





UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACION

BIBLIOTECA:

Este libro debe ser devuelto el día:

12 8-96		
---------	--	--

Atiéndase a la fecha escrita en último lugar.

7-1-17



S.	A
E.	43
N.	56

17.236

COMPENDIO

DE

FÍSICA EXPERIMENTAL

Y

ALGUNAS NOCIONES DE QUÍMICA.

BIBLIOTECA HOSPITAL REAL GRANADA	
Solo:	B
Estantería:	28
N.º:	451

COMPENDIO

DE

FÍSICA EXPERIMENTAL

Y

ALGUNAS NOCIONES DE QUÍMICA;

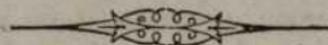
arreglado al programa oficial, y según los últimos descubrimientos y teorías de ambas ciencias.

POR

D. FRANCISCO DE PAULA MONTELLS NADAL:

Doctor en ciencias, Licenciado en Medicina, socio de varias corporaciones nacionales y extranjeras, antiguo catedrático de Química aplicada dependiente del Real Conservatorio de artes, Catedrático de Química de la facultad de filosofía de la Universidad de Granada, [etc. etc.]

Obra escrita para que sirva de texto á los alumnos del quinto año de Instituciones filosóficas, á los de ampliacion y á los de las escuelas normales.



GRANADA:

EN

IMPRENTA DE D. MIGUEL DE BENAVIDES, CALLE DEL MILAGRO, NÚM. 5 Y 7.

MARZO DE 1849.



COMPENDIO

DE

FISICA EXPERIMENTAL

Y

ALGUNAS NOCIONES DE QUIMICA

Y algunas nociones de astronomía y geología.

DE

D. FRANCISCO DE PAULA MONTOLIÚ MADRUGA

Es propiedad de su AUTOR todos los ejemplares van rubricados, y llevan varias contraseñas

de las decenas de millares.

GRANADA

1859

IMPRESA DE D. MIGUEL DE BELLASCO, CALLE DEL CILIBRO, 21. N. 2. 1.

MARZO DE 1859

ADVERTENCIA.

Al dar á luz el *Compendio de Física experimental y algunas nociones de Química*, no tengo pretensiones de ninguna especie. La instruccion pública ha recibido notables mejoras de algunos años á esta parte, los establecimientos Universitarios ya no son escuelas destinadas exclusivamente á la enseñanza de ciencias especulativas; sino que provistas de suntuosos gabinetes y bien montados laboratorios, se recibe en sus aulas una instruccion sólida, al par que útil y provechosa para todas las clases de la sociedad, pues su tendencia es la de desenvolver en beneficio de la riqueza pública todos los ramos del saber humano. Por otra parte, cada provincia tiene un Instituto competentemente dotado de personal, y surtido de aparatos, máquinas y cuanto se necesita para que la educacion sea simultánea y uniforme; de suerte que la regeneracion social se verifica en España por una bien entendida y sólida instruccion.

Para que la enseñanza secundaria y los estudios de la facultad de Filosofía fuesen uniformes en todos los establecimientos, el Gobierno se sirvió señalar en 1.º de Agosto de 1847, los programas que debian servir de norma á los profesores; los cuales si bien alguno admite ligeras modificaciones, atendidos los adelantos de la ciencia respectiva, han prestado no obstante un servicio señalado, por que con ellos se ha regularizado el método, y se ha introducido órden en las explicaciones.

Sin embargo, faltan aun obras elementales para completar aquel pensamiento; obras de texto arregladas á estos programas, pero en armonía con los progresos y adelantos de la ciencia; libros, en fin, escritos con claridad, capaces de ser bien comprendidos de los jóvenes á quienes se destinan, y donde el *autor*, no haciendo alarde de pomposas teorías y de grande sublimidad, presente la ciencia

con el atractivo de la naturaleza, y solo haga uso de aquellas teorías y cálculos que pueden ser bien comprendidos de sus alumnos.

La obra que presento al público abraza estos extremos: calcada sobre el programa oficial, se describe la ciencia tal cual se halla en el día: destinada á jóvenes estudiantes, su lenguaje es claro, é inteligible la exposicion: sus cálculos presentados con sencillez dan á conocer, cual se requiere, las elevadas teorías que abraza la física: para aquellos que necesitan profundizar esta parte del estudio de la naturaleza hallarán, en letra cursiva, las hipótesis, cálculos y teorías que la ciencia admite para explicar muchos de sus grandes fenómenos. *Los alumnos del quinto año de Filosofía, solo deben estudiar lo que está impreso en letra redonda.*

He consultado para su composicion las obras de mas crédito, y los principales periódicos y diccionarios: las nociones de química están extractadas de la segunda edicion de mi curso elemental. Si algun profesor creyere que debe invertirse el órden, que he hecho alguna omision, ó que ciertas materias deben tratarse con mas latitud, le ruego que reflexione ante todo á qué clase de sugetos se destina este libro, y despues de examinar el programa oficial, se sirva advertirmelo para remediarlo cuando me sea dable.

Madrid 1 de Agosto de 1848.

Francisco de P. Montells
Nadal.

COMPENDIO

DE

FÍSICA EXPERIMENTAL

Y

ALGUNAS NOCIONES DE QUÍMICA.

LECCION I.

PROLEGÓMENOS.

1. De las ciencias físicas en general. El estudio de la naturaleza es solo uno, el cual dividido en sus dos grandes acepciones, abraza el conocimiento de las ciencias matemáticas, y el de las ciencias físicas.

2. Las ciencias matemáticas consideran solamente las relaciones que existen entre las cantidades, volúmenes, figura y distancia, y hacen abstracción de la naturaleza de los cuerpos, de sus propiedades y de sus mutuas acciones.

3. Las ciencias físicas dan á conocer las propiedades de los cuerpos, sus fenómenos á grandes distancias y sus acciones recíprocas y moleculares; de suerte que estudian á la naturaleza, y recorren una parte del misterioso velo con que encubre sus mas recónditos secretos.

4. Las ciencias matemáticas se ocupan solamente de las magnitudes ideales representadas por letras y signos, se circunscriben al espacio que estudian, y entonces examinan las propiedades generales de la materia, y las de la extensión cuando se halla limitada ó figurada por líneas ó su-

perfiles: de aquí nacen la aritmética, el álgebra, los cálculos diferencial é integral con sus distintas variaciones, y la geometría, trigonometría y aplicación del análisis á la geometría. La *geometría descriptiva* enseña las proyecciones, considera en el espacio figuras diversas, y sabe buscar los medios de representarlas sobre planos.

Por consiguiente, se llaman matemáticas puras, al conjunto de conocimientos humanos que conducen á determinar las magnitudes producidas por nuestro entendimiento, y tomadas bajo el punto de vista de nuestros usos. Las matemáticas aplicadas han recibido también el nombre de mixtas, por que enlazan el conocimiento de las leyes abstractas, con algunas propiedades tomadas de la observación; de suerte que, representan á los cuerpos en su fuerza de cohesión, y estudian su estado sólido, líquido ó aeriforme; luego consideran el resultado de una fuerza que obra directamente ó por el intermedio de otro cuerpo, y de ello deducen las leyes del equilibrio y del movimiento, y cuantas son peculiares de la mecánica racional.

5. Las ciencias físicas en sus investigaciones penetran en el laboratorio de la naturaleza, por que dan á conocer las propiedades exteriores de los cuerpos, los fenómenos que se verifican á grandes distancias, sus acciones recíprocas y moleculares, la influencia de los agentes imponderados, y luego establecen reglas para clasificar estos cuerpos fundadas en su composición elemental, en su estado de agregación, en sus formas, en su estructura, ó bien atendiendo á ciertos órganos especiales. De ahí proviene la división principal que se hace de ellas en *geografía, física, química, historia natural y física-astronómica*.

6. La *geografía* dividida en astronómica, física y política estudia el planeta que habitamos, ya como un cuerpo geométrico aislado en el espacio y en sus relaciones con los otros que componen nuestro sistema, ya enseñando la diferencia de climas y las causas á que se deben estas diferencias, el origen de las montañas, sus alturas y di-

reccion, la configuracion del esferoide con sus insignificantes desigualdades; ya en fin recorre en resúmen la historia de los pueblos para dar á conocer sus trastornos físicos, sus vaivenes políticos, division de paises, religion, usos, costumbres, industria, comercio, administracion y relaciones sociales.

7. La *física* ocupándose solamente de las propiedades generales á la materia y de los fenómenos que se presentan á grandes distancias, examina las leyes que rigen al movimiento de los líquidos y fluidos aeriformes, las que corresponden á los sólidos cuando están impulsados por diferentes fuerzas, las que son peculiares á los fluidos imponderados, y todas aquellas en las cuales no hay reaccion molecular, ni están bajo el dominio de la organizacion. La naturaleza nos presenta desde luego cuatro cosas, á saber; tiempo, espacio, agentes naturales y materia.

8. Deja á la inspeccion de la *química* estudiar la accion íntima y recíproca entre los átomos ponderables, indagar las fuerzas que presiden á estas reacciones, conocer el número de sustancias simples en el estado actual de la ciencia, y las leyes que rigen á los átomos en sus combinaciones.

9. A la *historia natural* le corresponde describir las formas que afectan cuantos seres se hallan en la superficie del esferoide donde vivimos, ó se extraen de sus entrañas. Por esto el naturalista clasifica y describe los terrenos segun la antigüedad respectiva y atendiendo á las causas de su formacion, examina la estructura de los minerales, descifra y clasifica á los vegetales y animales; y de ahí resulta la division de la historia natural en tres partes, á saber: mineralogia, botánica y zoologia; ó segun su modo de ser, en cuerpos inorgánicos y orgánicos. Los primeros aumentan de volúmen por la adiccion de capas sobrepuestas, lo cual se llama aumentar el volúmen por *justa-posicion*, y los segundos crecen asimilando á su propia materia sustancias extrañas, y se dice que crecen por *íntus-suscepcion*.

10. Finalmente, corresponde á la *astronomía* dar á



conocer los cuerpos colocados en el espacio, la verdadera existencia de los unos, las probabilidades de los otros, las leyes de sus movimientos, las que corresponden á los diversos satélites y cometas, sus distancias respectivas, revoluciones, gravitacion general, y cuanto es concerniente al sistema del universo.—Las ciencias físicas abrazan tambien el conjunto de conocimientos que comprende la *anatomía* y la *fisiología*: la primera enseña á comparar los seres dotados de organizacion, y la segunda da á conocer las diferentes funciones de los aparatos y tejidos orgánicos, cuando se hallan en su estado normal.

11. *Definicion y objeto de la física.* La física es aquella ciencia que da á conocer las propiedades exteriores de los cuerpos inorgánicos, las que son propias de los agentes naturales, las que corresponden á las acciones mecánicas, y las que tienen relacion con la atraccion planetaria.

De esta definicion se deduce, que la física tiene por objeto el estudio de los fenómenos naturales tomando los cuerpos en sus tres estados de solidez, liquidez y fluidez aeriforme; examina luego las fuerzas que impulsan á la materia, los resultados que se obtienen segun su intensidad y direccion; se ocupa de dar á conocer los efectos del calor, de la electricidad, de la luz y del magnetismo; ya considerándolos como fluidos imponderados y sin fuerza atractiva para con nuestro planeta, ya como *dinamías* ó fuerzas especiales, y demuestra, en fin, las modificaciones que resultan de su influencia sobre los cuerpos ponderados. Por consiguiente el estudio del físico, se halla entre el que corresponde al geómetra, y el que es peculiar del químico; pero todos están enlazados de tal suerte, que donde concluye el matemático, empieza el físico, y á este le sigue el químico y el naturalista.

12. *Bajo este punto de vista se descubren tres agentes de impulsión, tres causas primordiales que obrando en unos casos aisladamente y en otros combinadas de diverso modo, son la causa productora de cuantos fenómenos observamos en la naturaleza: Dichas causas existen*

en la materia misma, son peculiares á ella, y sus acciones y propiedades no guardan uniformidad de origen. Estos tres agentes son la pesantez universal que ejerce su influencia á distancias más ó menos grandes, ó bien la acción de la materia sobre la materia; la causa eficiente que da por resultado los fenómenos luminicos, caloríficos y eléctricos con sus distintas modificaciones y variedad de existencia; y la vida propia de los seres organizados, que á pesar de los esfuerzos de los fisiólogos, y del orgullo de algunos químicos, no sabemos apreciar debidamente, ni definir de un modo exacto y científico. Es innegable que la astronomía ha explicado del modo mas conveniente la primera de estas causas, que la física nos ha dado á conocer varias leyes de la segunda; pero las que corresponden á la vitalidad y los misterios de la organización, se hallan cubiertas con impenetrable velo.

13. *Diversas maneras de estudiar la física.* Antiguamente se enseñaba la física sistemática, en la que algunos principios presentados con sutileza, y desenvueltos con toda la fuerza del raciocinio de la filosofía aristotélica, componían un cuerpo de doctrina que se trasmitió de generacion en generacion hasta el célebre Nollet. Este fisico fué el primero que substituyó á aquel sistema la observacion y la experiencia, aplicando los principios de Bacon, Galileo, Descartes y Flaklin. Sin embargo, la física circunscrita solamente á algunos experimentos, se reduce á una serie de curiosos juegos sin aplicacion ni beneficio ulterior, y de ahí la necesidad de hermanar la teoría con la demostracion. Esta necesidad se ha hecho en el dia indispensable, por que la física tiene grande influencia sobre todos los ramos del saber humano.

Enseñando la física por medio de la experiencia, cuantos fenómenos presenta la materia en su estudio general ó bajo el cambio de estado por la acción de ciertos agentes, y demostrando por el raciocinio y el cálculo las leyes y principios á que están sujetos aquellos fenómenos, se consigue el doble objeto de saber apreciar las causas y los efectos, cono-

ciendo á la vez lo útil y lo curioso. Si se limita á examinar el resultado de un *agente* que no puede apreciar por la experiencia, y del que solo conoce algunos de sus efectos, establece una *hipótesis* para explicar aquellos fenómenos. Mas si el conjunto de ellos aumenta por que aumenta tambien el número de hechos observados, entonces se establecen *principios* evidentes, que forman luego teorías, y llegan á enunciarse como leyes.

14. El sin número de máquinas y aparatos que tienen los físicos á su disposicion, ha simplificado notablemente el estudio de la física, y los fenómenos se comprenden con mayor facilidad. En el estado de desarrollo á que ha llegado la ciencia, no seria posible darla á conocer con toda extension en un curso escolástico, si careciéramos de medios para presentar las demostraciones de un modo claro y convincente.

Los cuerpos tienen propiedades generales que importa dar á conocer: así es, que antes de entrar en el estudio de las leyes del equilibrio y del movimiento, deberá saberse lo que se entiende por extension y figurabilidad, con todas las alteraciones y consecuencias peculiares á estas propiedades.

15. *Cuerpo, materia, propiedades y caractéres.* Se llama *cuerpo* á una parte de materia impenetrable que está formada de átomos. Los cuerpos gozan de las propiedades peculiares á la materia; de suerte que son extensos, impenetrables, compresibles y capaces de presentarse bajo tres estados diferentes; sólido, líquido y gaseoso. Por esta razon los fluidos que no tienen peso se consideran como *agentes ó dynamias*.

16. Para dar á conocer la *materia*, importa saber lo que es *espacio*. El espacio es una idea simple que se concibe por sí misma al reflexionar sobre una distancia cualquiera. Cuando circunscribimos la idea á una porcion limitada del espacio, se dice que conocemos la *extension*. Por consiguiente, la idea del espacio se presenta desde luego completa, por que se define por sí misma; y el espacio *impenetrable*, es decir, el que se opone á que introduzcamos en él otro cuerpo, constituye la *materia*.

Los antiguos filósofos no estuvieron conformes acerca la manera de considerar á la materia: unos creyeron que era divisible hasta el infinito, y otros limitaron este estado de division. En el día se puede presentar como evidente, que la hipótesis de los átomos y las leyes que rigen á sus acciones y reacciones, considera la materia divisible hasta cierto límite, y esto facilita la explicacion y el cálculo de las combinaciones que los cuerpos son capaces de formar. La materia es eterna: en la naturaleza nada se pierde, solo se observan trasformaciones y metamorfosis por medio de un número dado de cuerpos elementales.

17. La impenetrabilidad inseparable constituye el átomo, la reunion de dos ó mas átomos da origen á la molécula ó partícula, y el agrupamiento de estas es lo que forma los cuerpos materiales.

18. Los cuerpos se pueden presentar bajo tres estados diferentes; á saber, sólidos como las piedras y los metales, líquidos como el agua y la sangre, y gaseosos como el aire y el vapor. Los líquidos y los gases se conocen tambien con el nombre de fluidos.

19. Se llama propiedad á la facultad que tienen los cuerpos de excitar en nosotros sensaciones. Entre las propiedades, dos de ellas son peculiares á la materia misma; de modo que su existencia está enlazada con la del cuerpo; estas son la *extension* y la *impenetrabilidad*; estas dos propiedades llevan el nombre de *esenciales*.

Las propiedades pueden ser generales y particulares: las primeras constituyen los *caractéres*, por medio de los cuales los cuerpos pueden estudiarse en grupos, siempre que aquellos les son comunes; y las segundas sirven para distinguir entre sí los cuerpos de un mismo grupo.

20. *Observacion*. La *observacion* es una de las condiciones esenciales al fisico, por que sin ella pasan desapercibidas las principales circunstancias que acompañan al estudio de un cuerpo, ó algunos de los fenómenos con que suelen manifestar su existencia: de manera que la *observacion* es una operacion intelectual por medio de la cual exa-

minamos las circunstancias propias á un fenómeno, ó las propiedades de un cuerpo en sus diversos estados y reacciones. La observacion es tanto mas exacta, quanto mayores son los detalles que se dan acerca del fenómeno ú objeto observado.

21. *Experimento.* Se llama experimento aquella operacion por medio de la cual se ponen de manifiesto las propiedades que la naturaleza dió á los cuerpos, ó bien cuando artificialmente se reproduce un fenómeno ó un hecho.

22. *Experiencia.* La experiencia es el producto del estudio, de la reflexion y de la suma de conocimientos adquiridos. La experiencia es una condicion esencial al físico, sin la cual se expone á groseras é inciertas demostraciones, susceptibles de oscurecer la verdad, y poner en duda las leyes de la naturaleza.

LECCION II.

Propiedades generales de los cuerpos.

23. Se llama propiedad general de un cuerpo, al modo constante con que afecta nuestros sentidos. Las propiedades se consideran como generales siempre que son comunes á la materia; tales son la *extension*, la *impenetrabilidad*, la *figurabilidad*, la *porosidad*, la *divisibilidad*, la *compresibilidad*, la *dilatabilidad*, la *elasticidad*, el *estado de los cuerpos*, la *inercia*, la *atraccion* y la *movilidad*; y se llaman propiedades particulares cuando son peculiares á determinadas sustancias, como el *color*, el *olor*, la *forma*, etc.

24. *Extension.* Todos los cuerpos ocupan una cierta porcion del espacio, y esto constituye la *extension*; pero como la extension tiene siempre las tres dimensiones de longitud, latitud y profundidad, que propiamente hablando forman el cuerpo geométrico, resulta que la extension de todo cuerpo puede llamarse tambien su *volúmen*. La pequeñez de algunos cuerpos nos impide reconocer su extension por medio del

sentido del tacto; pero en este caso tambien gozan de las tres dimensiones indicadas.

Para medir las longitudes de los cuerpos se conoce un instrumento llamado *vernier*, del nombre de su autor, ó *nonius*, por medio del cual se consigue la longitud pedida hasta una aproximacion tal, que no difiere de la verdadera en un cincuenta milímetro, y quizá en una cantidad mucho menor. Asimismo se emplea para apreciar debidamente si dos longitudes son iguales, otro instrumento llamado *comparador*. Se conoce ademas la máquina para dividir, el tornillo *micrométrico* y el *esferómetro* que se destina para medir el espesor de los cuerpos.

25. La idea de extension abraza tambien la del *espacio*; ó mejor dicho, en la del espacio se halla comprendida la de la extension. La extension que comprende una llanura ó el volúmen de un cuerpo geométrico, son percepciones de nuestro espíritu que constituyen ideas completas, por que su misma sencillez no permite una definicion complicada; de suerte, que sin esfuerzo se puede concebir que un sólido tenga la figura regular, y esté sumergido en el agua ú otro líquido; si le separamos y el líquido conserva la posicion que tenia cuando el cuerpo estuvo cubierto por él, desde luego se comprende de un modo evidente el *espacio* que ocupó el sólido. Este espacio sin agua ni otra sustancia constituye el *espacio vacío* de los físicos, ó el *espacio puro* de los metafísicos. El espacio puede ser tambien *relativo y absoluto*; relativo cuando se limita á una porcion finita, y absoluto cuando es infinito, por que su prolongacion en todos sentidos no halla obstáculos: tal es la *inmensidad* donde giran esa multitud de globos que constituyen los diferentes sistemas planetarios.

26. Siguiendo las reglas de la lógica, tampoco se puede definir la idea del *tiempo*. Esta idea es simple, por sí misma se define, y se concibe observando la sucesion de los cuerpos y de la naturaleza toda. El agua corre por un cauce, la primavera sigue al invierno, un año á otro, sin que tengamos de ello otra prueba ni mas conviccion que los resultados de la experiencia, por medio de la comparacion que

hacemos dentro de nosotros mismos. No obstante, si el sistema del mundo quedase por un momento en un estado de reposo universal, tendríamos la idea del tiempo, y la de su medicion y subdivision, aun cuando no nos fuese dable buscar una unidad para compararle. Conocer el tiempo y saberlo medir, son dos cosas diferentes: la primera tiene por base la conciencia, y la segunda la comparacion del tiempo sobre el movimiento de un cuerpo; mas como en la naturaleza no se conoce cuerpo alguno, animado de un movimiento regular y uniforme, resulta que la medida del tiempo es convencional. El movimiento de la tierra al derredor del sol y sobre su eje, y el de la luna en derredor de su planeta principal, nos han dado la medida del tiempo en años, meses y dias. El año tiene 365 dias, 5 horas, 48 minutos y 49 segundos; el dia 24 horas, la hora 60 minutos y el minuto 60 segundos.

27. *Impenetrabilidad.* La propiedad que tienen dos porciones de materia de no poder ocupar á un mismo tiempo un determinado lugar en el espacio, se llama *impenetrabilidad*. Esta propiedad peculiar á la materia, parece que puede negarse por fenómenos concluyentes: un cuerpo duro se introduce dentro de otro blando, las materias grasas como el aceite, la esperma, etc. manchan y penetran el papel y otros tejidos, el agua disuelve varias sales sin cambiar de volúmen etc.; pero en todos estos casos la penetracion es solo aparente, por que ó bien las moléculas de la sustancia blanda obedecen al esfuerzo de la mas dura cediéndole una porcion del espacio que ocupaban, ó el cuerpo soluble se interpone entre los intersticios del vehículo que le disolvió. Los átomos se *justa-ponen*, pero no se penetran, y todos los cuerpos de la naturaleza dejan entre sus particulas varios huecos que constituyen los poros. La impenetrabilidad nos la da á conocer el sentido del tacto.

28 *La impenetrabilidad de la materia se prueba por medios directos. Un sólido sumergido en un fluido donde no haya accion molecular, aumenta notablemente el volúmen; dos líquidos que no ejerzan entre sí accion química, ocupan un*

espacio igual á la suma de sus volúmenes respectivos; igualmente un líquido puede comprimir á un gas, pero no le penetrará sin desalojarle, y por fin, el aire colocado en una campana es separado por otro gas mas pesado. En todos estos casos se ve de un modo claro y evidente, que no hay penetracion, y por consiguiente la impenetrabilidad es esencial á la materia, de tal manera que unida á la extension forman todos los seres del mundo material.

29. *Figurabilidad.* La figura de un cuerpo ó su forma exterior, reconoce por límites la extension, los cuales no son otros que las diferentes superficies que tiene el cuerpo; estas superficies varían por el número, la magnitud, disposicion y figura. La naturaleza nos presenta á los cuerpos bajo ciertas formas regulares que derivan de un tipo geométrico, las que se conocen con el nombre de *cristales*; los cristales se dividen en cristales de forma *simple* y de forma *compuesta*, y en estos últimos se reconoce casi siempre la figura simple llamada *dominante* por hallarse mas desenvuelta, y las formas *secundarias*, cuyas facetas reciben el nombre de *facetas ó caras modificantes*.

30. *Porosidad.* La porosidad es aquella propiedad que tienen los cuerpos de dejar entre sus partículas ciertos intervalos, que se conocen con el nombre de *poros*. El corcho, la esponja, el carbon y otras sustancias presentan sus poros con grandes dimensiones, por cuya razon pueden ser observados á la simple vista; pero las sustancias duras y compactas están tambien provistas de poros, á pesar de no poderse distinguir con el ayuda de instrumentos ópticos. Por esta razon algunos físicos dividen la porosidad en *aparente y molecular*: la porosidad molecular es general á todos los cuerpos. Los átomos ponderables no se hallan en contacto íntimo; de suerte que la sustancia propia de un cuerpo puede aproximarse entre sí; pero jamas se establecerá entre las partículas un contacto real. De ahí se infiere que todos los cuerpos de la naturaleza tienen dos volúmenes, uno *real* que ocupa la materia ponderable, y otro *aparente* que está limitado por su forma exterior.

31. *La compresibilidad de los cuerpos está en razon directa de la magnitud de los poros: así se nota que los gases son muy compresibles, y en general la disminucion del volúmen aparente es tanto mayor, quanto mayor es tambien el diámetro de los poros. Admitida la existencia del átomo, como último término de la division física, basta observar que todos los cuerpos disminuyen de volúmen en circunstancias dadas, lo que prueba que sus átomos se aproximan haciendo que los poros tengan cada vez menor magnitud: las mezclas de los líquidos entre si, la coloracion de muchos de ellos con otros tambien colorados, la disminucion de volúmen en los gases bajo una fuerza cualquiera y otros muchos fenómenos que seria difuso enumerar, prueban de un modo concluyente que todos los cuerpos ora estén sólidos, líquidos ó aeriformes están provistos de poros, y por consiguiente la porosidad es una propiedad indispensable á los cuerpos.*

32. *Divisibilidad.* Todos los cuerpos pueden dividirse y subdividirse en muchas partes por medios mecánicos, y las últimas porciones aun admiten otra segunda division. Esta propiedad se prueba por medio de los aceites esenciales, las sustancias colorantes, etc.: con efecto, un grano de esencia de rosa ó de almizcle hacen sentir su olor durante muchos años, una lámina de plata ú oro se extiende hasta presentar tan poco espesor, que se necesitan mas de doscientas mil para componer el grueso de una pulgada; una gota de sangre ó disolucion de añil en ácido sulfúrico monohidratado (aceite de vitriolo) comunica á una grande cantidad de agua el color rojo ú azul que las caracteriza, y la seda, la lana y aun el vidrio se reducen á hebras de una delgadez suma. No obstante, esta divisibilidad no prueba de un modo real que la materia puede dividirse al infinito, como habian creído algunos; por que la vaporacion de las esencias y el olor que recibe el aire del aposento donde se hallan, solo nos puede dar á conocer su presencia por el órgano del olfato, por que basta una sola partícula en contacto con la membrana pituitaria para experimentar aquella sensacion: si se examina por medio del microscopio, una gota de agua

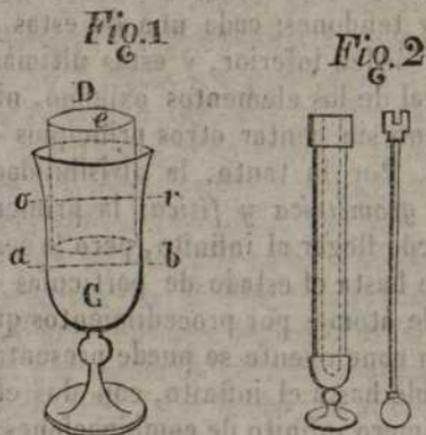
coloreada con la sangre se verá que el tinte que el líquido nos presenta á la simple inspeccion, no resulta del color que recibe cada partícula de agua por su inmediacion con otra de sangre, sino que se debe á un efecto puramente óptico.

Estas divisiones de la materia son á la verdad muy groseras, si se comparan con las que nos ofrecen las sustancias orgánicas. Familias enteras de insectos microscópicos llenos de vida se ven por medio de instrumentos apropiados, estos seres vivientes gozan de movimientos y por consiguiente tienen músculos; además están formados de tejidos, nervios y tendones; cada una de estas partes consta de otras de un orden inferior, y estas últimas están compuestas en general de los elementos oxígeno, nitrógeno, carbono é hidrógeno sin contar otros principios que se hallan en casos dados. Por lo tanto, la divisibilidad se puede considerar como *geométrica y física*: la primera tomada en abstracto puede llegar al infinito, pero la segunda solo puede efectuarse hasta el estado de partículas por medios mecánicos, y al de átomos por procedimientos químicos. Otra consideracion concluyente se puede presentar: si la materia fuera divisible hasta el infinito, con dos elementos obtendríamos un número infinito de combinaciones; pero es innegable que el número de estas es fijo é invariable, las cuales siempre son las mismas, cualesquiera que sean los medios empleados para conseguir las.

33. *Compresibilidad.* Se entiende por compresibilidad aquella propiedad que tienen los cuerpos de disminuir de volúmen aparente, siempre que se sujetan á la accion de una fuerza que obra sobre todas sus partes. Todos los cuerpos de la naturaleza, cualquiera que sea el estado en que se presentan, son compresibles; pero esta propiedad se manifiesta de un modo que no admite duda, en las sustancias gaseosas y en aquellas que tienen grandes poros. Los líquidos son poco compresibles, sin embargo hay medios de sujetarlos á presion, y hacerlos disminuir de volúmen. Para probar la compresibilidad de los gases, se practica el experimento siguiente: si dentro de un vaso C, lleno de agua ú

otro liquido cualquiera, fig. 1.^a, se introduce boca abajo otro vaso D de menor diámetro, se observa que el nivel del liquido que antes de la inmersión llegaba á la altura *a b*, va subiendo á medida que mas se profundiza el vaso invertido; pero el agua jamas llega á tocar el fondo *e* del vaso D. Este experimento causa mayor sorpresa, si se hace flotar un cuerpo ligero sobre el cual se coloca una cerilla encendida, por que entonces se ve arder la luz debajo del nivel del agua. El eslabon fisico ó neumático, fig. 2, y el tubo de Mariotte, de que hablarémos en su lugar, sirven para demostrar la compresibilidad de los gases. Los líquidos apenas son compresibles; el agua bajo el peso de una atmósfera se comprime de 0,000046 como probarémos en lugar oportuno; de suerte que no es problemático asegurar, que hasta los materiales que se colocan para construir los cimientos de un edificio, disminuyen de volúmen en razon de la presión á que están expuestos.

34. *Dilatabilidad.* La dilatabilidad es aquella propiedad que tienen todos los cuerpos de la naturaleza, de aumentar de volúmen siempre que se calientan, disminuirlo por la falta de calor, y volver á adquirir las mismas dimensiones cuando se les expone á la influencia de la primitiva temperatura. Bajo este punto de vista los cuerpos de la naturaleza no tienen jamas el volúmen que se les supone; por que expuestos á la influencia atmosférica, cuyo calor varia con tanta frecuencia, claro está que á cada instante se hallan dilatados ó contraídos. Si la dilatacion separa con efecto las moléculas de los cuerpos disminuyendo la fuerza de *cohesion*, la mate-



ria que parece se halla en un estado de absoluta inercia, está provista en toda su masa de una actividad perpetua por que la accion del agente es constante. Los gases son mas dilatables que los demas cuerpos, siguen á estos los liquidos, y por fin los sólidos son los menos dilatables.

35. *Elasticidad.* Esta propiedad se funda en la facultad que tienen los cuerpos de volver á tomar su volúmen ó la forma que antes tenían, siempre que deja de obrar la causa que los comprimia. Los gases gozan de esta propiedad en un grado muy eminente, por cuya razon se llaman *fluidos elásticos*; los liquidos son menos elásticos, y los cuerpos sólidos presentan diferencias muy notables. Sin embargo, se indica como tipo el caoutchouc ó goma elástica. El marfil, la madera y aun los metales están dotados de esta propiedad; pues al caer sobre un plano resistente, se aplastan en el punto de choque, lo cual prueba su compresibilidad, y por consiguiendo la elasticidad de que están provistos. Parece que este fenómeno reconoce por causa una alteracion ó desarreglo momentáneo en las moléculas, ya por un efecto de la presion ó de la flexion, ya como resultado de la traccion ó de la torsion.

36. *Estado de los cuerpos.* Los cuerpos pueden presentarse bajo tres estados diferentes; al estado sólido, liquido y gaseoso. Esta mutacion depende del calor que se acumula para disminuir y aun romper la fuerza que mantiene reñidas las moléculas. El agua no puede servir de ejemplo: tomada en estado de hielo se presenta sólida, se calienta y adquiere la forma líquida, y aumentando la accion del calor pasa á gas ó fluido aeriforme. Todos los cuerpos pueden pasar por estos tres estados, sujetándolos á temperaturas convenientes, ó absorbiendo el calor por medios apropiados; y si la naturaleza ó el arte presentan algunas sustancias que al parecer conservan el estado de gaseosidad ó el de solidez, es por la dificultad, en el primer caso, de robar una gran parte del calor que mantiene á las moléculas al estado aeriforme, y en el segundo de desenvolver una cantidad de calor suficiente para romper la fuerza de cohesion.

37. *Inercia.* Se ha llamado *inercia* á la falta de aptitud

en que se encuentra la materia bruta, para cambiar el estado en que se halla de reposo ó de movimiento. Por consiguiente, todo cuerpo tiende á conservar el estado en que se halla de reposo ó de movimiento, á no ser que una causa extraña le obligue á cambiarlo. De aquí se infiere, que un cuerpo no puede comunicarse á sí propio movimiento, ni tampoco cambiar, suspender ó alterar el que hubiere recibido.

38. *Atraccion.* Todos los cuerpos se dirigen los unos hácia los otros, sin que se observe ninguna causa que sea el origen de este fenómeno: semejante tendencia es lo que se conoce con el nombre de *atraccion*.

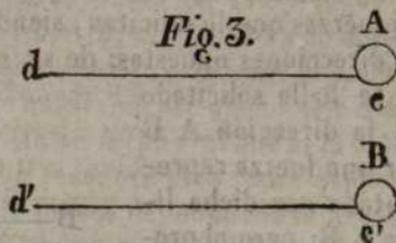
Cuando la atraccion tiene lugar entre las partículas de los cuerpos á distancias inconmensurables, se llama *atraccion química*, y si se verifica con grandes masas colocadas á distancias considerables, se denomina *gravitacion* ó atraccion planetaria. La atraccion química se divide en *cohesion*, siempre que tiene lugar entre átomos homogéneos, y en *fuerza de combinacion* cuando son heterogéneos. La atraccion planetaria se presenta entre los cuerpos celestes; de tal suerte, que el sol atrae á todos los demas planetas que componen su sistema, y reciprocamente es atraído por ellos. La intensidad de esta accion es proporcional á la masa, y está en razon inversa del cuadrado de la distancia. La atraccion que tiene lugar entre nuestro planeta y los cuerpos que se hallan en su atmósfera, se llama pesantez.

39. *Movilidad.* Se llama *movilidad* la propiedad que tienen los cuerpos de poder ser trasladados de un lugar á otro, en virtud de un impulso comunicado: esta propiedad es peculiar á la materia ponderable. El *reposo* y el *movimiento* son dos ideas simples. El reposo se llama absoluto, cuando el cuerpo persiste en el mismo lugar del espacio, y relativo siempre que su posicion, con respecto á otros que se consideran como fijos, se conserva invariable: el movimiento es absoluto cuando el cuerpo pasa de un punto á otro del espacio, y relativo siempre que el cuerpo varia de posicion respecto de otro que suponemos inmóvil.

Examinando con alguna filosofía el estado de reposo de

una sustancia cualquiera, se ocurre desde luego una reflexión sencilla, si se quiere; pero que da lugar á consideraciones de alguna importancia. El reposo no es otra cosa que un estado de equilibrio: las fuerzas que actúan están en direcciones opuestas, y son de igual magnitud, de modo que el movimiento queda destruido; así el reposo viene á considerarse como un estado negativo. Dígase lo que se quiera con respecto al reposo absoluto, hablando en rigor se puede asegurar que no existe; porque todos los cuerpos de la naturaleza colocados en la superficie de la tierra, siguen á esta en su movimiento de rotación; este movimiento, inapreciable por que se halla combinado con el de traslación del planeta que habitamos, nos da una idea del reposo tal cual debemos considerarlo.

El movimiento puede ser *rectilíneo* y *curvilíneo*: el primero es aquel en el cual el cuerpo que se mueve describe una línea recta, y el segundo cuando recorre una línea curva: en este movimiento el cuerpo cambia á cada instante de dirección, porque entre dos puntos de una curva se pueden tirar una infinidad de tangentes, y cuando el móvil en su movimiento ha descrito una circunferencia de círculo, se dice que ha pasado por todas las direcciones posibles. En el movimiento debe tenerse también presente la lentitud ó rapidez con que se verifica, que no ha de confundirse con lo que á su tiempo llamaremos *velocidad*: se dice que el movimiento es mas lento, cuando el cuerpo que se mueve recorre menos espacio en el mismo tiempo: así dos cuerpos A y B, fig. 3, iguales en masa y volumen, recorran las distancias también iguales $c d$ y $c' d'$; si el cuerpo A gasta por ejemplo un segundo, y el cuerpo B tres, se dirá que el movimiento del cuerpo B ha sido mas lento y el del cuerpo A mas rápido.



MECANICA

DE

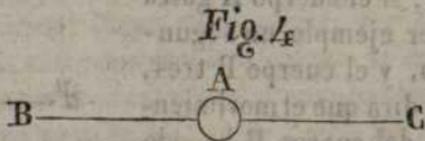
LOS CUERPOS SÓLIDOS.

LECCION III.

Estática y dinámica.

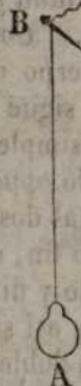
40. *Consideraciones generales sobre el equilibrio y el movimiento.* La *estática* se ocupa de investigar y dar á conocer las condiciones del equilibrio de los cuerpos sólidos, y la *dinámica* tiene por objeto determinar las leyes de los movimientos de estos cuerpos, cuando las condiciones indispensables para el equilibrio no se han llenado. La *mecánica* de los cuerpos sólidos abraza por consiguiente las leyes del equilibrio y las del movimiento, es decir, la *estática* y la *dinámica*.

41. Se dice que un cuerpo se halla en equilibrio, cuando las fuerzas que le solicitan, siendo de igual intensidad, obran en direcciones opuestas; de suerte, que si el cuerpo A, fig. 4, se halla solicitado en la direccion A B por una fuerza representada por dicha línea A B; pero al propio tiempo otra fuerza igual lo arrastra segun la direccion A C, el cuerpo A per-



manecerá en equilibrio. Un cuerpo conservará tambien el estado de equilibrio, si las fuerzas que le solicitan se neutralizan por alguna resistencia, en cuyo caso se han destruido recíprocamente. Si el cuerpo A, fig 5, se suspende de un hilo A B, cuyo extremo B está fijo en un punto resistente, dicho cuerpo A permanecerá en equilibrio por que los efectos de la pesantez que le impulsa á descender, se destruyen por la resistencia del hilo y del punto de suspension. Sin embargo, débese advertir, que ciertos cuerpos como los globos aerostáticos, los peces y otras sustancias se ponen en equilibrio dentro de varios fluidos: estos fenómenos dependen de circunstancias particulares que examinaremos en otro lugar.

Fig. 5.



42. *Qué se entiende por fuerzas.* Cuando un cuerpo en movimiento es trasportado de un lugar á otro del espacio, ó detenido durante aquel movimiento, se reconoce siempre un agente de impulsión en el primer caso, y de detencion ó retardo en el segundo, el cual lleva el nombre de fuerza. En este supuesto se llaman fuerzas los diversos agentes que actúan sobre los cuerpos produciendo movimiento ó retardando y suspendiendo el que ya tuvieren. Las fuerzas podemos dividir las en fuerzas de impulsión, y fuerzas de retardo ó resistencia: las primeras imprimen movimiento, y las segundas neutralizan su acción procurando restablecer el equilibrio. Con efecto, para que la traslación tenga lugar y el cuerpo varíe de su posición relativa, el agente ha de obrar sobre la cantidad de materia que constituye la masa del cuerpo, y vencer la resistencia que naturalmente opone: por consiguiente se nota á primera vista un hecho real que es la traslación del cuerpo, y este hecho reconoce otra causa evidente, la cual forma el agente que hemos denominado fuerza de impulsión. Un cuerpo puesto ya en movimiento por una fuerza cualquiera, pierde poco á poco este movimiento, ó le suspende instantáneamente, y la pérdida y la suspensión es

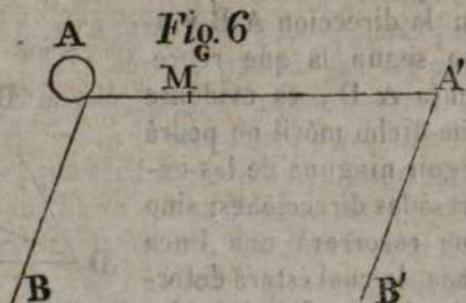
un hecho real, que reconoce asimismo un agente que designamos con el nombre de fuerza de retardo ó de resistencia. Una fuerza queda determinada cuando se da su *direccion*, su *intensidad* y el *punto de aplicacion*.

43. *Composicion y descomposicion de fuerzas*. Cuando un cuerpo está solicitado por una fuerza de una magnitud dada, sigue el efecto de la impulsión, y se dice que la fuerza es simple; pero si dos fuerzas de igual intensidad obran en sentido opuesto, el cuerpo quedará en equilibrio. Mas cuando estas dos fuerzas se reúnen para que contribuyan á un mismo fin, es decir, cuando se las hace obrar en un mismo sentido y direccion, se obtiene la fuerza doble, triple si son tres, y así sucesivamente. Es de advertir, que las voces de fuerza doble, triple, cuádruple, etc. son relativas á la unidad que sirvió de tipo; porque desde el instante que dos ó mas fuerzas se han unido para actuar en un sentido dado, se confunden entre sí, y solo se consigue una fuerza de mayor magnitud. De aquí se infiere, que las fuerzas deben considerarse como cantidades reales, porque todas ellas son capaces de aumentar y disminuir. Además cuando un cuerpo se halla solicitado por una sola fuerza de impulsión, capaz de vencer la resistencia que opone la materia, no podrá bajo ningun concepto permanecer en el estado de equilibrio.

44. Cuando muchas fuerzas solicitan á la vez á un cuerpo en direcciones diversas, solo puede tomar un movimiento determinado por la acción de la fuerza mayor; esta direccion se conoce con el nombre de *resultante*.

Se da el nombre de *sistema de fuerzas* al conjunto de las que concurren á producir un determinado efecto: las fuerzas que contribuyen á componer un sistema, se denominan *componentes*.

43. *Fuerzas paralelas.* Si un móvil A, fig. 6, se halla solicitado en la dirección AA' por las dos fuerzas paralelas AB y A'B', seguirá la dirección de la resultante. Para hallar el punto de aplicación y la intensidad de esta fuerza única, se seguirán las reglas siguientes: 1.^a la re-



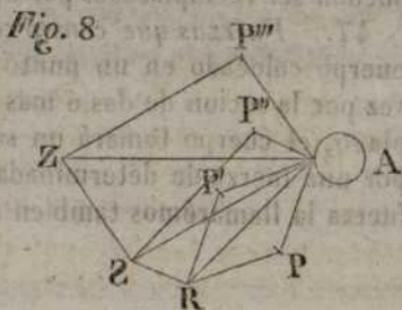
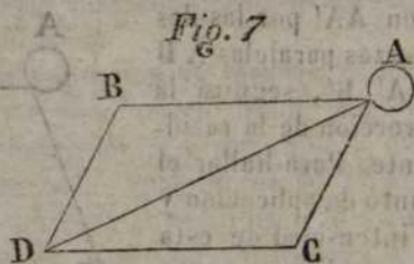
sultante de dos fuerzas paralelas que obran en un mismo sentido es igual á la suma, y á su diferencia cuando actúan en dirección opuesta; 2.^a esta resultante es siempre paralela á las dos fuerzas componentes; y 3.^a el punto sobre que se aplica dicha resultante, se llama *centro de las fuerzas paralelas*. Así en la fig. 6 se puede aplicar la resultante sobre el punto M, de tal manera que la distancia AM y MA' estén en razón inversa de las fuerzas AB y A'B'; en este caso el centro de las fuerzas paralelas se hallará en el expresado punto M.

46. Cuando dos fuerzas de igual intensidad, pero paralelas y opuestas entre sí, obran sobre una misma línea en dirección angular, se llama una *pareja*: la resultante de toda pareja es igual á *cero*, aun cuando el sistema no esté en equilibrio. Este es un caso particular, en el cual dos fuerzas no pueden ser reemplazadas por una sola.

47. *Fuerzas que concurren á un mismo punto.* Si un cuerpo colocado en un punto dado, se halla solicitado á la vez por la acción de dos ó mas fuerzas situadas en un mismo plano, el cuerpo tomará un solo movimiento, representado por una fuerza de determinada intensidad y dirección: esta fuerza la llamaremos también resultante (44).

Con efecto, si un móvil A , fig. 7, se halla solicitado á la vez por dos fuerzas, una en la direccion AB y otra segun la que representa AD , es evidente que dicho móvil no podrá seguir ninguna de las expresadas direcciones; sino que recorrerá una linea dada, la cual estará determinada en virtud de las dos fuerzas. Si con la direccion é intensidad de estas dos fuerzas construimos el paralelogramo $ABCD$, y se tira la diagonal AC , esta diagonal representará la direccion que habrá tomado el móvil, y por consiguiente la *resultante* de las dos fuerzas primitivas AB y AD . Este es el principio fundamental de la estática, conocido con el nombre de *paralelogramo de las fuerzas*.

48. La construccion del paralelogramo de las fuerzas, no se presenta siempre tan sencilla como en el ejemplo que acabo de indicar. Si las fuerzas que actuan sobre un cuerpo son por ejemplo cuatro, se principiará por construir el paralelogramo con las dos primeras, luego con la diagonal y la tercera se construirá otro paralelogramo, y últimamente con la diagonal de este y la cuarta fuerza se formará otro paralelógramo cuya diagonal será la resultante final. Para dar á conocer este principio, sean las fuerzas P, P', P'' y P''' , fig. 8, situadas en un plano, y actuando á la vez sobre el cuerpo A . Las dos primeras dan el paralelogramo $APR P'$ cuya diagonal es AR : esta diagonal y la fuerza P'' forman el paralelogramo $ARS P''$, que tiene por diagonal AS ; la cual con la última fuerza P''' se



construye $A S Z P'''$ que da por diagonal $A Z$, que es la dirección que seguirá el cuerpo A . Aquí se concibe desde luego que el sistema va disminuyendo el número de fuerzas, hasta quedar reducido á una de las cuatro primitivas y la diagonal que resulta de las anteriores. Podrá suceder que las fuerzas que actúan no se hallen sobre el mismo plano, en cuyo caso habrá que construir un sólido geométrico con un número determinado de ellas, buscar la diagonal que será la resultante, y con esta y otra nueva fuerza continuar hasta que se hayan concluido: la última diagonal será la resultante pedida. En el principio del paralelogramo de las fuerzas hay que tener presente, que la magnitud de la resultante no solo depende de las fuerzas componentes, si que tambien del ángulo que forman. Para conseguir el equilibrio con dos ó mas fuerzas, basta que el efecto de cada una sea destruido por el concurso de las otras, en este caso cada fuerza es igual y directamente opuesta á la resultante de las demas; pero si en un sistema de fuerzas la magnitud de una de ellas fuese mayor, cambiaria la intensidad y dirección de la resultante, en cuyo caso faltaria el equilibrio. Las fuerzas paralelas solo pueden obrar sobre un mismo cuerpo, ó sobre dos cuerpos diferentes que están de tal modo unidos que forman un todo comun; de otra suerte la acción de cada fuerza obraria aisladamente, y no se obtendria el sistema que por su combinacion nos da una resultante final.

