse. Para probarlo se tiene un movimiento de relojería que está haciendo batir rápidamente un pequeño martillo sobre una campana á propósito: este aparato, apoyado en almohadillas de algodon ó pluma, se coloca sobre la platina de la máquina neumática, se cubre con una campana y se ejecuta el vacío; entonces se ve chocar el martillo sin percibirse el sonido, y si se deja entrar el aire poco á poco, el sonido va siendo cada vez mas perceptible, produciendo el mismo efecto que si el cuerpo sonoro se acercase sucesivamente á nosotros.

El sonido puede trasmitirse tambien por el intermedio de los sólidos y de los líquidos, y en general por el de todos los cuerpos, propagándole tanto mejor y con tanta mas rapidez cuanto su elasticidad es mas considerable; por cuya razon asignábamos en su lugar oportuno una elasticidad á los líquidos mucho mayor de la que por las observaciones directas parecia corresponderles. Por esta misma razon hemos advertido que el aparato citado de relojería se colocase sobre cuerpos elásticos de segunda especie, los cuales es muy poco lo que pueden trasmitir el sonido.

Fácil es asegurarse que propagan el sonido tanto los sólidos como los líquidos y los aeriformes. Para asegurarse de ello en los sólidos basta aplicar el oido al extremo de una mesa larga, de una alfargia ó cosa semejante, y hacer en el opuesto el pequeño ruido que pueden producir el roce de las barbas de una pluma ó el de la punta de un alfiler, el cual no es perceptible por el aire, y lo es distintamente por el sólido. Para los líquidos no hay mas que observar lo que sucede estando en un baño al introducir los oidos en el agua, respecto del choque ó roce que al mismo tiempo produzcamos por cualquier medio, el cual percibiremos distinta y enérgicamente cuando no será sensible al sacar la cabeza fuera del agua. Por lo que respecta al aire podemos decir que es el vehículo ordinario del sonido, pues hallándonos sumergidos en él, si no sirviese para la propagacion del sonido, dificilmente se concibe cómo adquiririamos la certeza de su existencia: y en cuanto á la produccion merece desde luego la preferencia, puesto que sabemos que es un cuerpo perfectamente elástico.

Debemos distinguir el sonido del ruido; pues si bien es cierto que en cuanto á la propagacion no hay diferencia alguna, la hay y muy considerable, respecto á su produccion. Tanto el sonido como el ruido consiste en una série de pulsaciones, que pueden distinguirse cómodamente aproximando á una campana en vibracion una punta muy fina, y se oirán una série de golpecillos repetidos que prueban la persistencia de las oscilaciones y los sucesivos cambios de forma que la campana experimenta. Cuando estas vibraciones son isocronas, y por consiguiente compara-

bles, constituyen el verdadero sonido; mereciendo solo el nombre de ruido cuando el isocronismo falta.

188. En el sonido hay necesidad de considerar su intensidad, su tono y su timbre. La intensidad consiste en la amplitud de las vibraciones sonoras; así observamos que si separamos de su posicion de equilibrio una cuerda metálica colocada horizontalmente y fija por ambos extremos, produce el mismo sonido al abandonarla, ya se la haya separado mucho ó poco de su posicion; pero con la diferencia de que si la separacion ha sido considerable, el sonido será perceptible á larga distancia, y apenas lo será en la inmediacion del instrumento si la separacion ha sido corta. El tono no depende de la amplitud de las vibraciones, sino del número de éstas ejecutadas en un tiempo dado: el sonido será tanto mas agudo cuanto mayor número de vibraciones se produzcan en la unidad de tiempo; y será tanto mas grave cuanto menor sea el número de éstas que se verifiquen. El timbre, que hablando de las voces suele designarse con la palabra *metal*, no depende ni de la amplitud ni del número de las vibraciones; consistiendo solo en un carácter particular que cada sonido hace notar cuando es producido por diferentes instrumentos: así es como distinguimos si un canto ò sucesion de sonidos se ejecuta con la flauta ó con el violin, sin necesidad de ver los instrumentos.