49. *Movimiento uniforme.* Cuando un móvil recorre espacios iguales en tiempos iguales, se dice que el movimiento es *uniforme*. Para explicar este principio basta reflexionar, que si un cuerpo puesto en movimiento siguiendo una línea recta recorre un espacio de cuarenta varas en cuatro minutos, de veinte en dos, ó bien de diez en cada uno, se dirá entonces que el movimiento de aquel cuerpo es uniforme, porque el espacio corrido es proporcional en todos los casos al tiempo empleado para correrle. La relación de este espacio y la unidad de tiempo empleado para correrle, se llama *velocidad* del movimiento uniforme. Así se dice, que un móvil tiene la velocidad de diez, veinte ó treinta varas por cada minuto, cuando recorre en este tiempo las 10, 20 ó 30 varas expresadas.

Para conocer el espacio corrido por un cuerpo en un tiempo dado, basta multiplicar la velocidad por el tiempo empleado en correrle: así representando por V la velocidad y por E el espacio corrido durante el tiempo T , se tendrá

$$E = V \cdot T.$$

De aquí se puede inferir, que un cuerpo en movimiento no puede alterar la velocidad que tiene, ni mucho menos cambiar de dirección; por que la materia tiende á permanecer en el estado que se halla de quietud ó movimiento, á no ser que una fuerza extraña á la primera le obligue á cambiarle. Esta tendencia es lo que constituye la *inercia*, (37) la cual depende de tres causas principales, á saber; 1.^a necesidad de una fuerza para dar movimiento; 2.^a permanencia del movimiento cuando la fuerza impulsiva ha cesado de obrar; y 3.^a necesidad de otra fuerza para cambiar la dirección del movimiento primitivo, ó para disminuir y suspender su acción.

50. *Movimiento uniformemente variado.* Se dice que el movimiento es variado, cuando es variable la velocidad. En el movimiento uniformemente variado, la velocidad aumenta ó disminuye en tiempos iguales. La fuerza que imprime á estos movimientos su velocidad ó su retardo, se llama *fuerza aceleratriz* en el primer caso, y *retardatriz* en el segundo.

Cuando el movimiento es acelerado, el cuerpo recibe velocidades iguales: si un móvil A , por ejemplo, está animado en su origen por una velocidad representada por V , y recibe en cada unidad de tiempo de la fuerza aceleratriz una cantidad indicada por X ; se tendrán las velocidades $V+X$; $V+2X$ $V+XT$.

51. Toda fuerza aceleratriz constante, comunica al móvil en una unidad de tiempo, una velocidad doble del espacio que le hizo recorrer en este mismo tiempo; por que el espacio corrido durante un tiempo T con un movimiento acelerado, es la mitad del que recorrería uniformemente en el mismo tiempo con la velocidad final.

52. Para poder apreciar cómo crece el espacio con relación al tiempo, suponiendo que la velocidad es nula en su origen, debe tenerse presente, que todo espacio total recorrido

por un móvil, es igual á la suma de los espacios parciales, siendo por lo tanto el producto de multiplicar el tiempo por la velocidad. Si por el contrario se supone que se mueve en cada unidad de tiempo con la velocidad que tiene en su origen, entonces la suma de los espacios corridos es igual á cero. Examinando estos dos resultados se nota una desigualdad excesiva, por que en la primera suposicion se obtiene una cantidad considerable, al paso que en la segunda es casi inapreciable, y la diferencia es tanto mayor cuanto menor es la unidad de tiempo; cantidad real infinitamente pequeña.

53. *En esta clase de movimientos se pueden presentar dos hipótesis: ó bien suponer que la fuerza se halla descompuesta en un número de impulsiones, las cuales se repiten sin cesar para imprimir á la masa un movimiento uniforme; ó dividir el tiempo en instantes infinitamente pequeños, pero iguales entre sí: la fuerza en este caso obrará al principio de cada instante, comunicando al móvil una velocidad mayor para abandonarle luego hasta que vuelva á principiar la accion de otro instante. Siendo la fuerza aceleratriz una cantidad constante, los aumentos de velocidad serán iguales, porque son iguales las impulsiones en que se descompuso la fuerza total; por consiguiente la velocidad total será igual á la suma de estos aumentos, y por lo tanto proporcional al tiempo.*

Representado por T el tiempo trascurrido desde la salida del móvil, por g la velocidad que ha adquirido despues de una unidad de tiempo, por V la que tiene despues del tiempo T , por e el espacio total que ha recorrido en el mismo tiempo, tendrémós las dos leyes fundamentales de este movimiento comprendidas en las siguientes fórmulas:

$$V = g T$$

$$e = \frac{g T^2}{2}$$

Estas igualdades nos prueban que en el movimiento uniformemente variado, la velocidad crece proporcionalmente al

tiempo, y los espacios recorridos crecen como los cuadrados de los tiempos.

54. Para la fuerza retardatriz se observan tambien principios semejantes, pero en sentido opuesto. La velocidad inicial aceleratriz de que estaba el cuerpo animado, se halla neutralizada y aun destruida por otra fuerza diferente, cuya accion se dirige á contrarestar los efectos de la primera; de suerte que si aquella fuerza es menor que la aceleratriz, el movimiento disminuirá progresivamente; en el caso de ser igual se restablecerá el equilibrio; pero si la fuerza retardatriz es mayor, entonces el cuerpo volverá á su primitiva posicion animado de una velocidad inicial, pero en sentido contrario.

La velocidad disminuye proporcionalmente al tiempo cuando la fuerza retardatriz es constante, en cuyo caso da la ecuacion siguiente:

$$v = B - g T$$

segun esto, el espacio e recorrido, contado desde el punto de partida en que la velocidad es igual á B, estará representado por la ecuacion;

$$e = B T - \frac{g T^2}{2}$$

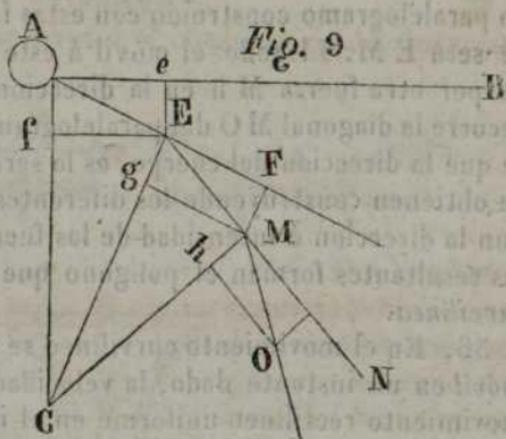
pasada una cantidad de tiempo $T' = \frac{B}{g}$ la velocidad queda

destruida, y el espacio recorrido resulta igual á $\frac{B^2}{2g}$; de

modo que si la fuerza retardatriz continua aun en accion, el móvil vuelve á su posicion primitiva.

55. El movimiento variado puede ser tambien *curvilíneo*. Esta clase de movimiento se verifica siempre que la fuerza aceleratriz varia de direccion á cada instante, en cuyo caso el móvil recorre una línea curva; de aquí se infiere que en el movimiento curvilíneo concurren dos fuerzas, una que solici-

ta el móvil hácia un punto constante y fijo, y otra que procura alejarle de aquel punto: estas dos fuerzas se llaman *centrales*. Reflexionando sobre la generacion del movimiento curvilineo debe tenerse presente, que el impulso comunica-



do por la fuerza que tiende á separar el móvil, es una fuerza constante que obra en la direccion rectilínea; al paso que tambien es constante la fuerza que pretende dirigirle á un punto comun y permanente; de suerte que el móvil durante su movimiento describirá un polígono de tantos lados, cuantas fueren las veces que la fuerza haya cambiado de direccion: es decir, que cada lado de este polígono, representará la diagonal de un paralelogramo construido con la direccion é intensidad de las dos fuerzas que hemos llamado centrales, y como estas fuerzas obran en un número infinito de instantes, la línea polígona vendrá á confundirse con una curva. Si el cuerpo despues de haber recibido un impulso se abandona al efecto producido por dicho movimiento impulsivo, seguirá la direccion rectilínea, y recorrerá uniformemente la tangente de la curva en este punto. Para probar la verdad de lo expuesto, sean dos fuerzas, fig. 9. , que actuen sobre el cuerpo A, una segun la direccion AB, y otra en la AC; pero representadas sus intensidades por las líneas Ae y Af; en este caso el móvil A, recorre la diagonal AE del paralelogramo AfEe. Si el cuerpo al llegar al punto E, se dejara á la influencia de la fuerza que obró, seguiria en la direccion rectilínea EF; más si en el punto E se halla solicitado por otra nueva fuerza en la direccion EC; pero cuya intensidad esté representada por Eg, entonces el móvil seguirá la diagonal del nue-

vo paralelogramo construido con estas fuerzas, y su resultante será $E M$. Llegado el móvil á este punto, está solicitado por otra fuerza $M h$ en la direccion $M C$, en cuyo caso recorre la diagonal $M O$ del paralelogramo $M h O N$; de suerte que la direccion del cuerpo, es la serie de resultantes que se obtienen construyendo los diferentes paralelogramos, segun la direccion é intensidad de las fuerzas que actuan, y estas resultantes forman el poligono que se llama *trayectoria curvilínea*.

56. En el movimiento curvilíneo se llama *velocidad de un móvil* en un instante dado, la velocidad que corresponde al movimiento rectilíneo uniforme en el instante en que tiene lugar, siempre que se haya supuesto que han cesado de obrar las fuerzas que actuaban. El movimiento curvilíneo puede ser circular, parabólico y elíptico.

57. Las fuerzas centrales se llaman tambien *centípeta* y *centrífuga*, segun la direccion de la fuerza que actua; así cuando el cuerpo en su movimiento es atraído hácia un mismo centro, la fuerza que lo atrae se distingue con el nombre de *centípeta*; pero si el agente de impulsión dejara de obrar, el cuerpo seguiria la direccion rectilínea y se escaparia por la tangente en este punto, por que á cada instante hace un esfuerzo para tomar esta direccion; á este esfuerzo, á la tendencia para escaparse por la tangente se llama fuerza *centrífuga*. Segun esto, las dos fuerzas centrífuga y centípeta obran en el movimiento curvilíneo simultaneamente; pero en direcciones distintas, y siempre que varia esta direccion ó se altera la intensidad de dichas fuerzas, el móvil describe curvas diferentes.

La fuerza central cambia de direccion á medida que el punto material gira al rededor de un centro; y su intensidad es diferente segun que este punto se acerca ó separa de él; de ahí resulta que la composicion de las velocidades se repite en intervalos de tiempo muy cortos, los cuales llevan el nombre de *instantes*. En el movimiento de los cuerpos celestes la fuerza centípeta es recíproca entre sí, é impele á los cuerpos los unos hácia los otros con una intensidad propor-

cional á la masa, pero inversa al cuadrado de la distancia.

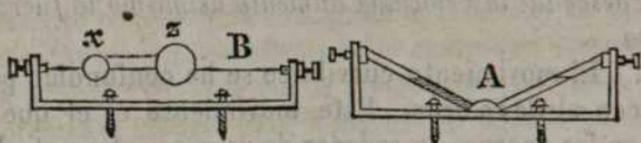
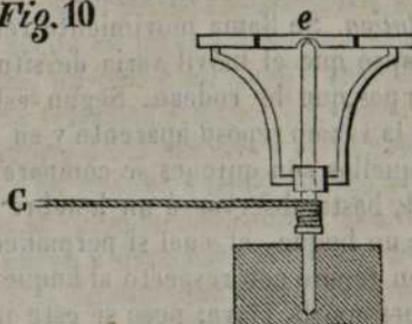


Fig. 10



58. Para probar lo expuesto se han inventado varios aparatos y máquinas, con los que se comunica á los cuerpos sólidos ó líquidos, por medio de un sistema de ruedas mas ó menos complicado, ó bien por el empuje de una cuerda que se

desliza de un torno, un movimiento de rotacion bastante veloz. La figura 10 representa la que sirve generalmente en los establecimientos de educacion pública: consiste en una mesa provista de una armadura de hierro ó de madera, la cual adquiere un movimiento de rotacion muy veloz tirando de la cuerda C; sobre el plano e se atornillan las piezas que contienen los cuerpos que han de experimentar los efectos de las dos fuerzas centrales. La pieza A consiste en dos tubos inclinados al horizonte y sujetos á ella, los cuales se hallan semillenos uno con agua y una esfera de metal en el fondo, y otro con aceite y agua, ó si se quiere con este último liquido y una esfera de corcho que sobrenada. Si atornillado sobre el plano e se le comunica el movimiento de rotacion, los cuerpos pesados que están en el fondo de los tubos van á ocupar la parte superior: si al contrario se verifica el experimento con la pieza B, entonces las masas x y z colocadas equidistantes del centro y unidas por medio de un hilo de seda, se deslizan por la varilla, de tal manera que la masa z por ser mayor arrastra hácia sí á la x, y ambas se dirigen juntas hasta llegar al extremo de la varilla. De estos experimentos se deduce, que la fuerza centrífuga es tanto mayor, quanto mayor es tambien

la masa circulante, y mayor el radio que corresponde á la curva descrita: la velocidad aumenta asimismo la fuerza centrífuga.

59. El movimiento curvilíneo se ha confundido por alguno con el *de rotacion*. Este movimiento es el que tiene lugar en los cuerpos en rededor de un eje, y depende del estado de la superficie y de la fuerza de impulsión.

60. *Movimiento relativo*. Se llama movimiento relativo al que se consigue siempre que el móvil varia de situacion con respecto á los cuerpos que le rodean. Segun esto un cuerpo puede hallarse á la vez en reposo aparente y en movimiento, atendiendo á aquellos con quienes se compara: para formarse una idea cabal, basta observar á un hombre colocado sobre el puente de un buque, el cual si permanece en un mismo punto, está en reposo con respecto al buque, y en movimiento si se compara con la playa; pero si este individuo se pasea, entonces se pone en movimiento con respecto al buque que le transporta, y el todo con relacion á la costa.

61. *Movimiento absoluto*. Se dice que el movimiento es absoluto, cuando se concibe que el móvil cambia de situacion respecto á los cuerpos que le rodean. El movimiento absoluto puede concebirse, pero es imposible demostrarlo.

62. *Movimiento reflejo*. Se llama movimiento reflejo al que tiene lugar entre los cuerpos elásticos por efecto del choque. Cuando la accion se verifica en sentido perpendicular al plano, entonces el cuerpo se refleja segun una línea tambien perpendicular; pero cuando la accion es oblicua, adquiere el móvil una direccion opuesta, y forma con la normal bajada al punto chocado dos ángulos iguales.

63. *Movimiento refracto*. Este movimiento es aquel que se verifica cuando un cuerpo pasa oblicuamente de un medio á otro de diferente densidad. El móvil en este caso no sigue su primitiva direccion, sino que sufre una desviacion en razon de la oblicuidad de incidencia, y de la mayor ó menor resistencia del medio donde el sólido penetra.

64. *Cantidades de movimiento*. La cantidad de movimiento resulta de la accion ó impulso de la fuerza que ha ser-

vido para producirle, la cual se ha difundido sobre toda la masa, y sus partes siguen el efecto de la impulsión con un movimiento comun. Por consiguiente la acción de la fuerza es instantánea, pero su efecto debe *continuar* eternamente; así un proyectil lanzado por la fuerza expansiva de la pólvora, correría el espacio para obedecer al agente que le impulsó, si no encontrase obstáculos que se opusiesen á su curso. El móvil por lo tanto debería seguir la línea de impulsión segun las leyes del movimiento uniforme, y despues de un dia, un año ó un siglo, continuaria moviéndose con la misma velocidad y direccion; pero el aire, el agua, la pesantez propia de la materia y otras potencias de grande importancia se oponen á aquel efecto, y el móvil experimenta durante su curso modificaciones que le obligan á seguir una línea curva y descender hácia la tierra.

65. *Cuando una misma fuerza obra sobre dos móviles, les imprime velocidades que están en razon inversa de sus masas, ó de la cantidad de materia que los constituye. Este principio que en mecánica se considera como un axioma, se prueba teniendo presente, que la fuerza impulsiva que arrojaría á dos móviles cuyas cantidades de materia ó volúmenes siguiesen la relacion de los números 1, 2, 3, etc.; comunicaría velocidades que estarían en la razon de $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}$ etc.: de suerte, que el móvil cuya masa fuese como 10 recibiría una velocidad representada por $\frac{1}{10}$, y si aquella se manifestara por 50, la velocidad recibida sería 50 veces menor. De ahí resulta que para conocer la cantidad de movimiento, bastará multiplicar la masa por la velocidad: por consiguiente representando por F la fuerza, por M la masa y por V la velocidad, la cantidad de movimiento será:*

$$F = M V.$$

Si otra fuerza F' obrara sobre distinta masa M' , le comunicaría una velocidad V' , y se tendría entonces:

$$F' = M' V';$$

lo que daría la proporcion siguiente:

$$F : F' :: M V : M' V';$$

pero si $M V$ es igual á $M' V'$, se supone desde luego que las fuerzas que obraron en las masas M y M' son de la misma intensidad; en cuyo caso resulta la ecuacion;

$$M V = M' V'; \text{ lo que da } V' = \frac{M V}{M'}$$

66. De lo dicho se infieren dos principios generales, á saber; 1.^o que una misma fuerza impulsiva, solo puede comunicar una cantidad dada de movimiento, cualquiera que sea la masa de materia sobre que ejerce su accion; y 2.^o que una fuerza es doble, triple, etc. de otra, cuando sobre una determinada cantidad de materia produce un efecto doble, triple, etc. de aquel que sirvió de unidad. De estos principios emanan las tres consecuencias siguientes: 1.^a las fuerzas son entre sí, como las cantidades de movimiento que producen; ó bien como los productos de multiplicar las masas por las velocidades; 2.^a para masas iguales las fuerzas son entre sí, como las velocidades que comunican; y 3.^a para velocidades iguales las fuerzas son entre sí, como las masas sobre que obran.

67. *Comunicacion del movimiento.* Se dice que el movimiento se comunica, siempre que un cuerpo animado por una fuerza encuentra á su paso otro que está en reposo ó en movimiento. Los fenómenos que de esta accion se presentan, dependen de la elasticidad de las masas, de la cantidad de fuerza con que obran, y de su dureza; y con el objeto de presentar estas acciones con alguna verdad, supondrémos que todos los cuerpos de la naturaleza que se hallan en el estado de solidez, cualquiera que sea su composicion elemental, ó son perfectamente elásticos, ó están destituidos de esta propiedad.

68. Siempre que dos cuerpos no elásticos iguales en masa y animados de la misma cantidad de movimiento pero en direccion opuesta, chocan directamente, se quedan en reposo en el mismo lugar en que se verificó el choque. Este hecho es evidente, por que ambos se comprimen entre sí con una cantidad igual; el uno no puede impeler al otro, porque

son dos fuerzas iguales que obran en direcciones opuestas, y las masas privadas de elasticidad no pueden dar origen al movimiento reflejo.

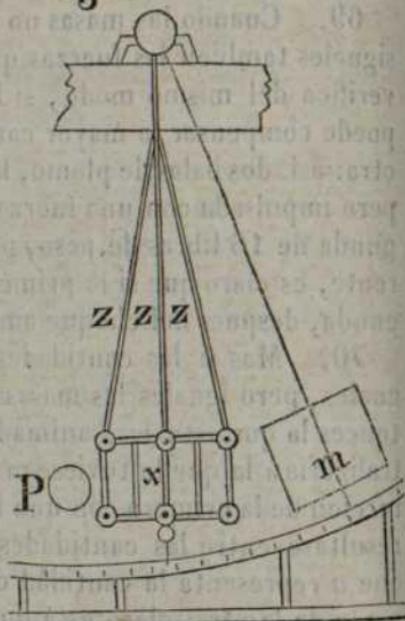
69. Cuando las masas no elásticas son desiguales, y desiguales tambien las fuerzas que las impelen, el fenómeno se verifica del mismo modo, si la velocidad de la masa menor puede compensar la mayor cantidad de materia que tiene la otra: así, dos balas de plomo, la primera de una libra de peso, pero impulsada con una fuerza representada por 16, y la segunda de 16 libras de peso, pero en el estado de reposo aparente, es claro que si la primera viene á chocar contra la segunda, despues del choque ambas quedarán en reposo.

70. Mas si las cantidades de movimiento fueren desiguales, pero iguales las masas sobre que habian obrado, entonces la que estuviese animada de mayor movimiento neutralizaria á la que le tuviese menor, y las dos seguirian la direccion de la primera con una fuerza igual á la diferencia que resultase entre las cantidades de movimiento. Suponiendo que a representa la cantidad de movimiento de una masa, y na la de la otra; claro está que despues del choque resultará $na - a = (n - 1)a$; esta cantidad de movimiento es la que animará á las dos masas.

De aquí se infiere, que el movimiento se comunica, pero no se pierde; pasa de un cuerpo á otro, se difunde y llega en ciertos casos á ser insensible. De suerte, que para destruir movimiento se necesita movimiento, y las resistencias y los rozamientos lo dispersan pero no lo destruyen.

71. Se llama *péndulo balístico* un instrumento que sirve para medir la velocidad de los proyectiles: consiste en un eje de hierro, fig. 11, que termina á la manera de cuchilla por los dos extremos, y se apoya sobre dos puntos bastante sólidos: un trozo de madera x bastante pesado y reforzado con una armadura de hierro, está suspendido de las cuatro varillas z , dos rectas y dos oblicuas, y tiene en el extremo inferior una aguja que deja una señal sobre cera colocada en el arco graduado. El cuerpo P se hace obrar sobre la masa de madera x , y el movimiento que comunica el choque, hace á la aguja marcar una señal sobre el arco. Verificando el experimento con dos cantidades de materia iguales por su naturaleza y por su masa, la que haga correr mas la aguja sobre dicho arco, será la que estará animada de mayor cantidad de movimiento.

Fig. 11.



LECCION IV.

Gravedad ó pesantéz.

72. *Efectos generales de la gravedad.* Todos los cuerpos ponderables abandonados á sí mismos, caen hasta que se ponen en contacto con la superficie de la tierra: esta propiedad se llama *gravedad ó pesantéz*, y es peculiar á la materia. Sin embargo, algunos cuerpos como el humo y otras sustancias gaseosas, suben á regiones mas ó menos elevadas de la atmós-

fera, en razon de ser mas ligeras que el peso del volúmen de aire que desalojan.

73. La gravedad ejerce su accion en todos los puntos del sistema del mundo, y en cualquiera profundidad del planeta en que vivimos. En las ascensiones aerostáticas se ha observado que el lastre que tira el aeronauta desciende hácia la tierra; de suerte que se puede asegurar que los efectos de la pesantez tienen lugar en medio de la atmósfera que nos rodea: otro tanto se nota dentro de las minas mas profundas, por cuya razon se dice que la gravedad es una fuerza universal, que obra sobre la materia ponderable atrayéndola hácia la superficie del esferoide terrestre.

74. La gravedad obra tambien sobre grandes masas colocadas á distancias considerables; así es, que por ella se mantienen los planetas que forman nuestro sistema en sus órbitas correspondientes, y los respectivos satélites en las que les son peculiares en razon á su planeta principal; por que de otro modo se alejarian sin cesar, como consecuencia de la fuerza centrífuga (57).

75. Los líquidos que manan de los vasos que les contienen, están tambien sujetos á la accion de la pesantez: por esta razon se ve que el agua y las demas sustancias líquidas, ora sean simples ó compuestas, se dirigen á los puntos bajos y tienden á descender. Cuando un líquido desciende de la atmósfera á la superficie de la tierra, se divide por la interposicion del aire durante el descenso; pero en el vacío cae como una masa sólida: esto se prueba con un aparato llamado martillo de agua. Finalmente la gravedad obra sobre los cuerpos que sobrenadan en los fluidos, y sobre aquellos que se mantienen dentro de los gases permanentes y no permanentes.

76. Sin embargo, si es innegable que la pesantez es una propiedad inherente á la materia ponderable, se nota que los cuerpos sólidos caen con velocidades diferentes, así como tambien los líquidos corren con mayor ó menor celeridad; y las leyes que presiden á estas variaciones, son siempre las mismas cualquiera que sea el punto del globo donde se exa-

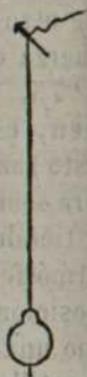
minan. Cuando dos cuerpos de diferente naturaleza caen de la misma altura, tienen velocidades diferentes: así mismo caerán con velocidades distintas dos cuerpos de igual naturaleza química cuyas superficies sean desiguales; por esta razon vemos, que una pieza de oro de una onza y un pedazo de papel, cae la primera con gran prontitud, mientras que el segundo tarda mucho tiempo; dos pliegos de papel uno abierto y otro arrollado, este se precipita con mayor velocidad que el primero. Mas si estas observaciones se verifican en el vacío, se nota que el oro y el papel, ora esté abierto ó plegado; el hierro, el potasio ó el platino, una barba de pluma ó una masa de bronce, se precipitan con la misma velocidad; de suerte que el retardo de los cuerpos en su caída proviene de la resistencia que opone el aire atmosférico, la cual es tanto mayor cuanto mayor es la superficie del cuerpo.

77. *Direccion de la gravedad.* La direccion de la gravedad es la que representa un hilo á plomo, llamado vulgarmente plomada. La direccion de este hilo cuando el cuerpo que sostiene está en quietud, debe hallarse precisamente segun la que corresponde á la fuerza que actua, la cual hemos llamado pesantez: este instrumento se conoce tambien con el nombre de *péndulo*, y su línea de reposo constituye la vertical, fig. 12.

Para hallar la direccion de la gravedad se emplean las masas liquidas que forman nuestros mares, porque la menor alteracion en su nivel, es capaz de producir una inundacion espantosa: los edificios mas sólidos, una montaña, etc. no son suficientes para buscar con alguna verdad la direccion de la pesantez, y conocer los errores que haya habido entre dos ó mas observaciones. Esta direccion es perpendicular á la *superficie de las aguas tranquilas*.

78. Algunos dicen que la direccion de la gravedad es perpendicular á la superficie de la tierra; en cuyo caso suponen una superficie ideal, donde los mares están en perfecto

Fig. 12.



reposo, y los continentes no tienen montes, valles ni desigualdades de ningún género: esta superficie se llama *superficie de la tierra, superficie de nivel, ó superficie horizontal*; y como esta superficie es igual en cualquier punto donde se observa, resulta que donde quiera que se encuentra un lago ú otro depósito de agua, se puede buscar la dirección de la gravedad. De estas consideraciones se deduce, que todas las direcciones de la gravedad concurren hácia el centro de la tierra, porque todas las perpendiculares de una superficie esférica pasan por el centro.

79. *Leyes de la caída de los cuerpos demostradas por el plano inclinado, y la máquina de Atwood.* Siendo el aire atmosférico la causa que retarda la caída de los cuerpos, cuyo retardo es tanto mayor cuanto mayor superficie presentan, no hay duda que para el físico es de suma importancia conocer la relación que existe entre el espacio que corre un cuerpo pesado y el tiempo que emplea para correrle. Esta relación constituye *la ley de la pesantéz, ó mejor dicho, la ley del movimiento que la pesantéz comunica.* Para conocer esta ley hay que valerse de medios indirectos, usando el *plano inclinado* de Galileo, y la *máquina* de Atwood.

80. *Plano inclinado de Galileo.* Para probar por medio de la experiencia que la pesantéz es una fuerza aceleratriz constante, debe demostrarse que en los movimientos que comunica á los cuerpos, sus velocidades crecen proporcionalmente al tiempo y al espacio recorrido, como el cuadrado de esta variable. Para ello débese modificar la rapidez del movimiento, lo cual se consigue con el plano inclinado. Este aparato puede considerarse como una línea inclinada sobre la cual se hace rodar un móvil; y consiste en una cuerda unida y tirante sujeta sobre dos puntos fijos uno mas elevado que otro, siendo la hipotenusa de un triángulo rectángulo. Para disminuir los rozamientos del cuerpo sobre el plano inclinado, se construye el plano de cristal, y el cuerpo á la manera de carretoncito montado sobre dos ruedecitas iguales, todo pulimentado por evitar desigualdades: el carretón corre con distinta velocidad según la inclinación, y su valor es

igual al valor primitivo multiplicado por el seno de la inclinacion. Los espacios son entre sí, como los cuadrados de los tiempos empleados para correrlos; de donde resulta que la pesantez es una fuerza aceleratriz constante. La máquina de Atwood es la mas apropósito para demostrar estas leyes.

81. *Máquina de Atwood.* Este aparato, fig. 13, consiste en una polea sumamente ligera por cuya garganta pasa un hilo de seda del que están suspendidos dos pesos iguales que representaremos por P y P' : estos pesos permanecen en equilibrio en cualquiera posicion en que se colocan; pero si se añade un pequeño exceso, que llamaremos x , falta el equilibrio, y descien- de el peso que tiene el ex- ceso, para que suba el opues- to. El movimiento de las dos masas P y P' se verifi- ca por la influencia de la cantidad de materia x que se añadió á una de ellas; la cual si bien sirve para dar movimiento, pierde una parte del suyo; de suerte que cae con una velocidad menor de la que tendria si cayese solo. Para hallar su retardo seguiremos el siguiente racionio.

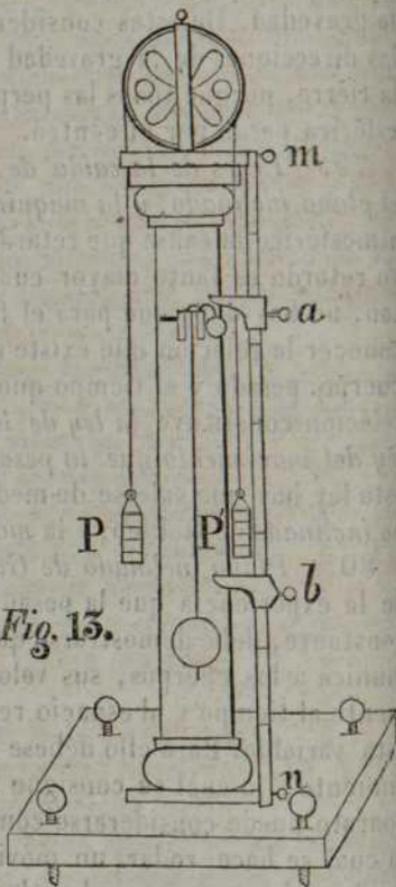


Fig. 13.

82. Si representamos por v la velocidad que tiene la masa x que se añadió pasado un segundo de tiempo, se tendrá para la cantidad de movimiento $v x$; por que el cuerpo x despues de un segundo de movimiento habrá adquirido la velocidad v .

Supongamos que n es la velocidad desconocida que toman las masas pasado un segundo, entonces la cantidad de movimiento será $n(2P+x)$, por que las masas que se mueven están representadas por P' y $P+x$, cuya suma da $2P+x$: pero como la masa x recibe de la pesantez la misma cantidad demovimiento, bien caiga libremente ó por una caída retardada por otras masas, tendremos $n(2P+x) = vx$; de donde

$$\text{resulta, } n = v \cdot \frac{x}{2P+x}$$

En esta máquina la velocidad del cuerpo que cae es siempre menor que v ; de suerte que representándola por una centésima, se supondrá $\frac{x}{2P+x} = \frac{1}{100}$. De aquí se infiere, que

$$100x = 2P+x, \text{ y } x = \frac{P}{49,51}; \text{ es decir, que por cada un}$$

instante, la velocidad, en la máquina de Atwood, es la centésima parte de la que corresponde á la caída libre, siempre que la masa adicional es las 49,5 parte de una de las dos masas primitivas: si tomamos, por ejemplo, $x=10$ granos, y $P=495$ se habrá satisfecho la condicion que exige la experiencia.

83. Para medir con exactitud los espacios recorridos tiene el aparato cerca de la columna una regla vertical m n dividida en metros y centésimos, ó si se quiere en varas, piés y pulgadas: ademas dos correderas a y b sujetas á la regla por medio de tornillos, sirven la primera de figura de anillo, para dejar pasar la masa P' y retener el exceso x , y la segunda dispuesta como un plano, está destinada para detener dicha masa P' en el punto que se quiere. Ademas se halla tambien un reloj de segundos d , para poder apreciar el tiempo duran el cual el móvil se mueve.

84. *Para verificar una experiencia por medio de esta máquina, se coloca la masa P' en el punto cero de la regla, la cual descende por el exceso de peso que contiene, como en el primer segundo puede correr un espacio mas ó menos grande*

segun desea el fisico que opera, resulta que se consigue desde luego un dato fijo que sirve de punto de partida. Supongamos que en el primer segundo recorre un pié de espacio, en el segundo segundo recorrerá tres, y así continuando del modo siguiente:

1 ^o	1.....	1...espacio final.
2 ^o	3.....	4.....,,
3 ^o	5.....	9.....,,
4 ^o	7.....	16.....,,
5 ^o	9.....	25.....,,
6 ^o	11.....	36.....,,

de suerte, que los espacios totales serán, en 1^o un pié, en 2^o cuatro, en 3^o nueve, en 4^o diez y seis, en 5^o veinte y cinco, en 6^o treinta y seis, etc., es decir, como los cuadrados de los tiempos empleados para correrlos.

La uniformidad de esta ley examinada en cada segundo durante la caída del cuerpo, ha sido llamada relacion de los números impares; por que con efecto se ve, que dichos espacios guardan la uniformidad de 1, 3, 5, 7, 9, 11 etc. Si la primera de estas cantidades depende de la voluntad del que opera, claro está que la ley de la relacion de los números impares queda modificada, si la unidad de partida es un número par; así se ve, que si en el primer segundo recorre dos pulgadas ó dos piés, se tendrán:

1 ^o	2.....	2...espacio final.
2 ^o	6.....	8.....,,
3 ^o	10.....	18.....,,
4 ^o	14.....	32.....,,
5 ^o	18.....	50.....,,
6 ^o	22.....	72.....,,

lo que da para los espacios totales una cantidad igual al cuadrado de los tiempos, que es el principio fundamental del movimiento uniformemente acelerado; de donde resulta para el quinto segundo 9, y en 5^o por ejemplo, $5 \times 5 = 25$; pero como

hemos supuesto para el primero, un espacio $\equiv 2$, nos dará $25 \times 2 = 50$ para el espacio final en dicho tiempo: este espacio es igual á $2 + 6 + 10 + 14 + 18 = 50$; de suerte que colocando el p'atillo b en las distintas cantidades que representan los espacios finales, se nota que estos datos están exactamente confirmados por la experiencia.

85. Si la fuerza aceleratriz dejara de obrar, el cuerpo seguiría moviéndose uniformemente en virtud del movimiento adquirido. Para verificar este experimento, se coloca en un punto dado el anillo, destinado á detener el exceso de peso y dejar pasar la masa P', y se observa que el cuerpo sigue su movimiento uniforme, y el espacio que recorre es igual á la suma de los espacios que corresponden al movimiento uniforme acelerado y al uniforme, y como este último es doble de aquel, resultan las cantidades siguientes:

Tiempo.	Cuadrados.	Espacios finales	M. uniforme.	Espacios finales con el m. adq.º
1''.....	1.....	1.....	2.....	3
2''.....	4.....	4.....	8.....	12
3''.....	9.....	9.....	18.....	27
4''.....	16.....	16.....	32.....	48
5''.....	25.....	25.....	50.....	75

es decir, que los espacios finales unidos con el movimiento adquirido, son iguales AL CUBO DE LOS TIEMPOS EMPLEADOS PARA CORRER LOS ESPACIOS CON EL MOVIMIENTO UNIFORMEMENTE ACELERADO: si la cantidad que da el punto de partida fuere mayor que la unidad, se multiplicará el cubo por dicha cantidad, (*) y el producto será igual á los espacios finales; de suerte que una vez separado el exceso de peso, el cuerpo P' sigue moviéndose por el movimiento adquirido, recorre un

(*) Me estoy ocupando de las leyes que deben seguir los cuerpos en su caída cuando el medio que atraviesan es el agua ú otro líquido: para ello he construido tubos que he unido á la regla de la máquina de Adwood.

espacio doble que el recorrido durante un tiempo dado por la influencia de la pesantez, y la suma de los espacios recorridos es igual al cubo del tiempo empleado mientras obró la pesantez de la masa adicional. Para mayor claridad véase la siguiente

TABLA.

	Tiempos.	Cuadrados de los tiempos.	Suponiendo uno en el primer segundo.	ESPACIOS CORRIDOS.		
				Suponiendo dos en el primer segundo.	Suponiendo tres en el primer segundo.	Suponiendo cuatro en el primer segundo.
Velocidad uniformemente acelerada.	1 ^o	1	1	2	3	4
	2 ^o	4	4	8	12	16
	3 ^o	9	9	18	27	36
	4 ^o	16	16	32	48	64
	5 ^o	25	25	50	75	100
Velocidad acelerada ó adquirida.	1 ^o	1	2	4	6	8
	2 ^o	4	8	16	24	32
	3 ^o	9	18	36	54	72
	4 ^o	16	32	64	96	128
	5 ^o	25	50	100	150	200
Velocidad final con el movimiento adquirido.	1 ^o	1	3	6	9	12
	2 ^o	4	12	24	36	48
	3 ^o	9	27	54	81	108
	4 ^o	16	48	96	144	192
	5 ^o	25	75	150	225	300
Cubos de los tiempos.	1 ^o	3	3	6	9	12
	2 ^o	12	12	24	36	48
	3 ^o	27	27	54	81	108
	4 ^o	48	48	96	144	192
	5 ^o	75	75	150	225	300

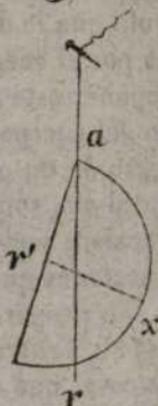
86. *Peso.* El peso de un cuerpo es la suma ó resultante de todas las acciones elementales que la gravedad ó pesantéz comunica. Esta definicion se deduce naturalmente al considerar, que si un cuerpo pesado encuentra en su caída un obstáculo que le detenga, este obstáculo sufrirá la presión ejercida por el cuerpo, y destruida á la vez por la resistencia que lo opone: esta resistencia puede ser igual ó mayor que la presión del cuerpo. En física no debe confundirse la *pesantéz* con el *peso* de un cuerpo, por que la primera es una fuerza elemental que solicita á cada una de las partículas á un centro de acción; y el segundo es, como acabo de decir, la suma de las acciones que la pesantéz comunica: los pesos de los cuerpos son proporcionales á sus masas.

87. *Centro de gravedad.* El centro de gravedad no es otra cosa, que el centro de las fuerzas paralelas é iguales; las acciones de la gravedad son todas paralelas entre sí, y la dirección de la resultante pasa constantemente por un punto dado del cuerpo, aun quando varíe relativamente el plano horizontal. De aquí se infiere, que el centro de gravedad ha de considerarse como un punto fijo en el interior de cada cuerpo sólido, y su posición es siempre la misma, sea cual fuere la que tenga el cuerpo.

88. Se dice que un cuerpo pesado se halla en equilibrio, quando está sostenido por el centro de gravedad; por consiguiente, si el centro de gravedad se halla fijo, el cuerpo puede dar vueltas en todas direcciones, y quedará siempre en reposo porque está en equilibrio.

89. Partiendo de lo expuesto, se puede encontrar el centro de gravedad por medios directos: basta suspender el cuerpo por un hilo de un punto fijo a , fig. 14, atar el extremo opuesto de un clavo, y cuando todo está en reposo, se prolonga la línea vertical hasta r , la cual representa el hilo á plomo: el centro de gravedad estará en la dirección de la línea vertical $a r$. Para hallarle basta practicar la operación cogiendo el cuerpo por el punto x , prolongar la línea $r' x$ y el punto en que se cruzan formando cuatro ángulos, es á donde corresponde dicho centro de gravedad.

Fig. 14.



90. Para buscar el centro de gravedad á cuerpos que tengan una figura irregular, hay necesidad de volverlos sobre sus aristas; pero cuando su figura es regular, se busca dicho centro por medios geométricos, si estos cuerpos son homogéneos.

Línea recta tiene el centro de gravedad en medio de su longitud.

El cilindro de bases paralelas le tiene en medio de su eje.

El paralelogramo tiene dicho centro en la intersección de las diagonales.

El círculo, la circunferencia y el anillo comprendido entre dos circunferencias concéntricas, tiene el centro de gravedad en el centro.

El triángulo le tiene en la línea que de la base va á parar en el vértice opuesto: para hallarle se tiran líneas paralelas á la base, luego otra que cortando aquellas en dos partes vaya á parar al vértice, y con esta construcción se consiguen pequeños paralelogramos que son los que dan á conocer aquel punto.

El polígono debe descomponerse en triángulos, y una vez hallado el centro de gravedad de cada uno, se consideran las fuerzas aplicadas á los centros de gravedad de los triángulos, como proporcionales á sus superficies; luego se busca la re-

sultante, y el punto de aplicacion en esta resultante será el centro de gravedad.

La pirámide triangular tiene el centro de gravedad sobre una línea que desde el centro de la base vaya á parar en la cúspide: esto se prueba por medio de secciones inscritas y circunscritas.

El poliedro se descompone en pirámides, como el polígono en triángulos.

El cono debe representarse como una pirámide; y finalmente la esfera tiene el centro de gravedad en el centro.

91. Del conocimiento del centro de gravedad, se deducen las leyes del equilibrio: el equilibrio puede ser *indiferente, estable ó inestable*. Se llama indiferente cuando el punto de apoyo pasa por el centro de gravedad; se dice que es estable siempre que el cuerpo se halla solicitado por la pesantez y tiende á buscar el equilibrio, en cuyo caso se necesita de un esfuerzo para separarle de su direccion; y se considera como inestable cuando el cuerpo se sostiene sobre un punto por razones matemáticas. El equilibrio estable é inestable se diferencian de un modo esencial, porque el primero tiende á adquirir por movimientos oscilatorios su posicion perdida, y el segundo describe una circunferencia de círculo incompleta al menor esfuerzo que obra sobre el cuerpo, sin que pueda volver á adquirir su perdida posicion, tendiendo á pararse bajo el eje de suspension segun los principios del equilibrio estable. De lo dicho se infiere que un cuerpo suspendido por un eje resistente, puede presentar los tres estados de equilibrio, segun la posicion que ocupa el centro de gravedad.

92. *Definicion de la masa y de la densidad*. La masa de un cuerpo es la cantidad de materia que encierra, sin relacion alguna á su volúmen: segun esto, la masa de un cuerpo nada tiene que ver con el espacio que ocupa, por que este se refiere á la densidad.

Se llama *densidad* la relacion que existe entre la masa y el volúmen: de ahí se sigue 1.º que bajo el mismo volúmen las densidades de los cuerpos son proporcionales á sus pesos;

2.º que para pesos iguales las densidades están en razón inversa de los volúmenes; 3.º que las densidades están en razón directa de los pesos multiplicados por la razón inversa de los volúmenes; 4.º que el peso relativo de un cuerpo es igual á su volumen multiplicado por la densidad; 5.º que el volumen de todo cuerpo es igual á su peso relativo dividido por la densidad.

93. *Péndulos simples y compuestos.* El péndulo simple es un instrumento ideal muy fácil de concebir, pero que no puede construirse. Hablando con todo rigor el péndulo simple debe ser un hilo sin extension ni pesantez, al extremo del cual se ha fijado una sola molécula de materia ponderable.

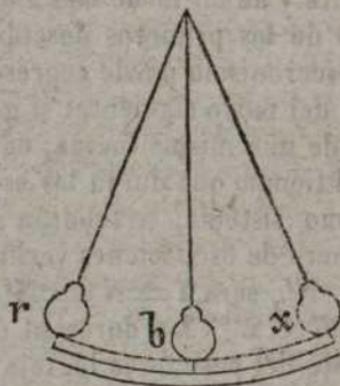
94. El péndulo compuesto consiste en un hilo ó varilla metálica tendida verticalmente, la cual en uno de sus extremos lleva un pequeño peso, y por el opuesto puede moverse con libertad al rededor del punto de suspension: segun esto, un hilo inflexible y sin peso que tenga en uno de sus extremos dos ó mas moléculas ponderables, será un péndulo compuesto; del mismo modo se considera como tal, una varilla metálica dispuesta convenientemente para que en uno de sus extremos pueda sostener una lenteja de metal, ó bien algunas varillas dispuestas bajo las mismas condiciones, formando juntas un sistema. Estos péndulos se aplican á los relojes, á los diferentes sistemas para medir el tiempo, y sirven tambien para observaciones y experiencias físicas del mayor interés, procurando cuanto sea posible que el péndulo se acerque al que se considera como simple. Si el péndulo tiene que emplearse para alguna experiencia física, se construye con una esfera de platino suspendida de un alambre de cobre de suficiente grueso para poderla sostener. La bola está contenida dentro de un casquete esférico soldado ó atornillado al extremo del alambre, y por el opuesto gira sobre un plano de ágata por medio de un cuchillo de acero templado: este péndulo fué inventado por Borda. En los viajes se emplea el péndulo invariable, que no es otra cosa que una varilla que contiene en uno de sus extremos una lenteja ó disco metálica, y por el opuesto está atravesada por un cuchillo de ace-

ro que gira sobre un plamo de ágata ú otra materia muy dura. El péndulo compensador tiene tres, cinco ó siete varillas de metales diferentes, sostenidas por una armadura tambien metálica, y su disco y cuchilla correspondiente.

95. *Leyes de las oscilaciones del péndulo.* Cuando el péndulo se halla en quietud, tiene la posicion vertical; pero si una fuerza le separa de esta posicion, adquiere un movimiento de vaiven, que se repite un número de veces mas ó menos grande hasta que vuelve á adquirir el estado de reposo. Si separamos el péndulo *a*, fig.

15, segun la direccion *a r*, y le dejamos caer libremente, descenderá hasta el punto *b*, para remontarse por el lado opuesto hasta llegar al *x*. En este movimiento el péndulo describe un arco que disminuye proporcionalmente hasta que vuelve á adquirir la posicion vertical. El movimiento de vaiven se conoce con el nombre de *oscilacion*: el ángulo *r a b* se llama *ángulo de separacion* ó simplemente *separacion*, y el ángulo *b a x* recibe el nombre de *ascension* ó solo se dice la *ascension*. El arco descrito desde el punto *r* hasta *x*, forma una oscilacion, y se llama semi-oscilacion descendente á la porcion *r b*, y ascendente á la *b x*. Siendo estos ángulos iguales, parece que el movimiento oscilatorio una vez comunicado no deberia concluir jamas; pero la resistencia del aire y el rozamiento que se verifica en el punto de apoyo le disminuye hasta aniquilarlo.

Fig. 15. *a*



96. Sentados estos principios, pasaremos á determinar las leyes de las oscilaciones del péndulo: estas leyes pueden reducirse á tres.

1.^a Cuando las oscilaciones son muy pequeñas, su duracion es independiente de la amplitud. Se llaman oscilaciones

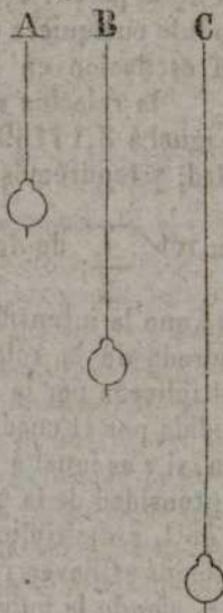
pequeñas aquellas cuyo arco no llega á 4 grados de amplitud, por que pasado este punto se hacen sensibles: cuando dos ó mas oscilaciones se verifican en el mismo espacio de tiempo, se llaman *isócronas*. Para demostrar este principio es indispensable contar muchos centenares de oscilaciones; siendo de notar que el péndulo emplea, con muy corta diferencia, el mismo tiempo en recorrer un arco de 10 grados, que si solo tuviese $\frac{1}{10}$ de grado, siendo así que este último es diez veces menor que aquel. Esto se concibe teniendo presente que cuando el péndulo recorre un arco mas grande, la pesantez comunica una velocidad mayor, por que obra oblicuamente y de un modo mas eficaz. Esta ley del *isocronismo* fué uno de los primeros descubrimientos del inmortal Galileo. El isocronismo puede representarse bajo una fórmula general, del modo siguiente: si g y g' manifiestan dos intensidades de una misma fuerza, en circunstancias diferentes, y t y t' el tiempo que duran las oscilaciones que comunican á un mismo sistema, se tendrán $g: g': t^2: t'^2$, y designando el número de oscilaciones verificadas en un mismo tiempo por N y N' , será $T=N t=N' t'$, luego $g: g': N^2: N'^2$.

97. 2.^a La duracion de las oscilaciones es independiente del peso de la lenteja ó bola, y de la naturaleza de su sustancia. Para probar esta verdad basta tomar esferas de sustancias diferentes por su naturaleza química, como marfil, cobre, madera, etc. y haciéndolas oscilar, estando suspendidas de hilos de igual longitud, se ve que sus movimientos son *isócronos* durante mucho tiempo.

Como la pesantez ejerce la misma accion sobre todas las sustancias, y obra con igual intensidad en cada átomo tomado aisladamente, resulta que un átomo de hierro debe oscilar del mismo modo que otro de marfil, de madera ó de platino.

98. 3.º No sucede lo mismo con la longitud del péndulo, la cual influye de un modo directo en el número de oscilaciones que pueden verificarse en un tiempo dado: así si las longitudes de tres péndulos son entre sí, fig. 16, como 1: 4: 9, el número de sus oscilaciones, para el mismo espacio de tiempo, estará en razón inversa de sus longitudes; de suerte, que mientras el péndulo A da dos oscilaciones, B solo dará una, y cuando A dé tres, C no dará mas que una. De esto se infiere, que la duracion de las oscilaciones son como las raíces cuadradas de las longitudes de los péndulos, ó bien que el número de oscilaciones, está en razón inversa de dichas raíces, lo cual constituye la tercera ley.

Fig. 16.



99. *Aplicacion del péndulo.* De lo dicho se infiere, que el péndulo es un instrumento que sirve para demostrar que la gravedad ó pesantez de los cuerpos varía con las latitudes, y las alturas del lugar donde se observa; se aplica el péndulo como regulador para medir el tiempo, evitando la influencia del calórico; en los viajes se hace uso de él para medir longitudes, y tambien sirve para probar que el planeta que habitamos no es perfectamente esférico (94)

100. *Intensidad de la gravedad ó pesantez.* Siendo la intensidad de la pesantez la que arregla la caída de los cuerpos, el péndulo es un instrumento interesante para poderla medir y comparar en los diferentes lugares de la superficie de la tierra, y los resultados que con él se consiguen, no es posible obtenerlos cuando se usa la máquina de Atwood. Si la fuerza de gravedad ó pesantez dejase de obrar, los péndulos no oscilarían, ni mucho menos los cuerpos en su caída buscarían la superficie de la tierra; pero si al contrario suponemos que la intensidad de la pesantez ha aumentado del

doble ó de un triple, entonces todas las sustancias caerán con mayor velocidad, y el péndulo aumentará proporcionalmente las oscilaciones.

101. Para conocer la relacion que existe entre la duracion de una oscilacion, la longitud del péndulo y la intensidad de la pesantez; supongamos que l sea la longitud de un péndulo cualquiera representada en metros, t la duracion de una oscilacion en este péndulo en segundos sexagesimales, la relacion aproximada de la circunferencia al diámetro igual á 3,1415926, y en fin g la intensidad de la gravedad; y tendrémos la fórmula general adoptada en mecánica

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ de donde se sigue que } g = \frac{\pi^2 l}{t^2}. \text{ De ahí re-}$$

sulta que la intensidad absoluta de la pesantez, es igual al cuadrado de la relacion de la circunferencia al diámetro, multiplicada por la longitud del péndulo que se observa, y dividida por el cuadrado del tiempo de una oscilacion. Ahora bien, si t es igual á 1 se obtendrá $g = \pi^2 l$, y podrá saberse la intensidad de la gravedad, conociendo con exactitud el valor de l , y multiplicarlo por el cuadrado de π . Los señores Valledor y Chavarri han obtenido para Madrid $g = 35,16905$ piés, siendo la longitud del péndulo 3,56537 piés castellanos, y deduciendo por consiguiente que un cuerpo grave corre en 1 segundo $17 \frac{1}{2}$ piés próximamente. Estas cantidades están conformes con las que se dan en Paris representadas en metros. En Granada un péndulo de un metro de longitud ó 3,56537 piés castellanos, hace en un minuto 60 oscilaciones, lo que da $t = 1''$, luego la intensidad de la gravedad y el descenso de los cuerpos, es el mismo que en Madrid y Paris.

Segun las observaciones de varios físicos y viajeros la intensidad de la pesantez disminuye á medida que nos elevamos sobre el nivel del mar, ó bien si descendemos al interior de la tierra; en este último caso el cálculo prueba que la disminucion se verifica en razon directa de la distancia al centro. La intensidad de la pesantez es tambien diferente, se-

gun el punto de la superficie de la tierra en que se observa, siendo de notar que disminuye á medida que mas nos aproximamos al ecuador.

102. *Figura de la tierra.* Las alteraciones que se notaron en la manera de oscilar el péndulo, probaron del modo mas convincente que la tierra no era esférica. Con efecto, si el planeta en que vivimos fuese una esfera perfecta y sin movimiento de rotacion, la accion de la gravedad seria la misma en cualquier punto de su superficie, y un péndulo de una longitud dada, oscilaria del mismo modo, cualquiera que fuese la posicion del lugar en que se verificase una observacion; pero como la tierra está animada de un movimiento al rededor de su eje, la accion de la fuerza centrífuga disminuye la intensidad de la pesantez, en la misma razon que ella aumenta, y siendo esta fuerza mayor en el ecuador, resulta que la accion de la gravedad disminuye en este punto del globo.

Muchos son los fenómenos que desde remotos tiempos manifestaron que la tierra era circular: los navegantes que marchando siempre en la misma direccion vuelven al punto de donde salieron despues de haber dado la vuelta á la tierra, hicieron sospechar que la figura de nuestro planeta seria esférica. Sin embargo Newton indicó que estaba aplanada por los polos y levantada por el ecuador.

103 *Si el globo terráqueo estuvo en su origen en el estado de fluido igneo pastoso, como lo prueban las observaciones de los geólogos, claro está que el movimiento de rotacion debió alterar su esfericidad, y dando mayor fuerza centrífuga á las partes próximas al ecuador, se levantaron estas, al paso que los polos se aplastaron; por consiguiente, la tierra donde vivimos es una esfera de revolucion, semejante á la que presentaria una masa fluida en el espacio animada al propio tiempo del movimiento de rotacion. Ademas los grados de meridiano son mayores en los polos y menores en el ecuador, lo que prueba tambien que la tierra no es una esfera perfecta, por que en este caso todos los grados deberian ser iguales como partes de un mismo círculo.*

104. *Se ha apreciado de diverso modo el valor del apla-*

namiento de los P y P' , fig. 17, ó mejor la diferencia entre el diámetro P y P' tomado de uno á otro polo, y el diámetro x x' : en el dia se admite que la relacion del eje polar al diámetro ecuatorial es de

$\frac{304}{305}$; de donde se infiere que

el aplastamiento en los polos

es de $\frac{1}{305}$. Admitidos estos

datos se tendrá, para el radio de ecuador $\equiv 6,376.851$ metros.

Radio de los polos $\equiv 6,355.943$ metros.

Superficie de la tierra $\equiv 510,108,857$ miriámetros cuadrados.

Volúmen de la tierra $\equiv 1,082,634,000$ miriámetros cúbicos.

Representando estas cantidades en unidades españolas, tendremos:

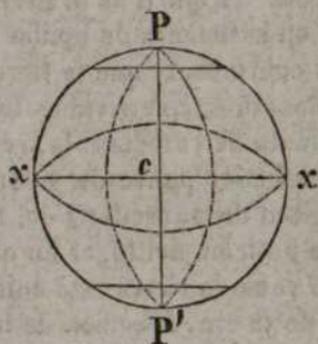
Radio de ecuador..... 22,735.883 piés 3 pulgadas.

Radio polar..... 22,599.288 ,, 5 ,, 11 lin.

Superficie de la tierra. 729,722.919,555.000 var.² cuad.²

Volúmen de la tierra.. 1.853,566.845,2060.000,000 varas cúbicas. (NOTA)

Fig. 17.



(NOTA.) La reduccion de los miriámetros cúbicos á varas cúbicas presenta á primera vista alguna dificultad. Siendo cada miriámetro igual á 10.000 metros, los 1.082,634.000 miriámetros cúbicos, equivaldrán á $(1.082,634.000 \times 10.000^3)$ metros cúbicos; esto es, darán por producto 1.082,634.000,000.000,000.000: luego la cuestion tiene por objeto unicamente á reducir este número expresado en metros cúbicos á unidades de medida española.

Segun la traduccion de Lacroix por el Sr. Rebollo, pág. 346, cada metro cúbico vale 1,71209 varas cúbicas: luego

105. *Densidad media de la tierra.* No es posible dar á conocer de un modo absoluto, cual sea la densidad media del planeta que habitamos; sin embargo, de las observaciones de Maskelye, Playfair, y Cavendish se deduce, que la densidad media de la tierra es próximamente cinco veces mayor que la del agua destilada, y por lo tanto casi doble de la que corresponde á su corteza: Laplace suponiendo que la densidad de la superficie es igual á 1, ha hallado que la que corresponde á la tierra es de 1,55, y últimamente Baily asegura que es de 3,9326 mayor que la densidad del sol, y 2,75 mayor que la del agua destilada.

106. *Máquinas.* Llámase *máquina* un instrumento ó aparato mas ó menos complicado, capaz de transmitir la acción de un agente á otro cuerpo que no está en su direccion. Las máquinas pueden ser simples y compuestas: las primeras son aquellas donde la fuerza que obra se transmite inmediatamente al cuerpo ó resistencia; estas son segun unos tres, hay físicos que las hacen llegar á cinco, y muchos solo consideran como máquinas simples la palanca y el plano inclinado: las segundas son todas las que resultan de combinar varias máquinas simples, y su número y aplicacion no tiene límites. En toda máquina hay que tener presente cuatro cosas, á saber: la potencia, la resistencia, el punto de apoyo y el centro de gravedad.

los 1.082.634000.000000.000000 metros cúbicos, equivaldrán á $(1082.634000.000000.000000 \times 1,71209)$ varas cúbicas.

Dividiendo el multiplicando por 100.000, y multiplicando el multiplicador por este mismo número 100.000 lo que es igual á quitar cinco ceros en el multiplicando, y suprimir la coma en el multiplicador, tendremos representado el número de varas cúbicas por $(10826340000000000 \times 171209)$ que es el número de varas españolas á que valen los 1.082,634.000 miriámetros cúbicos que nos propusimos reducir.

107. Para que una máquina se ponga en movimiento, es necesario que la fuerza ó potencia ejerza su accion á cada instante, por que de otro modo su efecto seria intermitente, ó bien cesaria de todo punto. Esto se concibe con facilidad: la máquina adquiere un movimiento por la accien de la fuerza que actua, cuyo movimiento se difunde por toda ella, ó es absorbido por los razonamientos y la resistencia que ha de vencer. Los motores que se emplean para pouer una máquina en accion son cuatro; la fuerza expansiva del vapor, las caidas de agua, la impulsion de los vientos, y finalmente la resistencia muscular en el hombre y los animales.

108. Para representar el efecto dinámico de una máquina, se busca el peso que puede levantar en un tiempo dado, á una altura tambien dada. Representando este peso por P , la altura por a , por t el tiempo que dura este ascenso y el efecto dinámico por x , se tendrá la fórmula:

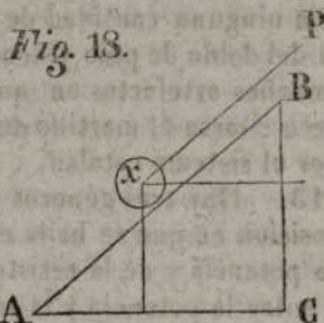
$$x = \frac{P \times a}{t}$$

La unidad dinámica ó dinamia, se representa por un peso de 1000 quilógramos ó un metro cúbico de agua destilada elevada á 1 metro de altura en 1^o, ó bien por un quilógramo cuando la máquina es de pequeñas dimensiones.

109. *Equilibrio en las máquinas.* Se dice que una máquina se halla en equilibrio, cuando la potencia es igual á la resistencia. En las máquinas simples el equilibrio se restablece, tan luego como la fuerza empleada para un efecto halla un obstáculo que la contraresta; pero cuando la máquina es compuesta, hay que considerar la razon de la potencia á la resistencia en que se verifica el equilibrio, lo cual es el resultado de todas las razones que se obtendrian con cada una de las máquinas simples consideradas aisladamente.

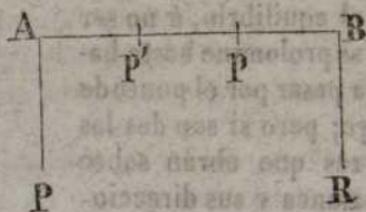
110. *Máquinas simples.* Las máquinas que hablando con todo rigor deben considerarse como simples, son, el plano inclinado, la palanca y las cuerdas ó máquinas funiculares. Se dará, no obstante, una idea de las que algunos físicos clasifican como tales.

111. *Plano inclinado.* Se conoce con el nombre de plano inclinado todo aquel cuya posición con el horizonte forma un ángulo agudo, fig. 18. Un cuerpo x colocado sobre el plano AB , rodaría hacia el punto A , si una potencia P ó P' no se opusiera á ello. La potencia puede ser paralela al plano inclinado como xP , ó paralela á la base AC como xP' . En el primer caso cuando el equilibrio se restablece, la potencia es á la resistencia, como la altura del plano es á la longitud; y en el segundo se tendrá, que la potencia es á la resistencia, como la altura del plano es á la longitud de la base; lo que da $P:R::CB:AB$ para el primer caso, y $P:R::CB:AC$ para el segundo.



112. *Palanca.* La palanca es una barra recta, curva ó angular, que puede girar al rededor de un punto fijo llamado *punto de apoyo*. En la palanca se aplica generalmente la potencia y la resistencia en los extremos; de modo que las distancias entre el punto de apoyo y aquellas dos fuerzas se llaman brazos de la palanca. Como el punto de apoyo puede cambiar de posición segun el uso á que se destina la palanca, resulta que la potencia aumenta ó disminuye lo mismo que la resistencia, segun la colocacion de aquel punto. Así en la palanca AB , fig. 19, el punto de apoyo p se halla equidistante de la potencia y la resistencia, lo que da $P:R::Ap:pB$; pero si el punto de apoyo se coloca en P' , entonces la resistencia es mayor, lo

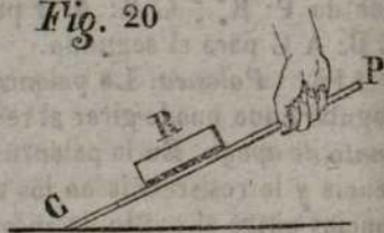
Fig. 19.



cual exige aumentar la potencia si hay necesidad de restablecer el equilibrio; es decir, que si en el primer caso la potencia estaba representada por 40 arrobas y la resistencia por otras tantas, en el segundo sin haber añadido á la resistencia ninguna cantidad de materia ponderable, ha aumentado del doble de peso y necesita una potencia doble. Entre los muchos artefactos en que se ve aplicado este principio, merece citarse el martillo de las forjas de extraccion de hierro por el sistema catalan.

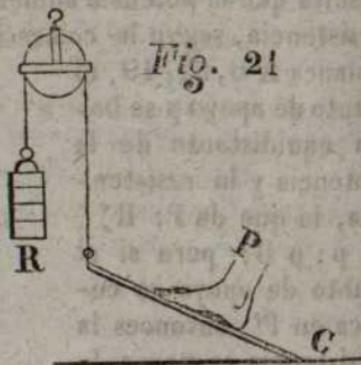
113. Hay tres géneros ó especies de palancas segun la disposicion en que se halla el punto de apoyo, y la aplicacion de la potencia y de la resistencia. Cuando el punto de apoyo está entre la potencia y la resistencia, la palanca es de primer género; en este caso están las tijeras, balanzas, alicates, tenazas y otra multitud de instrumentos de grande uso; la fig. 19 es una palanca de primer género. Si el punto de apoyo está situado á un extremo de la palanca, ó bien si la resistencia se halla entre la potencia y el punto de apoyo, como $P \text{---} R \text{---} C$, la palanca es de segundo género, fig. 20, últimamente si el punto de apoyo está en un

Fig. 20



extremo, y la potencia se halla entre este y la resistencia, como $C \text{---} P \text{---} R$ entonces la palanca será de tercer género, fig. 21. Cuando una sola fuerza obra sobre una palanca, no puede establecer el equilibrio, á no ser que se prolongue hasta hacerla pasar por el punto de apoyo; pero si son dos las fuerzas que obran sobre la palanca y sus direccio-

Fig. 21



nes están en sentido opuesto, entonces habrá lugar al equilibrio.

La fuerza de toda palanca está fundada en el siguiente principio: *el arco descrito por cada punto de una palanca, es como la distancia entre este y el punto de apoyo.* De suerte, que una pequeña potencia aplicada á un brazo de palanca proporcionalmente muy largo, podrá levantar un peso excesivamente grande. Por esto decia Arquímedes *Da punctum, cælum terramque movebo.*

114. *Balanza.* La balanza no es otra cosa que una palanca de primer género: se conoce la *balanza comun* en la que el punto de apoyo se halla equidistante de la potencia y la resistencia, y la *romana* cuando el punto de apoyo está mas inmediato á un extremo. La balanza comun se compone de una vara metálica llamada *cruz*, cuyo centro ó *fiel* puede oscilar libremente en rededor de un eje fijo: de los extremos de la cruz están suspendidos dos platillos destinados á recibir los cuerpos que deben equilibrarse; el fiel se halla colocado dentro de la *alcoba*, y sirve para manifestar cual de los platillos pesa mas. Esta misma balanza ejecutada con la mayor perfeccion posible, y con algunas ligeras modificaciones, recibe nombres diferentes segun el uso á que se destina; así se conocen la balanza hidrostática, la analítica, la de *Fortín*, etc.

115. Para conocer el peso relativo de un cuerpo, basta equilibrarlo en la balanza con otro cuyo peso sea conocido, tomando por tipo una unidad. En España sirve la libra castellana que equivale á 16 onzas, y en Francia se usa el *gramo*, que es el peso de un centímetro cúbico de agua destilada y hervida tomada á $+4^{\circ},4$, y bajo la presión de $0,76$: el gramo equivale á 20,0307 granos del peso de Castilla. Una balanza por exquisita que sea su sensibilidad, no puede determinar de un modo exacto el peso relativo de un cuerpo, y los físicos emplean uno de los métodos propuestos por los Señores Borda y Azofra.

116. La romana es otra especie de balanza que consta de una cruz, cuyo fiel se halla en uno de sus extremos; de

modo que presenta dos brazos de palanca, uno muy corto donde se cuelgan los cuerpos que deben pesarse, y otro muy largo, dividido en partes iguales, por donde corre un pilon ó contrapeso. Se conocen tambien varias clases de romanas.

117. *Cuerdas ó máquinas funiculares.* Las cuerdas son unos cuerpos flexibles y prolongados, contruidos con sustancias orgánicas ó inorgánicas preparadas por medio de la filatura ó la hilera, y reunidas por la torsion. En las cuerdas hay que considerar la resistencia que oponen á plegarse, ó bien el roce cuando corren por la garganta de una polea, y la fuerza de tension para que no se rompan con la resistencia que opone el peso que han de sostener. Segun el uso para que se destinan, se construyen con lino, cáñamo, pita, esparto, seda, nervios de varios animales, alambre de hierro, laton, plata y con otras sustancias minerales y vegetales.

118. *Máquinas que algunos consideran como compuestas.* Estas máquinas son la polea, las ruedas dentadas, el torno ó cabria, el cric ó gato, la cuña y el tornillo. En toda máquina compuesta, hablando en general, se establece el equilibrio entre una potencia y una resistencia que obran en direcciones opuestas cuando la potencia es á la resistencia, en la razon compuesta de todas las razones que deben hallarse entre una y otra, en cada una de las máquinas simples que constituyen la compuesta. Este principio se prueba del modo mas convincente por medio de la palanca compuesta: los brazos cortos de cada palanca están representados por uno, y los largos por cuatro; de modo que multiplicando el uno dos veces por sí mismo da uno, y verificando lo mismo con el 4, da 64; luego la potencia es á la resistencia como 1:64.

119. *Polea.* La polea, llamada tambien garrucha, es un plano circular de madera ó metal, que se mueve en rededor de un eje, y está sostenido por medio de una chapa: en el espesor ó grueso tiene una hendidura semicircular, conocida con el nombre de garganta, la cual está destinada para recibir una cuerda. La polea puede considerarse como un conjunto de palancas de primer género. La polea puede ser fija y móvil: es fija cuando su movimiento se verifica al rededor de su eje,

fig. 22; y móvil cuando además de este movimiento puede trasladarse de un punto á otro, fig. 23. Las poleas fijas y las mo-

Fig. 22.

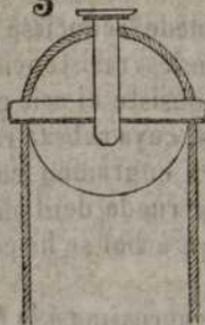
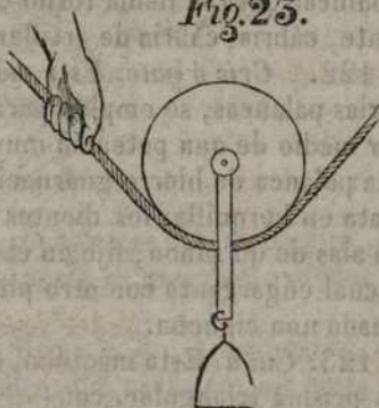


Fig. 25.



vibles se combinan con el objeto de aumentar el efecto de la potencia: la combinación de las poleas se llama *trócula* ó poleas troculadas, designando además el número de poleas que las forman; así se dice trócula de dos poleas, de cuatro poleas etc.: la máquina que entre nuestros cargadores y albañiles se llama *aparejo* es una trócula de dos, tres ó cuatro poleas.

120. *Ruedas dentadas.* Las ruedas dentadas son también combinaciones de palancas de primer género. Estas ruedas unas veces no son otra cosa que planos circulares de madera ó de sustancias metálicas, cuyo espesor está provisto de dientes; otras son de figura piramidal ó cilíndrica, y sus dientes al rededor de la altura tienen la forma de un espiral; y en fin las hay que los dientes ó hendiduras están en una de sus caras: todas estas disposiciones dependen del uso á que se destinan. Las ruedas dentadas giran al rededor de un eje, ó bien este hace parte integrante de la rueda y gira sobre una superficie curva que le sirve de punto de apoyo.

121. *Torno ó cábria.* Esta máquina consiste en un cilindro horizontal ó vertical que gira sobre dos mortajas he-

chas en los puntos de apoyo. El torno recibe grandes modificaciones con el objeto de aumentar el efecto de la potencia. Le acompaña en muchos casos una gran rueda ó tambor hueco, á donde se coloca la potencia. Segun estas distintas modificaciones se llama torno comun, torno minero, cabrestante, cábria, cábria de artillería, etc.

122. *Cric ó gato*. Esta máquina que puede reducirse á varias palancas, se emplea para vencer grandes resistencias por medio de una potencia muy pequeña. Consiste el cric en una palanca de hierro guarnecida de dientes, cuya cabeza remata en horquilla: los dientes de la palanca engraman con las alas de un piñon, fijo en el árbol de una rueda dentada, la cual engarganta con otro piñon sobre cuyo árbol se ha colocado una cigüeña.

123. *Cuña*. Esta máquina, cuya figura se aproxima á la de un prisma triangular, consiste en un cuerpo cualquiera duro y puntiagudo por uno de sus extremos, y con un plano en el opuesto llamado *base* ó cabeza. La cuña es simple cuando su perfil se puede representar por un triángulo rectángulo como ABC fig. 24; y doble siempre que resulta de dos prismas rectangulares unidos por su altura, como ABcD, fig. 25.

124. *Tornillo ó rosca*. El tornillo es una máquina que consta de dos piezas; una que se llama *tornillo*, y la otra *tuerca* ó *matriz*. El tornillo es un cilindro recto rodeado de un borde ó filete saliente, en el cual el primer intervalo se halla entre dos revoluciones, que se

Fig. 24

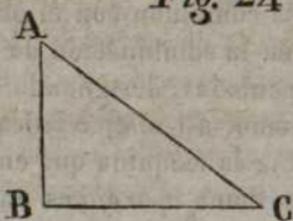
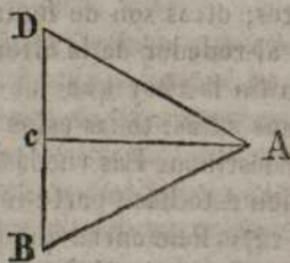
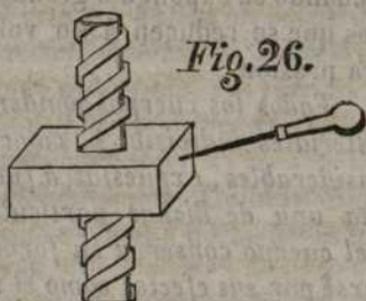


Fig. 25



repiten en toda su longitud: fig. 26. La tuerca es un sólido que contiene un plano espiral encerrado en los contornos de un agujero, de manera que los pasos del tornillo se corresponden con los planos cóncavos de la tuerca. En esta clase de máquinas, unas veces el tornillo gira, y la tuerca está fija, y en otras la tuerca se mueve al rededor del tornillo.



125. Se conoce la rosca llamada de Arquímedes, que según opinión de algunos eruditos fué usada por los egipcios, la cual no es otra cosa que un tubo de metal conducido circular y oblicuamente al rededor de un cilindro. Este aparato apenas se usa, porque su efecto es insignificante.

MECÁNICA DE LOS CUERPOS FLUIDOS.



LECCION V.

Hidrostatica é hidrodinámica.

126. *Objeto de la hidrostática.* La hidrostática tiene por objeto determinar las condiciones del equilibrio de los líquidos, y las presiones que ejercen sobre las paredes de los vasos que los contienen.

Se llaman fluidos aquellos cuerpos cuyas moléculas están dotadas de grande movilidad, y son capaces de tomar la misma figura que los vasos que los contienen. Los fluidos se dividen en *liquidos* y *gases*. Los primeros disminuyen algun tanto su

volúmen cuando se exponen á grandes presiones, y los segundos son los que se reducen á un volúmen muy pequeño por una ligera presion.

127. *Todos los cuerpos ponderables son el resultado de partes materiales indivisibles, colocadas á distancias mas ó menos considerables, expuestas á fuerzas distintas que obran sobre cada una de dichas particulas, y están en equilibrio mientras el cuerpo conserva su forma. Estas fuerzas deben considerarse por sus efectos como el resultado de dos clases de accion de naturaleza opuesta; una atractiva y otra repulsiva: aquella existe en la materia misma, aumenta con la aproximacion de los átomos, y disminuye con la distancia; y esta depende tambien de la distancia; pero mas principal é inmediatamente de la intensidad del calor. Así los diversos estados de los cuerpos pueden explicarse segun predomina en ellos la fuerza atractiva ó repulsiva, ó bien por un perfecto estado de equilibrio. Para el estado sólido se supone existir este equilibrio; pero como un cuerpo al adquirir este estado, experimenta modificaciones que alteran su forma geométrica, su densidad y otras propiedades, ha sido menester que los físicos buscasen otro medio para explicar estos fenómenos de un modo mas satisfactorio. Todas las alteraciones y modificaciones que un cuerpo puede presentar al adquirir el estado sólido, dependen del eje de las particulas del cuerpo: este eje se orienta para que el átomo adquiriera una direccion dada, y el conjunto de acciones en todos ellos da por resultado el equilibrio homogéneo. Así no nos sorprenderá que cada partícula, supuesta esférica, tenga su eje y sus polos. En el estado de fluido se nota que el oriente que han adquirido los ejes de las particulas, apenas tiene influencia sobre las condiciones del equilibrio. Este estado se distingue en líquido y gaseoso. Para el primero es indispensable la influencia del calor, que repartido con uniformidad en la superficie de cada partícula ejerce sobre ellas su accion repulsiva, y al propio tiempo aumenta extraordinariamente la presion interior; de donde resulta la poca compresibilidad de que están dotados: los segundos aumentan su volúmen aparente por las grandes*

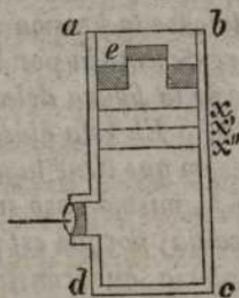
cantidades de calor que absorben, ocupan uniformemente todo el espacio que se les ofrece hasta que hallan un obstáculo sólido sobre el cual ejercen su acción elástica; la influencia de los ejes de cada átomo es del todo insensible, sus fuerzas atractivas están por lo tanto aniquiladas, y pueden reducirse por la presión á volúmenes mucho menores.

128. *Objeto de la hidrodinámica.* La hidrodinámica es una parte de la mecánica que se ocupa de las leyes que rigen al movimiento de los fluidos.

129. *Principio de la igualdad de presión.* Los cuerpos líquidos tienen caracteres peculiares dependientes de los ya indicados, que los separan de los sólidos; entre ellos podemos marcar como esencial, la facultad de *transmitir á todas sus partes, cualquiera presión que actúa sobre un punto de la superficie*: esta propiedad se llama principio de la igualdad de presión, y es una consecuencia necesaria de la hipótesis admitida para explicar la constitución interior de los líquidos.

Para demostrar este principio, supongamos un vaso *a b c d*, fig. 27, en el cual se ha colocado un líquido que consideraremos sin gravedad: si sobre la superficie de este líquido se aplica un émbolo *e* desprovisto también, por suposición, de pesantez, no habrá inconveniente en agujerear el vaso por cualquier punto, porque el fluido permanecerá dentro de él en su estado normal; pero desde el momento en que el émbolo se hace

Fig. 27.



pesado, ejerce su acción sobre la superficie del líquido, la cual es transmitida en toda la masa. Supongamos que la presión que ejerce el émbolo sobre el líquido sea de 10 quilógramos, esta presión se transmite á la primera capa *x*, de aquí pasa á la segunda, y continua hasta el fondo, donde la presión es igual á 10 quilógramos, es decir, como si el émbolo obrara directamente sobre él.

130. *Para demostrar el principio de la igualdad de pre-*

sion hemos supuesto que el liquido estaba desprovisto de la accion de la pesantez; pero si el fluido es pesado, entonces la presion sobre las distintas capas es diferente, porque hay que tener en consideracion la cantidad de fluido que gravita sobre aquella capa. De aqui se infiere que esta presion varia segun la altura del liquido sobre el punto en que se considera, siendo igual en todo al plano horizontal de la misma capa de nivel, y á su máximo en el fondo del vaso. Por consiguiente, no debe confundirse la presion que obra sobre la superficie de un fluido, cuya accion se trasmite con regularidad por toda la masa, con la que proviene de la pesantez que varia con la altura, y se hace considerable cuando la masa fluida tiene mucha profundidad. Si representamos por p la presion que resulta de la accion de la pesantez de una masa liquida en equilibrio, por g la intensidad de esta fuerza, d la densidad del liquido y por a la altura que separa el nivel superior del plano horizontal que contiene la unidad de superficie donde se verifica esta presion; se tendrá $p = g d a$. Supongamos que el vaso tiene el fondo horizontal, y abraza b unidades de superficie, colocadas á a' de altura debajo la superficie libre; en este caso la presion total P que obrará sobre el fondo, estará representada por $P = g d a' b$. Esta presion es independiente de la figura del vaso.

131. En esta clase de experimentos no debe confundirse la presion que tiene lugar sobre el fondo del vaso, con la que ejerce el mismo vaso sobre el plano que le sostiene y se opone á la caída, porque esta última es igual á la suma del peso de la materia que constituye el vaso y la del liquido que contiene.

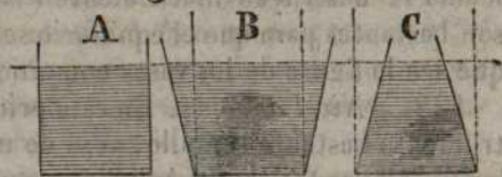
132. Del principio de igualdad de presion emanan tres consecuencias generales, que pueden considerarse como leyes, á saber: 1.^a la presion se trasmite de arriba abajo sobre superficies horizontales, sin que su primitiva fuerza disminuya; 2.^a que esta presion es igual en todos los puntos; y 3.^a que es proporcional á la cantidad de superficie sobre que se considera obrando.—El principio de igualdad de presion tiene lugar del mismo modo sobre las sustancias gaseosas.

133. *Condiciones del equilibrio de los líquidos.* De lo dicho se infiere, que la resultante de las fuerzas que solicitan á una molécula en la superficie de un líquido debe ser igual á cero, y perpendicular en cada uno de sus puntos á la direccion de la pesantez. De otro modo no podria subsistir el equilibrio, porque se obtendrian dos fuerzas, una de presion que obraria sobre la masa, y otra tangente á los átomos inmediatos, que los haria tomar nuevas posiciones. De esto se deduce, que las condiciones del equilibrio de los líquidos pueden reducirse á tres: 1.^a que la superficie de un líquido en equilibrio es perpendicular á la direccion de la gravedad; 2.^a que toda molécula de una masa fluida, sufre la accion de varias fuerzas iguales, pero que obran en direcciones opuestas; y 3.^a que cuando varios líquidos diferentes están en equilibrio dentro de un vaso, las superficies de separacion deben ser horizontales.

134. *Presiones verticales y laterales.* Los líquidos cuando se hallan en equilibrio ejercen en las superficies de los vasos que los contienen, y aun sobre sí mismos, presiones mas ó menos considerables: estas pueden ser *verticales y laterales*.

La presion se llama *vertical* cuando tiene lugar de arriba abajo ó vice-versa. Esta presion es independiente de la figura que tenga el vaso, y es igual al peso de una columna del mismo líquido que tenga por base la superficie del fondo del vaso, y por altura la distancia perpendicular desde el plano inferior al nivel del fluido: de ahí se infiere, que cuando las paredes del vaso son verticales, la presion que actua sobre el fondo es igual al peso total de la masa de fluido; pero esta presion es menor, si la figura del vaso es la de una pirámide truncada ó cono en posicion invertida, al paso que es mayor, si están en su posicion natural. De suerte que si tres vasos A B C, fig. 28, tienen sus bases iguales, y están llenos del mismo líquido, las cantidades de cada uno

Fig. 28.



son distintas; pero las presiones sobre cada uno de sus fondos son iguales.

Para probar este principio, que se conoce con el nombre de *paradoja hidrostática*, se valen los físicos del aparato de M. Haldat, cuya descripción omito por ser uno de los aparatos que se hallan en los gabinetes de física, sin embargo de estar fundado en el experimento que se ha indicado en la figura 27.

La presión de abajo arriba es absolutamente igual á la de arriba abajo: para probarlo basta un cilindro de cristal obturado por uno de sus extremos; si se introduce en un vaso que tenga agua, permanece el obturador por la presión de abajo arriba, pero tan luego como dentro del cilindro se vierte agua y se restablece el equilibrio, el obturador se cae por sí mismo.

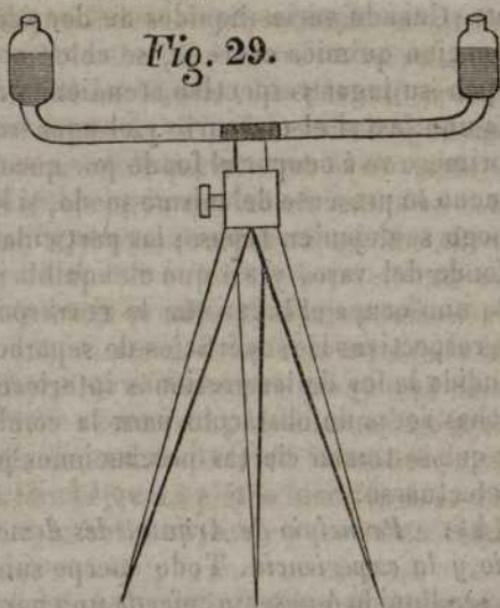
135. La presión *lateral* es la que tiene lugar cuando las moléculas de un líquido ejercen la acción de la gravedad sobre un punto de las paredes del vaso que le contiene: esta presión es igual al peso de una columna de líquido que tenga por altura vertical el centro de gravedad de la pared debajo del nivel, y por base horizontal una superficie igual á la misma pared.

136. *Centro de presión*. Se llama centro de presión el punto de aplicación de la resultante de todas las presiones elementales: el punto de presión se halla colocado un poco mas abajo del centro de gravedad.

137. *Equilibrio de los líquidos homogéneos en vasos que se comunican*. Para que un líquido colocado en diversos vasos puestos en comunicación esté en equilibrio, es indispensable que la superficie sea perpendicular á la dirección de la pesantez, y que la acción de las fuerzas que obran sobre cada molécula se destruyan mutuamente (133). Estas condiciones son bastantes para que el equilibrio se restablezca, cualquiera que sea la figura de los vasos comunicantes.

138. *Nivel de agua*. En este principio se funda un instrumento bastante sencillo, pero de mucha importancia para buscar planos tangentes á diversos puntos de la superficie de

la tierra, llamado *nivel de agua*. Este aparato, fig. 29 consiste en un tubo horizontal, en cuyos extremos se han fijado dos ampollas de cristal: el tubo puede ser de laton, hoja de lata ú otra sustancia semejante, y por el centro se coloca sobre un trípode provisto de un tornillo para sujetarlo. Cual-



quiera que sea la posición del instrumento, mientras que sea horizontal, las superficies del líquido en las ampollas estarán á nivel, y los rayos visuales serán siempre horizontales.

139. Pero cuando dos líquidos tienen diferente la densidad, y se colocan en vasos que se comunican entre sí, sus alturas correspondientes están en razón inversa de sus densidades; suponiendo siempre que los líquidos por el contacto no tienen acción química. Un experimento muy sencillo puede probar esta verdad. Si en un tubo encorvado se vierte agua y mercurio, al momento se ve que el equilibrio se restablece, y que el agua se eleva sobre el plano de la superficie de separación en la razón de $13\frac{1}{2}$ á uno, porque esta es la razón que guarda la densidad del mercurio respecto la del agua.

Siendo d y d' las densidades de los líquidos, y a y a' las alturas sobre el plano horizontal P de la superficie de separación, una vez restablecido el equilibrio se tendrá, que $a : a' :: d' : d$; es decir $g d a = g d' a'$. Este principio es exacto aun cuando varíe el diámetro de cada uno de los vasos comunicantes.

140. Superposición de varios líquidos de densidad dife-

rente. Cuando varios líquidos de densidades diferentes, pero sin acción química entre sí, se colocan en un mismo vaso, ocupan su lugar respectivo atendiendo al peso específico de cada uno: así si el mercurio y el agua se ponen en un vaso, el primero va á ocupar el fondo por que es mas pesado. El fenómeno se presenta del mismo modo, si los líquidos se agitan, y luego se dejan en reposo; las partículas mas pesadas ganan el fondo del vaso, y así que el equilibrio se ha restablecido cada uno ocupa el lugar que le corresponde segun su densidad respectiva: las superficies de separacion son horizontales atendida la ley de las presiones interiores. Esta propiedad es muchas veces un obstáculo para la combinacion, y he aquí por que se toman ciertas precauciones para que aquella pueda efectuarse.

141. *Principio de Arquímedes demostrado por el raciocinio y la experiencia*. Todo cuerpo sumergido en un fluido, ora sea líquido ó gaseoso, *pierde una parte de su peso igual al peso del volúmen de fluido que desaloja*. Esta ley se conoce con el nombre de su ilustre inventor. Cuando un cuerpo sólido se introduce en un líquido, puede hallarse en tres estados diferentes, á saber: sobre-nadando en la superficie, perfectamente sumergido, ó bien en el fondo del vaso. Estos tres estados dependen del peso específico del cuerpo, y del peso que tiene el volúmen de líquido desalojado: cuando el cuerpo sumergido pesa específicamente menos que el líquido, entonces sobre-nada; si pesa específicamente lo mismo que el líquido, se halla del todo sumergido; pero en el caso de ser su peso mayor, va á ocupar el fondo del vaso.

Si se concibe un cubo sumergido en un líquido que pese específicamente lo mismo que él, se tendrá que el fluido comprime las seis caras del sólido; pero esta presión no es igual segun la posición en que se examina el cuerpo. Las caras laterales experimentan la acción de columnas líquidas de igual intensidad, pero cuyas direcciones obran en sentido opuesto; de suerte que se destruyen mutuamente, y el sólido sumergido se halla en equilibrio. La presión contra la cara superior se verifica de arriba abajo, y es igual á una colum-

na de líquido que tiene por base la cara superior del cuerpo sumergido, y por altura la distancia perpendicular de esta superficie al plano del nivel del líquido. La presión contra la cara inferior que tiene lugar de abajo hácia arriba, es igual á la diferencia que hay entre la presión del fluido contra la superficie inferior del sólido, y la que se verifica en la cara superior; de suerte que la presión de arriba abajo mas el exceso de peso del cuerpo tienden á hacerle bajar, al paso que haciéndose preponderante la presión de abajo arriba tiende á hacerle subir; de donde resultan los tres estados indicados en que puede hallarse un sólido sumergido en un fluido. Cuando el cuerpo por un exceso de presión de abajo arriba, llamada *empuje del fluido*, sobre-nada en la superficie, una parte está sumergida en el líquido y otra fuera de él, en este caso el *volúmen de líquido desalojado*, pesa tanto como el cuerpo *flotante*.

142. Los físicos al ratiocinar sobre el principio de Arquímedes, nos han dicho solamente lo que perdía el cuerpo por su inmersión en un fluido; pero ningun experimento conozco para saber lo que el agua puede ganar, ó hablando en tésis general, lo que el fluido gana por aquella inmersión. Este principio enunciado de un modo tan vago puede inducir á error, porque denota en el cuerpo sumergido una pérdida real. Si tomamos una cantidad de agua ú otro líquido, y la pesamos junto con un cuerpo cualquiera, se nota que el peso no se altera ora esté el sólido sumergido, ora esté fuera del líquido. De suerte que para observar la pérdida del peso en el sólido sumergido, hay que desentenderse del fluido, y solo apreciar la cantidad desalojada por la inmersión. ¿Y de dónde depende esta cantidad de líquido desalojado? Del volúmen que tiene el sólido sumergido, el cual corresponde á su densidad. Así hemos visto en el párrafo anterior, que si el sólido es específicamente mas ligero que el líquido, parte se sumerge en él, y parte sobre-nada; de modo que el líquido ejerce una resistencia que aumenta con su densidad: por esto vemos que el hierro que se precipita dentro del agua hasta llegar al fondo, sobre-nada en el mercurio. Cuando el sólido se halla cu-

bierto por el fluido, este aumenta de peso, de una cantidad igual al volúmen desalojado, de modo que el fluido gana lo que perdió el sólido, y cuando sobre-nada entonces el fluido aumenta de una cantidad igual al peso del sólido: estas consecuencias se deducen del principio general, y pueden servir para conocer las densidades de los fluidos (146).

143. Para demostrar el principio de Arquímedes por medio de la experiencia, se conoce la *balanza hidrostática*. Es una balanza comun, fig. 30, donde los cuerpos pueden pesarse en el aire

y en el agua. Si en el platillo *a* ó en el garfio que tiene en la parte inferior se coloca un cuerpo cualquiera, y en el *b* las pesas suficientes para restablecer el equilibrio, este se pierde tan luego como el cuerpo se sumerge dentro del liquido que tiene el vaso *p*. Mas si del vaso se separa el agua suficiente para que el nivel del liquido vuelva al punto que

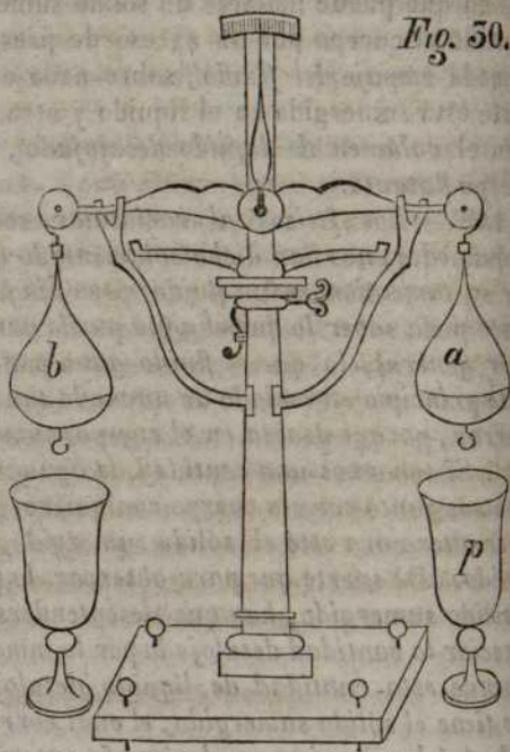


Fig. 30.

tenia antes de la inmersión del sólido, se nota que la cantidad de agua separada es igual al peso que perdió el cuerpo por su inmersión. Para verificar esta operación con toda comodidad se tiene un cilindro macizo de cobre ó de latón que entra con exactitud en otro hueco y muy delgado: se pesa el

todo en el aire, luego se separan los dos cilindros y se introduce el macizo en el agua; desde luego se ve que el equilibrio falta, y para restablecerlo basta colocar en el otro platillo el cilindro hueco y llenarle de agua: esta cantidad de líquido representa el volúmen del cilindro que está sumergido, y por lo tanto el peso que perdió por la inmersión.

144. *Determinación de las densidades de los cuerpos sólidos y líquidos.* En el principio de Arquímedes está fundado el conocimiento de las densidades de todos los cuerpos.

En otra parte se dió el nombre de masa (86) á la suma de moléculas ponderables que componen un cuerpo, sin atender al volúmen que ocupa. La *densidad* de un cuerpo ó su *gravedad específica*, es la cantidad de materia que contiene con relacion á su volúmen, ó bien la masa comparada á la unidad de volúmen; de suerte que la densidad no es otra cosa que la relacion del peso con el volúmen.

Para un cuerpo homogéneo donde la masa es proporcional al volúmen, se tiene $m = d v$; suponiendo que d representa la unidad de volúmen, v el volúmen del cuerpo y m la masa. De esta fórmula se deduce, que los cuerpos bajo el mismo volúmen son tanto mas densos, cuanta mayor es su masa: por medio de la balanza conocemos desde luego el peso, aun cuando el volúmen que tienen dos cantidades iguales de materia sea diferente, porque siempre tendremos que el peso será proporcional á la masa, ó á la cantidad de materia que contiene, en otros términos, la masa será proporcional al peso absoluto dividido por la intensidad de la pesantez, que representamos por g ; lo que dará:

$$m = \frac{p}{g} \text{ ó bien } p = g m.$$

Mas como en todo cuerpo homogéneo el peso p es proporcional al volúmen v ; representando por π la unidad de volúmen á quien se compara el cuerpo, se tendrá que $p = \pi v$. De aquí inferiremos, que cuando los cuerpos tienen los volúmenes iguales, las densidades son proporcionales á sus pesos;

que si los pesos y los volúmenes son iguales, las densidades también serán iguales; y últimamente, que cuando los pesos son iguales, las densidades están en razón inversa de los volúmenes: estos tres casos nos darán las siguientes proporciones; 1.^a $p: p' :: d: d'$; 2.^a $p v = p' v'$, lo que dará $d = d'$; y 3.^a si $p = p'$ tendremos $v: v' :: d: d'$. Las densidades de los cuerpos sólidos y líquidos se comparan al agua destilada que se toma por unidad, bajo la temperatura de $+4,01$ centígrados, y la presión de $0,76$.

145. La balanza hidrostática es la que sirve para determinar las densidades de los cuerpos sólidos y líquidos: se pesa el cuerpo en el aire, luego se busca el peso del volumen de agua que desaloja, y se divide el primer peso por el segundo. Sin embargo, en la práctica se presentan algunas dificultades que no es posible vencer, si la operación no se conoce en todos sus detalles: para dar de ella una idea exacta supondremos que se opera sobre el plomo. Se comienza por pesar el plomo en el aire ó en el vacío, usando del método de las dobles pesadas: si la diferencia entre el aire y el vacío no es considerable por ser el cuerpo de pequeño volumen, basta pesarlo en el aire. Luego se pesa el plomo dentro de agua destilada y hervida de antemano, para averiguar la diferencia entre el peso del cuerpo en el vacío ó en el aire, del peso que tiene en el agua, y con estos dos datos, se establece la siguiente proporción: peso del cuerpo pesado en el aire ó en el vacío p ; es á la diferencia de este peso con el que resulta de haberlo pesado en el agua p' ; como densidad del cuerpo x ; es á la densidad del agua representada por 1; ó $p: p' :: x: 1$;

la que da $x = \frac{p}{p'}$. Si el cuerpo fuere mas ligero que el agua,

habría que adicionarle otra sustancia que le hiciera sumergir, teniendo en cuenta el peso adicional para descontarlo del peso total.