Numerosos experimentos se han hecho en todos tiempos á fin de conocer el límite de los sonidos perceptibles; habiendo sido admitido por la generalidad hasta nuestros dias que el límite de los sonidos graves pertenecia al producido por 32 vibraciones por segundo, y el límite de los agudos á 12,000. Un estudio mas detenido, hecho por Savart en estos últimos años, empleando medios muy ingeniosos, y que no pueden tener cabida en esta obra, ha asignado como límite de los graves 15 vibraciones por segundo y 48,000 para los agudos; y aun ha ido mas lejos, estableciendo la verdad, que antes de él podemos decir no habia querido conocerse, de que no existe límite asignable para la percepcion de los sonidos. La divergencia que parece notarse en este punto viene de confundir dos cosas realmente distintas; la percepcion de los sonidos con la comparacion de los mismos: para la primera nunca pudo fijarse límite conocido, pero sí para la segunda; pues que es muy fácil de observar lo que sucede con las cuerdas extremas de un arpa, que un oido vulgar no advierte diferencia entre el sonido producido por dos cuerdas inmediatas, es decir, percibe, pero no compara; un oido ejercitado notará perfectamente esta diferencia, pero si la cuerda extrema ó última la hacemos variar de tension, un caso llega en que estas variaciones producen sonidos perceptibles, pero no comparables, pues no advertimos diferencia sensible entre ellos. De todo esto resulta que el límite de los sonidos varía para cada individuo, no solo con la sensibilidad del órgano auditivo, sino tambien con el ejercicio, con la costumbre de oir, con lo que pudiéramos llamar educacion del oido; así los límites asignados por Savart para los sonidos comparables solo serán completamente exactos para un oido tan sensible y tan ejercitado como el suyo.

LECCION XLI.

Velocidad del sonido.—Variaciones de la intensidad—Formacion de las ondas.—Modos de vibrar de los diferentes cuerpos.

189. La experiencia diaria nos enseña que la propagacion del sonido no es instantánea; pues que una explosion producida á distancia por un arma de fuego nos presenta el brillo del fogonazo antes de recibir la impresion del sonido; pues si bien la propagacion de la luz no es instantánea, como aquí la suponemos, puede muy bien considerarse como tal en pequeñas distancias, atendida su gran velocidad, como veremos en lugar oportuno. Para medir la velocidad del sonido se ha empleado el medio antes indicado, midiendo una base, colocando en uno de sus extremos una pieza de artillería, y observando cuidadosamente el tiempo trascurrido entre la aparicion de la llama y la percepcion del sonido. Así ha podido establecerse que la velocidad es uniforme, y que el sonido corre 1200 pies castellanos próximamente por segundo, siendo esta velocidad la misma, ya esté sereno ó nublado, y cualquiera que sea la altura del barómetro.

Los sonidos débiles se propagan con la misma velocidad que los demas, y del mismo modo lo verifican los sonidos graves que los agudos; lo cual se prueba observando que la ejecucion de una pieza de música produce el mismo efecto en cuanto al órden y sucesion de los sonidos, ya nos coloquemos en la inmediacion, ó ya lo verifiquemos á alguna distancia. Esta misma regularidad en la percepcion de los sonidos á distancia, prueba que las vibraciones pueden cruzarse en todas direcciones sin perturbarse.

La velocidad del sonido en el agua es próximamente cuádrupla de la del aire, lo que prueba lo que ya dejamos dicho acerca de la elasticidad de los líquidos.

190. El sonido se debilita con la distancia, y la observacion y la experiencia de acuerdo con la geometría, demuestran que su *intensidad se halla en razon inversa del cuadrado de la distancia.*

Las ondulaciones sonoras, del mismo modo que las producidas en la superficie de las aguas, no comunican á las capas de aire movimientos progresivos, sino solamente de condensacion y de dilatacion sucesiva, pero sin abandonar sensiblemente sus posiciones; así es que el punto ó centro de conmocion produce una condensacion en la capa de aire que la rodea, la cual, reobrando sobre sí misma y sobre la siguiente, comprime á ésta, pasando la primitiva á un estado de dilatacion: la segunda lámina ó copa comprimida reobra en seguida para verificar lo mismo con la tercera, y así continuando, de manera que la superficie esférica que esta condensacion produce va aumentado de rádio y disminuyendo sensiblemente de energía ó intensidad. Habiendo pasado la primer capa por consecuencia de su reaccion á un estado de dilatacion insostenible, atendidas las presiones de las que la rodean, volverá á estrecharse, dando así lugar á que en seguida se dilate la segunda, á la que por las mismas razones seguirá la tercera, y así prosiguiendo, de modo que á continuacion de cada onda condensada, marchará otra dilatada y así progresivamente.

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. Variando la naturaleza y forma de las placas y el modo de ponerlas en vibracion se pueden obtener líneas 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.

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 propiedad 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 reflejado 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 encontrándose 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 confusion intolerable, 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 elásticos, no producen reflexion 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, consonancias, disonancias y demas que no puede acomodarse á la extension 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, ó ya eléctricos.

Para la explicacion de estos fluidos imponderables se ha admitido por mucho tiempo la existencia dé 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 añadirse 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;