146. Para los líquidos se practica una operación semejante, indagando cuales son las pérdidas que experimenta sucesivamente un mismo cuerpo pesado en el líquido y en

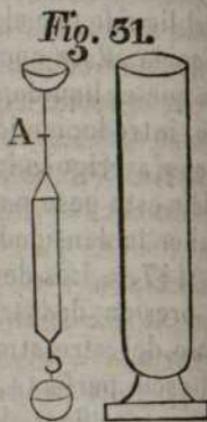
agua destilada, y como estas pérdidas representan los pesos de un igual volúmen de ambos líquidos, basta dividir el peso del líquido por el del agua, y el cociente dará la densidad del líquido. Esta operación es mucho mas sencilla, no olvidando lo que el líquido gana por la inmersión del sólido: con efecto, introduciendo una bola dentro del alcohol ú otro líquido, y averiguando el peso que el líquido ha ganado, basta dividir este peso por el del agua que se toma por unidad, para saber la densidad del líquido propuesto.

147. Las densidades de los gases bajo una temperatura y presión dadas se buscan del mismo modo, tomando el peso del aire atmosférico por unidad. Si fuere posible hacer el vacío perfecto, claro está que podríamos apreciar los pesos específicos de los gases pesando indistintamente un volúmen conocido é igual con cada uno de los gases, cuya densidad se pretendiese conocer: las relaciones comparadas al aire = 1, darían estas densidades. Según los señores Biot y Arago, un centímetro cúbico de aire á 0° y bajo la presión 0,^m76 pesa 0^{grm},00129954; luego un litro de aire pesará 1,29954 gramos: para saber el peso específico de un gas conociendo la densidad, bastará multiplicar la densidad d por el peso de un litro de aire, ó $d \times 1,29954$.

148. *Areómetros de volúmen y peso constante.* La voz areómetro es de origen griego, y está compuesta de dos palabras que significan *ligero y medida*. Los areómetros son unos instrumentos flotantes que sirven para dar á conocer las densidades de los cuerpos, y la relación aproximada de los líquidos que forman una mezcla: se distinguen dos clases de areómetros, físicamente hablando, los de volúmen constante y los de volúmen variable. Los primeros son aquellos que se sumergen en todos los líquidos hasta un mismo punto, los principales son el de Nicholson y el de Fahrenheit; y los segundos son los que se sumergen de distinta cantidad: entre ellos los mas usados son los de Beaumé, el de Gay-Lussac y el de Cartier.

149. El areómetro de Nicholson, llamado también gra-

vímetro, fig. 31, se compone de un cilindro hueco de metal terminando por dos conos inversos; en la parte inferior lleva una cápsula para colocar el lastre, y en la superior una varilla soldada al cono, la cual termina con otra cápsula para poner las pesas suficientes. Para hacer uso de este instrumento, se coloca el cuerpo en la cápsula superior hasta que se hunda en agua destilada, y llega en el punto A llamado *punto de enrase*; si el peso del cuerpo no fuese suficiente para hundir el gravímetro hasta el punto A, se añadirán las pesas necesarias. Colocado el cuerpo en la cápsula inferior, claro está que resulta mas ligero, por la pérdida de peso igual al peso de volúmen de agua desalojada: entonces basta añadir pesas en la parte superior, hasta que el instrumento vuelva á sumergirse hasta el punto A, y estas pesas añadidas son las que manifiestan el peso que perdió el cuerpo por su inmersión.



150. Fahrenheit inventó antes que Nicholson un areómetro mas sencillo que el descrito, y que segun la opinion general sirvió de base al autor del gravímetro.

151. El areómetro de Beaumé consta de una esfera construida en la extremidad de un tubo de cristal, y terminada por un apéndice donde se coloca el lastre que consiste en mercurio, plomo ú otro cuerpo cualquiera; el punto *cero* se halla en la parte superior del vástago donde corresponde el nivel del agua destilada. Luego se introduce en una disolucion compuesta de 85 partes de agua y 15 de sal comun, y el punto á donde corresponde su nivel en el vástago, se señala con el grado 16; esta distancia se divide en 15 partes iguales, y se prolonga la division hácia la parte inferior del instrumento, siguiendo la misma distancia hasta 66.º El mismo Beaumé inventó una graduacion diferente, con el objeto de que su areómetro pudiese servir para conocer la cantidad de alcohol que existe en los líquidos espirituosos. Para mar-

car el cero prepara una disolucion de 90 partes de agua destilada y 10 de sal marina, sumerge en ella el instrumento, y el punto de nivel de la disolucion en el vástago, lo señala con dicho grado *cero*: luego lo introduce en agua destilada, y el punto de enrase constituye el grado 10, y esta division la sigue hácia la parte superior de la varilla. El areómetro de Cartier es una modificacion grosera de la escala de Beaumé; en ambos el grado 22 es igual, y partiendo de este término se dividen 15 grados de Cartier, por 16 de Beaumé. Representando por c los grados de Cartier y por b los de Beaumé, por medio de una ecuacion se podrán reducir de una á otra escala, y se tendrá:

$$16 c = 15 b + 22;$$

los pesos específicos p correspondientes á c grados son iguales á:

$$p = \frac{136,8}{126,1 + c}$$

152. Mr. Gay-Lussac, ha inventado un areómetro que se conoce con el nombre de *alcohómetro*, el cual está destinado á señalar el volúmen de alcohol puro que contiene una mezcla de este líquido espirituoso y agua. Para marcar el grado 100 se introduce dentro de alcohol puro ú absoluto á 0,95 que es el mas concentrado que se conoce, y luego por medio de mezclas de agua y alcohol, en tal disposicion, que empezando por 95 de alcohol y 5 de agua se vaya rebajando aquel y aumentando esta de 5 en 5 partes, hasta que el alcohol sea cero y el agua ciento: cada una de estas divisiones se marca por la cantidad de alcohol que contiene y se divide en 5 partes iguales. El punto donde corresponde las 100 partes de agua pura se señala con el grado *cero*. Por consiguiente el alcohómetro de Gay-Lussac, indica desde luego la cantidad de alcohol que contiene un líquido espirituoso representado en centésimos. El mismo físico teniendo en cuenta, que las densidades de los líquidos espirituosos cambian con la temperatura, ha construido tablas con las correc-

ciones correspondientes atendiendo siempre el grado de calor del aire. Francoeur ha dado una fórmula general con la que se consigue apreciar los cambios de volúmen bajo una temperatura conocida; con esta fórmula se hacen ineficaces las tablas de Gay-Lussac: así si representamos por c el grado del areómetro, y por t la temperatura superior ó inferior á 15° , se tendrá: Riqueza $= c + 0,4t$. Si el areómetro marca 80° , y la temperatura se halla á 20° , segun esta fórmula, se tendrá: $80 - (0,4 \times 5) = 78$. Si el alcohómetro se halla á 80° y la temperatura á 5 , resultará: $80 + (0,4 \times 10) = 84$. Richter, Meisser, Blagden y Gelpin, Thomson, Thillaye hijo, y otros profesores de nota se han ocupado con provecho del estudio del areómetro en todas sus variedades; así es que se conocen además el pesa-legías, el areómetro universal, el pesa-mostos ó musmímetro, el galámetro, el pesa-vinagre, el volúmetro, etc.

153. *Uso de las tablas de las gravedades específicas.* Del conocimiento de las gravedades específicas de los cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos, emanan varias aplicaciones de gran interes para la ciencia en general. Los físicos usan de ellas para indagar el peso de un cuerpo valiéndose de la densidad y el volúmen: tambien se emplean para conocer el diámetro de un tubo capilar, sabiendo su longitud y el peso de líquido con que puede llenarse; se aplican asimismo para determinar el volúmen de un cuerpo toda vez que se conoce el peso y la densidad; en fin se usan tambien para calcular el diámetro de un alambre siempre que se conozca la longitud y el peso. El químico se sirve de ellas para apreciar las cantidades de dos metales que constituyen una aligacion, ó una mezcla de líquidos; tambien recurre á las tablas de las densidades siempre que quiere saber el peso que tendrá un modelo de madera cuando se haya vaciado con tal ó cual metal, atendiendo al peso del modelo y á las densidades de la madera y del metal que va á emplearse: el peso del átomo de un cuerpo cualquiera comparado al gas oxígeno, está fundado en las densidades tomando el cuerpo al estado aeriforme. Para los usos que convengan, inserto á continuacion las

densidades de varios cuerpos, tal cual la ciencia las admite en el día:

NOMBRES.	Densidades.	NOMBRES.	Densidades.
Platino crudo.....	23,0000	Rubi oriental.....	4,2833
„ ... laminado	22,6690	Topacio oriental....	4,0106
„ ... fundido	19,2581	Diamante.....	3,5310
„ ... purificado ...	21,4500	Esmeralda.....	2,7755
Paladio.....	11,3000	Perlas	2,7500
Oro.....	19,4000	Coral	2,6800
Rodio.....	11,0000	Cristal de roca.....	2,6530
Mercurio	13,5886	Flint-glass	3,3293
Plata.....	10,4740	Porcelana de la China	2,3847
Cobre.....	8,8500	Porcelana de Sévres.	2,1457
Hierro	7,8439	Cal sulfatada crista-	
Estaño	7,2850	lizada	2,3117
Antimonio	6,7150	Alumbre.....	1,7200
Cromo.....	5,9000	Cal carbonatada cris-	
Plomo.....	11,4450	talizada	2,7182
Arsénico.....	5,7000	Feldespato.....	2,5744
Manganeso	8,0130	Mármol blanco.....	2,8376
Sodium.....	0,9720	Basalto de Suecia....	3,0640
Potassium.....	0,8650	Pórfido.....	2,7980
Zinc.....	6,8620	Gneis de Freiberg..	2,6780
Yodo	4,9170	Granito	2,6640
Azufre nativo.....	2,0660	Lava del Vesubio....	2,6410
Selenio.....	4,5200	Fresno	0,7870
Bromo.....	2,9660	Ciruelo	0,7610
Carbono grafito....	1,9000	Manzano.....	0,7350
Oxígeno.....	1,1052	Alamo blanco.....	0,7380
Cloro.....	2,4700	Pino comun.....	0,5420
Nitrógeno.....	0,9760	Nogal.....	0,6800
Hidrógeno.....	0,0688	Castaño	0,6850
Fósforo	1,7700	Encina	0,9050
Aire atmosférico....	1,0000	Ebano de los Alpes..	1,0540
Agua destilada.....	1,0000		

LECCION VI.

Sigue la hidrostática y la hidrodinámica.

Movimiento de los líquidos, y fenómenos á que dan origen cuando salen por orificios.

154. Los líquidos dotados por su constitucion de grande movilidad, salen de los vasos que les contienen cuando en sus paredes se ha practicado un agujero por debajo de su nivel. Sin embargo, para que el derrame del líquido por el orificio pueda efectuarse, hay que tener en cuenta las presiones interior y exterior. Con efecto, todos los vasos que contienen líquidos están expuestos á dos presiones que se verifican en sentido opuesto; una de adentro hácia fuera que repele la pared, y otra de afuera hácia dentro cuya tendencia es la de hundir esta pared: la primera es igual á la suma de las presiones de la columna líquida calculada desde el punto de la pared del vaso que se examina, hasta la parte superior del fluido; y la segunda depende del medio que rodea el vaso. De aquí se sigue, que si la presión exterior es mayor que la interior, no se derramará el líquido contenido en el vaso, al paso que la salida por el orificio tendrá lugar, siempre que la presión interior exceda á la exterior. La velocidad que tienen las moléculas líquidas cuando pasan por el orificio depende de la mayor ó menor densidad del líquido, del exceso de presión de adentro hácia fuera, y del rozamiento contra las paredes y bordes de dicho orificio.

155. *Teorema de Torricelli sobre la salida de los líquidos.* De lo dicho se sigue que la velocidad de un líquido cuando sale de un orificio, es igual á la que adquiriria cayendo libremente en el vacío, de una altura igual á la que tiene el nivel sobre el centro del orificio. Esta proposicion se conoce con el nombre de teorema de Torricelli.

Para representar la velocidad v de las moléculas líquidas, que en el vacío han caído de una altura indicada por h , basta recordar las leyes generales de los cuerpos pesados, y se tendrá la fórmula:

$$v = \sqrt{2 g h} :$$

si suponemos que la altura es de quince metros, se tendrá:

$$\sqrt{2 g h} = \sqrt{2 \times 9^m, 8 \times 15} :$$

de donde resulta, que las velocidades en la salida son proporcionales á las raíces cuadradas de las alturas. A esta velocidad se le ha dado el nombre de velocidad teórica.

156. Se llama *gasto* de un fluido, á la cantidad de sustancia líquida que sale por un agujero, durante la unidad de tiempo que sirve de tipo. Para saber con alguna exactitud el *gasto*, hay que tener en cuenta la presión que sufre el orificio, su magnitud y el tiempo que está saliendo el líquido; estos datos dan la ecuación $g = t v s$, suponiendo que g representa al *gasto*, t las unidades de tiempo, s la superficie del orificio y v la velocidad.

157. El *gasto* teórico representado por el teorema de Torricelli, carece de exactitud cuando trata de demostrarse por la experiencia: con efecto, verificando este experimento se nota, que el resultado es igual á $\frac{5}{8}$ próximamente del que da el cálculo; esta diferencia proviene del agrupamiento de los filetes líquidos, los cuales se cruzan y enlazan en direcciones distintas para ocupar un espacio mayor que el suyo, atendidas las circunstancias de la salida. Este fenómeno lleva el nombre de *contracción de la vena fluida*.

La sección de la vena fluida se contrae en el momento de salir por el orificio; de suerte, que á la distancia del diámetro de dicho orificio, esta sección representa con corta diferencia los dos tercios de aquel por donde salió. Para los grandes orificios de salida, según los señores Poncelet y Lesbros, el teorema de Torricelli tampoco da con exactitud la velocidad del líquido en la sección contractada. Sin em-

bargo, este teorema conduce á tres consecuencias de la mayor importancia, á saber: 1.^a la velocidad del derrame solo depende de la profundidad del orificio debajo del nivel, y de ninguna manera de la naturaleza del líquido; 2.^a para un mismo líquido, estas velocidades son como las raíces cuadradas de las profundidades de los orificios debajo del nivel; y 3.^a que si la presión que actúa sobre la columna líquida fuese mayor que la exterior, el exceso sería equivalente al peso de una columna del mismo líquido con una altura proporcional: en este caso la velocidad de las moléculas que se derraman sería igual á la que tendrían si hubiesen caído del vértice de esta segunda columna, la cual debe concebirse añadida á la primera. Lo contrario tendría lugar, si la presión exterior fuere mayor que la que actúa sobre el nivel del líquido.

158. De lo dicho se infiere, que para obtener una velocidad constante es necesario una presión constante y viceversa: esto se consigue por diferentes medios; pero los adoptados por los físicos son el *flotador de Prony*, el *vaso siempre lleno*, y el *vaso de Mariotte*.—El flotador inventado por Mr. Prony calcado en el principio de Arquímedes, consta de un vaso rectangular vacío que flota en otro de mayores dimensiones que tiene agua: en la parte superior del vaso sin agua, se atornillan cuatro varillas metálicas que sostienen otro vaso inferior. En el estado de quietud el flotador se hunde de una cantidad igual al peso suyo, el de las varillas y el del vaso que sostienen. Cuando se hace salir el líquido, el agua se recibe en la caja inferior, y por consiguiente aumenta el peso del flotador, el cual se hunde cada vez más, y el líquido sale con una velocidad constante.—El vaso de Mariotte está dispuesto para que el agua adquiera diversas posiciones de equilibrio, que puedan explicarse como resultado de la presión atmosférica, y de las presiones que se verifican en su interior. Tiene el frasco en su altura tres agujeros situados á diferente distancia del fondo, pero en línea recta y capaces de dar salida al líquido sin permitir la entrada al aire exterior: todos están provistos de sus correspondientes obturadores. La boca del frasco está cerrada con un tapon de corcho,

por cuyo centro pasa un tubo de cristal con sus extremos abiertos que se hace sumergir en el agua. Si se destapa el agujero del medio, el liquido corre por el orificio hasta que su nivel se halla al plano del punto de salida; en este caso el equilibrio se ha restablecido, porque las presiones vertical y horizontal son iguales.—El vaso siempre lleno, es un vaso que recibe por la parte superior la misma cantidad de liquido que sale por uno de sus costados, ó por su fondo.

159. *Salida por tubos.* La salida de un liquido por conductos circulares puede verificarse por medio de tubos adicionales de figura cónica ó cilíndrica, en los cuales el diámetro puede ser variable y distinta tambien su longitud: este diámetro, atendido el de la vena fluida, la figura del tubo, su posicion y su longitud, alteran las condiciones de salida de una manera bastante notable. Un tubo perfectamente construido y pulimentado en su interior, que tenga el diámetro y figura que adquiere la vena fluida desde el orificio hasta la seccion contraida, no debe tener influencia en el gasto de agua, porque su accion sobre el liquido es nula; pero cuando el diámetro del tubo es igual al que tiene el orificio por donde sale el liquido, la vena fluida pasa libre sin mojar las paredes del tubo, ó llena completamente su capacidad: estos dos casos diferentes entre si, dan un aumento de velocidad para el segundo, que está en la relacion de 100 es á 133, siempre que el diámetro del tubo adicional sea la cuarta parte de su longitud. Estos fenómenos dependen de varias causas, entre las cuales la principal es la presion.

160. Si el tubo adicional tiene la figura de un cono truncado, el gasto de liquido será mayor ó menor segun sea la posicion del cono: cuando la base menor se halla unida al orificio de salida, el gasto aumenta y este aumento puede llegar á ser de una mitad; pero si la adiccion se verifica por la base mayor, entonces disminuye el gasto; de suerte que la posicion mas ventajosa es la de dos conos truncados iguales en diámetro y altura, unidos por sus bases menores: en este caso las dos bases mayores se hallan en los extremos, una para unirse con el orificio de salida, y otra que constitu-

ye el extremo del tubo.—En la distribucion de las aguas sirve de tipo la pulgada de agua llamada *pulgada del fontanero*, la cual no es otra cosa que la cantidad de agua que pasa en un minuto por un orificio circular de una pulgada de diámetro, construido en una pared delgada, y bajo la presion de una columna de agua de siete lineas de altura contada desde el centro del orificio de salida

LECCION VII.

Sigue la hidrostática y la hidrodinámica.

161. *Fluidos elásticos.* Los fluidos elásticos son aquellos cuerpos capaces de disminuir el volúmen de una manera notable, cuando se les expone bajo una presion mas ó menos grande. El aire atmosférico, y ciertos cuerpos simples y compuestos que presenta la química, se hallan en este caso. El estado de fluidez aeriforme depende de la accion del calor, que tiende constantemente á separar las moléculas, y á disminuir la fuerza de cohesion hasta hacerla insensible: los fluidos aeriformes se dividen en gases y vapores. Los primeros son aquellos que conservan el estado gaseiforme á la temperatura y presion ordinaria, y los segundos son los que resultan de la accion del calor sobre un cuerpo sólido ó liquido: estos pierden su estado gaseoso tan luego como disminuye la temperatura.

Sin embargo, algunos físicos dan el nombre de gases permanentes á los fluidos elásticos que expuestos á grandes presiones y á una notable disminucion de temperatura, no pierden el estado aeriforme; y llaman vapores cuando expuestos á estas dos circunstancias adquieren la forma líquida ó sólida. El aire atmosférico, los gases hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, etc. se hallan en el primer caso; mientras que el cloro, el amoníaco, el ácido carbónico, cianógeno, etc. están comprendidos en el segundo. Por otra parte no existe diferencia alguna entre los vapores y los gases, porque es probable que

la ciencia presentará algun dia medios apropiados para licuar los gases que hoy llamamos permanentes: ademas los vapores en tanto se hallan al estado de gases, tienen las mismas propiedades que estos; de suerte que las voces de gas y vapor solo son convencionales.

162. Los gases lo mismo que los fluidos ó líquidos están expuestos á dos presiones diferentes (129); una que puede efectuarse sobre la superficie de la sustancia aeriforme, y otra propia y peculiar de la materia que constituye el gas; la primera se trasmite por toda la masa, y la segunda está en razon de la profundidad ó altura del vaso que contiene el gas. La suma de estas dos presiones es la que constituye en cada punto la presion propia del fluido, llamada su *fuerza elástica*. Por consiguiente se conocerá con el nombre de fuerza elástica ó *fuerza de tension*, á la presion que ejerce un fluido contra las paredes del vaso que le contiene. La tension separa las moléculas, obra de adentro hácia á fuera contra los obstáculos que se oponen á la expansion, y sus efectos son del todo opuestos á los de la cohesion.

163. *Peso del aire demostrado por la experiencia*. El globo donde vivimos se halla rodeado de una capa gaseosa llamada *atmósfera*, cuyo espesor se ha apreciado en $9\frac{2}{3}$ leguas geográficas. Las sustancias que componen el aire atmosférico desprovistas de fuerza de cohesion para poder adquirir el estado líquido ó sólido, se hallan al propio tiempo expuestas á la influencia del calor latente, el cual disminuye la accion de la pesantez, y la de aquellas otras fuerzas que tienden á aumentar la consistencia. La tierra por su fuerza atractiva retiene la atmósfera á su alrededor, y por esta circunstancia no se extiende por el espacio infinito como debia suceder por la fuerza elástica de los gases que la componen; por la misma razon la tierra en sus dos movimientos de rotacion y traslacion, arrastra consigo la capa atmosférica que la rodea.

164. El aire es pesado, y esta propiedad fué indicada antes de Aristóteles: sin embargo, Galileo en 1640 puso en evidencia el peso del aire atmosférico, haciendo el vacío en

un grande globo de cristal provisto de una llave de paso, pesándolo antes y despues del experimento, y notó que el globo lleno de aire pesaba mas que cuando se habia verificado el vacío. Esta verdad puesta en duda por algunos fisicos de aquella época, fué demostrada de un modo incontestable por Torricelli y Pascal. Con efecto, estos fisicos por medio de un tubo de treinta y seis pulgadas de longitud, en medio del cual se habia practicado un agujero, hicieron el siguiente experimento: tapado el agujero perfectamente con cera, y cerrado uno de los extremos del tubo con la lámpara de esmaltar, se llena de mercurio, y tapando con el dedo pulgar el extremo abierto, se introduce de cuatro á seis líneas dentro de un baño de mercurio: estando el tubo en la posicion vertical, la columna de mercurio baja, luego oscila y se queda fija á 0,^m76 si el experimento se hace al nivel del mar. Pero si con un alfiler se da entrada al aire agujereando la cera, inmediatamente el mercurio desciende hasta ponerse en coincidencia con el baño metálico, y este descenso es debido al peso del aire que entró.

Dos cosas se prueban con este experimento, la pesantez del aire y su equilibrio con una columna de mercurio: la primera está indicada por el descenso de la columna metálica, y la segunda indica que la altura del mercurio disminuye á medida que nos elevamos sobre el nivel del mar, porque disminuyen tambien las capas atmosféricas.

165. Para probar que el aire es pesado se emplea tambien un instrumento llamado *baróscopo*. El *baróscopo* consiste en una flechilla de balanza que gira por su eje sobre un punto fijo; en uno de sus extremos se halla una esfera de metal bien delgada y hueca, y en el otro extremo una bala de plomo ú otra esferita maciza de metal: el diámetro de la primera es, por consiguiente, mucho mayor que el de la segunda, porque el equilibrio se halla restablecido. Si este aparato se coloca en el platillo de la máquina neumática, tapándolo con una campana de cristal y se extrae el aire, se nota que el equilibrio se rompe y la balanza se inclina del lado de la esfera hueca. Este experimento nos prueba: 1.º que el

aire es pesado: 2.^o que los gases están sujetos al principio de Arquímedes (141): y 3.^o que en el acto de hacer el vacío, cada esfera gana proporcionalmente una parte del peso que perdió por la inmersión; y como la esfera de mayor diámetro desalojó mayor cantidad de aire, lo que equivale á decir, que perdió mas de su peso, resulta que debe ganar y hacerse mas pesada.

166. El aire atmosférico ejerce en todos sentidos presiones iguales, las que dan por resultado superficies horizontales. Cuando se interrumpe por algun medio esta igualdad de presión, se rompe el equilibrio y la superficie deja de ser horizontal. La presión de la atmósfera sobre la superficie de un líquido, está representada por la columna del mismo líquido que el aire puede sostener: el tubo de Torricelli nos dice que al nivel del mar, la presión atmosférica equivale á una columna de mercurio de 0,^m76, ó á una de agua de 32 piés, es decir, que el mercurio que contiene el tubo pesa tanto como una columna de aire que tenga por base el diámetro del tubo, y por altura la que tiene la atmósfera. Para probar la presión del aire basta hacer el vacío en un cilindro de cristal sin fondo, y tapado por la parte superior con una membrana; tan luego como se extrae el aire, adquiere la superficie de la vejiga alguna convexidad, y concluye por romperse con explosión. Este aparato se llama *rompe vejigas*.

167. *Barómetros*. El instrumento que sirve para medir la presión de la atmósfera se llama *barómetro*, el cual no es otra cosa que el tubo de Torricelli. Si bien es cierto que la altura del barómetro está fundada en la presión que el aire ejerce sobre el baño de mercurio donde está sumergido el extremo abierto del tubo; tambien lo es que en la práctica de su construcción, se notan ciertos inconvenientes que solo puede vencer un físico experimentado.

Se conocen varias clases de barómetros, fundados todos en un mismo principio; pero diferentes entre sí, por modificaciones especiales que los recomiendan para determinados usos. Así es que tenemos el barómetro comun ó de cubeta,

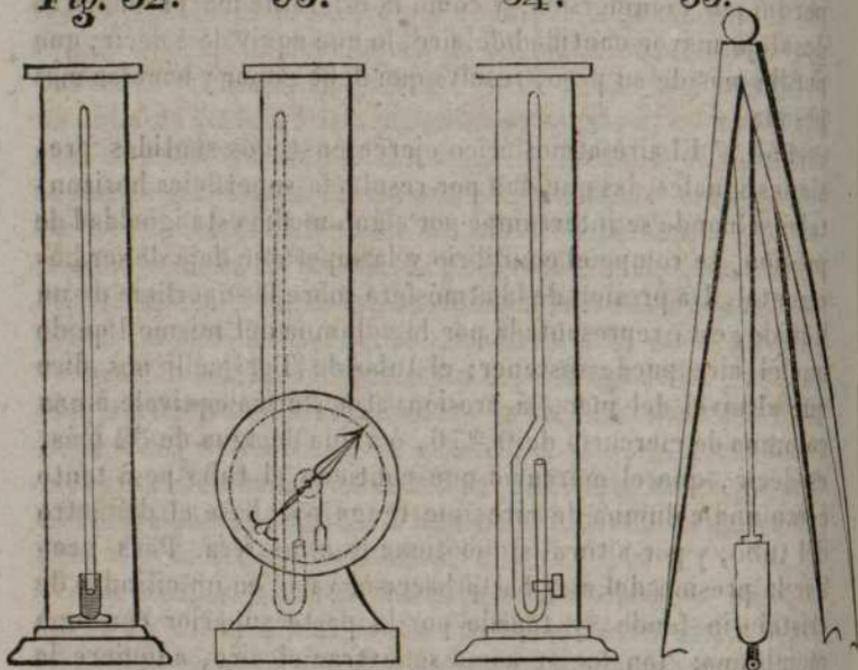
fig. 32, el de cuadrante, fig. 33, llamado tambien de Necker, el de Gay-Lussac, fig. 34, y el de Fortin, fig. 35.

Fig. 32.

33.

34.

35.



168. La construcción del barómetro exige varias condiciones, sin las cuales el instrumento no presenta las garantías que la ciencia reclama. Ante todo el mercurio debe ser puro, el vacío barométrico perfecto, el diámetro del tubo igual en toda la longitud, y dispuesto de tal manera, que las variaciones de la columna de mercurio se puedan medir con comodidad.

Después de haber limpiado el tubo en su interior frotándolo con un pedacito de bayeta atado á un hilo bramante, se cierra uno de sus extremos fundiéndolo á la lámpara de esmaltar; luego se llena de mercurio, empezando por introducir una cantidad de tres ó cuatro pulgadas, la que se hace hervir con objeto de desalojar el aire intermolealar, y continuando de este modo hasta que se llene perfectamente:

entonces se tapa con el dedo índice ó con el pulgar, y se invierte para sumergir el extremo abierto dentro de un baño de mercurio, en cuyo caso se separa el dedo: este barómetro se llama de *cubeta*. Los barómetros de *sifon* no tienen cubeta, porque el extremo abierto del tubo se halla encorvado, y el mercurio que proviene del descenso de la columna se queda en la branca corta: esta clase de barómetros se llenan solamente hasta la parte curva, y quedan formados colocándolos en la posición vertical.

El *barómetro de cuadrante* no es otra cosa que un barómetro de sifon; dos contrapesos suspendidos del extremo de un hilo de seda que pasa por la garganta de una polea, indican las variaciones en la columna de mercurio. Para ello el eje de la polea comunica á la parte exterior, y tiene una aguja que gira sobre una circunferencia dividida convencionalmente: uno de los contrapesos, algo mayor que el otro, flota en la superficie del mercurio; de manera que el aumento ó disminucion en la presión atmosférica, son señalados por la aguja en la circunferencia. Mr. Gay-Lussac ha hecho una pequeña modificación para poder viajar con el barómetro: consiste solamente en que el tubo tiene un agujero capilar, con el objeto de dar salida al aire cuando se construye el instrumento, y el metal encuentra algun entorpecimiento que suspende las oscilaciones; una llave de paso de acero perfectamente construida, que une la branca corta con la larga, cierra herméticamente el barómetro, tan luego como se ha inclinado para llenar el vacío barométrico. Mr. Fortin ha ideado un barómetro de cubeta con el fondo móvil ó elástico, donde por medio de un tornillo se hace subir el mercurio variando el nivel de la cubeta, y llenando el vacío perfectamente: el instrumento está colocado dentro de una caja á la manera de baston y es muy cómodo para viajar.

169. *Medicion de alturas por el barómetro.* De lo que hemos dicho acerca el barómetro resulta, que este instrumento no es mas que un tubo con dos brazos que se comunican, de los cuales uno está lleno de mercurio, y el otro de aire atmosférico; de suerte que el peso de la columna de

mercurio mide exactamente el peso de otra columna de aire del mismo diámetro; pero cuya altura está representada por la de la atmósfera; por consiguiente, la columna barométrica mide con la mayor exactitud la presión del aire. Si esta presión fuese constante é igual en cualquier punto de la superficie de la tierra, el barómetro solo manifestaría que el aire es pesado, y por lo tanto su importancia sería pasajera; pero como quiera que aquella presión varía con la altura del punto observado, siendo menor á medida que mas nos elevamos, resulta que la columna de mercurio varía de altura; y da por lo tanto la medida de dicha presión. Además la atmósfera sufre con frecuencia modificaciones, por la presencia de cuerpos que se hallan con mas ó menos abundancia en ciertos casos, y los efectos de la presión para un mismo punto son tambien variables, lo cual altera la altura de la columna barométrica.

170. De estas indicaciones se deduce, que el barómetro puede servir para medir la distancia vertical ó la altura de dos puntos dados. Con efecto, si en la playa ó nivel del mar la columna barométrica se eleva á 0,^m76 ó 32 pulgadas 4 líneas españolas, se infiere que la columna de aire en este punto pesa lo mismo que el mercurio que contiene dicha columna. Si subimos, por ejemplo, en la cima de una montaña, donde la altura barométrica esté á 0,^m58, será innegable que el aire en aquel punto pese lo que el mercurio bajo la misma base. Nada mas fácil segun estos principios que conocer el peso total de la atmósfera que rodea nuestro planeta. Basta para ello saber cuanto pesa una columna de mercurio de una pulgada cuadrada de base y 0,^m76 de altura, multiplicar este peso por el número de pulgadas cuadradas que representa la superficie de la tierra, y el producto indicará el peso del aire.

Si representamos por x el peso del aire atmosférico, por p el número de pulgadas cuadradas de que consta la superficie de la tierra, y por quince libras el peso de la columna de mercurio de una pulgada de base; se tendrá:

$$x = 15 p;$$

por un raciocinio igual, se puede conocer el peso de la atmósfera que gravita sobre el cuerpo humano. Sin embargo, ni el hombre, ni ninguno de los seres vivientes experimentan los efectos de tan enorme peso, porque se equilibra por los fluidos que circulan entre los cuerpos orgánicos, y por la destrucción mutua de las presiones laterales.

171. Cuando se ha presentado el modo de apreciar el peso total de la atmósfera por medio de un raciocinio deducido, al parecer, de la experiencia, se ha supuesto que la superficie de la tierra tenia tantos barómetros de una pulgada de superficie, cuantas eran las pulgadas en que podia dividirse. Algunos fisicos han dicho que formando el aire una esfera de mayor radio que la de la tierra, claro está que entre dos cilindros ó tubos barométricos dejaban un espacio representado por un cono ó una pirámide invertida, cuyo vértice está en el punto de contacto de aquellos dos barómetros, y la base en la separacion que dejan las dos columnas de aire en el limite de la atmósfera; de suerte que segun estos fisicos, los barómetros que hemos considerado capaces de apreciar el peso de la masa de aire, dan solamente una cantidad insignificante.

Sin embargo, yo creo que suponiendo la tierra perfectamente esférica, y aplicando el cálculo, no es difícil conocer el peso total del aire que la rodea. El siguiente problema satisface, á mi juicio, todas las condiciones.

Hallar el volúmen de la atmósfera, suponiendo que la tierra es perfectamente esférica. Antes de recorrer este problema recordaremos algunos principios geométricos de que hemos de hacer uso.

1.^o La superficie de un círculo es igual al producto del cuadrado del radio, por la razon de la circunferencia al diámetro.

2.^o La superficie de una esfera, es igual al cuádruplo de uno de sus círculos máximos.

3.^o El volúmen de una esfera es igual al producto de su superficie, por el tercio de un radio.

Representemos ahora por r el radio de la tierra; por e el

espesor de la atmósfera; por R el radio del globo total, es decir, la esfera que forma la tierra con su atmósfera; y por π la razón de la circunferencia del diámetro.

Ahora bien, mediante estas sustituciones, tendremos según el primer principio sentado:

πR^2 igual á un círculo máximo del globo total;
y πr^2 igual á un círculo máximo de la tierra.

Valiéndonos de los dos resultados anteriores, y recordando el segundo principio, podremos concluir que:

$4 \pi R^2$ es la superficie total,
y $4 \pi r^2$ la superficie del globo terrestre.

Sirviéndonos de estos dos resultados, y haciendo uso del principio tercero, deduciremos que:

$$4 \pi R^2 \times \frac{R}{3} = \frac{4 \pi R^3}{3} \text{ volúmen del globo total;}$$

$$\text{y } 4 \pi r^2 \times \frac{r}{3} = \frac{4 \pi r^3}{3} \text{ volúmen de la tierra.}$$

Ahora, el volúmen de la atmósfera, es igual al volúmen del globo total menos el volúmen de la tierra, ó;

$$\frac{4 \pi R^3}{3} - \frac{4 \pi r^3}{3} = (R^3 - r^3) \frac{4 \pi}{3}.$$

fórmula que nos dice que para hallar el volúmen de la atmósfera, basta restar el cubo del radio terrestre del cubo del radio del globo total, y multiplicar esta resta por los cuatro tercios de la razón de la circunferencia al diámetro.

Una vez conocido el volúmen de la atmósfera, y sabiendo cuanto pesa una unidad que sirva de tipo, multiplicando el peso de esta unidad por el número que de ellas contiene la esfera atmosférica, el producto será el peso pedido.

172. El aire atmosférico tiene distinta densidad según la altura á que se observa, y esta dificultad complica los resultados que se consiguen con el barómetro. Cuando la latitud del punto en que se verifica la experiencia, es con corta diferencia de 45^0 , ó que la distancia con relacion al radio

terrestre es de poca importancia, se puede conocer la distancia vertical de dos puntos que se observan por medio del barómetro, valiéndose de la siguiente fórmula:

$$D = 18393 m \left(1 + \frac{2(T+t)}{1000} \right) \log. \frac{H}{h};$$

en esta igualacion D es la distancia entre los dos puntos observados, H y h las dos alturas barométricas, y T y t las temperaturas del aire en grados del termómetro centigrado. Para que estas observaciones sean exactas, hay que reducir por el cálculo las alturas H y h á la misma temperatura. Cuando se conocen las alturas medias barométricas de dos puntos dados, y las temperaturas que les corresponden, la fórmula da la distancia vertical con la mayor exactitud.

173. Si la altura entre los puntos es de poca consideracion, se puede conocer por medio del siguiente racionio: el aire á igual volúmen es segun las observaciones de los Señores Biot y Arago, 10463 veces mas ligero que el mercurio; de suerte que una libra de aire ocupa, bajo la misma temperatura y presion, 10463 veces mas espacio que una libra de mercurio. Por consiguiente, si en la playa la columna de mercurio tiene 0,^m76, se sabe que la altura de la atmósfera equivale á 0,^m76 × 10463 ó 7951,^m88. Si observamos el barómetro en una altura cualquiera, y señala 0,^m56, claro está que el aire tiene en este punto 5859,^m28; y la diferencia entre esta cantidad y la observada al nivel del mar, será la altura del lugar donde se ha practicado el experimento: esta diferencia es igual á 2092,^m60.

Este cálculo seria exacto si el aire fuese homogéneo en toda su extension, en cuyo caso daria para la atmósfera una altura de cerca dos leguas: esto es inexacto, porque las experiencias mas recientes han probado que llegar á 9 ²/₃ leguas geográficas.

174. Se ha observado que cuando la columna barométrica baja, el tiempo se pone lluvioso, hay vientos y aun tempestad; y por el contrario cuando aquella columna sube el tiempo aclara, se despeja la atmósfera y se presenta lo que

llamamos buen tiempo. Estas variaciones van marcadas en una escala que tienen todos los barómetros, y aun cuando no presentan una absoluta confianza, son de grande interes para el fisico. La altura media ó variable se coloca al nivel del mar á 0,^m76 ó 28 pulgadas francesas, que corresponden á 32 y 4 líneas españolas. La variable en Madrid se halla á 30 pulgadas españolas, y en Granada á 31 pulgadas y 2 líneas: debajo de esta variable van marcadas las alteraciones en lluvias y tiempos borrascosos, y encima se señala el tiempo claro y despejado.

175. *Cuando el barómetro se destina á observaciones científicas, en las cuales debe siempre presidir la mayor exactitud, hay necesidad de apreciar los efectos del calor, que dilatando la columna barométrica aumenta la altura del líquido metálico; porque de otro modo no seria posible medir las presiones de ningun gas. Para verificar estas correcciones por medio de una fórmula general, es menester reducir cada columna á la altura que tendria, si el barómetro tuviese una temperatura determinada: con esta suposicion y con el conocimiento del coheficiente de dilatacion del mercurio (290), se pueden practicar aquellas correcciones. Cuando las alturas del mercurio en la escala barométrica se equilibran á una misma presion, están en razon inversa de las densidades del mercurio; luego $A : A' :: 5550 : 5550 - t$; siendo 5550 el coheficiente de dilatacion del mercurio, y representando por A' la altura barométrica á la temperatura t , y por H*

la que corresponde á 0° : luego $A = A' - \frac{A' t}{5550 - t}$.

Por consiguiente, restando la fraccion $\frac{A' t}{5550 - t}$ de la altura A' , se obtendrá la correccion pedida.

En estas correcciones hay que tener en cuenta el coheficiente de dilatacion lineal del cobre que forma la escala: la que corresponde al cristal del tubo en nada influye, porque la altura de la columna es independiente de su diámetro.

176. *Ley de Mariotte.* Todos los gases disminuyen de volúmen, si se les expone á una presión mas ó menos fuerte. Mariotte por medio de un aparato sencillo demostró que los gases se comprimen en razón inversa de la presión que sufren; por esto se dice, mayor presión, es á menor presión, como mayor volúmen es á menor volúmen:

$$\langle p : \rangle p :: \langle v : \rangle v.$$

El instrumento de Mariotte fig. 36, consiste en un tubo, de cristal bi-curvado, y cerrado herméticamente por la rama mas corta. Cuando se coloca una porción de mercurio que solamente ocupa la parte horizontal *a b*, el aire encerrado en la rama *b c* estará expuesto á la sola presión atmosférica. Si se añade una columna de mercurio que tenga 32 pulgadas 4 líneas españolas ó 0^m,76, el liquido metálico subirá en la rama corta hasta el punto *e*, y el aire encerrado en la porción *e c* estará sujeto á dos presiones atmosféricas: 1.^a á la de la atmósfera que gravita sobre la superficie superior del mercurio, y 2.^a á la de una columna del mismo metal que equivale á aquel peso. Si se continuara de este modo añadiendo columnas de mercurio correspondientes á presiones atmosféricas, el aire en la rama corta iría disminuyendo de volúmen hasta que su fuerza elástica fuera mayor que la resistencia de las paredes del tubo de cristal, en cuyo caso reventaría.

Este principio que ha sido considerado como un axioma, se ha puesto en duda por los Sres. Arago y Dulong, quienes han demostrado que el aire hasta 27 atmósferas, disminuye de volúmen en proporción de la presión á que se halla expuesto; pero en los demas gases se nota, que no guardan una relación constante, y por consiguiente el principio de

Fig. 36.



Mariotte solo puede aplicarse á un número reducido de casos dados.

177. *Aplicacion del principio de Arquímedes á los fluidos elásticos.* Las leyes que hemos conocido con el nombre de principio de Arquímedes, (141 y 142) se aplican del mismo modo cuando el cuerpo, bien sea sólido ó líquido, está sumergido en un fluido aeriforme. Las presiones laterales se destruyen mutuamente, y el cuerpo sube á las regiones superiores de la atmósfera, ó baja hasta ponerse en contacto con otro que le sostenga, segun sea el peso del volúmen de fluido desalojado. Bajo tres estados puede hallarse un cuerpo sumergido en un gas: 1.º en perfecto equilibrio, si el peso del cuerpo es igual al del fluido desalojado; en cuyo caso la fuerza de empuje es tambien igual: 2.º subir á la parte superior de la atmósfera, si el peso del cuerpo es menor que el del fluido aeriforme desalojado; entonces la subida se debe al exceso de fuerza de empuje, y el exceso sigue hasta que el peso del fluido desalojado es igual al del cuerpo, ó bien porque este aumenta de densidad: y 3.º bajar hasta la superficie de la tierra, cuando el cuerpo pesa mas que el volúmen de aire desalojado.

178. *Globos aerostáticos* En estos principios se ha fundado la construccion y elevacion de globos aerostáticos. El aire atmosférico cuya densidad tomamos por base para buscar la de los demas cuerpos gaseosos y representamos por la *unidad*, comparada con la de otros fluidos elásticos, es en ciertos casos especificamente mayor, y por consiguiente permite desalojar un volúmen de aire mas pesado, que otro igual volúmen de gas. El hidrógeno se halla en este caso: su peso específico es de 0,0688, y desde luego se ve, que siendo próximamente 15 veces mas ligero que el aire, su tendencia es la de ocupar las regiones elevadas de la atmósfera.

179. *En 5 de Junio de 1783, despues de largos y repetidos ensayos, elevó Montgolfier en la pequeña ciudad de Annonay, un aereostático de tela forrado de papel. Aquí era el aire dilatado por el calor que resultaba de algunas sustancias combustibles inflamadas, el que elevaba el globo; pues el*

calor dilatando el aire lo hacia específicamente mas ligero. Muy pocos dias trascurrieron para que Charles imaginara encerrar dentro de una cubierta ligera un gas menos denso que el aire, y con efecto elevó en Paris el dia 27 de Agosto de 1783 un globo construido segun sus principios. Pilatre de Rosiers, y de Arlandes fueron los primeros que se lanzaron en la atmósfera, y en 1.º de Diciembre de 1783 Charles y Robert subieron en globo perdido. Para dar una idea de los globos aerostáticos, copiaré á la letra lo que acerca de ello he escrito en mi curso de química.

«Basta comparar las densidades respectivas del aire atmosférico y del gas hidrógeno, para convencerse de la posibilidad de poder elevar globos aerostáticos por medio de este cuerpo.»

«Para las ascensiones aerostáticas deben tenerse en cuenta dos cosas; la preparacion del gas, y la construccion de la cubierta que debe retenerle. La obtencion de la sustancia gaseosa está fundada en los principios que enseña la química, (v. hidrógeno) con la sola diferencia de operar bajo una escala mayor, y sustituir con toneles los frascos de cristal: estos toneles tienen los agujeros necesarios para los tubos conductores. Se coloca en cada tonel una cantidad abundante de limaduras de hierro, y con un tubo de plomo se introduce el ácido sulfúrico debilitado con el agua suficiente: un segundo tubo de plomo conduce el gas para lavarle en una vasija llena de agua tapada herméticamente, y con una manga de cuero se introduce en el globo que se pretende llenar.»

«En las operaciones de esta naturaleza, donde se emplean grandes cantidades de las sustancias que van á ponerse en accion, no debe tenerse una confianza absoluta en los datos que marca la teoria, porque ni las materias que se usan tienen aquel grado de pureza que el químico supone en sus cálculos, ni los instrumentos están con toda la perfeccion que exige la ciencia. Sin embargo, la experiencia ha hecho conocer, que 3 quilógramos de hierro, y 5 de ácido sulfúrico debilitado con la cantidad de agua correspondiente, pueden dar hasta un metro cúbico de gas hidrógeno: de aquí se sigue, que co-

nociendo el volúmen del globo en metros cúbicos, se puede determinar con facilidad las cantidades en peso de las materias que por su reaccion han de producir el gas hidrógeno:

$V \times 3 =$ al peso del hierro en quilógramos.

$V \times 5 =$ al peso del ácido sulfúrico en quilógramos.

$V \times 30 =$ al peso del agua en quilógramos, etc.²

Mas adelante sigue así. «Para calcular el volúmen de un globo bastará recordar que toda esfera $V E$, es igual á la superficie $S E$ multiplicada por el tercio del radio, ó $V E = S E \times \frac{1}{3} R = \frac{1}{6} \times 3,1415 \times D^3 = 0,5235 \times D^3$; esto es $V E = \pi D^2 \times \frac{1}{3} R = \pi D^2 \times D = \pi D^3$.”

La superficie tambien se calcula de la misma manera, recordando que la superficie de toda esfera $S E$, es igual á la circunferencia de un círculo máximo multiplicada por su diámetro, ó $S E = 2 \pi R \times D = \pi^2 \times D = \pi \times D \times D = \pi D^2 = 3,1415 \times D^2$.”

«El diámetro de cualquier globo es un dato conocido.”

«Ademas parece que un metro cúbico de aire á una temperatura y presion media, pesa aproximadamente 1300 gramos: un volúmen igual de gas hidrógeno húmedo é impuro solo pesa 100 gramos, la diferencia de 1200 es el peso que un metro cúbico de gas hidrógeno sostendrá en equilibrio en el aire. De aquí se infiere que el volúmen de todo globo expresado en metros cúbicos, multiplicado por 1,2 será el número de quilógramos que podrá sostener.”

«Por otra parte se valúa en 250 gramos, ó á un cuarto de quilógramo, el peso de un metro cuadrado de tafetan barnizado propio para la construccion de los globos; luego dividiendo la cantidad que representa la superficie por 4, el cociente indicará el peso del tafetan empleado en aquel globo representado en quilógramos.”

«Por último la diferencia entre el peso que el gas es susceptible de sostener, y el que tiene la cubierta que le envuelve, será la cantidad de fuerza ascensional, la cual deberá modificarse con la carga de cuerdas, instrumentos, ropa forrada con pieles, lastre etc., cuidando de conservar solamente una diferencia específica de uno ó dos quilógramos en favor del globo.”

«Conocido el volumen del globo, basta extraer la raíz cúbica y multiplicarla por 0,62 para conocer el radio representado en metros, etc.»

Ademas, todo globo está provisto de un para-caidas, y dos válvulas que se abren por medio de un cordón que pende hasta la navicilla, y están cerradas por la fuerza elástica del gas. Para mayores detalles véase la obra indicada.

En el día se suelen llenar los globos aerostáticos por medio del gas del alumbrado.

180. Mezcla de los fluidos elásticos. Las mezclas de los fluidos aeriformes tienen sus densidades proporcionales á las que corresponden á los cuerpos que las forman. Así el aire atmosférico que se representa por uno, el cual está formado en 100 partes de 21 de oxígeno y 79 de nitrógeno, la densidad del primero es mayor que la del cuerpo con quien se compara, y la del segundo menor. Cuando hay reaccion molecular ó química, se modifican las propiedades de los elementos para adquirir otras nuevas. Si dos vasos que cada uno contenga un gas diferente se ponen en comunicacion, se mezclarán dichos gases, y pasado algun tiempo se habrá obtenido un todo homogéneo. Para este fenómeno poco importan las distintas densidades que los gases pueden tener, ni mucho menos sus fuerzas elásticas, ni la figura y disposicion de los vasos.

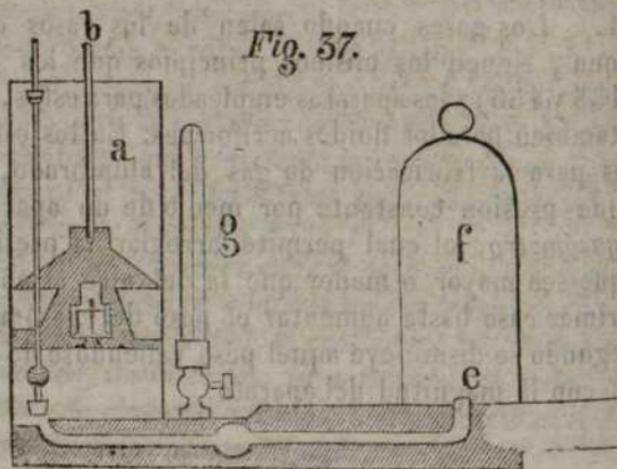
181. Los gases cuando salen de los vasos que les contienen, siguen los mismos principios que los líquidos (154, 155 y 156) y los aparatos empleados para estos, pueden servir tambien para los fluidos aeriformes. En los establecimientos para la fabricacion de gas del alumbrado, se obtiene una presion constante por medio de un aparato llamado *gasómetro*, el cual permite arreglar la presion, de modo que sea mayor ó menor que la del aire atmosférico; en el primer caso basta aumentar el peso del gasómetro, y en el segundo se disminuye aquel peso valiéndose de contrapesos, ó con la magnitud del aparato.

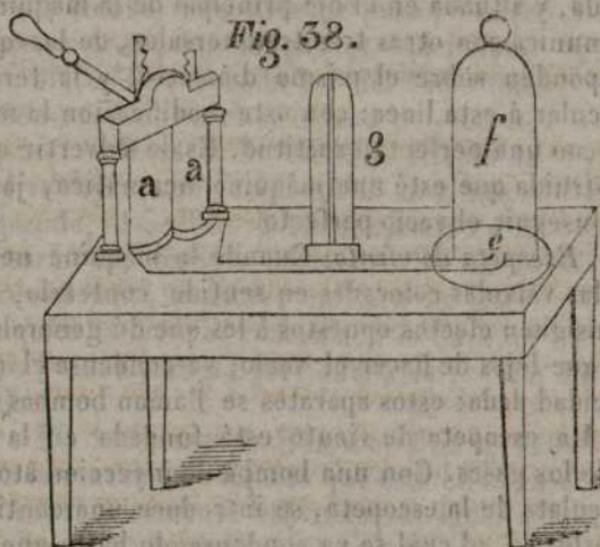
LECCION VIII.

Concluye la hidrostática y la hidrodinámica.

182. *Manómetro.* Este instrumento puede considerarse como un barómetro de sifon, cuya cubeta está cerrada herméticamente á la lámpara de esmaltar, y quedando aislado el aire atmosférico que contiene. Los tubos de seguridad llamados de Welter deben colocarse en la clase de verdaderos manómetros, porque indican la tension de los gases que contienen los aparatos de que hacen parte: en las máquinas soplantes se usa tambien del manómetro para conocer aproximadamente la tension del aire, y apreciar la cantidad que pasa en un tiempo dado por un tubo cuyo diámetro se conoce.

183. *Máquina neumática.* La máquina neumática inventada en 1650 por Otto de Guericke, es un aparato destinado á extraer el aire encerrado en una campana ó recipiente, ú de otro vaso cualquiera, con tal que su figura sea circular. Consta esta máquina de dos cuerpos de bomba cilindricos *a*, fig. 37 y 38, de dos émbolos *b* que se ponen en





movimiento por medio de la palanca *c*, del platillo *e* en el cual se coloca la campana *f*, y de un barómetro truncado *g* situado á la mitad del tubo que pone en comunicacion el recipiente con los cuerpos de bomba.

El barómetro destinado á señalar la tension del aire interior, es generalmente truncado, aun quando se ven varias máquinas neumáticas en las cuales es entero.

Sirve este aparato para hacer una serie de experiencias curiosas al par que interesantes, acerca de las presiones, sobre la accion de ciertos agentes que obran en la economia vi-
viente, y para conocer algunas propiedades de los cuerpos orgánicos é inorgánicos. En el dia la máquina neumática tiene una modificacion inventada por Mr. Babinet, que es de la mayor importancia: consiste principalmente en una llave de paso colocada en la bifurcacion del tubo horizontal,

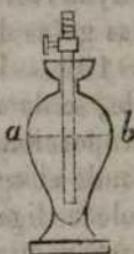
cuya figura es la de una T mayúscula, y por medio de la cual se pone en comunicacion el conducto horizontal con los cuerpos de bomba. Tiene esta llave en el centro una canal prolongada, y situada en el eje principal de la máquina; esta canal comunica con otras tres transversales, de las que dos se corresponden sobre el mismo diámetro, y la tercera es perpendicular á esta línea: con esta modificacion la máquina funciona con una perfecta exactitud. Es de advertir que por bien construida que esté una máquina neumática, jamas se llega á conseguir el vacío perfecto.

184. *Escopeta de viento.* Cuando la máquina neumática tiene las válvulas colocadas en sentido contrario, entonces se consiguen efectos opuestos á los que dú generalmente: es decir, que lejos de hacer el vacío, se condensa el aire en una capacidad dada: estos aparatos se llaman bombas de inyeccion. La escopeta de viento está fundada en la fuerza elástica de los gases. Con una bomba de inyeccion atornillada en la culata de la escopeta, se introduce una cantidad de aire atmosférico, el cual se va condensando hasta que representa diez ó doce atmósferas de tension: una vez quitada la bomba y colocado en su lugar el cañon, se carga con la bala y tacos correspondientes; por medio de un resorte se abre la válvula, el aire sale con fuerza, y lanza el proyectil á una distancia mas ó menos grande. Es de advertir que se pueden tirar varios tiros, porque la válvula solo deja pasar una corta cantidad de aire; però la distancia á que arroja el proyectil va siendo cada vez menor, porque el gas encerrado se halla menos comprimido.

185. *Fuentes de compresion.* Esta clase de aparatos se pueden reducir á la fuente de compresion ordinaria, la de Heron, la intermitente, y algunas lámparas hidrostáticas: ademas el vaso de Mariotte (158), el cata-licores y los sifones, de los cuales hablaremos en lugar oportuno.

186. La fuente de compresion, fig. 39, consiste en un vaso cuyas paredes tengan bastante espesor, y la boca dispuesta de tal manera que se le puede adaptar una bomba; una llave de paso permite que la fuerza de tension del gas introducido, no ejerza su efecto sino á voluntad del físico que opera. Se introduce en el vaso una porcion de agua hasta la altura *a b*, luego se adapta la bomba y se inyecta una cantidad de aire mas ó menos grande, el cual se va condensando en la parte superior del vaso, y cuando se ha introducido la suficiente se cierra la llave de paso: luego se quita la bomba, y abriendo la llave, el agua sube á una altura proporcional á la tension del aire introducido.

Fig. 39.



187. En la fuente de Heron el aire se halla comprimido por la cantidad de líquido que está en el vaso superior, y su altura, técnicamente hablando, es igual á la distancia de los dos niveles. Se conoce otro pequeño aparato llamado Ludion, que consiste en una esfera hueca de cristal provista de un pequeño agujero en la parte inferior; la que por medio de lastre se sostiene verticalmente dentro de una campana llena de agua: la campana está tapada con una cubierta elástica ó bien con un tornillo, y cuando se comprime el líquido con la mano ó el tornillo, una corta cantidad de agua entra en la esfera, se hace mas pesada y baja hasta el fondo; al paso que separando la causa comprimente, el agua vuelve á su posicion natural, y la esfera sube á la parte superior.

188. *Surtidores.* Se conocen con el nombre de surtidores unos chorros de agua que se elevan en figura cónica, piramidal ú otra distinta, para volver á caer tan luego como cesa de obrar la fuerza que actua. La direccion del chorro de agua es debida á la gravedad que obra en sentido vertical, y á la fuerza impulsiva cuya accion es perpendicular á la pared. Los surtidores verticales tienen los orificios practicados en paredes horizontales, y los parabólicos se hallan en una pared mas ó menos inclinada. Siguiendo los principios senta-

dos en el teorema de Torricelli, el agua debe subir á una altura igual al punto en que se halla el depósito; pero en la práctica se encuentran algunos obstáculos que se oponen á ello; entre estos obstáculos se pueden citar los rozamientos, la resistencia del aire, y hasta el estorbo de las pequeñas gotas de agua durante su caída.

190. Para obtener en un surtidor la mayor altura posible, se da al orificio de salida un diámetro que guarde cierta proporcion con el que tiene el tubo de conduccion, practicando el agujero en una lámina llamada *platina*, la cual se coloca ligeramente inclinada. Es tambien conveniente, y hasta indispensable, dar á los tubos un diámetro proporcional á su longitud, procurando que sean perfectamente cilindricos; con estas condiciones se consigne que la altura del surtidor sea la mayor posible; es decir, que para un depósito de diez piés y dos pulgadas, el agua se elevará á diez piés.

191. *Fórmula de Mariotte*. Este físico despues de repetidas experiencias, ha deducido la relacion entre la altura del surtidor y la del depósito. Conociendo la altura del surtidor, que llamaremos x , representada en piés, basta añadir tantas pulgadas cuantas unidades dé por cociente $\frac{x}{5}$ elevado al cuadrado.

192. *Sifones*. El sifon es un tubo encorvado con sus brazos desiguales, que se destina para trasvasar los líquidos, obrando la presión atmosférica. Este instrumento consta, fig. 40, de dos ramas, una corta que se sumerge en el líquido, y otra larga por donde se dilata el aire haciendo que la presión atmosférica obré sobre la superficie fluida para que este suba hasta la parte curva. Algunos sifones tienen una rama para aspirar el

Fig. 40.



aire, la cual no debe estar á la misma altura que la curvadura.

Hay ciertos vasos llamados *vasos de Tántalo*, en cuyo interior se ha colocado un sifon: en ciertos casos el sifon está dispuesto de tal manera, que hace oficio de asa; estos aparatos llevan tambien el nombre de *sifones intermitentes*.

193. *Fuente intermitente*. La teoría de los sifones sirve para explicar las fuentes intermitentes que con tanta frecuencia se encuentran en varios países. El agua que se infiltra al través de las capas permeables, va depositándose hasta que su nivel llega á la altura correspondiente al punto de su salida. Claro está que para ello hay necesidad de una capa de sustancia impermeable para que sirva de base al depósito, y que la altura de nivel sea la suficiente para la salida. En esta clase de fuentes naturales, las presiones de los terrenos sobre el depósito de liquido son bastante insignificantes. En los gabinetes de física hay una fuente intermitente, que puede considerarse como una modificación de la fuente de Heron.

194. *Bombas*. Las bombas son ciertos aparatos destinados á elevar y llevar el agua de un lugar á otro. Las hay de diferentes clases, y varían segun el uso á que se destinan. Las bombas constan de tres partes esenciales, cuales son *émbolos, válvulas y tubos*. El émbolo es un cuerpo cilindrico que llena exactamente la capacidad de un tubo que se llama *cuerpo de bomba*: el espacio determinado que recorre el émbolo en su movimiento alternado, se llama *carrera*. La parte de la bomba que se introduce en el agua, tiene unos agujeros pequeños para impedir que entren piedras ú otros cuerpos extraños, y el extremo del tubo está muchas veces cerrado con un tapon de madera que se apoya en el fondo del receptáculo. Hay bombas pequeñas que sirven en las fábricas para vaciar calderas; otras se destinan para regar los jardines; las hay de grandes dimensiones para extraer el agua de las minas, para el consumo de las poblaciones y distribución de sus aguas, etc. Estas grandes bombas se mueven por medio de máquinas de vapor.

Las válvulas son unos diafragmas que se mueven en forma de visagra, y están colocados en los tubos para interceptar el paso del liquido segun que la presion se ejerce en tal ó cual sentido, ó bien para facilitarlo cuando obra en el opuesto. En las bombas mas sencillas hay, cuando menos, dos válvulas que se abren de abajo arriba para dar paso libre al agua ascendente é impedir que vuelva á bajar: la inferior se llama válvula *durmiente*, porque no varía de sitio en lo largo del tubo, al paso que la otra, colocado en el centro del émbolo sigue en movimiento.

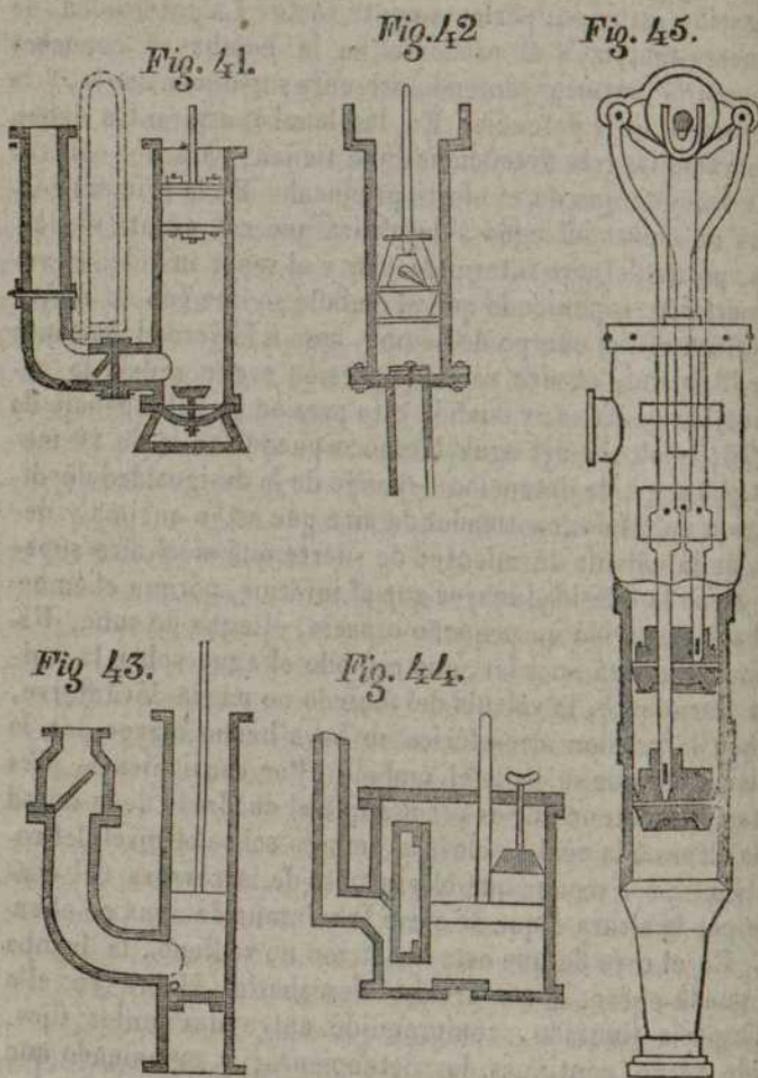
195. Las bombas se dividen en impelentes, aspirantes y aspirantes é impelentes. En las bombas impelentes en nada influye la presion atmosférica, pues sus efectos tendrian lugar del mismo modo en el vacío; por consiguiente son de grande importancia para ascender los liquidos que tienen sus temperaturas elevadas, porque los vapores no perjudican á su uso, ni mucho menos influyen en el ascenso del fluido. La potencia que pone una bomba impelente en accion, sostiene una columna liquida levantada que gravita sobre la cabeza del émbolo, de modo que la fuerza empleada para ascender el agua, es igual al peso de una columna liquida cuya base es la cabeza del émbolo, y la altura la diferencia de los dos niveles superior é inferior; por consiguiente en la bomba impelente el limite de ascension, estará representado por la intensidad de la fuerza que obra, teniendo en cuenta el roce del émbolo y el peso de las válvulas. El efecto producido por cada golpe de émbolo consiste visiblemente en levantar á la altura del desagüe, un cilindro de agua de un volumen igual al que el émbolo arroja en su carrera: claro está que toda vez que nos sean conocidas las dimensiones de la bomba, y la intensidad de la potencia, será fácil calcular el tiempo que se necesita para llenar un receptáculo de una capacidad dada. En la bomba aspirante, el agua se eleva en el tubo de aspiracion á cierta altura, cuando el émbolo ha llegado á lo alto de su carrera, hasta que la columna liquida mas la elasticidad del aire equivalen á la presion atmosférica; de modo que el agua sube por efecto de esta presion.

La presión varía según los tiempos y lugares en que se verifica la observación; en el nivel del mar sabemos que la variable se halla á $0,76$ de altura en el tubo barométrico cuyo líquido es el mercurio, luego multiplicando $0,76$ por $13,5886$ que es la densidad del mercurio, se tendrá una altura de $10,44$ á la cual podrá elevarse el agua si el tubo de aspiración estuviese perfectamente vacío. La intensidad de la fuerza motriz, y el producto de la bomba se conocerá como en la anterior teniendo presente sus dimensiones, y la intensidad de la potencia. En las bombas aspirantes deben observarse las tres detenciones que tienen, para no equivocarse el cálculo que da el efecto producido. En la primera conviene no elevar el agua á la altura que representa el cálculo, porque el aire intermolecular y el vapor impiden el vacío perfecto, suponiendo que el émbolo se une con la mayor exactitud con el cuerpo de bomba, cosa á la verdad bastante difícil. Además el aire varía de presión según señala la columna barométrica, y cuando esta presión se halla debajo de $0,73$, la altura del agua tampoco puede ser la de 10 metros. La segunda detención depende de la desigualdad de dilatación en las dos cantidades de aire que están encima y debajo de la válvula durmiente; de suerte que si el aire superior tiene la densidad mayor que el inferior, porque el émbolo haya recorrido un pequeño espacio, el agua no sube. Finalmente podrá suceder, que estando el agua sobre la válvula durmiente, la válvula del émbolo no pueda levantarse, porque la presión atmosférica se haya hecho mayor por la posición en que se halla el émbolo. Por consiguiente, para evitar esta detención, es preciso que el cuadrado de la mitad de la altura á la cual se eleva el émbolo sobre el nivel del receptáculo, sea menor que el producto de la carrera del émbolo por la altura á que se eleva la columna de agua en el vacío. En el caso de que esta condición no se llene, la bomba no puede obrar, y es preciso desecharla. Habrá en ella un espacio limitado, comprendido entre dos puntos fijos, donde serán continuas las detenciones; y suponiendo que el agua pudiera elevarse sobre el primer punto de de-



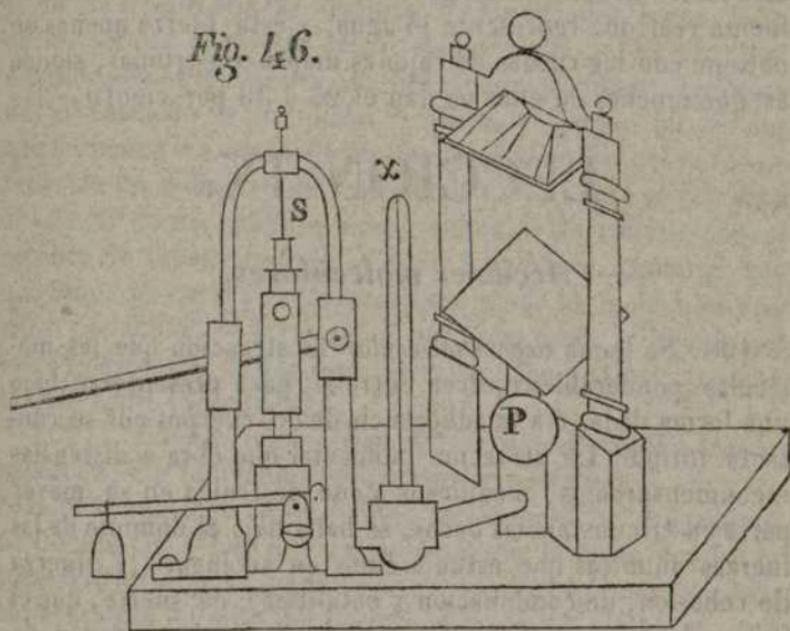
tencion volveria á caer y no se obtendria efecto alguno.

Las bombas mas conocidas son la impelente, fig. 41; la bomba aspirante, fig. 42; la aspirante é impelente, fig. 43; la de doble efecto, fig. 44; la real ó de doble émbolo, fig. 45; la de sacerdotes, etc. etc.



196. *Prensa hidráulica.* La prensa hidráulica es una máquina de grande importancia, fundada en la poca compresibilidad del agua, la cual sirve para diferentes industrias agrícolas y manufactureras. En esta clase de aparato, fig. 46,

Fig. 46.



se reconocen dos partes bien distintas, cuales son la bomba ó bombas aspirante y compresiva que da la presión, y un plato cuya parte inferior tiene la figura cilíndrica, cónica ó de un segmento de esfera, destinado á recibir aquella presión para transmitirla á los cuerpos que se pretenden comprimir. Suponiendo que la sección del émbolo S, es la centésima parte del émbolo P, claro está que cualquier esfuerzo producido sobre el primero, dará un efecto cien veces mayor en el segundo. Por medio de la palanca un hombre puede hacer sin incomodarse sobre el émbolo S, un esfuerzo de 300 quilógramos, el cual resultará de 30 mil en el émbolo P. Las presiones se miden en el manómetro α , ó bien con una válvula colocada oportunamente en la primera porción del tubo de la bomba.

197. *Ariete hidráulico*. Se conoce un aparato llamado *ariete hidráulico* inventado por Mongolfier en 1737, el cual se destina con preferencia á elevar aguas aprovechando la fuerza motriz del agua de un manantial; en la práctica de este instrumento se consigue mas de un 60 por 100 de la fuerza real que representa el agua, y esta fuerza apenas se obtiene con las ruedas de cajones mejor construidas, siendo así que muchas de ellas no dan el 25 ó 30 por ciento.

LECCION IX.

Acciones moleculares.

198. Se llama *accion molecular* la atraccion que las moléculas ponderables ejercen entre sí, para presentarse bajo una forma dada; ó á la adherencia de dos cuerpos por su contacto íntimo. La atraccion molecular que obra á distancias inconmensurables, modificada y aun destruida en su mayor parte en circunstancias dadas, se halla bajo el dominio de las fuerzas químicas que estudiaremos en su lugar (v. fuerza de cohesion, de combinacion y catalítica): de suerte, que el físico solo se ocupa de la capilaridad, de la elasticidad y de la estructura de los cuerpos, cuyos fenómenos comprende el estudio de las acciones moleculares.

199. Sin embargo, hay varios hechos demostrados por la experiencia debidos al simple contacto, que sin poderse clasificar como un resultado de la atraccion química, presentan no obstante todas las apariencias de una accion atractiva. Con efecto, un disco de cristal suspendido de un platillo de la balanza hidrostática y restablecido el equilibrio con las pesas suficientes, adquiere mayor peso cuando la superficie inferior toca á la de un líquido; otro tanto se observa con dos cuerpos sólidos cuyas superficies de contacto están perfectamente planas y bien dispuestas. Esta propiedad de adherencia debida á la fuerza de cohesion, queda sin efecto tan luego como la distancia que separa los dos cuerpos puede

apreciarse por nuestros sentidos. La fuerza de cohesion es notablemente mayor que la de la pesantez.

200. *Capilaridad.* Se llama *capilaridad*, *accion capilar*, ó *atraccion capilar*, á los fenómenos á que da origen el contacto de los sólidos con los líquidos, de los líquidos entre sí, y de los sólidos unos con otros, siempre que no se efectuan segun las leyes generales de la hidrostática. Estos fenómenos se verifican de un modo manifiesto, cuando los sólidos que se ponen en contacto con los líquidos están provistos de tubos de un diámetro muy pequeño, cuyo calibre se compara al espesor de un cabello: á estos tubos se les conoce con el nombre de *tubos capilares*. En los fenómenos capilares hay que tener en cuenta la atraccion mutua de las moléculas entre sí, la accion de las paredes del tubo sobre el líquido, el estado particular de las superficies líquidas y el que presentan las capas inmediatas.

201. *Ascenso y depresion de los líquidos en los tubos capilares.* Un fenómeno de la mayor importancia se observa, cuando se sumerge en un líquido un tubo capilar. La columna líquida jamas tiene el mismo nivel que la masa donde se sumergió el tubo, sino que su altura es mayor ó menor segun la naturaleza química del líquido, y la de la sustancia que constituye el tubo: basta introducir en agua ó mercurio un tubo de vidrio abierto por sus extremos y cuyo diámetro sea capilar, para convencerse de estas verdades. Generalmente se dice, que cuando el líquido puede mojar las paredes del tubo, la columna capilar se eleva sobre el nivel de la masa; y por el contrario esta altura es menor si el líquido no moja aquellas paredes: así se ve que la columna se eleva con el agua, el alcohol etc., y se deprime con el mercurio: siendo de notar que la elevacion ó depresion se halla en razon inversa del diámetro del tubo.

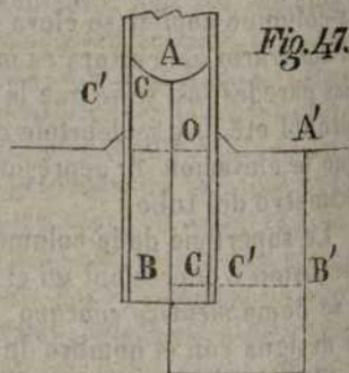
La superficie de la columna capilar es diferente segun hay ascension ó depresion: en el primer caso se presenta cóncava y se llama *menisco cóncavo*, y en el segundo es convexa y se designa con el nombre de *menisco convexo*.

202. Otro fenómeno importante que se explica por la

capilaridad, es la atraccion y repulsion de los cuerpos flotantes, ya para reunirse unos con otros ó para separarse, ya con el objeto de adherirse á las paredes del vaso que contiene el liquido. Cuando dos cuerpos sólidos en parte sumergidos en un liquido, se han colocado á una distancia conveniente, y luego se abandonan á sus acciones recíprocas, se acercarán hasta ponerse en contacto aparente, si el liquido puede mojarlos: igualmente habrá atraccion si las sustancias sumergidas no son mojadas por el liquido; pero se manifestará una repulsion mas ó menos grande, si una de las esferas puede mojarse y la otra no. Parece indudable que la atraccion resulta del cruzamiento de las columnas líquidas, el cual tiene lugar á distancias imperceptibles. De la capilaridad dependen varios fenómenos importantes, entre los cuales merecen citarse la ascension del aceite en las mechas que deben considerarse como hacecillos de tubos capilares, la adhesion de los líquidos en el interior de los tubos, el *endósomo* y *exósomo* descubierto por Mr. Dutrochet en 1827, etc.

203. *La teoria explica de un modo satisfactorio estos diversos estados, y para ello nos valdrémos de la explicacion que da M. Lamé en su curso de fisica dado en la Escuela Politécnica.*

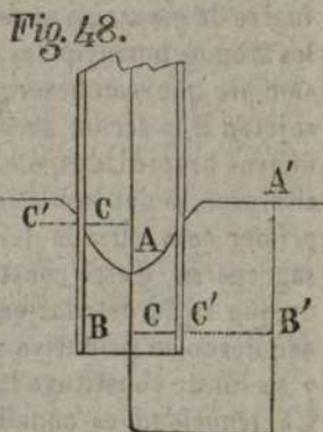
«Considérense dos láminas de cristal colocadas verticalmente y bastante próximas entre sí, para que el liquido pueda elevarse ó deprimirse sobre el nivel exterior $A' O$ de una altura ó depresion $A O$, y compárense las presiones que se verifican por ambos lados de una misma lámina, fig. 47. Sean $A B C$, y $A' B' C'$ dos filetes de liquido; el primero desde luego vertical en $A B$ en el intermedio capilar, luego horizontal en $B C$, y perpendicular á la lámina de cristal que se considera; el segundo bajando verticalmente



en $A' B'$ por debajo de la superficie plana del líquido exterior, y se encorva en $B' C'$ para rematar perpendicularmente en la lámina C' sobre la misma horizontal que el punto C . Si P representa la presión atmosférica, g la pesantez, y d la densidad del líquido multiplicada por la sección común á los dos filetes, la acción debida á la convexidad del nivel entre las dos láminas será $\overline{+M} = g. d. \overline{A O}$. La presión ejercida en C sobre la lámina de C hácia C' , será $P + A + \overline{+M} + g. d. \overline{A B}$, disminuida de A , presión debida á la superficie plana C . La presión que se verifica en C' sobre la misma lámina de C hácia C' , será igualmente $P + A + g. d. \overline{A' B'} - A$. Pero como estas dos cantidades son iguales en virtud del valor de M , la lámina estará igualmente comprimida por sus dos costados de la porción bañada por el líquido.

Mas en el caso de la concavidad, si $\overline{A B}$ es menor que $\overline{A O}$, fig. 48, el punto C' se hallará colocado sobre el líquido exterior: entonces la presión C , que es $P + A - g. d. \overline{A O} + g. d. \overline{A B} - A$, ó $P - g. d. \overline{B O}$, es mas pequeña que la presión P que actúa en C' . Así en virtud del exceso de esta última presión, una lámina mojada, cuando el líquido se eleva sobre sus dos superficies á alturas diferentes, debe marchar hácia el costado donde la altura del líquido es mayor. Si en el caso de la superficie convexa, $\overline{A' B'}$ es menor que $\overline{A O}$ el punto C , que es $P + A + g. d.$

$\overline{A' B'} - A = P + g. d. \overline{A' B'}$, es mayor que la presión P ejercida en C . Así en virtud del exceso de la primera presión, una lámina que deprime un líquido á alturas distintas para cada una de sus dos superficies, debe



dirigirse hácia el costado en que la depresion es mayor. Por consiguiente, cuando dos cuerpos flotantes ó dos láminas sumergidas en un liquido que pueda mojarlas, y colocadas á una distancia conveniente se abandonan á sí mismas, deben aproximarse hasta el contacto aparente; otro tanto debe suceder si ambas deprimen el liquido de la misma cantidad; pero si el liquido se eleva en una y se deprime en la otra, resulta que la elevacion y la depresion son menores entre sí, que sobre las dos superficies exteriores; en cuyo caso deben separarse segun los principios expuestos.

204. *Elasticidad.* La experiencia nos enseña que todos los cuerpos sólidos y liquidos aumentan de volúmen cuando se calientan (248), y lo disminuyen siempre que falta el calor. Esta propiedad nos manifiesta que los átomos que constituyen una sustancia no están en contacto íntimo, sino que se hallan solicitados por una fuerza que tiende á aproximarlos y á reunirlos. Por consiguiente, existen en todos los cuerpos, cualquiera que sea su estado, dos sistemas de fuerzas, uno que tiende á separar los átomos, y otro que procura reunirlos, y el equilibrio de estas fuerzas es lo que constituye el estado sólido. La fuerza que pretende reunir á los átomos para dar á los cuerpos el carácter de solidez, se llama fuerza de *atraccion molecular*: esta se divide en *cohesion* para los átomos homogéneos, y en *afinidad* ó fuerza de *combinacion* siempre que sean heterogéneos. Cuando los cuerpos sólidos se sujetan á la accion de la traccion ó de la presion, adquieren nuevas propiedades, ó bien vuelven á su primitivo estado sin alterarse, segun sea la intensidad de aquellas acciones. En el primer caso varía la densidad y la forma del cuerpo sin desagregarse, y esto constituye la *ductilidad* y la *maleabilidad* de que están dotadas varias sustancias. En el segundo caso adquieren su primitiva posicion en virtud de la *elasticidad*, y su limite constituye lo que se llama *limite de la elasticidad*. La *tenacidad* es aquella propiedad que tienen los cuerpos maleables cuando están reducidos á hilos de igual diámetro, de sostener pesos mas ó menos considerables.

205. Por consiguiente se llama *elasticidad* aquella pro-

riedad que tienen los cuerpos sin romperse ni desagregarse, de volver á adquirir su forma y volúmen primitivo, tan pronto como dejan de actuar las potencias mecánicas que obraban sobre ellos. La elasticidad se manifiesta sobre todos los cuerpos de la naturaleza; pero hay algunos como los líquidos y los gases donde se presenta con la mayor perfeccion. En los sólidos se nota menos exactitud, y la elasticidad de que están dotados depende de la naturaleza química de su sustancia, y del arreglo y modificacion de sus átomos; así es que la operacion del temple comunica elasticidad á cuerpos que no la tenian, al paso que el *recocido* y el enfriamiento lento, disminuyen notablemente esta propiedad.

La elasticidad puede presentarse bajo tres puntos de vista diferentes: 1.º bajo el influjo de la presion, y se llama elasticidad de presion; 2.º como resultado de la traccion, y se denomina elasticidad de traccion; y 3.º cuando vuelve sobre el eje estando un extremo fijo, y se dice elasticidad de torsion.

206. *Cuando las moléculas de un cuerpo se hallan en reposo, las fuerzas de repulsion y atraccion están mutuamente equilibradas; pero si sobre la superficie se hace obrar una potencia cualquiera, las moléculas inmediatas reciben el efecto de la accion mecánica, se ponen en movimiento, este se trasmite por toda la masa, y resulta una especie de movimiento oscilatorio que altera el primitivo arreglo molecular, cambia ligeramente la forma exterior del cuerpo, hasta que se constituye en un nuevo estado de equilibrio. De aqui proviene que la traccion que obra sobre la primera capa ó disco de un sólido que tenga la figura prismática ó cilíndrica, se propaga por capas en toda la masa, y esta sufre una ligera prolongacion: en este caso la fuerza de cohesion disminuye de una cantidad igual á la de traccion. Mas si el sólido está expuesto ó una presion mas ó menos grande, entonces la fuerza comprimente que obra desde luego sobre la primera capa, se trasmite á su interior por capas paralelas, y la masa experimenta una disminucion de volúmen: la fuerza de cohesion ha aumentado de una cantidad igual á la fuerza comprimente. Pero si la traccion y presion dejan de obrar, el cuerpo*

vuelve á su primitivo estado y figura, en virtud de la fuerza elástica de que está dotado.

207. Coulomb por medio de experiencias repetidas llegó á probar, que el ángulo de torsion es proporcional á la longitud del cilindro, en el acto de efectuarse la fuerza de torsion, y está en razon inversa del coheficiente de la elasticidad y de la cuarta potencia del diámetro del cuerpo. Si representamos por p el ángulo de torsion, por F el instante en que la fuerza tuerce el hilo, por R el radio del cilindro y por A la cantidad constante que se designa con el nombre de coheficiente de la elasticidad, el cual varía con la naturaleza del cuerpo, tendremos:

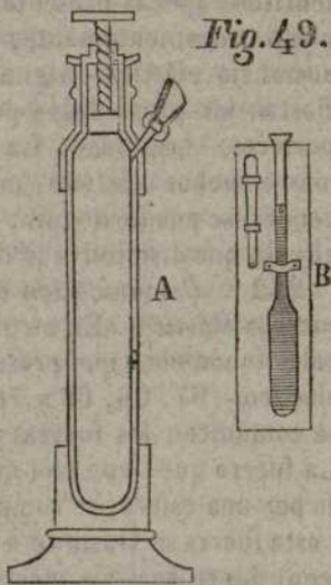
$$p = \frac{2 F}{\pi A R^4} z.$$

Esta fórmula nos manifiesta que, si dos fuerzas de torsion F y F' son capaces de dar á dos alambres dotados del mismo coheficiente de elasticidad A A' con igual longitud z y con el mismo radio R , un ángulo de torsion p , de igual número de grados, serán entonces proporcionales á A y A' . Por este medio se puede conocer con bastante exactitud, la relacion de los coheficientes de elasticidad: para ello basta suspender en la posicion horizontal, una misma aguja en uno de los extremos de los dos alambres, y se verá que la aguja por efecto de la torsion, hará un esfuerzo para equilibrarse; este estado de equilibrio corresponde á cero de torsion, mas con una intensidad variable y constantemente proporcional al ángulo de separacion: de suerte que las oscilaciones serán isócronas, y el cuadrado del número de dichas oscilaciones verificadas en un tiempo dado, será proporcional á la fuerza de torsion para un ángulo igual á la unidad, ó bien al coheficiente de elasticidad. Ahora bien, representando por x y x' el número de oscilaciones verificadas por la aguja en un minuto, habiéndola suspendido sucesivamente de los dos alambres propuestos, se tendrá $A' : A :: x'^2 : x^2$.

208. En fisica se emplea la balanza de torsion, por me-

dio de la cual esta fuerza obra en direccion opuesta á la que se pretende medir. Este aparato se debe á Coulomb: el que Cavendish imaginó para probar que todos los cuerpos se atraen mutuamente, y demostrar al propio tiempo la densidad media de la tierra, no es otra cosa que una balanza de torsion.

209. *Compresibilidad de los líquidos.* La compresibilidad de los líquidos fué un punto de la ciencia que llamó la atencion de los físicos de la edad media. Se habia creído que los líquidos eran incompresibles, atendidos los malos resultados que consignaron los académicos de Florencia, y otros profesores del siglo XIII; pero Canton, físico ingles, fué el primero que en 1761 indicó la compresibilidad de los líquidos; mas su aparato incompleto, solo manifestó esta presion de un modo vago y dudoso. Mr. OErsted en 1823 por medio de un aparato apropiado, observó que la presion disminuia el volúmen de los líquidos: este instrumento llamado por algunos *piezómetro*, consta de dos partes; de un receptáculo cilindrico de cristal A, fig. 49, y de otro B con un tubo capilar el cual suele llamarse á él solo *piezómetro*. El primero es un cilindro de cristal bastante grueso, armado con dos fuertes abrazaderas de metal, de las que la superior tiene un fuerte tornillo y un embudo. El piezómetro tiene un tubo capilar de graduacion conocida, y proporcional á la capacidad del receptáculo piezométrico. Para operar con este aparato hay que tener en cuenta el cambio de capacidad que experimenta el cilindro de cristal, y la contraccion lineal de esta misma sustancia: la presion se verifica sobre la masa líquida por medio del tornillo, y se manifiesta en el piezómetro.



210. Los señores Sturm y Colladon han modificado este aparato, con el objeto de poder conseguir las presiones mucho mas intensas. Ante todo han dado al cilindro de cristal un espesor mayor, y mayor solidez á las abrazaderas de metal; han sustituido al indice de mercurio del piezómetro, una burbuja de aire ó una partícula de sulfido carbónico: con estas dos sustancias se puede emplear un tubo de un diámetro mayor; últimamente en vez del tornillo se usa de una bomba comprimente. En el acto de operar se sumerge la parte inferior del aparato en agua fria, para absorber el calor que la presion desenvuelve. Con estas correcciones la compresibilidad cúbica del mercurio bajo el aumento de una atmósfera, es de 0,00000338; la del agua 0,00004965; la del alcohol 0,00009165; la del ácido sulfúrico á 66° 0,00012665, etc.

211. *Compresibilidad de los sólidos.* Los cuerpos sólidos son mas ó menos elásticos, segun la naturaleza química de las sustancias elementales que los forman, y las modificaciones de cohesion que han sufrido atendidas las circunstancias á que se han expuesto. El acero recocido y enfriado con lentitud, apenas presenta indicios de elasticidad; pero templado convenientemente, tiene todos los caractéres de una sustancia elástica. Algunos cuerpos como el marfil, manifiestan las propiedades peculiares á una materia dotada de perfecta elasticidad. La compresibilidad de las sustancias mas ó menos elásticas, modifica sus propiedades físicas: en general se puede asegurar que aumenta la dureza y densidad, al paso que disminuye la ductilidad y maleabilidad.

212. *Comunicacion de las fuerzas en el choque de los cuerpos elásticos.* En otro lugar nos ocupamos de los principales fenómenos que presenta el choque de los cuerpos no elásticos (67, 68, 69 y 70). Ahora debemos estudiar como se comunican las fuerzas cuando los cuerpos son elásticos. La fuerza que tiene una masa dada de un cuerpo representado por una esfera, se comunica por el choque á su inmediata, y esta fuerza se trasmite á la chocada en totalidad ó en parte, segun las respectivas masas. Un número cualquiera de esferas iguales suspendidas de hilos de seda, y colocadas en la di-

reccion rectilínea, sirven para manifestar la comunicacion de las fuerzas por el choque. Si se levanta la primera de dichas esferas, y se deja chocar sobre su inmediata, el choque se trasmite de una á otra hasta la última que recibe la fuerza despues de haber recorrido todas las demas, y se levanta describiendo un arco proporcional al que representó la velocidad de impulsión de la primera. Mas si lejos de verificar el experimento con una sola esfera, se practica con dos ó con tres, en este caso la fuerza recorre todas las esferas intermedias, y en el extremo opuesto al chocado se levantan dos ó tres, las cuales representan la misma masa á quien se comunicó la fuerza para el choque.

213. *Reflexion.* El choque puede ser perpendicular al plano y oblicuo (62): el primero tiene lugar sobre un plano elástico, elevándose la esfera á una cierta altura, y si el plano y el cuerpo son perfectamente elásticos, el cuerpo despues del choque se refleja con una fuerza igual á la que tenia antes. Si sobre el punto del plano en que se verificó el choque se baja una perpendicular, se formarán dos ángulos iguales; pero como esta línea está representada por la direccion del cuerpo, resulta que los dos ángulos deben ser rectos. El choque oblicuo tiene lugar siempre que se hace caer oblicuamente un cuerpo elástico sobre un plano tambien elástico; en este caso el cuerpo se refleja con una fuerza igual á la que tenia antes del choque. Si en el punto chocado se baja una perpendicular, se formarán dos ángulos; uno con la direccion del cuerpo por su fuerza impulsiva y la normal, y otro con esta misma normal y la direccion del cuerpo despues del choque. El primero se llama ángulo de *incidencia*, y el segundo de *reflexion*: estos ángulos son iguales.

LECCION X.

De la acústica.

214. Se notan en los cuerpos ciertas modificaciones físicas independientes de las fuerzas moleculares, de las cua-

les resultan oscilaciones ó movimientos vibratorios, que producen sonidos mas ó menos gratos al oido, y cuyo estudio constituye la parte importante de la fisica llamada *acústica*.

215. *Produccion del sonido*. El sonido resulta de una serie de oscilaciones que se suceden con gran velocidad, cuando las moléculas de los cuerpos elásticos han sido separadas de la posicion de equilibrio en que se hallaban; por consiguiente el órgano de la audicion recibe una impresion mas ó menos intensa en razon de estas vibraciones ú oscilaciones, hasta que se restablece nuevamente dicho equilibrio. Cada vibracion se compone de dos oscilaciones, y excita en el aire una ondulacion de una longitud determinada.

216. *Propagacion del sonido*. Los cuerpos sonoros dejan de serlo cuando se hacen vibrar en el vacío. Para ello basta colocar dentro del recipiente de una máquina neumática una campana ú otro instrumento apropósito capaz de hacer ruido, y desde luego se observa que el sonido disminuye á medida que se va desalojando el aire del recipiente que le cubre, llegando á ser imperceptible cuando se ha verificado el vacío aproximado. Este experimento es suficiente para probar de un modo convincente, que la propagacion del sonido se verifica en los medios aeriformes, y al traves de las partículas de los cuerpos líquidos y sólidos; puesto que se oye al atravesar las moléculas que constituyen el cristal. Con efecto, aplicando el oido al extremo de una cadena de un puente colgado, se distinguen perfectamente los golpes que se dan en el opuesto; del mismo modo se oyen desde un buque los sacudimientos de un cable amarrado en los anillos de hierro del puerto.

217. *Velocidad del sonido en diferentes medios*. Pero si todos los cuerpos cualquiera que sea su estado de cohesion pueden propagar el sonido, no todos lo hacen con igual velocidad: así se nota, que el ruido de un disparo de pistola cerca la cadena de un puente colgado, se hace sensible al individuo que aplica el oido al extremo opuesto de la cadena metálica, antes que aquel que lo recibe por la trasmision del aire: del mismo modo se distingue el ruido que ha produ-

cido un pequeño golpe dado en uno de los extremos de un palo de cuarenta ó cincuenta varas de longitud, cuando se aplica el oído en el opuesto; siendo de notar que se percibe perfectamente el golpe que produce la caída de un alfiler, al paso que el aire no trasmite sensacion alguna.

Esta trasmision se verifica por una serie de vibraciones, que tienen lugar sobre la materia ponderable. Si el medio que ha de transmitir el sonido es un fluido elástico, entonces cada oscilacion del cuerpo imprime en el gas un movimiento uniforme, que se repite por intervalos iguales, por que son tambien iguales las pequeñas impulsiones en que se ha descompuesto la impulsión total. De ellas resulta que las distintas capas del gas que sirve de medio de trasmision, experimentan velocidades que pasan de la primera capa á su inmediata, y de esta á las siguientes; pero como las impulsiones continúan, la primera capa recibe el efecto de una segunda velocidad, la cual en el acto se trasmite á la capa inmediata; resultando de ello dos impulsiones que se extienden sobre toda la masa del fluido elástico, sin que ejerzan entre si ninguna influencia. La extension de una columna de gas modificada durante una oscilacion, se llama *onda sonora*; la cual se divide en *onda condensada* para la primera, y *onda dilatada* para la segunda: estas dos *ondas* son de igual longitud, y su reunion es lo que forma una *ondulacion*.

218. Ya hemos indicado que la intensidad del sonido decrece con la rarefaccion del medio que debe transmitirlo; esto se puede probar con la máquina neumática. Con efecto, Mr. Gay-Lussac asegura en su viaje aerostático, habersele debilitado notablemente el sonido de la voz; Saussure dice que un pistoletazo en la cumbre de Mont-Blanc, en los Alpes, tiene la mitad del ruido que disparado en una llanura; y yo en un viaje geológico por la Sierra Nevada verificado en los primeros dias de agosto de 1847, tuve ocasion de observar ambos fenómenos, hallándonos en un dia claro y tranquilo en la cumbre del picacho de Veleta. A las ocho de la mañana el termómetro marcaba 8.º cent., el barómetro de Gay-Lussac 0,^m46, y un jóven de 29 años, temperamento san-

guíneo, y en completo estado de salud despues de una hora de estar sentado en el sitio llamado balcon de Veleta, daba la arteria radial 98 pulsaciones en un minuto.

219. Segun varias observaciones, la velocidad del sonido en el aire atmosférico á la temperatura de $16.^{\circ}$ cent, es de 340 metros por cada segundo, y á cero de 331. La del gas hidrógeno á cero grados es de 1269 metros; la del ácido carbónico de 261, etc. Segun Colladon y Sturm la velocidad del sonido en el agua es de 1435 metros por segundo á la temperatura de $8.^{\circ}$ cent.; lo que equivale á algo mas de cuatro veces la del aire. En los cuerpos sólidos se nota tambien el mismo fenómeno, es decir, que trasmiten los sonidos con una velocidad mayor que en el aire atmosférico, y aun mayor que en las sustancias líquidas; de suerte, que la trasmision del sonido está, para un mismo cuerpo, en razon directa de su estado de cohesion.

220. *Reflexion del sonido.* El sonido lo mismo que el calor y la luz se refleja, cuando en su trasmision halla algun obstáculo: esta reflexion puede ser total ó parcial, y en cualquiera de los dos casos el ángulo de incidencia es igual al de reflexion. En este principio está fundada la explicacion de los ecos, bien sean monosílabos ó polisílabos, la de las *resonancias*, y aun la de los ecos por medio del *torna-voz*, ó de una bóveda de dos focos, como se observa en nuestra Alhambra en la sala llamada de los secretos.

221. *Leyes de las vibraciones de las cuerdas.* Al pulsar una cuerda tendida sobre un instrumento cualquiera, y suficientemente atirantada, se nota desde luego que el sonido se hace mas agudo á medida que la cuerda se acorta, ó se aumenta su tension. Las vibraciones que tienen lugar, son tan rápidas que no es posible contarlas; estas vibraciones son de dos clases distintas, *transversales* ó que se verifican en sentido perpendicular á la longitud, y *longitudinales* ó en la direccion de la cuerda.

222. Representando por u el número de vibraciones que corresponden á un segundo, por l la longitud de la cuerda, por r el radio de esta cuerda, por d la densidad, por p el pe-

so que la tiende y por π la relacion de la circunferencia al diámetro, se tendrá:

$$u = \frac{1}{r l} \sqrt{\frac{p}{\pi d}}$$

Esta fórmula sirve de base para conocer las leyes generales de las vibraciones de las cuerdas, y por ella se han deducido los principios siguientes:

1.º El número de vibraciones de una cuerda, está en razón inversa de su longitud.

2.º El número de vibraciones de dos cuerdas de igual naturaleza, está en razón inversa de su grueso, ó de su diámetro.

3.º Los números que representan las vibraciones de una cuerda, son proporcionales á las raíces cuadradas de los pesos que las tienden.

4.º Los números que representan las vibraciones de dos cuerdas de diferente naturaleza química, están en razón inversa de las raíces cuadradas de sus densidades.

223. Se llaman *nodos de vibración* aquellos puntos que no participan de las vibraciones de la cuerda por hallarse situados fuera del movimiento.

Los instrumentos para apreciar las vibraciones de las cuerdas son el *sonómetro*, el *monocordio*, la *sirena* y las *ruedas dentadas*.

224. *Evaluación numérica de los sonidos.* La evaluación numérica de los sonidos se mide por medio del instrumento arriba indicado llamado sonómetro. Aplicando convencionalmente la escala musical, y tomando por punto de partida el *do*, en el cual la longitud de la cuerda se representa por la unidad, se tendrán las longitudes que corresponden á las demas notas, de la manera siguiente:

do, re, mi, fa, sol, la, si, do;

$$1 \quad \frac{8}{9} \quad \frac{4}{5} \quad \frac{3}{4} \quad \frac{2}{3} \quad \frac{3}{5} \quad \frac{8}{15} \quad \frac{1}{2}$$

pero como quiera que los números que manifiestan las vibraciones de las cuerdas, están en razon inversa de su longitud; resulta que representando por *uno* las que corresponden á la nota *do*, se obtienen las cantidades siguientes:

$$\begin{array}{cccccccc} \text{do, re, mi, fa, sol, la, si, do} & & & & & & & & \\ 1 & \frac{9}{8} & \frac{5}{4} & \frac{4}{3} & \frac{3}{2} & \frac{5}{3} & \frac{15}{8} & 2. \end{array}$$

225. Las seis primeras notas musicales fueron tomadas por Darezzo de las seis primeras sílabas de cada emisticio de la primera estrofa del himno de S. Juan Bautista: en 1620 Lamaire, célebre matemático, añadió un sétimo tono que se llamó *si*. La octava consta de siete tonos, y el octavo corresponde al primero de la octava que sigue.

226. Los límites del sonido que nuestro órgano puede apreciar, se hallan en el *do* grave en la escala de *fa*, y el *do* sobreagudo en la de *sol*: el primero hace treinta y dos vibraciones en un segundo, mientras que el otro da 16384, los demas sonidos apreciables se hallan comprendidos entre estos dos *do*. Sin embargo Mr. Savard hace percibir catorce oscilaciones en un segundo para el grave, y 48000 para el agudo.

Los sonidos se oyen sucesivamente unos despues de otros, ó simultáneamente; en el primer caso constituyen lo que se llama *melodia*, y en el segundo producen lo que denominamos *armonía*. Cuando en la armonía se comparan dos sonidos con relacion á sus vibraciones, la distancia que se encuentra entre ellos se llama un *intervalo*; pero como esta comparacion se puede hacer varias veces tomando por tipo un sonido, resulta que debe haber diferentes intervalos: estos se dividen en segundas, terceras, cuartas, quintas, etc. y cuando se invierten; es decir, cuando se pone la nota grave una octava mas alta, el unisono pasa á ser octava, la segunda sétima, la tercera sexta, la cuarta quinta, la quinta cuarta, etc. como se puede ver con las cifras siguientes.

1—2—3—4—5—6—7—8

8—7—6—5—4—3—2—1.

227. Los intervalos pueden ser consonantes ó disonantes: los primeros son aquellos que nos causan una sensación agradable y dulce, y son la *tercera menor*, la *tercera mayor*, la *cuarta justa*, la *quinta perfecta*, la *sexta menor*, la *sexta mayor*, y la *octava*. La cuarta justa, la quinta perfecta y la octava, se llaman *consonancias perfectas*, por que la menor alteracion en las notas las trasforma en disonancias. Las segundas ó *disonancias*, resultan de intervalos que no tienen aquella propiedad.

228. La diferencia que existe entre las consonancias y las disonancias, resulta de las vibraciones respectivas á dos sonidos; así la relacion entre las vibraciones de *do* y las de *mi bemol*, es su tercera menor una consonancia, y se expresa por 5 : 6; la relacion entre las vibraciones de *do* y *re sostenido* en su segunda aumentada, es una disonancia, y da la proporcion de 64 : 75; por consiguiente existe una diferencia entre los intervalos de sexta menor y quinta aumentada, de sexta mayor y sétima disminuida, etc.

229. Se llaman *acordes* á los sonidos que se componen de muchos intervalos; los acordes pueden ser disonantes y consonantes: son consonantes cuando no tienen ningun intervalo disonante, y en el caso contrario serán disonantes. En cada acorde hay una nota que se llama *principal*, *nota fundamental*, ó *bajo fundamental*: los acordes son trece; pero pueden invertirse y aumentarse.

230. Se llama *semi-cadencia* al reposo sobre el acorde perfecto de la *dominante*, y *cadencia perfecta* al reposo sobre el acorde de la *tónica*. Débese advertir que el primero, tercero y quinto grado de un tono cualquiera se llaman *tónica*, *mediante* y *dominante*: en el tono de *do*, por ejemplo, *do* es la *tónica*, *mi* la *mediante*, y *sol* la *dominante*; el acorde de la *tónica* será por lo tanto *do—mi—sol*, y el de la *dominante* *sol—si—re*.

231. Se llama *temperamento* la pequeña alteracion que se hace experimentar á algunos semitonos para igualarlos, cuando se afinan varios instrumentos. En la voz y en los instrumentos de cuerda, la flexibilidad en la primera y destreza

del artista en los segundos, modifica de una manera notable el sonido, y se consiguen todos los semitonos que se apetecen partiendo de un tono dado; pero en el fuerte-piano, el arpa, el órgano, etc. no es posible marcar esta multiplicidad de sonidos, por que el oído se afectaria de un modo desagradable. — Para mayores detalles puede consultarse la acústica de Chladi, y el tratado de armonía práctica de Reicha traducido por don Eduardo Dominguez.

232. *Sonidos graves y agudos.* Ya hemos indicado que el *do* grave hace unas 32 vibraciones en cada segundo, y el *do* sobreagudo 16384 durante el mismo espacio de tiempo. Sin embargo, Mr. Savart por medio de una barra apropiado, hace percibir un sonido grave que da 14 vibraciones, y otro agudo donde estas vibraciones llegan á 48000. La voz del hombre se extiende en general de *sol* á *fa*, cuya extension corresponde de 96 á 340 vibraciones en cada segundo, y la de mujer de *re* á *la*, que equivale de 288 á 856 vibraciones en el mismo tiempo. Es de la mayor importancia no esforzar las voces mas allá del limite á que pueden extenderse, por que de otro modo se fatigan y concluyen por gritar: por esta razon se acostumbra á escribir en los coros el tiple en llave de *do* primera línea, aun cuando su extension es algo mayor. El flautin es un instrumento que se usa con buen efecto en las orquestas para expresar las notas agudas, y en general las da siempre una octava mas alta; de suerte que la gravedad de un sonido está en razon inversa del número de vibraciones; así se ve que cuanto menor es este número para un tiempo dado, es mas grave dicho sonido, al paso que es mas agudo cuanto mayor es el número de vibraciones para el mismo espacio de tiempo.

233. *Figuras acústicas que se forman en un plano cubierto de arena.* Mr. Savart por medio de simples placas de metal ó de cristal cubiertas con arena, á las que comunica un movimiento vibratorio pasando por los bordes un arco de violin, hace que se señalen sobre la arena las líneas nodales: estas líneas son verticales ó paralelas al eje, segun que las velocidades de vibracion se han comunicado pasando el arco

por medio de uno de los lados, ó próximo á un ángulo.

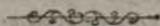
234. *Instrumentos de música, de cuerda y de viento.* En los instrumentos de cuerda las vibraciones pasan de la cuerda á la tabla superior por medio del *punte*, y de la tabla superior á la inferior por el *alma*: por consiguiente, la exacta construccion de la caja sonora es la que proporciona un buen sonido; así se ve un conjunto formado por la caja, el aire que contiene y la cuerda, que constituyen un sistema vibrante; en el cual la cuerda da el tono, y todas las partes del instrumento toman el unísono. Los instrumentos de viento pueden ser con lengüeta y sin ella: en los primeros la lengüeta no es otra cosa que una lámina vibrante puesta en movimiento por una corriente de aire, y los que carecen de esta lámina, están provistos de una hendidura estrecha llamada *luz*, la cual es atravesada por las corrientes de aire que choca sobre la arista del labio, para producir el sonido.

235. Los tubos pueden ser abiertos por los dos extremos, ó bien tener cerrado uno de ellos. Estos reciben la conmocion por una capa de aire de poquisimo espesor, la cual produce oscilaciones rápidas é isócronas: en estos tubos el aire experimenta contracciones y dilataciones sucesivas, las cuales dan origen á la onda sonora, y estas alteraciones son del todo nulas en el punto del tubo llamado *concameracion*. Se llaman *nodos* de vibracion á las capas que no experimentan oscilaciones, y *vientre* á la capa de aire que se halla en medio de la longitud del tubo, y que durante la vibracion sonora no se enrarece ni cambia de volúmen. Para los tubos abiertos el sonido no sufre alteracion; pero si se practica una abertura en un punto, ó se divide el tubo en dos partes por una seccion transversal, la columna de aire experimenta las mismas alteraciones que si el tubo estuviese cerrado por un extremo, y cada una de aquellas columnas correspondiera á un vientre de vibracion.

236. *Organos de la voz y del oido.* El aparato de la voz humana consta de la larinje, y del cuerpo tiroideo. La larinje es un órgano simétrico compuesto de muchas piezas movibles las cuales constituyen una cavidad, que por arriba se halla en

comunicacion con las fauces, y por abajo con la traquearteria: sus principales partes son los cuatro cartilagos llamados *tiroides*, *cricoides* y dos *aritecnoides*; ademas consta de la *epiglottis*, que es un fibro-cartilago, de articulaciones, ligamentos, músculos y glándulas peculiares. Se da el nombre de *glottis* á la abertura oblonga situada en sentido horizontal, la cual está como prendida entre los dos ligamentos vocales inferiores. La larinje da paso al aire que se introduce en el momento de la inspiracion, y el que sale durante la espiracion, hasta el caso de formar la voz y sus diversos tonos. La epiglottis destinada á cubrir el agujero oval que hemos llamado *glottis*, impide la introduccion de las sustancias alimenticias en el acto de la degluticion; de donde resulta que en el segundo tiempo de la respiracion, el aire comprime y frota los labios de la *glottis*, y los pone en vibracion por un mecanismo parecido al de una lengüeta de un instrumento de viento.

237. El órgano del oido consta de tres partes; de la porcion externa que comprende el pabellon, y el conducto auditivo; de la porcion media que abraza el tambor y sus dependencias; y finalmente de la porcion interna que consta de una serie de cavidades, á las que se les da el nombre de laberinto. En la porcion interna del oido, y sobre todo en el espacio que media entre las cavidades huesosas y las membranosas, así como en el interior de los senos de la misma especie, se halla un licor llamado *linfa de Cotunni*; y por estas membranas se ramifica el *nervio acústico*, el cual entra en el peñasco por el agujero auditivo interno, junto á la vez con el nervio facial: este nervio acústico es el órgano principal del sentido del oido.

FLUIDOS IMPONDERADOS.**LECCION XI.****Consideraciones generales acerca de estos fluidos.****238. Teoría general sobre los fluidos imponderados.**

Con frecuencia experimentamos varias sensaciones que se designan con palabras convencionales; pero que no nos es posible conocer el cuerpo que las ha producido. Nadie ignora lo que es el calor y el frío, todo el mundo conoce las sensaciones de la luz; á todos causa espanto la ráfaga luminosa que deja el relámpago; pero todos ignoramos la naturaleza del agente que presenta tan sorprendentes fenómenos. Los físicos los explican basados siempre en la existencia de un ente hipotético; pero en el estado de la ciencia se conocen muchas de las leyes que presiden á sus acciones, se aprecian los efectos, sin poder saber la causa que los ha producido. La influencia de estos entes sobre la materia ponderable orgánica é inorgánica, es de tanta importancia, que su ausencia produciría el reposo universal.

A últimos del siglo pasado se convino llamarles *fluidos* en razon de su grande movilidad, calificándolos de *imponderables ó imponderados* porque no se les podia determinar el peso. Alguno queriendo arraigar esta idea y presentarla con todas las apariencias de un principio científico, indicó que la imponderabilidad de estos agentes provenia de no tener la propiedad peculiar á la materia llamada *pesantez ó gravedad*; es decir, que el planeta en que vivimos, no tiene influencia atractiva para con ellos.

239. Cualquiera que sea la manera científica de definir la materia, parece innegable que no comprende al calórico, al lumínico y al eléctrico; de suerte que no teniendo los caracteres esenciales á ella, seria un absurdo calificarlos de cuerpos, puesto que no son cuerpos; ni de materia sin peso, porque todo cuerpo debe tener pesantez. He aquí porque se ha propuesto designarles con el nombre de *dynamias*, voz sacada del griego que significa fuerza y forma.

240. Hace cerca de un siglo que los físicos tratan de averiguar, si las sensaciones que llamamos calor, luz, electricidad y magnetismo provienen de un solo y único agente, modificado segun las circunstancias bajo las cuales se pone en movimiento, ó bien si existen cuatro principios esenciales. En el último tercio del siglo pasado se creyó así, y se llamaron fluido calórico, lumínico, eléctrico y magnético, desechando la idea de ser estos cuatro entes un solo y mismo principio puesto en accion de diverso modo.

241. El calórico y el lumínico van en la naturaleza casi siempre juntos; las leyes que presiden al primero, rigen tambien al segundo; sus velocidades de propagacion son las mismas; de suerte que se puede asegurar que provienen de un mismo agente puesto en accion bajo circunstancias distintas, segun las cuales nos presenta los fenómenos que llamamos caloríficos, ó bien los que designamos con el nombre de luminosos. Otro tanto sucede con el eléctrico y el magnético, y las modificaciones del electro-magnético nos prestan datos para asegurar, que los efectos debidos á la electricidad y al magnetismo provienen de una misma causa. Además el fluido eléctrico se presenta luminoso y calorífico, cuando halla un obstáculo que se opone á su movimiento; estas consideraciones han hecho creer á algun físico, que estos cuatro agentes existen en todas partes en el estado latente, prontos á manifestarse en circunstancias dadas, ó bien que son el efecto de una misma causa primera, la cual se modifica para presentarse bajo los diferentes estados que constituyen el calórico, el lumínico, el eléctrico y el magnético.

242. Teoría sobre el calórico y el lumínico. Hace mu-

chos años que el estudio teórico del fluido luminoso, ha sido objeto de serias cuestiones. Descartes y Newton presentaron dos opiniones distintas, que modificadas por otros físicos de nota, han dado origen á las dos teorías llamadas de la *emision* y de las *ondulaciones*: nosotros las llamaremos hipótesis de la *emision*, é hipótesis de las *ondulaciones*. Mas tarde estas hipótesis se han aplicado para demostrar las leyes del calórico; de suerte que los dos fluidos se consideran como resultados de un mismo agente.

243. La hipótesis de la *emision* supone desde luego la existencia de un ente material, cuya presencia nos hace experimentar las sensaciones de calor, ó bien nos da á conocer, obrando sobre el órgano de la vista, la figura, color y tamaño de los objetos ponderables. Segun esta hipótesis, todo cuerpo caliente ó luminoso envia en todas direcciones una sustancia excesivamente dividida, y cuya tenuidad es tan grande que no nos permite apreciar su peso y su impenetrabilidad; es decir, las dos propiedades características é inherentes á la materia. Segun esto el calor es un cuerpo que no tiene las propiedades de los *cuerpos*; puede combinarse con ellos sin que se alteren las condiciones esenciales de la materia; la pesantez y la impenetrabilidad. La presencia de este agente en los cuerpos ponderables, puede modificar su estado, hasta cambiarle completamente oponiéndose á la fuerza atractiva de los átomos; pero la materia se presenta siempre pasiva. Por consiguiente, la hipótesis de la *emision* supone que el calor y la luz son dos fluidos emanados de los cuerpos, y trasportados de la sustancia que los contiene, á aquella que los recibe por el intermedio del aire atmosférico. Segun esto, el cuerpo que emite calor ó luz, pierde una parte de estos fluidos igual á la que se desprende, y por el contrario gana alguna cantidad la sustancia que los recibe; el calor y la luz se combinan en totalidad ó en parte con la materia ponderable, y toman el nombre de *calórico* y *luminico*.

244. La hipótesis de las *ondulaciones* pretende que los átomos del cuerpo caliente ó luminoso están en un estado

vibratorio al rededor del centro de equilibrio, el cual es tanto mas rápido ó intenso, cuanto mayor es la intensidad que se nota en la luz ó el calor. Estas vibraciones se transmiten por medio de un fluido *etéreo* que se considera completamente esparcido por la naturaleza toda, llenando las partes materiales de los cuerpos, el vacío y la inmensidad. En esta hipótesis el calórico y el luminoso no son agentes materiales que se propagan por medio del aire, y de los cuerpos que no se oponen á su paso, sino que los movimientos oscilatorios se transmiten al *éter* por ondulaciones que tienen lugar con una velocidad excesiva, y cuya amplitud es sumamente pequeña. La base de esta teoría está fundada en las leyes bajo las cuales se propaga el sonido.

245. *En esta hipótesis desconocemos tambien la naturaleza del éter cuya presencia se manifiesta en todas partes; esto equivale á decir, que sabemos lo mismo respecto á la naturaleza de los agentes calórico, lumínico y eléctrico, que sabíamos con la teoría de la emision. ¿Se querrá suponer que este éter es el calor ó la luz? Bien; semejante suposicion nada significa, y lo único que habríamos adelantado seria decir, que el calor estático ó combinado, es la cantidad del expresado éter unido con la materia ponderable. Sin embargo, la primera de estas hipótesis es defectuosa é incompleta, al paso que la segunda nos presta medios bastante ingeniosos para explicar los fenómenos que llamamos caloríficos y luminosos. Para el fluido eléctrico y sus modificaciones véanse las lecciones respectivas.*

246. *Imponderabilidad de estos agentes.* Ya hemos indicado que estos agentes, cualquiera que sea el punto de vista bajo que se consideren, están desprovistos de pesantez. Si se toman partes iguales en peso de agua destilada y ácido sulfúrico á 66°, y se mezclan con cuidado, se forman dos capas distintas, atendida la densidad respectiva de cada cuerpo. Si en este estado se agitan los dos líquidos hasta mezclarse perfectamente, se nota un desprendimiento de calor intensísimo, sin que se altere en nada el peso, aun cuando la mezcla vuelva á adquirir la temperatura ordinaria del aire que la

rodea. El mismo fenómeno se observa cuando se frotan los cuerpos resinosos ó vitreos; el fluido eléctrico se pone de manifiesto, sin que cambie el peso respectivo de las sustancias frotadas. Un iman pierde la virtud magnética por la simple accion del calor, y la vuelve á adquirir cuando se frota con otro iman, segun ciertas reglas que expondremos; y en estos dos casos la materia ponderable en nada se ha alterado, ni ha cambiado de peso. Estos agentes son *incohercibles*, es decir, que no se les puede encerrar en un espacio dado.

Reflexionando sobre la manera de demostrar la imponderabilidad de estos entes desconocidos, se ocurre desde luego una idea, cual es, que la cantidad calorífica que produce las mayores temperaturas, puede tener un peso tan insignificante, que nuestras mejores ba'anzas sean insuficientes para demostrarlo; en cuyo caso la supuesta imponderabilidad solo probaria la imperfeccion de nuestros medios; por consiguiente el experimento indicado demuestra que la cantidad de calor que se desenvuelve en las combinaciones tiene un peso tan pequeño, que las mejores balanzas no pueden apreciarlo. Pero hay otra consideracion filosófica que niega á estos entes la ponderabilidad que se les supone por esta reflexion. Las propiedades esenciales á la materia son la pesantez, y la impenetrabilidad: la pesantez resulta de la accion atractiva que ejerce el planeta sobre los cuerpos que se hallan dentro de su esfera de actividad; de modo que si el calórico, el lumínico y el eléctrico estuviesen dotados de pesantez, tendrian fuerza atractiva, y se precipitarian para concentrarse en la superficie de la tierra. Esta sola consideracion debe ser suficiente para negar todo racionio que tiende á probar la ponderabilidad del calórico, el lumínico y el eléctrico.

DEL CALÓRICO.

LECCION XII.

Dilatacion en general y consecuencias que se deducen.

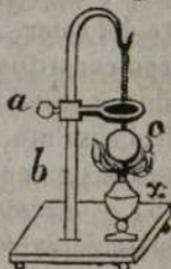
247. Se conoce con el nombre de *calórico* el agente cuya presencia mas ó menos intensa, produce en nosotros las diversas sensaciones de calor y frio. Es el calórico un ente imponderable, incohercible, que tiende constantemente á equilibrarse, cambia el estado de los cuerpos, y obrando en cada uno de ellos en diferentes proporciones, los eleva á la misma temperatura.

248. *Dilatacion.* Todos los cuerpos de la naturaleza cuando se sujetan á la accion del calor aumentan de volúmen, ó lo que es igual, se *dilatan*; de suerte que el volúmen de un cuerpo depende solamente del grado de calor á que se ha expuesto; notándose que en circunstancias iguales, el mismo grado de calor da siempre el mismo volúmen. Sin embargo, sucede algunas veces que ciertas sustancias parece que se contraen bajo la accion de este agente; la arcilla, y los cuerpos orgánicos se hallan en este caso. Esta aparente disminucion de volúmen reconoce siempre la pérdida de uno de los elementos, ó la alteracion organo-quimica de los tejidos y productos que se expusieron á la accion del calor. En tanto que el pergamino, la cola, un músculo, tendon ó nervio no experimentan alteracion en su constitucion peculiar, aumentan el volúmen, se ensanchan, se hinchan, adquieren mayores dimensiones, en una palabra, se *dilatan* por la in-

fluencia del fluido calórico; de suerte, que la dilatacion es una ley general á la materia. (*)

249. Para probar esta verdad sirve un aparato llamado anillo de SGravesant: este consta de un anillo de metal, fig. 50, sostenido por el tornillo *a* en una palometa ó sustentáculo *b*; de una esfera *c* de la misma materia que pende de la cadena metálica, la cual está unida por la parte superior á la palometa, y de la lamparilla de alcohol *x*. A la temperatura ordinaria el diámetro de la esfera es sensiblemente igual al del anillo, y por lo tanto pasa sin dificultad; pero tan luego como se calienta, aumenta su volúmen, el diámetro se hace mayor, y no puede atravesar el anillo: por el enfriamiento disminuye el volúmen, y vuelve á sus primitivas dimensiones.

Fig. 50.



250. Cuando nuestra mano toca á un cuerpo que le excede en calor, experimentamos una sensacion mas ó menos grata, que nos indica que aquel cuerpo está mas caliente; al paso que en el caso opuesto se percibe la sensacion que llamamos frio. Esto depende de que el calórico del cuerpo pasa á la mano ó *vice-versa*, hasta que despues de un contacto mas ó menos prolongado ambos tienen la misma *temperatura*. El calórico que el cuerpo cedió á la mano se ha dividido en dos partes, una insensible que se ha combinado con la sustancia propia de la mano, y otra libre que se manifiesta por medio de los instrumentos: esta parte de calórico libre, bien provenga del que la mano tenia, bien porque lo haya adquirido por el contacto, constituye la *temperatura* del cuerpo. Aquí se nota otro fenómeno de no menos importancia, tal es, que el calórico tiende á ponerse en *equilibrio*. El equi-

(*) Con muy ligeras modificaciones presento las lecciones de física, que como introduccion á la química, he dado en la Universidad de Granada al principiar el curso escolástico de 48 á 49; las cuales fueron taquígrafadas por mi amigo D. Antonio Pugnaire.

brio del calórico lo constituye la temperatura de los cuerpos que se comparan; así cuando dos ó mas sustancias indican por medio del termómetro que tienen los mismos grados de calor, se hallarán equilibradas sus temperaturas, porque puestos en contacto no se alterarán las cantidades respectivas de fluido. Cuando el equilibrio se rompe, el cuerpo adquiere mayor temperatura si se le acumulan nuevas cantidades de fluido, ó bien la temperatura es menor si se le extrae una parte del calor. Aquí debo advertir, que la temperatura del cuerpo constituye su volúmen, el cual varía cuando aquella cambia; notándose que los físicos no han podido conseguir un frío absoluto, es decir, la completa sustracción del calor, y por consiguiente el contacto íntimo de las moléculas.

251. *Termómetros en general, su división y objeto.* En la dilatación y contracción de los cuerpos por la influencia del calor, se ha fundado la invención de unos instrumentos llamados termómetros. Drebel, físico holandés, fué el primero que en el siglo XIII dió una idea incompleta de este instrumento: su termómetro consistía en una esfera soplada en la extremidad de un tubo capilar, el cual sumergía por el opuesto dentro de alcohol coloreado con cochinilla. Aplicando la mano á la esfera, el aire se dilataba por el calor de la mano, y una parte pasaba al través del líquido en forma de burbujas; pero apenas se separaba la mano, la contracción del aire producida por su enfriamiento, daba origen á un vacío, que ocupaba inmediatamente el licor coloreado á causa de la presión atmosférica.

Los académicos de Florencia convinieron en cerrar el tubo herméticamente, después de haber llenado la esfera y parte de él con el alcohol teñido por la cochinilla; pero como las graduaciones eran arbitrarias, los instrumentos no eran comparables aun cuando estuviesen bien contruidos: de ahí resultó la necesidad de tomar dos puntos fijos sacados de la misma naturaleza, dando la preferencia á la temperatura del agua cuando hierve, y la del hielo licuándose, ambos estados bajo la presión de 0,^m 76.

252. Esta clase de termómetros indican solamente la

temperatura de los cuerpos cuando las cantidades de calor no son muy grandes, y al pretender conocer las altas temperaturas que necesitan los metales para licuarse, ó bien las pequeñas variaciones que se observan en el aire durante el curso de una operacion, se vió la imperiosa necesidad de otra clase de termómetros capaces de indicar estos dos extremos: la invencion de los *pirómetros* y la de los *termóscopos* satisfizo á las exigencias de los físicos. Por consiguiente dividiremos los termómetros en sólidos, líquidos y gaseosos, segun sea el cuerpo que se dilata sólido, líquido ó gaseoso: sin embargo al hacer la descripcion de cada uno, empezaremos por los segundos, porque son los mas usados.

253. El objeto del termómetro es dar á conocer por medio de la dilatacion, la temperatura de los cuerpos con quienes se equilibra. En los termómetros sólidos se emplea algunas veces la contraccion de la arcilla convenientemente dispuesta, para apreciar los efectos del calor hasta cierta temperatura; pero en todos los casos hay que hacer correcciones de la mayor importancia, porque obrando el calórico sobre todos los cuerpos, la dilatacion tiene tambien lugar sobre la escala, tubos y demas partes del instrumento.

254. *Construccion de los termómetros líquidos.* Para construir un termómetro de esta especie, es preciso tener un tubo capilar, cuyo diámetro interior sea igual en toda la longitud. Esto se conoce introduciendo una pequeña columna de mercurio de algunos centésimos, y marcando con un tornillo micrométrico las distintas capacidades que ocupa en el tubo; si estas son sensiblemente iguales, el tubo podrá emplearse: en el caso de que la diferencia en alguna de las divisiones varie de $\frac{1}{20}$ deberá desecharse. Luego se funde uno de los extremos con la lámpara del esmaltador, y soplando por el opuesto se le forma una esfera, ó bien se le suelda un cilindro ó un espiral que se ha preparado de antemano.

255. Estando el tubo y la esfera perfectamente privados de humedad, se introduce el mercurio: para ello se calienta la esfera con la lámpara de alcohol, á fin de desalojar

una porción de aire, y se sumerge el extremo del tubo en mercurio puro, seco y caliente. La disminucion de volúmen en el aire interior producida por el enfriamiento ocasiona un vacío, que el mercurio ocupa á causa de la presión atmosférica, llenándose una pequeña parte de la esfera. En este estado se calienta de nuevo hasta que el mercurio llega á hervir, los vapores mercuriales desalojan el aire, y volviendo á introducirle otra vez en el mercurio, se llena la esfera y el tubo. Cuando el tubo tiene la temperatura de la atmósfera, se calienta poco á poco la esfera para separar algunos glóbulos de metal, procurando que el vértice de la columna tenga la altura que se desea para la temperatura media: esta operación se llama *arreglar el curso á la altura*.

256. A continuación se procede á cerrar el instrumento: esta operación se practica procurando que el espacio que media entre la parte superior de la columna termométrica y el extremo del tubo quede perfectamente vacío, ó bien dejándole un poco de aire. En el primer caso se derrite en la lámpara de esmaltar el extremo del tubo, y agarrándolo con unos alicates de punta, se prolonga el brazo separando al mismo tiempo el cristal de la llama; luego se rompe el tubo por el vértice del pequeño cono que se formó, se calienta con precaucion la esfera, y cuando el líquido metálico asoma por dicho vértice, se separa el calor de la esfera y se aproxima al soplete para que se funda el cristal hasta formar un boton. En el segundo caso se derrite el extremo del tubo, y estando fundido se calienta el mercurio del receptáculo para que haciendo subir el aire levante una esfera mas ó menos grande.

Los termómetros que se construyen con alcohol tienen siempre alguna burbuja de aire en la esfera, ó interceptando la columna: esta cantidad de aire no es posible separarla, y se procura que vaya á ocupar la parte superior del tubo. Para ello se ata el instrumento en el extremo de un hilo bramante y se hace girar con rapidez: la fuerza centrífuga obliga el aire á reunirse en la parte superior del tubo, por la mayor densidad que tiene el alcohol.

257. La graduacion del termómetro es bastante senc-

lla: consiste en señalar dos puntos fijos sacados de la naturaleza, y dividir la distancia comprendida entre ellos en un número convencional de partes iguales. Para esta operación se cubre con hielo la esfera ó receptáculo y una parte del tubo, se deja el tiempo suficiente hasta que el líquido se mantiene estacionado en un punto, el cual se señala haciéndole una raya con una lima, ó con una tinta grasienta; luego se expone dicho receptáculo y parte del tubo á la acción del vapor bajo la presión de $0,^m76$, y cuando se nota que la columna termométrica no sube más se señala del mismo modo. Obtenidos estos dos límites, se divide la distancia que comprenden en 100 partes iguales llamadas grados, y se obtiene la escala de Celcio ó centígrada, y en 80 para la de Réaumur: el punto á que corresponde la temperatura del hielo licuándose se marca el grado *cero*, y el que indica la del agua hirviendo bajo la presión de $0,^m79$ con el 100 ú 80. Todos los grados sobre cero llevan el signo positivo +, y los que están debajo el negativo —.

Estas dos divisiones de la escala termométrica están admitidas por todos los físicos, y generalizadas por todas las escuelas; así es que en los termómetros se ven señaladas á cada lado del tubo, con el objeto que puedan compararse. Los ingleses usan de la escala de Fahrenheit, que consiste en dividir la distancia que da la temperatura del hielo licuándose y la del agua hirviendo en 180 partes iguales, marcando con el grado 32 el punto á que corresponde el cero; de suerte que el total de la escala comprende 212 grados. Esta diferencia consiste en que el grado, cero en la escala de Fahrenheit, corresponde á la temperatura que se obtiene con una mezcla frigorífica de hielo y sal marina.

258. Según esto las escalas termométricas guardan entre sí la siguiente relación;

$$\begin{array}{ccc} \text{C.} & \text{R.} & \text{F.} \\ 100 & : & 80 & : & 180; \end{array}$$

ó simplificando las razones

$$5 : 4 : 9.$$

259. Se conoce además la escala inventada por Delisle, la cual no tiene otro punto fijo que la temperatura del agua hirviendo que señala con el cero; de suerte que cada grado debajo de este término es 0,0001 de la capacidad de la esfera y de la parte del tubo que termina con el cero, y el 150 de la escala descendente, corresponde al cero de la centigrada. La relación de las cuatro escalas será en este caso:

$$\begin{array}{cccc} C. & R. & F. & D. \\ 5 & : & 4 & : & 9 & : & 7,5 \end{array}$$

Con estos datos es muy fácil hallar la relación de cualquiera temperatura representada en grados de una escala, correspondiente á grados de otra. Sea, por ejemplo, el cuerpo A que funde á t grados de la escala Fahrenheit, y se desea saber á cuantos grados de la centigrada corresponden. Para ello recordaré que 9 F equivalen á 5 C, y diré:

$$9 : 5 :: t : x \dots x = \frac{5t}{9} = z.$$

Una operación semejante se practica con el objeto de reducir los grados de la escala centigrada á los de la de Réaumur, pero fundada en otros principios. Si dados un número de grados centigrados, se pretende reducirlos á Réaumur, se multiplicarán por ocho los grados propuestos, y separando la primera cifra de la derecha se tendrán los grados pedidos, así: $19\text{ c} \times 8 = 15,2\text{ R}$. Si dados los grados de la escala Réaumur se pretende reducirlos á centígrados, se sumarán los grados propuestos con su cuarta parte, y la suma serán los grados pedidos: así

$$\begin{array}{r} 15,2\text{ R.} \\ \frac{1}{4} \dots 3,80 \\ \hline 19\text{ grados C.} \end{array}$$

Los grados de Fahrenheit se reducen á Réaumur, restan-

do primeramente el número 32 de los grados dados, y de la resta se toma la tercera parte, la cual sumada con su tercera parte, se obtendrán los grados pedidos; ¿40 grados F, á cuántos de R equivalen?

$$\begin{array}{r} 40^{\circ} \text{ F.} \\ - 32 \\ \hline 8 \end{array};$$

el tercio de 8 son $\frac{8}{3}$, y su tercio $\frac{8}{9}$; luego sumando

$$\frac{8}{9} + \frac{24}{9} = \frac{32}{9} = 3 \frac{5}{9} \text{ R.}$$

Para practicar esta reduccion, dados que sean los grados de Réaumur, se escribirá el número de grados debajo de sí mismos, se sacará la cuarta parte, y sumando estas cantidades, se conseguirá la reduccion pedida. Se desea saber ¿3 $\frac{5}{9}$ R, á cuantos grados de F equivalen?

$$3 \frac{5}{9} + 3 \frac{5}{9} + \frac{8}{9} = 8 \text{ F};$$

añadiendo á los 8 F obtenidos, los 32 que restamos en la operacion anterior, se conseguirán los 40 que fué el número propuesto en el primer caso.

260. Dos termómetros contruidos segun los principios expuestos son comparables; sin embargo se prefieren los de mercurio, por que la dilatacion de este metal desde 0° á 100° es proporcional á la cantidad de calor que se acumula. Además el efecto producido sobre los dos líquidos alcohol y mercurio por una misma cantidad de fluido es diferente; así cuando el termómetro de mercurio señala 75 grados en la escala centígrada, el de alcohol solo marca 70; por este exceso de sensibilidad deben escogerse los que tienen el líquido metálico. El mercurio adquiere el estado sólido antes de llegar á la temperatura de -40° , y en el acto de solidificarse experimenta una notable contraccion; el alcohol muy rectificado permanece líquido á -85° cent., por cuya razon hay necesidad de usar termómetros contruidos con este lí-

quido, siempre que se trata de averiguar temperaturas inferiores á -30° . Sin embargo, los señores Dulong y Petit se han convencido, que la marcha de un termómetro de mercurio es exacta desde -36° hasta $+100^{\circ}$, é idéntica al termómetro de aire.

Cuando la esfera de un termómetro es comparativamente muy grande, y el tubo bastante capilar, los efectos de la variacion de temperatura son mucho mas sensibles; pero hay el inconveniente, que los termómetros de mercurio tardan mucho tiempo para equilibrarse, y no se pueden apreciar los cambios repentinos; en los de alcohol cuanto mayor sea la esfera, mayor será tambien la diferencia de los grados absorbidos, porque depende de la cantidad de calor que el liquido hace latente en razon de su capacidad.

261. *Se ha observado, que todo termómetro pasados cuatro ó cinco años eleva el punto cero de un grado: esta alteracion tiene lugar aun cuando el instrumento esté abierto. Algunos creyeron explicar este fenómeno por medio de la presion que la atmósfera ejerce sobre el receptáculo; pero en el dia se admite que las moléculas del cristal sufren una modificacion particular, por medio de la cual adquieren una especie de temple. Esta hipótesis es á la verdad bien poco satisfactoria. Lo cierto es, que tan luego como el instrumento se ha graduado de nuevo, ya no vuelve á alterarse ni á modificarse.*

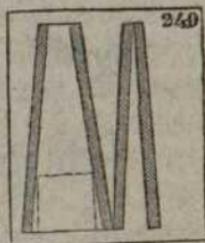
262. *Termómetros sólidos ó pirómetros.* Los termómetros contruidos con un tubo de cristal y una sustancia liquida, no pueden servir para apreciar las temperaturas que se desenvuelven en las operaciones metalúrgicas, y en algunos ramos industriales; por esta razon se han imaginado una clase de instrumentos llamados *pirómetros* contruidos con sustancias sólidas, capaces de manifestar los efectos del calor, aun cuando estos efectos se conozcan de un modo convencional y aproximado. Los dos pirómetros que se emplean con mas frecuencia son el de Wedgwood, y el contruido con porcelana.

263. El pirómetro de Wedgwood está compuesto de una

chapa bastante gruesa de latón ó de cobre, fig. 51, y de dos reglas del mismo metal perfectamente iguales soldadas sobre una de sus caras.

La longitud de estas reglas es de 609,592 milímetros, y están dispuestas de tal manera, que forman una canal convergente; esta canal tiene 12,7 milímetros de latitud por el extremo mas abierto, y solos 7,62 milímetros por el opuesto que es el mas angosto. La distancia comprendida entre estos dos puntos está dividida en 240 partes iguales llamadas grados, empezando á contar desde el *cero* que corresponde al extremo mas abierto. Un cilindro de arcilla llamado *índice*, constituye el complemento del aparato: este cilindro debe haber experimentado la acción del calor á 100° cent., y en este estado ha de tener la misma latitud que el grado *cero*, ó bien 12,7 milímetros de diámetro, y unos 14 ó 15 milímetros de longitud. Para conocer la temperatura de un horno ú otro foco basta que este índice esté expuesto á su acción por algun tiempo, cuando frio se hace correr por la canal, y el punto en que se detiene es el que señala la temperatura á que se expuso.

Fig. 51.



264. *Este fenómeno es debido á la contracción que experimenta la arcilla por la influencia del calor; contracción que se debe á la pérdida del agua. Según las observaciones de algunos físicos, parece que esta disminución de volumen tiene sus límites; de suerte que hasta los 30 grados del pirómetro es bastante regular y uniforme; pero pasado este límite, los resultados suelen ser equívocos. El autor de este pirómetro dice que el *cero* equivale á 580,°55 de la escala centígrada, y cada uno de sus grados á 72,°22 de la misma división: es probable que estos datos no sean exactos, y solo debemos tomarlos como un medio de comparación.*

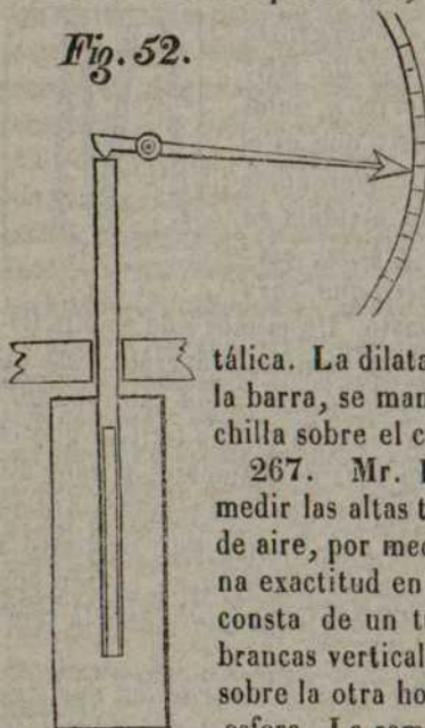
265. *Sin embargo admitiendo estos datos, fácil será representar en grados del termómetro centígrado la temperatura de un foco calorífico indicado en grados del pirómetro.*

Suponiendo que T manifiesta los grados pirométricos, tendríamos:

$$T \times 580,55 + 72^{\circ},22 = z.$$

266. El otro pirómetro, fig. 52, fundado en la poca dilatacion de la pasta de porcelana, solo indica la mayor ó menor temperatura de un horno: consiste en una masa cuadrangular de dicha sustancia, la cual tiene en el centro una ranura ó encaje para recibir una barra de hierro ó de otra sustancia me-

Fig. 52.



tálica. La dilatacion lineal que experimenta la barra, se manifiesta por medio de una flechilla sobre el cuadrante graduado.

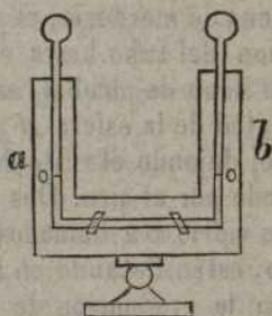
267. Mr. Pouillet ha introducido para medir las altas temperaturas un termómetro de aire, por medio del cual se consigue alguna exactitud en los resultados. Este aparato consta de un tubo tri-curvado; una de las brancas verticales se halla abierta, y se eleva sobre la otra horizontal que termina por una esfera. La rama del tubo que está abierta se divide en décimos de centímetro cúbico, la otra que contiene la esfera es la que recibe la influencia del calor, y el todo, hasta la mitad de la longitud del tubo horizontal, está sumergido en una caja para mantenerlo á cero grados: en la parte curva se coloca una columna de mercurio, y una llave dispuesta en el punto mas bajo de la columna está destinada á separar una cantidad de liquido, para que el nivel sea el mismo en cada observacion. Este aparato exige mucho cuidado para graduarlo é introducirle el gas que debe estar perfectamente seco.

268. *Termóscopos ó termómetros de gas.* La construccion de los termóscopos está fundada en la dilatacion de un

gas por la acción del calor, empleando con preferencia el aire atmosférico. El primitivo termómetro que imaginó Drebel, es un verdadero termóscopo, porque la menor influencia del calor sobre la esfera, se hace sentir en el aire que contiene. El termómetro diferencial de Leslie, el termóscopo de Rumford, y el termométrógrafo llamado termómetro de máxima y mínima, son los únicos que daremos á conocer.

269. El termómetro *diferencial* de Leslie, fig. 53, consta de un tubo encorvado de figura de una U, en cuyos extremos se han construido dos esferas de la misma capacidad. Se llena de ácido sulfúrico coloreado la rama horizontal hasta las alturas *a* y *b* de las dos verticales, quedando el resto de estas ramas y las dos esferas llenas de aire atmosférico. Si la cantidad de aire es igual en ambas esferas, é igual tambien su temperatura, el liquido colorado se halla á nivel, y este punto se señala

Fig. 53.



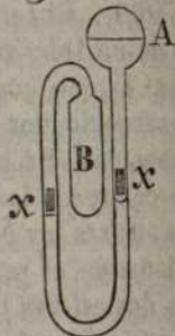
con el grado *cero*. Si la esfera *a* se cubre de hielo á 0 grados, y la *b* con agua que señale 10° de la escala centígrada, el exceso de fuerza elástica del aire de la bola *b* producido por el aumento de temperatura, hará que descienda el liquido colorado, para elevarse en la otra rama: la distancia que comprende el grado *cero*, y el punto á que se elevó el líquido se divide en 10 grados. Esta division se prolonga hasta las partes superior é inferior del tubo. El termómetro de Leslie está dotado de grande sensibilidad, por cuya razon se emplea para medir las variaciones de temperatura, que apenas pueden observarse con los termómetros líquidos.

270. El *termóscopo* de Rumford, viene á ser un termómetro diferencial, en el cual la parte horizontal del tubo es mas larga, y las dos ramas verticales mas cortas. En el centro de la rama horizontal lleva una sola gota de mercurio para servir de índice; de suerte que cualquiera variacion en el vo-

lúmen del aire que contiene una esfera, rompe el equilibrio, y el índice se dirige hácia la parte en que la tension es menor. La graduacion es igual al termómetro diferencial.

271. El *termométrógrafo*, conocido con el nombre de termómetro de máxima y mínima, fig. 54, está destinado para conocer la máxima y mínima temperatura de un punto dado. Consiste en un tubo

Fig. 54.



con dos curvaduras, en cuyos extremos tiene dos depósitos, uno *A* esférico, y otro *B* de figura cilíndrica, paralelo á las dos ramas del tubo. La parte curva se llena de mercurio, el depósito *B* y la porcion del tubo hasta el líquido metálico, se llena de alcohol, así como tambien la mitad de la esfera *A* y la porcion del tubo; dejando el resto de dicha esfera ocupado por el aire. Dos pequeños cilindros de vidrio *x x* llamados índices con el eje de hierro ó de acero, están flotando en los extremos de la columna de mercurio: la graduacion de este instrumento se practica comparándolo con otro termómetro en igualdad de circunstancias. Los efectos que produce un aumento de temperatura que obra sobre el aparato, se manifiestan por el ascenso del índice *x* á causa de la disminucion de volúmen del aire encerrado en la esfera: cuando la temperatura disminuye los líquidos se contraen, y el exceso de fuerza elástica en el gas de la esfera hace que se eleve el índice *x*.

El termómetro de peso inventado por los señores Dulong y Petit, consiste en un receptáculo de mercurio de altura igual á la que tiene el líquido cuya temperatura media se desea saber; este depósito termina con un tubo encorvado lleno del mismo metal con el diámetro muy pequeño, el cual está sumergido en una taza con mercurio seco y puro. Si todo el aparato se expone á la accion del hielo hasta que su temperatura sea la del cero, y se pesa con el objeto de saber el peso del mercurio á este grado de calor, bastará restar el peso del instrumento sin mercurio del peso total, para apre-

ciar aquel dato. Conocido ya este peso, que representaré por P , fácil será conocer la temperatura de un baño siempre que sea superior á cero; para ello bastará colocar el aparato dentro de él, la dilatacion hará salir una porcion del líquido metálico, la cual será mayor á medida que sea tambien mayor la temperatura que se examina, y cuando se ha restablecido el equilibrio, se pesa el mercurio que ha salido. Siendo p este peso, claro está que $P-p$ es el peso del mercurio á la temperatura del baño; y el aumento aparente de la unidad de volúmen del mercurio desde 0° hasta la temperatura del baño,

será $\frac{P}{P-p}$: basta saber la dilatacion aparente del mercurio

en el cristal para establecer una ecuacion que dé su verdadero valor.

272. *Medida de la dilatacion de los sólidos, líquidos y gases.* Hemos probado (248) que todos los cuerpos se dilatan por la accion del calor, y se contraen cuando se rebaja la intensidad de este agente. La dilatacion ó aumento de volúmen que experimenta una sustancia sólida puede ser *lineal y cúbico*: el primero es aquel que tiene lugar segun la longitud del cuerpo, y el segundo se verifica por toda la masa; de suerte que la dilatacion lineal no es otra cosa, que la relacion que existe entre su prolongacion y su longitud á cero, cuando la temperatura se eleva de 0° á un grado; y la dilatacion cúbica es la relacion que existe entre el volúmen de un cuerpo 0° , y el aumento que experimenta cuando pasa de 0 á un grado. Los fisicos han convenido en medir la dilatacion lineal en los cuerpos sólidos, y triplicarla para conocer la cúbica: esto se reduce á dar á los cuerpos la figura de una barra de uno ó dos metros de longitud, elevarla á distintas temperaturas, y medir el aumento de volúmen, ó la contraccion que experimenta por el enfriamiento.

273. Lavoisier y Laplace aconsejan sumergir verticalmente hasta el fondo de una cuba, una barra ó regla de cristal apoyada en su parte superior por dos fuertes travesaños de hierro, y sostenidos de dos macizos de mamposteria. Uno

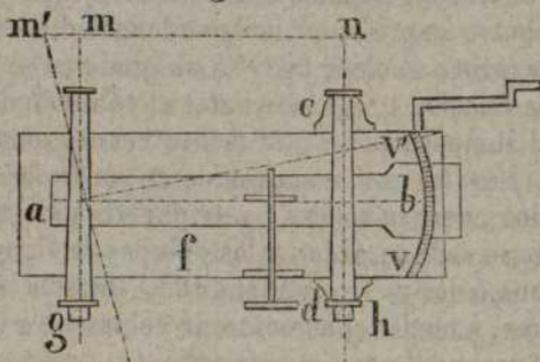
de los extremos de esta regla está en contacto con la barra sobre que se opera, y por el otro se halla en comunicacion con un brazo de palanca muy corto, el cual gira segun la dilatacion que se manifiesta en toda la prolongacion de dicha barra. Estando el punto de apoyo de la palanca fuera de la cuba, conserva su temperatura é inmovilidad, pudiendo aumentar los efectos de la dilatacion, haciendo que el gran brazo de palanca tenga una longitud mil veces mayor que el brazo corto, por cuyo medio se manifiestan las variaciones mas pequeñas.

274. Ramsden queriendo evitar los rozamientos del punto de apoyo, y la flexibilidad del brazo de palanca, procura por medio de una varilla vertical ajustada á cada una de las barras, que la dilatacion se manifieste fuera de la cuba.

275. Mr. Pouillet ha inventado un aparato bastante ingenioso, que Mr. Gambey ha construido, y cuya descripcion copio á la letra de la última edicion del tratado de física de aquel distinguido autor.

«Concibese en efecto que sobre una fuerte regla de hierro, fig. 55, se ha adaptado una alidada *ab* de diez ó doce

Fig. 55.



decímetros de logitud, capaz de moverse en rededor del centro *a*, y provista de un anteojo *g* cuyo foco sea muy corto: otro segundo anteojo *h* fijo sobre la regla *f* en los pun-

tos c y d , deja pasar la alidada $a b$ por este intervalo, sin impedir sus movimientos. Es evidente que si una regla $m n$ se halla colocada delante de los dos anteojos, de tal manera, que sus dos puntos m y n caigan bajo de los hilos cruzados de que están provistos, apenas dicha regla experimenta una prolongacion $m m'$, quedando el punto n fijo, será necesario volver la alidada $a b$ hasta tanto que el punto m se ponga debajo el hilo del anteojo móvil; por consiguiente el extremo b de la alidada tiene que recorrer cierto número de divisiones $v v'$ que estarán señaladas en la regla de hierro. Conociendo desde luego la relacion de los brazos de la palanca $a m$ y $a b$, será fácil determinar el valor de $m m'$ por medio del número de divisiones $v v'$, y se tendrá:

$$\frac{m m'}{v v'} = \frac{a m}{a b}.$$

«Todo se reduce pues, á determinar con cuidado la relacion de los brazos de la palanca, y conocer con exactitud el número de divisiones recorridas por el cero de la alidada. Basta para ello colocar en el punto m delante del anteojo móvil, y en direccion perpendicular á su eje, una pequeña pieza de metal, sobre la cual se han señalado con la mayor exactitud cuatro ó cinco milímetros: en este caso basta hacer correr el anteojo cada una de estas divisiones, para observar el número de milímetros que el extremo de la alidada recorre sobre la division $v v'$. En este aparato la longitud $a b$ es triple de la $a m$; pero por medio de una rosca micrométrica fija, se pueden ver las divisiones en b que pasan por debajo del hilo, y con toda seguridad estimar las variaciones de $\frac{1}{660}$ de milímetro; de suerte que se mide con exactitud $\frac{1}{1980}$ de milímetro de prolongacion en m , y cerca de dos milésimos de milímetro. Así mismo se comprende, que si delante de los anteojos se colocan dos medidas de longitud que tengan alguna diferencia entre sí; se podrá apreciar esta diferencia hasta cerca $\frac{1}{2000}$ de milímetro.»

276. Las leyes de la dilatacion peculiares á los cuerpos sólidos, conducen á los dos principios siguientes; 1.^o la potencia de dilatacion de un cuerpo, es igual á la resistencia de compresion; de modo, que si para reducir la longitud de una barra vertical, tanto como lo haria un descenso de temperatura de 1^o, se necesita un peso de mil quilógramos, es evidente que cargando dicha barra con este peso, y calentándola á la vez de un grado, no se notará alteracion alguna, porque la dilatacion producida por el calor estará compensada por la contraccion debida á la carga; 2.^o la potencia de contraccion de los sólidos es igual á la resistencia de traccion que ellos pueden oponer: con efecto, si un peso de mil quilógramos prolonga una barra metálica de la misma cantidad que lo haria el aumento de temperatura de 1^o, es evidente que si se le carga con dicho peso por el extremo inferior, y al propio tiempo se enfria de un grado, no habrá alteracion alguna, porque la prolongacion de la traccion estará compensada por la contraccion producida por el enfriamiento. El péndulo compensador, las láminas de compensacion de que hablaremos en otro lugar, están fundados en estos principios.

277. En los cuerpos líquidos se distinguen dos clases de dilatacion, la *aparente*, y la *absoluta ó real*. Se llama dilatacion absoluta, la que adquiere un líquido dentro de un vaso en el cual se supone que el calor no tiene influencia sobre él; y se conoce con el nombre de dilatacion aparente el aumento de volúmen de un líquido dentro de un vaso, que experimenta tambien los efectos del calor.

Dos fisicos celebres, los señores Dulong y Petit, han determinado la dilatacion absoluta del mercurio; valiéndose de un principio de hidrostática, cual es, que cuando las columnas de dos líquidos se hallan en equilibrio, sus alturas están en razon inversa de sus densidades (139).

278. Supuestos estos principios, si se ponen en comunicacion dos tubos de igual diámetro por medio de otro horizontal, y se llenan con mercurio hasta cierta altura, se establece una igualdad de presiones, porque el líquido de los dos

tubos verticales es de igual naturaleza química, y desde luego las columnas se ponen á nivel. Aquí la acción capilar es nula á causa del diámetro de los tubos, y la igualdad de todas las presiones queda siempre establecida, cualquiera que sea por otra parte la magnitud del tubo horizontal.

Estando estas columnas á su perfecto nivel, basta mantener á 0° la temperatura de uno de los tubos verticales, elevar la del otro de un número cualquiera de grados, y desde luego se notará que se rompe el equilibrio, y la columna caliente tiene mayor elevación. Conocidas estas alturas sobre el eje del tubo horizontal, y la temperatura de la que se halla dilatada, se deduce con facilidad cuales son las alturas de la columna fría, y de la que se ha dilatado sobre el mismo eje. Estas alturas se determinan también por medio de un instrumento llamado *Kathetómetro*.

279. La dilatación aparente en los líquidos se conoce observando la marcha de un termómetro de grande esfera, cuya capacidad con relación á las divisiones del tubo es conocida. De esta observación se ha deducido, que la dilatación aparente del mercurio, dentro del vidrio es de 0,00015434 ó cerca de $\frac{1}{6479}$ para cada un grado, y de $\frac{1}{65}$ desde 0° á 100°; de suerte, que la dilatación aparente del mercurio en el cristal, no es otra cosa que su dilatación absoluta, rebajada de la dilatación absoluta del cristal.

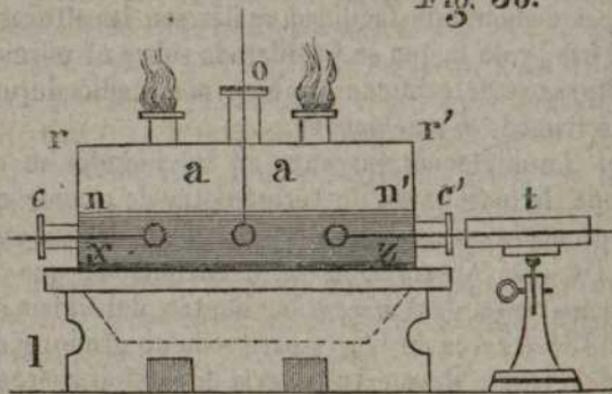
280. Mr. Gay-Lussac buscando una ley general para la dilatación de los líquidos, ha observado la contracción que experimentan cuando se enfrían de un mismo número de grados: para ello los eleva al grado de la ebullición, indaga con toda exactitud la temperatura á que hierven, y después estudia las contracciones que corresponden á una misma temperatura. Desde luego el expresado físico ha notado, que siendo el punto de ebullición á diferente grado de calor para cada líquido, sus fuerzas repulsivas son iguales entre sí:

El agua hierva á.....	100 °
El alcohol á.....	78,41
El percloruro de formilo á...	60,8

El sulfido de carbono á.....	46,60
El éter sulfúrico á.....	35,56
El éter cloridrogénico á.....	11,00

281. La dilatacion de los gases es sumamente sensible, y segun las observaciones de los señores Dulong y Petit, es uniforme desde— 36° hasta 400° próximamente. Gay-Lussac para demostrar esta ley, se vale del aparato representado en la fig. 56. Consiste en una caja de laton ú hoja de lata *a a*,

Fig. 56.



colocada sobre un hornillo *l*, la cual tiene dos aberturas laterales *c c'* con el objeto de recibir dos termómetros, uno de mercurio *x*, y otro de aire *z*: estos dos instrumentos están colocados sobre la misma capa horizontal, y un poco mas bajos que el nivel *n n'*. La tapadera *r r'*, está provista de tres aberturas, de las cuales dos se destinan para dar salida al vapor, y la tercera *o* para un termómetro vertical, cuya esfera se halla en el mismo plano que los otros dos laterales. La temperatura de todo el aparato se rebaja hasta que marca el grado *cero*, y luego se eleva gradualmente haciéndola subir de grado en grado hasta la ebullicion: para hacer una experiencia en sentido contrario, se enfria siguiendo la misma marcha, hasta llegar al grado *cero*, que fué el punto de partida. Las temperaturas que desean observarse, han de

sostenerse al mismo grado, todo el tiempo necesario para una observacion.

Para operar con acierto debe conocerse la capacidad del tubo t , es decir, el número de divisiones que corresponden á la capacidad de la esfera á una temperatura dada; de suerte, que la operacion estará reducida á conocer por el indice el volúmen de aire en el tubo t , su temperatura por medio de los termómetros, y su presion consultando la altura barométrica.

282. Si representamos por V y V' los dos volúmenes que nos ha dado el tubo graduado, cuando las temperaturas estuvieron á 0° y t° ; por A y A' las alturas barométricas durante dos observaciones; y en fin siendo x el coeficiente de dilatacion del vidrio; tendrémus que si un cuerpo gaseoso ocupa el volúmen V cuando la temperatura está á 0° , bajo la presion A , ocupará á la temperatura t y con la presion A' , un volúmen que estará indicado por $V' (1+x t)$: suponiendo que la presion no haya cambiado, el volúmen queda reducido

á $V' (1+x t) \frac{A'}{A}$. De aqui se deduce, que cuando la altura

barométrica A es constante, la dilatacion de la unidad de volúmen del gas propuesto que pasa de 0° á t° , está representada por

$$\frac{1}{V} \left(V' (1+x t) \frac{A'}{A} - V \right).$$

283. Fórmulas de la dilatacion para los sólidos, líquidos y gases. En el párrafo (272) definimos la dilatacion lineal y cúbica, vamos ahora á sujetar á principios generales estas dos clases de dilatacion en los cuerpos sólidos. Si se supone que l es la longitud que tiene la arista de un cubo á 0° , k el aumento de esta arista por la accion del calor que eleva la temperatura del sólido de 0° á 1° , y por x la dilatacion lineal, se tendrá para esta dilatacion;

$$x = \frac{k}{l} \text{ ó bien } x l = k.$$

El valor de α para cada sustancia es lo que constituye el *coeficiente de la dilatacion* de dicha sustancia.

Aplicando esta fórmula general á varios cuerpos sólidos se viene en conocimiento, que desde 0° á 100° el vidrio comun se prolonga de $\frac{1}{1164}$, el hierro de $\frac{1}{846}$, el platino de $\frac{1}{1134}$, el cobre de $\frac{1}{582}$ etc.: sin embargo, se ha observado que cuando los cuerpos se hallan cristalizados, las dilataciones son diferentes en sus distintas caras.

284. Si representamos por v el volúmen de un cuerpo á cero, por t el aumento que experimenta cuando pasa de 0° á 1° , y por z la dilatacion cúbica, se tendrá;

$$z = \frac{t}{v}.$$

Cuando la dilatacion cúbica es igual para cada grado del termómetro á mercurio, se dice que es uniforme; de manera que siendo K la dilatacion cúbica de un cuerpo á 1° , $2K$ será para 2° , y en general tK para t grados. Si suponemos que cada arista de un exaedro se ha alargado durante la dilatacion lineal de $1 + l$, el volúmen será $(1 + l)^3$; de suerte que la dilatacion lineal es igual al tercio de la que representa la cúbica, ó bien la cúbica es triple de la lineal.

285. *En los líquidos hay que distinguir la dilatacion aparente y la absoluta (277, 278 y 279), y las fórmulas adoptadas por los físicos son diferentes segun la clase de dilatacion que se examina. Siendo la dilatacion aparente de una masa líquida igual á su dilatacion absoluta, disminuida del aumento de capacidad del vaso que la contiene, no es posible llegar á un resultado evidente sin conocer, ó suponer conocido, el coeficiente de la dilatacion absoluta del líquido, y la del vaso donde se opera. Sean C y C' los dos coeficientes de las dilataciones absoluta y aparente de un líquido, y Z el que corresponde á la materia sólida que forma el vaso cuando la temperatura pasa desde t° á $(t + 1)^\circ$: representase por V el volúmen que el líquido ocupa á t° , dentro de*

un vaso cuya figura sea semejante á la de un termómetro á mercurio, y por V' el volúmen aparente á $(t + 1)^\circ$, y supóngase que la sustancia que constituye el instrumento permanezca invariable; en este caso, la dilatacion aparente C'

será la fraccion $\frac{V' - V}{V}$; el volúmen del liquido que

es V á t° , debe ser $V(1 + C)$ á $(t + 1)^\circ$; pero en el instrumento el liquido ocupa á esta última temperatura, un volúmen igual á $V'(1 + Z)$; luego se tendrá la ecuacion siguiente:

$$V(1 + C) = V'(1 + Z);$$

lo que da $C = C' + Z \frac{V'}{V}$: pero V' difiere muy poco

de V y substituyendo la unidad á su valor, se puede adoptar la fórmula $C = C' + Z$.

286. Esta fórmula nos dará á conocer la dilatacion absoluta de los liquidos, toda vez que háyamos conocido los valores de C' y de Z . Los físicos emplean tambien la balanza hidrostática, por cuyo medio indagan las pérdidas que experimenta una esfera que se sumerge en un mismo liquido á dos temperaturas distintas.

287. Las fórmulas que corresponden á la dilatacion de los gases, están deducidas de una combinacion del principio de Mariotte, y de la ley de dilatacion de los gases hallada por Gay-Lussac. Si se representan por V y V' los dos volúmenes que ocupa un gas bajo las dos presiones P y P' , á t y t' grados de temperatura, se tendrán seis cantidades, cualquiera de las cuales se podrá determinar en funcion de las otras cinco (292).

288. *Coefficientes de dilatacion de los cuerpos sólidos, liquidos y gaseosos.* Se llama en general *coeficiente de dilatacion* la cantidad que aumenta una unidad de volúmen, por cada grado de temperatura en el termómetro de mercurio; es decir, la dilatacion de la unidad de volúmen, por la uni-

dad de temperatura. El coeficiente de dilatacion es variable para cada cuerpo sólido y líquido; pero es siempre igual para todos los gases. El valor del coeficiente es mayor en las sustancias líquidas que en las sólidas, y mucho mas grande en los gases que en los líquidos. Tambien es de notar, que en los cuerpos sólidos y líquidos el coeficiente de dilatacion aumenta con la temperatura; de suerte que á medida que la fuerza de cohesion disminuye, aumenta dicho coeficiente.

289. Los coeficientes de dilatacion de los cuerpos sólidos varian para cada uno, pudiendo tambien ser diferentes de un grado á otro. Sin embargo, algunos físicos creen que entre 0° y 200° de la escala centigrada, guardan una relacion constante. El coeficiente de dilatacion del hierro es de $\frac{1}{28200}$, el del platino de $\frac{1}{37700}$ y el de cobre de $\frac{1}{49400}$. El vidrio desde 0° á 100° sigue una dilatacion proporcional á la que tiene el mercurio, y su coeficiente es igual á $\frac{1}{38700}$; pero cuando la temperatura es mayor que la expresada, entonces el aumento de volúmen para un mismo grado es en el vidrio mayor que en el mercurio.

290. El coeficiente de la dilatacion absoluta del mercurio, segun los señores Dulong y Petit, es siempre de $\frac{1}{5550}$ para cada grado del termómetro desde 0° á 100° , ó $0,00018018$; y el de la dilatacion aparente $\frac{1}{6480}$ de su volúmen á cero, lo que corresponde á $0,000168703$. El mercurio es el líquido que guarda mas uniformidad en sus dilataciones, y por esta causa se prefiere para la construccion de los termómetros. Los demas líquidos están sujetos á cambios mas rápidos, y el coeficiente de dilatacion aumenta con la temperatura aun antes de señalar los 100° .

291. El coeficiente de dilatacion de las sustancias gaseosas, hallado por Mr. Gay-Lussac, es de $0,00375$, ó bien $\frac{1}{800}$ ó $\frac{1}{267}$ desde -36° á $+100^{\circ}$. Algunos han creido que el coeficiente no era el mismo para todos los gases; pero Dulong y Petit dicen que segun sus experiencias verificadas con el hidrógeno y el aire es idéntico en una extension de 400° , tomados desde -36 hasta $+366^{\circ}$; sin embargo, parece que el coeficiente disminuye á medida que la tempe-

ratura indicada por el termómetro á mercurio traspasa los límites de la ebullicion del agua.

292. *La presion no altera el valor del coeficiente que corresponde á los gases; de suerte, que mientras permanezcan á una misma temperatura, los resultados serán siempre iguales. Ahora bien, si se supone que R y R' indican los volúmenes que ocuparían dos gases V y V', bajo la temperatu-*

ra 0° y la presion P y P', (287); se tendrá $V = R \left(1 + \frac{t}{267}\right)$,

y $V' = R' \left(1 + \frac{t'}{267}\right)$; pero como la ley de que los gases

disminuyen de volúmen en razon inversa de la presion que sufren, se verifica á todas temperaturas; resulta que si esta permanece constante durante el curso de una operacion, ó mientras cambia la presion, se tendrá $P R = P' R'$, y separando los dos factores R y R', será muy fácil hallar la relacion que se desea, por medio de la fórmula siguiente:

$$\frac{P' V'}{267 + t'} = \frac{P V}{267 + t}$$

Esta fórmula pudiera aun amplificarse tomando el valor de las densidades, ó bien variando la temperatura; pero de cualquier modo ella nos manifiesta que los gases solos ó mezclados cuando están secos y privados de vapores, se dilatan uniformemente desde -36° á $+100^{\circ}$, si las temperaturas t y t' se han tomado de un termómetro de mercurio.

LECCION XIII.

Aplicaciones generales de la dilatacion.

293. *Utilidad de los coeficientes de dilatacion.* Los coeficientes de dilatacion son de grande importancia para conocer con exactitud los efectos del calor. Los barómetros conducen á equívocos resultados, cuando no se han apreciado las dilataciones que experimentan todas las sustancias que los forman, bajo la influencia del calor. La presion del aire y aun las de todos los gases comparadas ó medidas por la columna de mercurio, varian con la temperatura, y la dilatacion del mercurio disminuye su densidad; de suerte que para hacerlas comparables, hay que partir de un punto fijo, es decir, de la altura que corresponde al barómetro, á una temperatura dada (175).

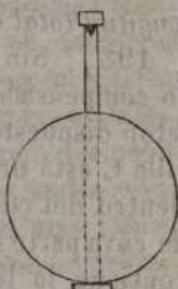
294. *Péndulos compensadores.* La dilatacion de los cuerpos sólidos halla una aplicacion importante en el uso de los péndulos. El calor dilata la varilla y aumenta su longitud, y esta circunstancia hace cambiar la duracion de las oscilaciones; de suerte, que aumenta la distancia que separa el eje de oscilacion del de suspension. Si fuera posible construir un péndulo que no cambiase de longitud por la accion del calor, claro está que el tiempo que dura una oscilacion no variaria por el cambio de temperatura; pero como todas las sustancias conocidas se dilatan cuando se exponen bajo la influencia del calórico, se han imaginado los péndulos compuestos de cuerpos diferentes, donde los efectos de una misma temperatura, se manifiestan por una dilatacion desigual: este sistema de varillas se conoce con el nombre de *péndulo compensador*.

195. Un relojero ingles imaginó un péndulo en el cual la lenteja está sustituida por un vaso cilindrico de cristal con mercurio, Leroi, relojero en Paris, propuso en 1738 construir un péndulo compensador fundado sobre la diferente di-

latacion de dos metales; y Rober, artifice tambien de Paris, hace pocos años que ha presentado un péndulo sumamente sencillo, que consiste en una varilla de platino que atraviesa una lenteja de zinc, fig. 57.

296. Fácilmente se concibe la causa sobre que está apoyado el péndulo de Graham. Si el efecto del calor tiende á prolongar la varilla, y por consiguiente á bajar el centro de oscilacion, este mismo calor obrando sobre el mercurio del vaso, le dilata, y por lo tanto su tendencia es la de hacerle subir. La compensacion queda establecida, tan luego como se conoce la cantidad de mercurio que ha de colocarse en el vaso.

Fig. 57.



Siendo l la longitud de la varilla del péndulo, que en este es un tubo de cristal, tomada desde el eje de suspension hasta el fondo del vaso que contiene el mercurio, y x el coeficiente de la dilatacion lineal que corresponde á esta varilla; se tendrá la cantidad lx , cuyo aumento de longitud hará bajar el centro de gravedad de la masa líquida para cada un grado de temperatura. Siendo x' el coeficiente de dilatacion aparente del mercurio en el cristal, y a la altura á que se halla

el mercurio dilatado; resultará $x' \frac{a}{2}$. Con estos datos se

establecerá la igualacion $lx = \frac{a}{2}x'$. Sostituyendo á x y

x' sus valores, obtendremos $x = \frac{1}{146400}$, y $x' = \frac{1}{6480}$,

lo que da para el valor de $\frac{a}{l}$ cerca de $\frac{1}{9}$ (277 y 283).

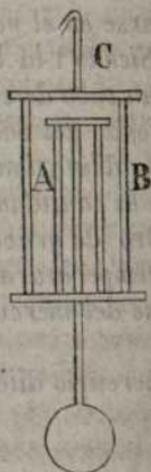
297. Las dimensiones que debe tener el péndulo de Rober, se buscan con esta misma fórmula. En ella a indica el diámetro de la lenteja de zinc, l la longitud de la varilla desde el eje de suspension hasta el extremo opuesto del péndulo y x y x' los coeficientes de dilatacion lineal del platino

y del zinc; los cuales resultan ser $x = \frac{1}{113400}$ y $x' = \frac{1}{34000}$; de donde se obtiene $\frac{a}{l} = \frac{68^\circ}{1134}$, que viene á ser un poco

menor que $\frac{2}{3}$. Esto nos indica que el radio de la lenteja de zinc debe ser igual á la tercera parte próximamente de la longitud total que tiene la varilla de platino.

198. Sin embargo, generalmente está en uso un péndulo compensador formado con muchas varillas de hierro y de laton dispuestas bajo una figura rectangular, fig. 58. La varilla C está unida al bastidor de acero B, dentro del cual se halla otro A de laton, de cuya parte superior pende la varilla que contiene la lenteja P. Cuando el calor obra sobre este péndulo, dilata todas las varillas y la lenteja, y el centro de oscilacion bajaria, si el efecto del calor sobre el bastidor no se compensara haciendo subir la lenteja.

Fig. 58.



299. *Termómetro de Breguet.* Cuando se construye un sistema con dos ó tres láminas de metales diferentes y de distinto poder dilatante, adquieren por su aumento ó disminucion de temperatura varias curvas en las cuales el metal más dilatante ocupa la parte exterior en los aumentos de calor, y la interior en los casos opuestos. Breguet ha utilizado esta propiedad para construir un termómetro que lleva su nombre; el cual consiste en tres láminas delgadas una de platino, otra de oro y la tercera de plata soldadas en toda su extension á la manera del *plaqué*, y luego laminadas y dispuestas en forma de espiral. La extremidad superior está fija en la varilla de laton que se halla en el centro, y la otra tiene una flechilla muy ligera, que se mueve en rededor de un limbo graduado: esta graduacion se hace por comparacion con un buen termómetro de mercurio. Los cambios de temperatura se hacen sentir sobre el

sistema metálico arrollado en espiral, dilatándole y aumentando las circunvalaciones, ó bien contrayéndole, en cuyo caso disminuyen aquellas. Su sensibilidad es tan exquisita, que basta tener en la mano algunos instantes el eje, para que la aguja se desvie de un número notable de grados.

300. *Pirómetro de Borda.* Mr. Borda para fijar las bases de la grande triangulacion que han emprendido los sabios franceses, con el objeto de evaluar definitivamente el meridiano y conocer el valor del metro, ha inventado un termómetro fundado en la dilatacion relativa de dos metales, el cual conduce á resultados de la mayor exactitud. En general se puede decir, que todo pirómetro, ó termómetro sólido, fundado en la dilatacion aparente de dos metales superpuestos, es un pirómetro de Borda. Sin embargo, el inventado por este fisico, no es otra cosa que una toesa (vara de medir francesa que equivale á seis piés) ó regla compuesta de dos metales, platino y cobre soldados en toda su longitud. El platino tiene la medida que representa, y la regla de cobre es un poco mas corta; como el calórico dilata el cobre de una cantidad mayor que el platino, el extremo donde está la falta de la regla de cobre es el que sirve de indice. Para graduarlo se introduce el sistema dentro del hielo licuándose y en agua hirviendo, y los puntos que representan estas dos temperaturas, se señalan con una raya, y el intervalo que comprenden se divide en 100 partes iguales llamados grados centígrados.

301. *Correccion de las densidades.* En la leccion V, párrafos 144, 145 y 146, se habló de las densidades de los cuerpos sólidos y líquidos, sin dar á conocer la influencia que ejerce el calórico en esta clase de operaciones. Las dilataciones que experimentan las sustancias, bien sean sólidas ó líquidas expuestas á una misma temperatura, son diferentes segun la naturaleza quimica de la materia sobre que obra el calor. Segun esto, el volúmen de los cuerpos sólidos y líquidos, no guarda una relacion constante con los efectos del fluido que los dilata; de modo que su densidad máxima debe buscarse á la menor temperatura posible: el agua no obstante,

se exceptúa de esta regla, porque su densidad máxima está á $+4^{\circ},108$.

302. Cuando se pretende buscar la densidad de un cuerpo sólido por medio de la balanza hidrostática (145), se pesa el cuerpo en el aire y en el agua para conocer, según el principio de Arquímedes, (141) el peso del volumen de agua que desaloja, ó la pérdida que experimenta el cuerpo por la inmersión. Estas operaciones se practican sin tener en cuenta la temperatura del aire atmosférico, ni mucho menos la que representa el agua, de suerte que hay necesidad, si el examen de las densidades se cree de alguna importancia, de reducir aquella pérdida, á la que sería en realidad si la temperatura del cuerpo en el acto de las pesadas fuese la de 0° , y el agua estuviese al máximo de condensación ó á $+4^{\circ},108$.

Por medio de los coeficientes de dilatación, se pueden hallar aquellos datos, y conseguir un resultado cierto. Sea P la cantidad que representa el peso del cuerpo en el aire, y P' la pérdida que experimentó el cuerpo por su inmersión; supongamos que t indica la temperatura del baño en el acto de la experiencia, x la dilatación total de la unidad de volumen que corresponde al agua á $+4^{\circ},108$ á t° , y c el coeficiente de dilatación cúbica del cuerpo propuesto. Claro está, que si el agua tenía la densidad correspondiente á $+4^{\circ},108$, el cuerpo sólido durante la inmersión desalojará un peso indicado por $P' (1 + x)$, si es que su volumen ha permanecido á t° . Si la temperatura disminuyera al propio tiempo hasta 0° , el volumen del agua disminuiría también en la relación de $(1 + ct)$ á 1; en cuyo caso el peso del agua desalojada por

el sólido sumergido, sería $P \frac{1 + x}{1 + ct}$ tomada al máximo de

condensación. Por consiguiente la densidad del sólido corregida de los efectos del calor, vendrá representada por

$\frac{P}{P'} \times \frac{1 + ct}{1 + x}$. Para los líquidos hay que tener en cuenta

el coeficiente de la dilatación cúbica del cristal. Cuando para

conocer las densidades se emplean los areómetros de Nicholson ó de Fahrenheit, las correcciones son lo mismo, teniendo en cuenta la relacion de los pesos del agua y del liquido cuya densidad se busca.

303. Al hablar de las densidades se dijo cómo se buscaban en general las de todos los gases (147), pasando en silencio las correcciones indispensables para que los datos obtenidos presenten alguna exactitud. El vacío jamás se consigue sino hasta un punto convenido, y los vapores que suelen acompañar á los gases alteran su pureza, por cuya razón deben separarse por los procedimientos que enseña la química.

Si suponemos que x y x' son las cantidades de dos gases diferentes que han llenado sucesivamente un globo ó recipiente de cristal, bajo la presión de $0^m,76$ de mercurio y á la temperatura de 0° ; si M y N representan los pesos obtenidos pesando el globo vacío y luego lleno con el primer gas, á la presión P y á la temperatura t ; y M' y N' el peso del segundo gas bajo la presión P' y á la temperatura t' ; en fin si p nos manifiesta la tensión convenida en el acto de hacer el vacío en el globo, y C el coeficiente de dilatación del cristal; tendremos que $(N-M)$ nos indicará el peso del primer gas que llenará el recipiente á la presión $(P-p)$, y á la temperatura t : si la presión se reduce á $0^m,76$ y la temperatura t permanece constante, el peso del gas estará indicado por

$$(N-M) \frac{0^m,76}{P-p}; \text{ mas si la presión no variase de los}$$

$0^m,76$ y la temperatura bajase hasta 0° , la capacidad del globo disminuiría por la contracción debida al enfriamiento en la relación de $(1+Ct)$ á 1, y la densidad del gas aumentaría en la relación de 267 á $267+t$; por consiguiente se tendría:

$$x = (N-M) \frac{0^m,76}{P-p} \times \frac{267+t}{267} \times \frac{1}{1+Ct}.$$

Según los mismos principios, y con igual raciocinio, se hallará el valor de x' , lo que dará;

$$x' = (N' - M') \frac{0^m,76}{P' - p} \times \frac{267 + t'}{267} \times \frac{1}{1 + C t'}$$

Si ahora suponemos que x es el aire atmosférico, obtendremos la densidad del segundo gas x' ; por medio de la fórmula siguiente:

$$\frac{x'}{x} = \frac{N' - M'}{N - M} \times \frac{P - p}{P' - p'} \times \frac{267 + t'}{267 + t} \times \frac{1 + C t}{1 + C t'}$$

Sucede con frecuencia que los gases tienen acción química sobre los metales con que están construidas las llaves de paso de los globos, en este caso deben emplearse frascos esmerilados cuidadosamente dispuestos, y ha de tenerse en cuenta el volúmen del frasco.

304. Por medio de estos cálculos se ha apreciado con la mayor escrupulosidad, el peso de un litro de aire seco tomado á 0° , y bajo la presión de $0^m,76$: este peso es igual á $1,293$; pero como un litro ó un decímetro cúbico de agua destilada á $+4^{\circ},108$ pesa 1000 gramos, la densidad del aire con relación á la del agua es igual á $\frac{1,293}{1000}$ ó á $\frac{1}{770}$, y la del aire respecto á la del mercurio de $\frac{1}{10466}$; cantidad que resulta de dividir $\frac{1}{770}$, por 13,59 que es la densidad del mercurio.

LECCION XIV.

Calor radiante y equilibrio en las temperaturas.

305. *Calor radiante.* Se llama *calórico radiante* el que se propaga en línea recta bien sea al través de los cuerpos diáfanos, bien al través del vacío. Para formarse una idea de esta clase de calórico, basta observar una bala de hierro can-

dente colocada en el centro de un aposento, la cual hace sentir la sensacion de calor de un modo mas ó menos intenso, sin que la atmósfera pueda alterar su temperatura de una manera notable. Los rayos del sol atraviesan toda la capa de aire sin ser absorbidos de un modo sensible; así todos los cuerpos calientes están dotados de la propiedad de desprender una parte del fluido que contienen, el cual en su propagacion sigue la direccion de la línea recta. Probarémos esta verdad, si recordamos el primer movimiento que instintivamente se hace cuando nos aproximamos á un foco de calor: desde luego, y por un efecto natural, colocamos la mano ú otro objeto como un papel ó un abanico delante de la cara, y esto es suficiente para impedir aquella sensacion incómoda ó desagradable. Dos cosas se observan en este fenómeno; 1.^a que el espesor del papel es bastante, por ser un cuerpo opaco, para interceptar los rayos caloríficos y evitar que vayan á chocar á la cara; y 2.^a que el fluido calórico no sigue la direccion y figura del cuerpo que se interpone para volver á tomar su primitiva direccion.

306. Si desde un punto cualquiera de un cuerpo caliente se tira una línea recta en una direccion determinada, el calor que se propaga segun esta direccion es lo que constituye un *rayo de calor*. Si admitimos que la propagacion del calor tiene lugar por movimientos ondulatorios verificados en el *éter*, un rayo de calor no será otra cosa que el centro de aquel movimiento, cuyo punto de partida estará en el átomo vibrante.

Quando un cuerpo cualquiera en su estado de equilibrio es trasportado de un punto á otro que tenga la temperatura diferente, se rompe aquel equilibrio, y el cuerpo cambia de temperatura hasta adquirir la que tiene el medio que le rodea. Este cambio tiene lugar por radiacion y por comunicacion, y estos dos medios son los que constituyen el calor dinámico.

307. *Reflexion del calor*. Quando un rayo de calor cae oblicuamente sobre la superficie de un cuerpo pulimentado, se refleja formando con la normal bajada al punto de contac-

to dos ángulos iguales; uno de incidencia que contiene el rayo incidente, y otro de reflexion con el rayo reflejo. El valor de estos ángulos depende de la figura que tiene la superficie del cuerpo sobre que chocan los rayos caloríficos; así es, que en ciertos casos el rayo vuelve despues de la reflexion al mismo punto de donde partió.

El calor se refleja en el vacío del mismo modo que en la atmósfera libre, y el valor de los ángulos incidente y reflejo es el mismo, dependiendo como antes de la superficie del cuerpo pulimentado.

308. *Trasmision por los diferentes cuerpos.* Se llama trasmision del calórico, á la facultad que tienen ciertos cuerpos de dejarse penetrar por este agente. Esta facultad no está en relacion con la transparencia del cuerpo, porque se nota que la posean algunas sustancias poco transparentes como los aceites, etc.

Delaroche observó la trasmision al través de las pantallas, y Melloni por medio de un instrumento sumamente sensible llamado *termomultiplicador*, ha hecho experimentos importantes sobre un sin número de sustancias.

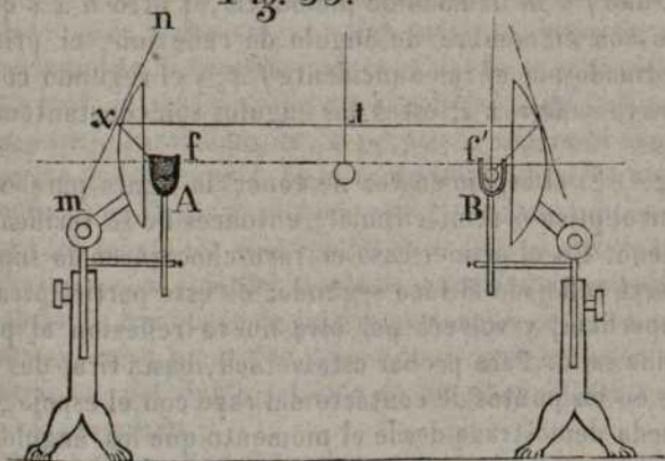
Los cuerpos de la naturaleza unos dejan pasar el calor radiante por entre sus partículas, sin que el fluido se difunda de un modo sensible por su masa, mientras que otros oponen una resistencia notable á este paso, en cuyo caso el calórico es en parte reflejado y en parte absorbido. Durante mucho tiempo se ha creído que esta trasmision tenia lugar segun los mismos principios que la luz; pero las experiencias de Mr. Melloni han probado lo contrario: este físico nos ha demostrado que aquellas sustancias perfectamente transparentes, y por lo tanto ofreciendo un paso franco al lumínico, oponian alguna resistencia al calórico, al paso que cuerpos poco transparentes estaban dotados de grande poder para transmitir el fluido calórico; la sal gema se halla en este caso. Los cuerpos que dejan pasar al calor radiante sin absorber ni dispersar el fluido, se llaman *diatermanos*, y los que resisten al paso de los rayos de calor, se designan con el nombre de *atermanos*.

309. *Poderes emisoro, absorbente y reflejante de los cuerpos.* El poder emisoro, llamado tambien poder radiante, es aquella facultad por la que los cuerpos dan una parte del calórico que tienen. Esta facultad depende del estado de la superficie, y es tanto mayor quanto mas irregular sea esta. El poder absorbente es la virtud que tienen los cuerpos de apropiarse una parte del calórico radiante que viene á herirlos.

Semejante propiedad depende de la naturaleza del cuerpo, y del estado de su superficie; cuando esta es metálica y se halla pulimentada, apenas el cuerpo absorbe una pequeña parte del calórico que recibe.

310. El poder reflejante es aquella propiedad por medio de la cual los cuerpos envian una parte del calórico que cae sobre la superficie. Para probar la existencia de este calórico, basta colocar dos espejos parabólicos, fig. 59, A y B

Fig. 59.



á una distancia de cuatro ó cinco varas, de tal manera, que

sus ejes estén en una misma línea. Si en el foco del primer espejo *A* se coloca un cuerpo candente, como una bala de hierro enrojecida, en el segundo espejo *B* un termómetro, y otro á la distancia media entre los dos espejos, se observará que mientras el primer termómetro *t* señala un aumento de temperatura de un grado, el termómetro colocado en el foco *f'* manifiesta que la suya ha aumentado de tres ó cuatro grados. Si en vez de un termómetro se pone en el foco *f'* un cuerpo inflamable como yesca, azufre, pólvora etc., pasados algunos instantes se enciende.

311. Desde luego se nota que el calórico se concentra en el punto *f'* foco del espejo *B*; en cuyo punto la temperatura aumenta considerablemente. Para demostrar esta propiedad, supondremos que del foco *f* sale un solo rayo calorífico que representaré por *f x*, el cual va á chocar sobre la superficie parabólica del espejo *A*: este rayo despues del choque y por razon de la figura del espejo, se refleja paralelamente al eje, y llegado al segundo espejo *B* sufre otra reflexion para venir á reunirse en el foco *f'*. Si en el punto *x* se tira una línea normal *m n*, el rayo formará con esta tangente dos ángulos, uno *f x m* llamado de incidencia, y otro *n x s* que se conoce con el nombre de ángulo de reflexion: el primero está formado por el rayo incidente *f x*, y el segundo contiene el rayo reflejo *x s*; estos dos ángulos son constantemente iguales.

312. Si el espejo en vez de tener la figura parabólica, la tiene elíptica ó semi-circular, entonces no se verificará el fenómeno. En el primer caso el rayo chocará en la superficie y será reflejado al foco segundo; de este partirá otra vez á la superficie, y volverá por otra nueva reflexion al punto de donde salió. Para probar esta verdad, basta tirar dos tangentes en los puntos de contacto del rayo con el espejo, y la ley queda demostrada desde el momento que los ángulos de incidencia y reflexion son iguales. En el segundo caso el rayo choca á la superficie, y vuelve al punto de donde salió.

313. El poder reflejante depende tambien de la naturaleza química del cuerpo, y del estado de la superficie sobre

que choca el rayo. Las superficies pulimentadas gozan del poder reflejante en un grado muy eminente, de modo que apenas llegan á calentarse; al paso que las sustancias cuyas superficies son irregulares, reflejan poca cantidad de calor, y su temperatura aumenta de un modo notable. Por consiguiente, el poder absorbente está en razon inversa del reflejante, ó lo que es igual, á mayor poder reflejante menor poder absorbente.

De abí resulta, que todo cuerpo colocado en el aire, puede considerarse como el centro de una esfera de actividad, de donde se desprenden, reflejan y absorben sin cesar rayos de fluido calórico. De estas propiedades saca la industria ventajas de consideracion para construir hornos, calderas etc.

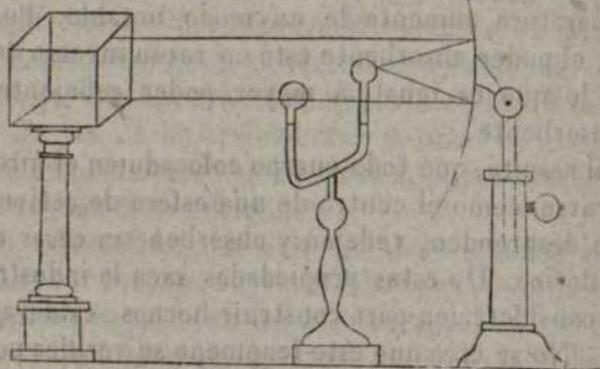
314. No se crea que este fenómeno se verifica porque el aire dilatado á causa de estar mas próximo al foco calorífico, pasa al opuesto por haberse hecho menor su densidad; semejante suposicion seria un absurdo, porque la velocidad del calórico es tan grande, que los rayos siguen la direccion que les imprime la figura parabólica del espejo, cualquiera que sea el movimiento comunicado á la atmósfera que atraviesan.

315. *Velocidad del calórico radiante.* Todos los experimentos que se hacen con el calor radiante, parecen probar que se trasmite instantáneamente. Cuando se intercepta con alguna cinta el paso á varios rayos reflejados de la superficie de un espejo parabólico, y de pronto se separa la cinta, no es posible poder apreciar el instante que tardan los rayos interceptados en llegar al segundo espejo; aun cuando la distancia que los separa sea de 40 ó 50 piés. Los fisicos están conformes en dar al calórico la misma velocidad de propagacion que al fluido lumínico; de suerte que segun experiencias que citaremos en su lugar, se puede decir que la velocidad de propagacion del fluido calórico es de unas 70,000 leguas para cada segundo.

316. *Intensidad del calor radiante.* La intensidad del calor radiante depende de la naturaleza del cuerpo y del estado de la superficie que emite calor. Para probar este principio se emplea un cubo hueco de metal, conocido con el

nombre de cubo de Leslie, fig. 60, de un reflector pulimen-

Fig. 60.



tado y de un termómetro diferencial: las cuatro caras laterales del cubo presentan distinta superficie; pues una de ellas está pulimentada, otra pintada de negro, la tercera de blanco y la última deslustrada. Nada mas fácil que operar con este instrumento: se coloca agua caliente dentro del cubo, y disponiendo que el calor emitido por cada una de las caras vaya á chocar en el espejo reflector, el cual envia sus rayos al foco donde se halla el termómetro, se nota que la cantidad de calor emitido es diferente para cada una de las cuatro caras del cubo, siendo así que todas ellas han sufrido la acción del fluido que les cedió el agua por su enfriamiento. La experiencia ha probado que la superficie ennegrecida radia mayor cantidad de calor, al paso que en la pulimentada apenas se manifiesta sensible. Por esta razon todos aquellos aparatos metálicos que reciben directamente la acción del calor, no deben limpiarse ni mucho menos pulimentarse por la superficie que ha de ponerse en contacto con el agente imponderado.

317. La intensidad del calor emitido está en razon inversa del cuadrado de la distancia. Con efecto, la experiencia diaria nos enseña que la intensidad calorífica de un foco decrece á proporcion que la distancia aumenta: esto se prueba

haciendo reflejar el calor emitido por una misma cara del cubo á difentes distancias, y observando los excesos de temperatura indicados por los estados del termómetro cuando se queda estacionado: estos estados de equilibrio entre el foco y el termómetro, manifiestan las cantidades de calor que el espejo reflector ha recibido, y por consiguiente las que la cara del cubo emitió en cada una de las distancias á que se expuso.

318. El calor radiado por un cuerpo, en igualdad de circunstancias, es proporcional á la extension de la superficie que emite. Esta verdad se demuestra igualmente por medio del aparato de Leslie; se emplean para ello vasos cúbicos de distinta capacidad, y de una misma sustancia, dentro de los cuales se coloca agua que tenga igual temperatura; desde luego se observa, que estos vasos puestos á la misma distancia del reflector, indican en el termómetro un exceso de temperatura que es proporcional á la extension de la superficie que radia.

319. *Equilibrio de temperatura.* Todos los cuerpos de la naturaleza tienen la propiedad de absorber y reflejar el calórico que de otros reciben, y de emitir una parte del que en si contienen. Estas propiedades se modifican segun el estado y dimensiones de las superficies que terminan el cuerpo, y de la figura y naturaleza química de este; por manera que el equilibrio de temperatura se restablece mediante algunas de estas causas, las cuales obran simultaneamente. Con efecto, si todo cuerpo colocado en el espacio tiene la propiedad de absorber y reflejar el calórico que le llega, y de emitir una parte del que contiene, la radiacion se verifica sin cesar, y su actividad depende de las circunstancias arriba expresadas: así se ve, que la temperatura que tienen tres ó cuatro cuerpos puestos á alguna distancia entre sí es diferente en cada uno. Por consiguiente para que el equilibrio de temperatura se restablezca, es indispensable que los cuerpos estén en contacto recíproco; en cuyo caso el cuerpo que está mas caliente cede una porcion de fluido al que lo está menos, y pasado cierto tiempo ambos manifiestan el mismo grado de calor.

320. Dos cuerpos que examinados con el termómetro manifiestan la misma temperatura, no por eso debe decirse que tienen iguales cantidades de calor; porque cada uno podrá admitir entre sus átomos una cantidad insensible al instrumento, pero que el físico pone de manifiesto por medios apropiados.

321. *Reflexion aparente del frio.* Pictet habiendo repetido el experimento de los espejos parabólicos, colocando en el primer foco una porcion de hielo, vió que el termómetro diferencial y aun el de mercurio, manifestaban una disminucion de temperatura por el descenso de la columna termométrica. De ello quiso deducir que habia rayos frigoríficos que se reflejaban siguiendo las mismas leyes que las demostradas para el calórico, y que existia por lo tanto un fluido que llamó *frigorífico*.

En este experimento no debe perderse de vista que el calórico en los cuerpos tiende constantemente á ponerse en equilibrio, y que la temperatura del medio que rodea el foco disminuye por el contacto con el hielo. Al propio tiempo el hielo tiene una temperatura peculiar al agua sólida, la cual está representada convencionalmente por el grado *cero* de nuestro termómetro. De ahí se deduce, que hay una reflexion de calor real y efectiva, que tiene lugar á una temperatura baja, porque tambien es baja la que corresponde al hielo.

322. *Ley del enfriamiento de Newton.* Newton ha admitido en fisica como principio, que la fraccion de grado perdida en un pequeño instante por un cuerpo que se enfria, es proporcional al exceso de su temperatura sobre la que tienen los cuerpos que le rodean. Esta ley halla su aplicacion quando el exceso de temperatura del cuerpo sobre el medio que le circunda no exceda de 10 á 20°; porque de otro modo la velocidad de enfriamiento seria proporcional á su variable. El principio de Newton se prueba por medio de un termómetro diferencial, colocado en una atmósfera cuya temperatura permanezca constante todo el tiempo que dura una observacion; se adiciona á la escala una regla dividida en mili-

metros, y se procura que todo esté al abrigo de las corrientes de aire. Si con la mano se calienta una de las dos esferas hasta tanto que el índice queda estacionado, y se mide la separacion total, se observa que el enfriamiento se verifica por intervalos iguales entre si. Representando por x el número de milímetros que corrió el índice, se tendrá x' , x'' , x''' para los distintos intervalos, los cuales pueden contarse de diez en diez segundos.

Las cantidades x , x' , x'' , x''' vienen á formar una progresion geométrica decreciente, y como estos números pueden manifestar el exceso de la variable en las temperaturas de la esfera que se enfria, sobre las que tengan los cuerpos que la circundan mientras dura cada observacion, se deduce que si aquella variable no es muy grande puede considerarse que se halla unida al tiempo.

Si A es el valor de la variable, t el tiempo y N una cantidad constante, tendríamos la fórmula $A = N^{-t}$. Por consiguiente, la disminucion de temperatura $-dA$, que se verifica en un instante infinitamente pequeño dt , en el tiempo t , ó cuando el exceso de temperatura es A , le dará la expresion de la fórmula $-dA = N^{-t} \log m \cdot dt$; ó bien $-dA = A \cdot \log m \cdot dt$. Si la esfera ha sido de antemano cubierta por una capa de alguna sustancia, ó por una hoja de oro, plata etc., la ley de Newton se verifica del mismo modo, sin otra diferencia que los intervalos varian para cada cuerpo.

Este mismo principio se confirma aun cuando en vez de calentar una de las esferas del termómetro de Leslie, se rodea con hielo hasta que el índice queda estacionado, y los intervalos guardan sensiblemente los términos de una progresion geométrica.

Sin embargo, si la ley de enfriamiento se examina con un termómetro de mercurio, cuya primitiva temperatura sea superior ó inferior de 40° á la que tiene el medio que rodea el aparato, los excesos observados para intervalos de tiempos iguales, difieren de un modo bastante notable de los términos que corresponden á una progresion geométrica; por esta razon la ley de enfriamiento de Newton, solo puede

admitirse cuando los excesos de temperatura son insignificantes.

LECCION XV.

Conductibilidad.

323. *Conductibilidad de los cuerpos por el calor.* Se llama conductibilidad en los cuerpos con respecto al fluido calórico, á la propiedad que tienen de absorber una parte de calor para diseminarlo por toda su masa. Cuando se calienta una barra de hierro por una de sus extremidades, se nota que el fluido imponderado se propaga en toda su extension, y pasado cierto tiempo se manifiesta sensible á una distancia considerable. El calor acumulado á la barra metálica se divide en dos partes; una que se escapa al traves de la superficie del cuerpo difundiendo entre las sustancias que le rodean, y otra que pasa por toda la masa para interponerse entre las moléculas, y constituir su temperatura. A la propiedad por la cual la primera cantidad de calor se difunde fuera de la sustancia que lo recibió, se llama conductibilidad exterior ó *penetrabilidad*, y á la que retiene la otra porcion de calor, parte combinado y parte interpuesto entre los átomos, se denomina conductibilidad propia, ó *permeabilidad*.

324. Los cuerpos se dividen en buenos y malos conductores del calórico: los primeros son aquellos que dejan pasar entre sus partículas el fluido imponderado, como todos los metales; y los segundos parece que oponen cierta resistencia al paso del calor, como el carbon, el azufre, etc.

Sin embargo, la facultad conductriz no es igual para cada sustancia, aun cuando se examine entre los mejores conductores; por esto se ha convenido en representar la del oro, donde se ve esta propiedad á un grado muy elevado, por 1000, la del platino por 981, y la del plomo por 180 etc. Se nota tambien que para un mismo cuerpo, en el cual uno de sus extremos recibe la influencia del calor, la temperatura

que representan las distintas secciones en que se halla dividido, es diferente hasta que el equilibrio se ha restablecido en toda la masa. En este fenómeno se observa que si *las distancias al baño ó foco calorífico, crecen en progresion aritmética, los excesos de temperatura decrecen en progresion geométrica.*

325. *Comunicacion del calor en los cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos.* La comunicacion del calor en los cuerpos sólidos ha sido discutida por los físicos mas distinguidos. La experiencia ha probado que el fluido calórico al desprenderse de un cuerpo sólido, es emitido no solo de las partículas que constituyen la superficie, si que tambien de las que se hallan debajo de esta capa hasta su centro. De suerte que cada partícula ponderable emite una cantidad de calor, cuya intensidad depende de su mayor ó menor temperatura. Esta partícula absorbe y refleja una parte de los rayos que se presentan para atravesar su sistema, y en ella se verifican los mismos fenómenos que se notan en los cuerpos de alguna magnitud. Sin embargo, cuando una molécula situada en el interior de un cuerpo, emite al exterior un rayo calorífico en una direccion cualquiera, su intensidad decrece á medida que aumenta la profundidad del foco. Esta cantidad de fluido tiene que atravesar un espesor mas ó menos considerable, en cuyo paso se difunde una parte de calor; de modo que puede haber casos en los cuales el rayo desaparezca completamente, á consecuencia de la absorcion que tiene lugar al atravesar los diferentes sistemas de moléculas, segun sea la naturaleza química de la sustancia que constituye el cuerpo.

326. Una vez admitida la radiacion particular como consecuencia del raciocinio y de la experiencia, nada mas fácil que explicar la comunicacion del calor entre las diferentes capas de un mismo cuerpo, dando una razon concluyente de los poderes emisoro, reflejante y absorbente que posee la capa exterior dada de una sustancia. De suerte que todos los cuerpos de la naturaleza conservan su estado de equilibrio, ó bien se calientan ó se enfrian, como si cada una de sus partículas obrase aisladamente.

327. Si consideramos dos moléculas x y x' colocadas convenientemente para que la radiación pueda tener lugar sin pérdida sensible de fluido, ambas emitirán las mismas cantidades de calor si sus temperaturas son iguales; en cuyo caso la absorción dará á la una parte del fluido que perdió por la radiación. Mas como la naturaleza química de las dos es idéntica, resulta que conservarán la misma temperatura, la cual irá disminuyendo poco á poco por las pérdidas debidas á la reflexión. Pero si la molécula x tiene una temperatura t mayor que la que corresponde á la molécula x' que está indicada por t' ; esta ganará por el cambio de fluido debido á la radiación, una cantidad de calor proporcional el exceso $(t - t')$, suponiendo las circunstancias iguales. Admitiendo que el cuerpo es atermiano, y supuesto el principio de Newton (322), se tendrá que la molécula x' recibirá de x una cantidad de calor $a = m(t - t')$; pero si t es igual á t' , las dos moléculas conservarán una igualdad efectiva en sus respectivas temperaturas, porque ambas radiarán la misma cantidad de fluido.

328. Los físicos han procurado conocer entre las sustancias sólidas cuales eran las que conducian mejor el fluido calórico. Fourier ha propuesto emplear un cono invertido á la manera de embudo, cuyo fondo le constituye un pergamino perfectamente atado; este vaso contiene mercurio y además la esfera de un termómetro. Se coloca este aparato sobre planchas de las sustancias que se desean examinar, las cuales deben tener el mismo espesor; estas planchas se hallan colocadas sobre un sustentáculo que se conserva á una temperatura elevada y constante, y las temperaturas finales indicadas por el termómetro, dar á conocer las conductibilidades de las planchas expuestas al exámen. La conductibilidad será mayor, cuando el termómetro marque mayor temperatura. Ingenhoux aconseja construir con las sustancias que quieran examinarse, cilindros que tengan las mismas dimensiones, los cuales cubre con una capa de cera del mismo espesor: estos cilindros se introducen por uno de sus extremos en una caja, que llena con agua hirviendo. Como la cera

funde á 68°, claro está que la temperatura estacionaria del grado de fundicion de la cera, marcará el punto de separacion entre la que haya sufrido la accion de esta temperatura trasmitida por la conductibilidad, y la que conserve aun el estado de solidez. Los cilindros segun la materia de que están formados presentan diferente limite de fundicion, y aquel donde se nota que la seccion se halla mas distante del extremo que se introdujo en el agua hirviendo, es el que puede citarse como mejor conductor.

329. Los liquidos sen en general poco conductores del fluido calórico. Las alteraciones que producen los cambios de temperatura, ocasionán un movimiento alternado que trasmite el calor en toda su masa. Las moléculas inmediatas al punto caliente aumentan su volúmen, y adquieren una ligereza especifica que las conduce á la parte superior del vaso que le contiene; al paso que otras mas pesadas por estar mas frias descenden. La existencia de estas dos corrientes una ascendente y otra descendente, se puede demostrar mezclando al agua una sustancia sólida reducida á polvo grueso, cuya densidad sea sensiblemente igual ó algo mayor que la del liquido; el aserrin de encina es la materia mas apropiada para este experimento. El fenómeno es del todo igual, si el liquido se calienta por la superficie superior: entonces el movimiento se verifica en sentido opuesto, y tarda bastante tiempo para trasmitir la temperatura á las capas que se hallan en el fondo.

Si lejos de hacer estas observaciones calentando un liquido, se practican por medio del enfriamiento, se notan tambien dos movimientos: uno de fuera hácia adentro producido por moléculas frias que se han hecho mas pesadas, y otro de adentro hácia fuera debido á moléculas calientes: el fenómeno es siempre igual, si se retarda el enfriamiento por medio de una sustancia mucilaginosa. De aquí se infiere, que los liquidos se calientan ó se enfrian por medio de movimientos que se verifican dentro de su propia masa. Despretz parece haber demostrado que la propagacion del calor en los liquidos que reciben la influencia de este agente por la superficie

superior, sigue la misma ley que en las barras metálicas.

330. Los gases siendo mas dilatables que los líquidos y por consiguiente mas movibles, los movimientos de sus moléculas ocasionados por la accion del calor son mucho mas rápidos; de modo que su facultad conductriz apenas es sensible. La propagacion del calor y su enfriamiento, se verifica por corrientes que tienen lugar de adentro hácia fuera ó vice-versa, en un todo parecidas á las que hemos admitido y probado para los líquidos. Sin embargo, no todos los gases absorben con igual intensidad el calor radiante de los cuerpos sólidos con quienes se hallan en contacto; se notan diferencias de consideracion, debidas sin duda á la rapidez de su movimiento ascensional, la cual está enlazada con su densidad: así se ve que el hidrógeno enfria rápidamente á los cuerpos, mientras que el ácido carbónico y otros gases mas densos tardan bastante tiempo en producir el mismo efecto.

331. *Utilidad de la facultad conductriz.* El conocimiento de la facultad conductriz es de la mayor importancia: de él se hacen continuas aplicaciones, así en las artes como para nuestra propia conservacion. Por esta razon nos vestimos con ropas de lana durante la estacion fria, y abrigamos nuestro pecho con una camisa de seda. Los habitantes del norte se cubren de pieles, y construyen estufas especiales para mantener el calor en sus habitaciones. Las frutas que deben conservarse, la nieve que ha de permanecer al estado sólido, la cubren con paja para evitar la accion del aire atmosférico; la lana, la seda y la paja son malos conductores. Por el contrario, durante la estacion calurosa nos vestimos con ropas de lino prefiriendo las blancas á los demas colores, y colocamos nieve en la parte superior de los aposentos para templar el calor excesivo de la atmósfera. Difuso seria enumerar las aplicaciones sin cuento á que conduce el convencimiento del poder mas ó menos conductriz de los cuerpos; las indicadas darán una idea de la importancia de su estudio.

332. *Cohesiciente de la conductibilidad interior y exterior.* El cohesiciente de conductibilidad interior de un cuerpo para con el calor, no es otra cosa que la cantidad de este

fluido que atraviesa en una unidad de tiempo, la unidad de superficie de una de las secciones de un muro sólido, que tiene por espesor la unidad de longitud, cuando las dos caras paralelas del muro tienen sus temperaturas constantes y diferentes entre sí de sola una unidad. Se llama coeficiente de conductibilidad exterior, á la cantidad de calor que en una unidad de tiempo pierde la unidad de superficie de una de las secciones del muro. El coeficiente de la conductibilidad depende á la vez de la superficie del cuerpo que radia, y del medio que le rodea; por cuya razon no ha de confundirse con el poder emisor, que es una consecuencia del estado de la superficie del cuerpo.

LECCION XVI.

Variacion de estado, y calóricos específicos.

333. *Variacion de estado de los cuerpos por la accion del calor.* Todos los cuerpos de la naturaleza pueden presentarse sólidos, líquidos ó gaseosos, segun la temperatura á que se exponen: basta observar el estado del agua bajo la influencia de las estaciones, para convencerse que la formacion de la nieve, su licuacion y vaporacion es un efecto debido á la accion del calor. Vemos que la cera cuando se expone á los rayos del sol se ablanda y derrite, el hielo recibe el impulso de las fuerzas mecánicas sin perder su solidez; pero el calórico lo derrite destruyendo la fuerza de cohesion de sus partículas; de suerte que el estado sólido ó líquido de un cuerpo, es un estado relativo, que solo depende de la temperatura á que está expuesto; principio que hemos admitido como cierto desde las primeras lecciones de este compendio.

334. La temperatura que necesitan los cuerpos sólidos bien sean simples ó compuestos, para cambiar de estado, es diferente en cada uno. Así se nota que mientras unos *funden* ó se licuan apenas reciben la influencia del calor, otros nece-

sitan de la acumulacion de una multitud de rayos en un punto que se llama *foco*, y los hay que son sensiblemente infundibles. Este fenómeno hijo de la naturaleza quimica del cuerpo, depende del calor que se acumula para destruir, en su mayor parte, la fuerza de cohesion que mantiene unidas sus partículas. Cuando una sustancia pasa del estado sólido al de fluido, se mantiene en el primero hasta que su temperatura ha llegado á un punto fijo, que es igual para el mismo cuerpo, cualquiera que sea el medio empleado para producir el calor: empieza desde luego á derretirse ó liquidarse, y permanece á la misma temperatura, aun cuando se acumule un exceso de fluido. Dos cosas se notan en este fenómeno: la accion del foco calorifico continua sobre el cuerpo, en tanto éste no se separa de su inmediata esfera de actividad; y cuando el cuerpo ha perdido su estado de solidez permanece á una temperatura constante, ocultando una cantidad de calor que los físicos llaman *calor ó calorico latente*.

335. Para que un cuerpo sólido adquiera la forma líquida, hay que llenar dos condiciones indispensables; tales son, la temperatura constante para su fundicion, y la absorcion de una parte del calor que se combina con la sustancia propia del cuerpo, y mantiene las moléculas á sus correspondientes distancias, para que afecte el estado líquido. De suerte que si la naturaleza ó el arte presentan cuerpos *infundibles, fijos ó refractarios*, es porque aun no se han hallado medios bastante poderosos para desenvolver una temperatura capaz de satisfacer aquellas dos condiciones.

Existen algunas sustancias capaces de descomponerse antes de liquidarse; en este caso se consigue el objeto propuesto sujetandolas á la vez á una alta presion. Hall ha llegado á derretir el carbonato calizo y hacerlo cristalizar por enfriamiento, exponiéndole á una presion fuerte y á un grado eminente de calor, obteniendo el mármol artificial.

336. Cuando los líquidos adquieren el estado de gases, se observan fenómenos iguales á los que hemos descrito en los sólidos al licuarse. Constantemente hay una absorcion de calor que se hace latente al termómetro, la temperatura de

la masa líquida permanece constante mientras dura la formación del fluido elástico, la cual varía para cada cuerpo.

337. *Licuacion de los gases y vapores.* Si la sustancia gaseiforme se expone á una disminucion de temperatura conveniente pierde su estado, y adquiere la forma líquida. Segun esto se puede asegurar que todos los cuerpos que conocemos al estado de fluido elástico, adquieren el de liquidez cuando se sujetan á una disminucion indefinida de temperatura. Los vapores, no obstante, pierden el carácter de tales con exponerlos simplemente á una fuerte presion. Durante esta transformacion, el gas abandona el calórico que tenia combinado é insensible á los instrumentos, el cual se ve que es diferente para cada cuerpo.

338. *Solidificacion de los líquidos.* Del mismo modo, si un líquido se expone á temperaturas que vayan disminuyendo progresivamente, se consigue solidificarle. El punto de congelacion varía para cada cuerpo, porque se nota que mientras el agua se solidifica á 0° , el mercurio lo hace á -40° . Sin embargo, este punto no es tan exacto como el de fundicion, pues se observa que el agua llega á -4° sin adquirir el estado sólido: por esta razon se ha preferido la licuacion del agua para marcar el grado cero, y no el punto de su congelacion. Los cuerpos líquidos siempre que adquieren el estado sólido, desprenden una cantidad notable de calor que antes hicieron latente.

Algunos líquidos han resistido, al parecer, á adquirir el estado sólido. Esta circunstancia no destruye el principio, porque se observa que á medida que la quimica presenta medios de robar el calórico de los cuerpos, disminuye el número de gases y líquidos permanentes. El ácido carbónico se ha solidificado, y con una mezcla de este ácido sólido y éter se han conseguido -95° centígrados, y por consiguiente la solidificacion del alcohol.

339. *Efectos generales debidos á este cambio de estado.* Es innegable que los cambios de forma y estado producidos por la accion del fluido calórico, bien sea aumentando este agente, bien sustrayéndole, producen efectos sorprendentes

de consecuencias algunas veces fatales. La dilatacion del hierro por el calor, la solidificacion del agua y la fuerza de tension de los vapores, son pruebas evidentes que manifiestan la verdad de lo expuesto.

340. *Calórico latente.* Para demostrar la presencia del calórico latente debe tenerse en cuenta que, cuando se acumula á un cuerpo una cantidad de este fluido, se divide en dos porciones bien distintas; una que sirve para equilibrarse con la temperatura exterior, y otra que se combina con la sustancia misma del cuerpo haciéndose insensible á los sentidos y á los instrumentos. La primera se llama *calórico interpuesto*, y forma su temperatura, la cual hemos enseñado á medir por medio del termómetro; y la segunda se conoce con el nombre de *calórico latente, insensible ó combinado*, porque hace parte constitutiva del cuerpo y es peculiar á su estado.

Para manifestar la existencia de esta clase de calórico, tómesese una libra de hielo machacado, y mézclase con otra de agua á 75° centigrados; el hielo se liquida y la mezcla siendo toda líquida señala cero grados. Desde luego se observan dos cosas; 1.^a que el hielo ha perdido el estado de solidez, y marca la misma temperatura que cuando estaba sólido, es decir, cero grados; y 2.^a que el agua caliente ha perdido su temperatura de 75° , para adquirir la del hielo. Por consiguiente el calor que elevó el agua líquida á 75° , se ha invertido para liquidar el agua sólida, y la mezcla ha conservado la temperatura del hielo: este calor se ha hecho *latente* con la mutacion que el hielo ha experimentado para adquirir el estado de liquidez. Se llama calor *latente en fusion*, el calor que presta un foco y está empleado para efectuar un cambio de estado.

341. *Mezclas frigoríficas.* Para obtener frios artificiales, ó una disminucion de temperatura, se emplean tres medios que se conocen con el nombre de mezclas frigoríficas, á saber; por medio de dos cuerpos sólidos, disolviendo una sal en el hielo licuándose, ó bien verificando esta disolucion en un líquido. En este caso los cuerpos aumentan su capacidad y

hacen latente mayor cantidad de calor; muchas veces roban á las sustancias que les rodean el fluido necesario para que se verifique dicho cambio. La disolucion de las sales en agua, la de la sal marina y otras en la nieve producen siempre una disminucion de temperatura por la absorcion de calor que debe haber en las sustancias sólidas para adquirir la forma líquida.

342. Los quimicos hacen uso con frecuencia de estas mezclas, ya valiéndose de la disolucion de sales, ya por la evaporacion de cuerpos muy volátiles en el aire ó en el vacío: las mezclas frigorificas que se usan comunmente son las siguientes:

Mezclas.	Temperatura.
Nieve ó hielo machacado..... 1	} de 0° á — 17°.
Sal marina..... 1	
Fosfato de sosa pulverizado. 9	} de + 10° á — 24°.
Acido nítrico á 40°..... 4	
Nieve ó hielo machacado.... 1	} de — 6° á — 51°.
Acido sulfúrico á 66°..... 1	

El éter sulfúrico, el sulfido de carbono, el ácido sulfuroso, el ácido carbónico sólido mezclado con el éter, etc. son sustancias empleadas con frecuencia para obtener una disminucion de temperatura debajo del cero de nuestros termómetros.

343. *Capacidad de los cuerpos para con el calórico.* En fisica se admite como evidente, que para obtener sobre un mismo cuerpo un efecto constante, se necesita casi siempre igual cantidad de calor. Así cuando una libra de cobre á + 10° de temperatura, adquiere un aumento de calor para que señale + 11°, esta cantidad de fluido es la misma ora provenga del sol, ora lo reciba por la radiacion, ó lo adquiera de otro foco. Sin embargo, este principio puede experimentar alguna variacion, si las masas sobre que se opera no

están bajo las mismas circunstancias y condiciones; así el hielo y la nieve toman diferentes cantidades de calor para licuarse; el agua á 0° y el agua á $+15^{\circ}$, necesitan distintas porciones de fluido para llegar al grado del hervor; un metal labrado, pasado por la hilera, por el laminador, ó simplemente fundido, puede admitir cantidades de calor variables para experimentar un mismo cambio de temperatura.

344. Mas, cuando se opera sobre dos cantidades de materia de igual naturaleza química, de las cuales la una tiene mayor temperatura que la otra, entonces el calor se distribuye de tal manera, que la mezcla marca una temperatura media, si las masas empleadas fueron iguales en peso. Por esta razón cuando se mezclan dos libras de agua destilada y líquida, una á 0° y otra á $+24^{\circ}$, se obtienen dos libras de agua cuya temperatura está á $+12^{\circ}$. Pero si se agita una libra de mercurio á $+100^{\circ}$ con otra libra de agua á $+14^{\circ}$, se ve que la mezcla señala solamente $+17^{\circ}$; de suerte que el mercurio ha perdido 83° de calor sensible, para que el agua ganara solamente 3 de temperatura.

Si suponemos que x y x' son dos cantidades de materia de igual naturaleza química, cuyas temperaturas son t y t' , la relación que existirá entre sí será $(x + x')M = xt + x't'$, representando por M la temperatura de la mezcla; pero en el segundo caso es decir, en la mezcla de mercurio y agua, si

esta fórmula fuese general, se obtendría $M = \frac{14 + 100}{2} = 57^{\circ}$;

lo cual demuestra que cuando los cuerpos son diferentes, los resultados no están en relación con las temperaturas de las sustancias que se mezclaron. De aquí se puede inferir, que el agua y el mercurio para experimentar un mismo cambio de temperatura, la primera necesita cerca de 28 veces más calor que el segundo.

345. De lo dicho se deduce, que los diferentes cuerpos necesitan cantidades distintas de calor para variar su temperatura de un mismo número de grados; esta propiedad es la que constituye el *calórico específico*, el *calor específico* ó la

capacidad para con el calor: de suerte que el calórico específico de un cuerpo, es la cantidad de calor necesario para elevar de un grado la temperatura de la unidad de peso.

346. Un cuerpo tiene mas ó menos capacidad calorífica, según necesita una cantidad mas ó menos grande de calor para variar de un solo grado la temperatura de la unidad de peso. La capacidad calorífica está en razon inversa de la temperatura. Por esto se nota que si á dos cantidades de materia de distinta naturaleza química; pero iguales en masa ó en volúmen, se les acumula una cantidad de calor representada por 20° , sus temperaturas sean diferentes, y aquella que presenta con el termómetro menor temperatura, tiene mayor capacidad para admitir el fluido calórico; de suerte que la cantidad de calor latente que puede hacer un cuerpo, estará en razon directa de la capacidad, ó la capacidad en razon inversa de la temperatura.

347. *Determinacion de las capacidades.* Para determinar la capacidad calorífica se pueden seguir tres procedimientos, á saber: el de las mezclas, por medio de los calorímetros y por enfriamiento.

348. En el método de las mezclas hay siempre un cuerpo caliente que se enfria, y otro frio que se calienta; de suerte que el calor que pierde el uno lo adquiere el otro. En el ejemplo citado cuando la mezcla de mercurio á 100° con el agua á 14° (344) se vió, que el agua ganaba 3° , mientras que el mercurio perdía 83 ; de modo que la capacidad calorífica del agua es mayor que la del mercurio, porque un aumento de calor en el agua de 3 grados, produce sobre el mercurio una temperatura de 97° .

349. Este método parece á la verdad muy sencillo; pero en la práctica hay necesidad de verificar varias correcciones que complican los resultados; tales son, las que corresponden á la masa líquida que se evapora durante la operacion, al calor radiado ó absorbido por la vasija, la masa de esta, etc. pero de todas ellas la mas importante es la de la materia que constituye la vasija.

Representando por p el peso de la masa metálica que

forma la vasija, que supondrémos de cobre, por m el calor específico del metal que la constituye, el cual se indagará introduciendo una masa p' de cobre á la temperatura T , en una cantidad de agua indicada por A cuya temperatura t es igual á la de los cuerpos que la rodean. Si x es la temperatura final de la mezcla, el agua habrá absorbido una cantidad de calor indicada por $A = (x - t)$, porque el calórico específico del agua se toma por unidad. El vaso de cobre habrá ganado $p m (x - t)$. La masa metálica p' habrá por el contrario perdido una cantidad representada por $p' m (T - x)$ unidades de calor; de modo que despreciando la influencia de la radiacion, se tendrá:

$$A (x - t) + p m (x - t) = p' m (T - x);$$

esta relacion dará á conocer el calor específico del cobre, ó de la sustancia que forma el vaso. Para que los resultados que se consigan por este método sean mas exactos, es necesario repetir esta operacion varias veces variando la masa de agua A , hasta que tomándola á una temperatura inferior de algunos grados de la que tienen los cuerpos que la circunden, se obtenga despues de la mezcla una elevacion de algunos grados solamente; de este modo hay cierta compensacion entre las pérdidas debidas á la radiacion, y los aumentos de la mezcla.

Segun lo expuesto se ve cuantas dificultades se presentan para conocer la capacidad calorifica de los cuerpos siguiendo el sistema llamado de las mezclas. Es necesario que los físicos que operan no solo sepan aplicar con tino y oportunidad las correcciones á que conduce el cálculo, si que tambien deben tener grande maestria en las operaciones, por cuya razon se emplea con mas frecuencia el método llamado de Lavoisier, pues si bien no es mas exacto, es mas sencillo en la práctica.

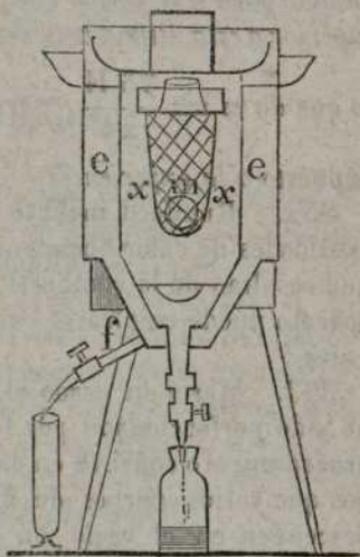
350. El calorímetro de Lavoisier y Laplace, fig. 61,

representa una esfera de hielo, que por medio de un segmento móvil, permite introducir en el centro un cuerpo cuya temperatura nos es conocida. Para evitar la acción del aire, se llena de hielo el espacio *e* comprendido entre el primero y segundo cilindro; el agua que resulta de su licuación pasa por el tubo *f*, y se tira, recogiendo solamente la que se forma por el contacto del hielo colocado en el espacio *x* con el cuerpo que ocupa el punto *m*. Esta agua es la que determina la capacidad, conociendo la temperatura del cuerpo en el momento de haberlo introducido. Las cantidades de calor abandonadas por el cuerpo á tem-

peraturas distintas son entre sí como las cantidades de hielo fundido, y como ellas aumentan progresivamente á medida que se examina el cuerpo á mayor temperatura, resulta que la capacidad aumenta con la temperatura. No obstante, cuando estas capacidades se examinan entre 0° y 100°, se nota que son sensiblemente iguales, pero sufren grandes variaciones cuando este exámen se hace á temperaturas mayores. El aumento proviene sin duda del mayor volúmen que adquieren los cuerpos con la dilatación ocasionada por el calor, la cual permite una absorción que crece con el diámetro del cuerpo.

351. Este método está fundado en el conocimiento del calórico que hace el agua latente cuando pasa del estado sólido al de líquido (340). Una libra de agua á 75° mezclada con otra de hielo, producen dos libras de agua líquida á 0°; por consiguiente una libra de hielo absorbe 75 unidades de calor

Fig. 61.



para licuarse, las cuales las ha suministrado el agua para descender de 75° á 0° . Segun estos principios siendo H la cantidad de hielo en peso que puede fundir una masa x de un cuerpo cualquiera, cuyo calórico específico es m , y la temperatura t cuando pasa á 0° , pero que cede todo el calor que antes tenia superior á esta última temperatura, se tendrá $x t m = 75 H$,

lo que da $m = \frac{75 H}{x t}$, para el calor específico del cuerpo

expuesto á la experiencia.

352. Rumford inventó un calorímetro para medir las cantidades de calor abandonadas por las sustancias gaseosas que resultan de la combustion, y compararlas entre sí. Este aparato puede emplearse para determinar la capacidad de los gases.

353. Mayer ha usado el método de *enfriamiento*, el cual ha sido perfeccionado por los señores Dulong y Petit: este procedimiento consiste en conocer por comparacion los tiempos que varios cuerpos de naturaleza diferente tardan para descender en el vacío un número dado de grados; suponiendo iguales los volúmenes, y tambien sus temperaturas primitivas y las de los cuerpos que los circunden, y asimismo iguales la naturaleza de las superficies radiantes.

354. Ley de los calores específicos de los átomos. *Admitidas por la ciencia un número de sustancias simples, y probada por las leyes de las combinaciones la existencia del átomo como último término de la division química, Dulong y Petit han llegado á conocer el calor específico de los átomos indivisibles. Para ello basta dividir el calórico específico de cada cuerpo simple, ó la cantidad de calor necesaria para que su unidad de peso se eleve 1° , por el número de átomos químicos que contiene esta unidad: el resultado es sensiblemente igual, y está en razon inversa del peso de cada átomo. Así multiplicando el calor específico del estaño por el peso de su átomo, se tendrá $0,0514 \times 7,35 = 0,377990$, para el calor específico del átomo de estaño; si se multiplica el calor específico del plomo por el peso del átomo, se obtendrá un pro-*

ducto sensiblemente igual; así $0,0293 \times 12,95 = 0,379435$, calor específico del átomo de plomo, casi igual al que se halló para el estaño.

LECCION XVII.

De los vapores.

355. *Cambio del estado líquido al de gas ó vapor.* Los cuerpos líquidos pasan al estado de fluido elástico, tan luego como se les acumula una cantidad suficiente de calor (336). Existe una diferencia notable, físicamente hablando, entre los vapores y los gases: los primeros conservan su elasticidad en tanto que un calor suficientemente elevado, mantiene las moléculas en el grado de dilatación capaz de destruir la fuerza de cohesión; y los segundos permanecen en el estado gaseiforme aun cuando la temperatura sea la del cero del termómetro, mientras no se aumenta la presión.

356. *Formación de los vapores en el vacío.* Los vapores se forman en el vacío instantáneamente, mientras que en el aire lo hacen con lentitud: esto se concibe con facilidad. Un líquido en contacto del aire bajo la presión ordinaria, tiene que vencer la resistencia de una columna atmosférica cuyo peso varía según la altura á que se observa. En el vacío nada se opone á la vaporización; el líquido adquiere instantáneamente el estado de gas, y este paso es tanto mas rápido cuanto menor sea la densidad del líquido.

Durante mucho tiempo se creyó que los vapores se formaban por la fuerza disolvente del aire atmosférico; pero en el día se sabe que existen por la influencia del fluido calórico: así es, que cuando una porción de agua se ha reducido á vapor ó gas *no permanente*, basta rebajar un poco la temperatura para que adquiere de nuevo la forma líquida.

357. El vapor en el vacío goza de la fuerza *expansiva* ó de *tensión* propia á todos los gases permanentes: basta introducir una cantidad de agua en el vacío barométrico, para no-

tar que la columna metálica desciende de algunas líneas.

358. *Formacion de los vapores en un espacio indefinido.* La formacion del vapor se verifica por burbujas que parten del punto mas inmediato al foco calorífico, aun cuando el espacio que se le presenta sea ilimitado. Algunas veces el vapor se forma en la superficie de la masa líquida, y esto tiene lugar cuando la fuerza de tension se hace preponderante; un vaso con agua debajo de la campana de una máquina neumática, nos prueba este principio; desde el momento que empieza á hacerse el vacío, cada golpe de piston arroja cierta cantidad de agua reducida á vapor, y cuando la presion interior ha disminuido, se presenta una ebullicion muy intensa.

359. *Ebullicion.* Se llama ebullicion al fenómeno que ofrece un líquido expuesto á la accion del calor, de presentar varias burbujas ó ampollas que toman nacimiento en el punto mas próximo al foco, y se elevan en direccion opuesta. Uno de los caractéres de la ebullicion es que el fluido se vaporice por toda la masa, porque si solamente el vapor se forma en la superficie, entonces se llama *avaporacion*. La evaporacion de los líquidos tiene lugar á la temperatura ordinaria, y aumenta á proporcion que disminuye la presion, y la vaporacion se verifica por la influencia del calor.

360. La ebullicion de un líquido presenta, al parecer, un movimiento confuso en todas direcciones, y sin leyes que lo dirijan; pero examinando con detencion las causas principales que le ocasionan, se descubre un movimiento de ascenso producido por aquellas capas dilatadas, á consecuencia de hallarse mas próximas á la accion del calor, las cuales se elevan en forma de burbujas; al paso que otras en su estado primitivo de liquidez descienden para obedecer á las leyes de la pesantez: al llegar al fondo del vaso se calientan, aumentan de volúmen y van á ganar la superficie. (329). Las burbujas á medida que se elevan adquieren mayor diámetro, porque disminuye el peso de la columna de líquido que obra sobre ellas; de consiguiente, para que una burbuja pueda elevarse en rededor de una masa líquida que la comprime en todas direcciones, es indispensable que el vapor tenga, cuan-

do menos, una tension igual á la presion que le rodea. De ahí resulta, que un líquido no puede llegar al punto del hervor, sin que satisfaga á dos condiciones esenciales; 1.^a la de tener una temperatura suficiente para que la fuerza elástica del vapor pueda vencer las presiones que se hacen sensibles en toda la masa del líquido; y 2.^a suministrar el calórico indispensable, para que el líquido adquiera la forma gaseosa. Además el vapor al desprenderse ha de vencer la presion atmosférica que gravita sobre el baño, y la cohesion de las partículas líquidas.

361. Durante el hervor hay una cosa notable, cual es, que la temperatura del líquido que hierve y la del vapor son iguales, es decir, que bajo la presion de $0^m,76$ señalan 100^0 de la escala centígrada, cualquiera que sea por otra parte el calor acumulado. No obstante, la formacion del vapor es tanto mas rápida, cuanto mayor sea la cantidad de calor que se hace obrar en el mismo espacio de tiempo. De aquí se infiere, que la mayor parte del fluido imponderado, es absorbido por el líquido para adquirir el estado elástico, y por consiguiente se hace *latente* ó insensible al termómetro.

362. *Vaporacion.* La vaporacion de un líquido se verifica siempre por medio de la ebullicion bajo la influencia del calor; por consiguiente su estado está enlazado con el de la ebullicion.

363. *Evaporacion.* La evaporacion de los líquidos tiene lugar á la temperatura ordinaria, y bajo una disminucion de presion: ellos están siempre avaporándose, robando una parte del calor que el gas necesita para su existencia, á los cuerpos que les rodean y aun al mismo líquido. Toda evaporacion envuelve en sí una disminucion de temperatura, la cual es tanto mayor, cuanto mas rápida es la formacion del gas; así es, que en el vacío el agua se evapora con prontitud, y llega á solidificarse: para que esté experimento tenga lugar, el agua ha de presentar bastante superficie, y ha de colocarse otra vasija con ácido sulfúrico á 66^0 de B, á fin de que observe los vapores acuosos á medida que toman nacimiento.

364. *Formacion de los vapores en un espacio limitado.*

Un liquido encerrado en un vaso sin comunicacion con el exterior, no hierve aun cuando se eleve la temperatura propia á su punto de ebullicion. La presión retarda notablemente el grado de ebullicion, y por consiguiente la formacion de los vapores; pero estos toman nacimiento de un modo instantáneo, cuando la temperatura ha llegado á un punto conveniente, y pueden ocupar un espacio dado. Si se expone á la accion del calor un tubo de cristal cerrado por sus dos extremos que contenga la cuarta parte de su volúmen de agua, y las otras tres cuartas partes vacías, apenas la temperatura llega á cierto grado cuando el agua desaparece, y el vapor ocupa toda la capacidad del tubo.

365. *Tension de los vapores.* Cuando un espacio vacío contiene todo el vapor de que es susceptible á la temperatura á que se ha expuesto, se dice que está *saturado de vapor*; entonces su densidad es la mayor que puede tener, y su fuerza expansiva se halla á su máximo; por cuya razon se dice que el vapor se halla á *saturacion* ó al *máximo de tension*. Las cantidades de vapor que dan los líquidos colocados en espacios iguales no son las mismas, aun cuando tengan idénticas sus temperaturas. La cantidad de vapor que da un líquido para un mismo grado de calor, aumentará con la capacidad del punto que lo recibe, de suerte que para un mismo espacio la cantidad de vapor dependerá de la temperatura, siendo mayor cuanto mas intensa es la accion del agente imponderado; pero si á la vez se aumenta espacio y temperatura, el vapor que se formará será la mayor cantidad posible, llegando al punto de saturacion en menor tiempo.

366. *Medida de la fuerza elástica de los vapores.* Mr. Dalton fué el primero que emprendió una serie de curiosos experimentos, para medir la fuerza elástica ó la tension de los vapores. Su aparato consiste en dos barómetros, uno común y otro con vapor, los cuales están rodeados con un cilindro que descansa sobre la cubeta: con este aparato se puede medir la tension entre 0° y 100° .

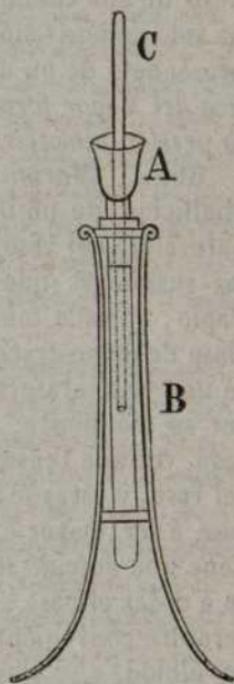
El barómetro de vapor, fig. 62, se usa tambien para me-

dir las fuerzas elásticas de los gases á la temperatura ordinaria. Este instrumento consiste en una cubeta de mercurio A muy profunda, sostenida sobre un montante de alambre de hierro B, y de un tubo barométrico C el cual se llena con mercurio: antes de invertirle para introducir el extremo abierto en la cubeta, se acaba de llenar con el liquido de cuyo vapor se desea medir la tension. Al formarse el vacío barométrico el líquido produce la cantidad de vapor para su completa saturacion, dejando un exceso que sobrenada en la parte superior de la columna de mercurio: para medir la fuerza elástica de los vapores que se hallan en la cámara barométrica, bastará comparar la altura de este barómetro con otro comun, y la diferencia será la tension pedida. Con este aparato podemos hacer todos los experimentos indicados con el objeto de variar la temperatura y las dimensiones de la cámara. Aumentando

el calor el mercurio descende porque hay formacion de vapores, los cuales aumentan la fuerza de tension; si por el contrario la temperatura no varia, y solo sí la capacidad de la cámara barométrica, se ve que cuando esta disminuye se condensa una parte de los vapores, y cuando aumenta hay formacion de mayor cantidad de ellos; pero en ambos casos la fuerza elástica es siempre la misma, porque la columna de mercurio no ha variado. Para medir las tensiones de los vapores por debajo del cero, hay que encorvar la cámara barométrica con el objeto de poderla introducir en una mezcla frigorífica.

367. Cuando se pretende medir la fuerza elástica de los

Fig. 62.



vapores al grado de la ebullicion, ó bien á una temperatura superior, hay que valerse del aparato de Dulong, del tubo de Mariotte ó de un manómetro. La fuerza de tension del vapor de agua á 100° de calor, es igual á una atmósfera ó bien al peso de una columna de mercurio de $0^m,76$. Este principio ha sido demostrado para todos los líquidos; de suerte que expresándolo de un modo general, se dirá, que la *fuerza elástica del vapor formado en el vacío por un líquido, es igual á la presion atmosférica.*

368. *Marmita de Papin.* Hemos visto que el punto de ebullicion de un líquido se retarda con la presion, y con la naturaleza del vaso, la profundidad de la masa líquida, y por las sustancias que puede tener disueltas. La marmita de Papin, llamada tambien olla de alta presion sirve para esta clase de demostraciones. Con este aparato el líquido adquiere una temperatura creciente, sin que el fenómeno del hervor se manifieste: el vapor que tiende á formarse adquiere cada vez una tension mayor, la cual obra sobre las paredes del vaso, y estas se romperian si aquella fuerza expansiva llegase á ser mayor que la resistencia que oponen. El aparato tiene una *válvula* llamada de seguridad, la cual está destinada á ceder el paso al vapor: cuando el aparato tiene la temperatura conveniente, y se quita la válvula, el vapor sale con un silbido, y se eleva en columna á la atmósfera. La temperatura descende hasta llegar á 100° , en cuyo caso el fenómeno se reduce á la ebullicion ordinaria.

369. *Condensador de Watt.* La condensacion del vapor en contacto de las paredes frias del vaso que le contiene, como se observa con el matraz invertido despues de haber hervido el agua y tapado herméticamente, es lo que ha servido de base al condensador de Watt. Si el espacio cerrado en el cual se halla el líquido y su vapor, tiene ademas un cuerpo que presente una superficie cuya temperatura sea inferior á la del vapor, este se liquida sobre aquella, hasta tanto que la cantidad de líquido se haya gaseificado: una vez restablecido el equilibrio y el líquido precipitado hácia la pared fria bajo la temperatura del cuerpo, el vapor que llena el es-

pacio cerrado tiene una fuerza elástica proporcional á esta última temperatura.

370. *Calor latente de los vapores.* Para que un líquido adquiriera la forma elástica, es indispensable que absorba una cantidad grande de calor, el cual se hace latente: este calor es igual al que deja desprender siempre que pasa de nuevo al estado de liquidez. Para tener una idea del calórico latente de los vapores, basta observar que si una libra de agua se reduce á vapor, señala solos 100° de temperatura; pero si este vapor se hace pasar dentro de cinco y media libras de agua natural, se obtienen seis y media libras de agua que señalan 100°. Por consiguiente, el agua al evaporarse hace insensible el calor que representa el agua hirviendo multiplicado por cinco y medio.

371. Cuando la temperatura disminuye, el vapor se condensa, es decir, vuelve á adquirir el estado líquido: basta llenar un vaso con hielo machacado y sal marina, para ver como se condensa en sus paredes exteriores el vapor de agua que está en la atmósfera. No sucede lo mismo con otros gases que se llaman permanentes; porque para condensar algunos ha sido preciso disminuir la temperatura y aumentar á la vez la presión. Por este medio M. Faraday ha liquidado el cloro, el ácido sulfuroso, el amoniaco, el ácido sulfídrico, etc.; y M. Thylorier ha podido solidificar el ácido carbónico en un aparato cuya presión llega á 130 atmósferas.

372. *Identidad de los vapores y gases.* Los físicos están conformes en admitir cierta identidad entre los vapores y los gases. Cuando un vapor se halla esparcido por un espacio que no llega á saturar, sus efectos son iguales á los de un gas; y al contrario un gas obra como un vapor que tiene menor densidad. Por otra parte, hemos ya indicado (369) que muchos de los gases llamados permanentes se han liquidado y aun solidificado; y probablemente á medida que la química vaya adelantando, irá disminuyendo el número de los gases permanentes.

373. *Mezclas de vapores con gases.* Dalton fué el primero que demostró que cuando los vapores se mezclan con

los gases, la fuerza elástica de la mezcla es igual á la suma de las elasticidades de los vapores y de los gases que la componen, refiriéndose cada uno á su volúmen total; y Gay-Lussac por medio de un aparato ingenioso, que luego ha modificado, nos ha hecho ver que la fuerza elástica de un vapor capaz de saturar un espacio dado bajo una temperatura fija, es la misma, ya sea que este espacio esté vacío, ya que esté ocupado por uno ó mas gases. De las observaciones y experiencias de estos físicos se deduce, que todo espacio dado puesto en contacto con un líquido, se satura con vapor de este líquido, bien sea que dicho espacio esté ocupado por el aire ú otra sustancia gaseosa, bien sea que esté vacío. Sin embargo, en este último caso, la formación del vapor es instantánea; al paso que en los otros tarda algun tiempo.

374. *Idea sobre las máquinas de vapor.* El aparato que ha ocasionado una revolucion mercantil é industrial, la máquina por medio de la cual el hombre transporta sus mercancías con increíble velocidad de unos países á otros, aquella capaz de desenvolver una fuerza motriz susceptible de aplicarse á los distintos usos de la vida; la máquina en fin que hace de las naciones un solo pueblo, á la vez que sirve de termómetro fiel para señalar su estado de desarrollo y prosperidad, se quiere que el origen de su invencion remonte al tiempo de Heron que vivia 120 años antes de nuestra era cristiana.

Los ingleses y franceses se han disputado durante mucho tiempo la gloria de esta invencion: los primeros citan á Savery, los segundos á Caus; pero ni unos ni otros pueden apropiarse un descubrimiento, que sin disputa fué la primera conquista del genio á favor de la sociedad entera. En el dia, gracias á la noble franqueza de un americano del norte, nadie puede disputar á Blanco de Garay la gloria de haber inventado en tiempo del Emperador Cárlos I de España, las máquinas de vapor utilizando el que se desprendia de una caldera en ebullicion.

375. Estas máquinas que en realidad no son otra cosa que bombas, están movidas por la fuerza elástica del vapor.

Se conocen varias clases segun el uso á que se destinan; así es que se llaman máquina *atmosférica de doble efecto, de expansion etc.*

376. Ademas las máquinas de vapor se dividen en máquinas de alta, mediana y baja presion, subdividiéndose luego en máquinas de alta presion con *expansion* y sin *expansion*: las de mediana y baja presion son de *condensacion*. Cuando la fuerza elástica del vapor no excede de una atmósfera, la máquina es de baja presion; si esta tension está comprendida entre dos y tres atmósferas es de mediana presion; pero cuando pasa de este término, se dice que es de alta presion: en estas máquinas la fuerza elástica del vapor llega á 7 ú 8 atmósferas.

377. La primera máquina que se aplicó á la industria, despues de la que Garay dió á conocer en Barcelona, fué presentada por Savery, y mas tarde perfeccionada por Newcommen y Cawley. En esta máquina el vapor no tiene otro objeto que hacer el vacío en el cuerpo de Bomba que está comprendido por debajo del émbolo, el cual desciende por la presion atmosférica: por esta razon se llaman máquinas atmosféricas.

378. Entre los muchos y graves inconvenientes que presenta esta máquina, se nota una notable pérdida de vapor, que fué evitada por la modificacion que le hizo experimentar Watt, llegando por último á suprimir la presion atmosférica; de suerte que el movimiento del émbolo depende exclusivamente de la accion del vapor que obra sobre sus dos superficies. Las máquinas de mediana presion con *expansion*, inventadas por Woolf, y modificadas por Hornlower, tienen dos cilindros y aun tres, llegando á aumentar la fuerza de tension hasta tres atmósferas; y finalmente en las que se llaman de alta presion, la elasticidad del vapor llega hasta diez atmósferas. En esta clase de máquinas hay notables pérdidas de vapor, sobre todo, cuando se usan como locomotrices, se deterioran con mas frecuencia y son bastante peligrosas: esto depende en parte de que el vapor pasa inmediatamente á la atmósfera, sin que llegue á condensarse.

379. Todas estas modificaciones dependen del uso á que se destinan; así es que las empleadas para los ferrocarriles, donde hay necesidad de disponer de una cantidad considerable de fuerza motriz, son de alta presión y sin condensación. Esto se concibe fácilmente; si el vapor se hubiera de condensar á expensas de una corriente de agua fría, la cantidad excesiva de este líquido cargaría el aparato de un peso enorme, quizá superior al que la máquina pudiera transportar. En los buques de vapor sucede todo lo contrario; la máquina se halla fija, hay disponible una corriente de agua fría, y por lo tanto estas máquinas pueden ser de baja presión y con condensador: se emplean de baja presión, porque corren riesgo de inutilizarse cuando aumenta la resistencia por las olas, las corrientes, los vientos etc.; así es, que en tiempos borrascosos, y cuando la corriente ó el viento es opuesto á la dirección del buque, se disminuye la acción del calor para producir menos vapor, y disponer de menos fuerza impulsiva.— Algunos han imaginado reemplazar el vapor por el ácido carbónico, el amoníaco etc., es decir, por uno de estos gases que cambian de estado por una disminución de temperatura y presión, y que al adquirir su forma elástica se hallan dotados de una gran fuerza de tensión; pero los resultados han sido poco satisfactorios. Se ha probado con la fuerza electro-magnética, y sus efectos han sido algo más halagüeños: es probable que este agente reemplace algún día al vapor del agua.

LECCION XVIII.

Nociones generales de higrometría.

380. *Higrometría.* La higrometría tiene por objeto medir la tensión del vapor de agua que contiene el aire atmosférico. Si el aire estuviese saturado de vapor áqueo, bastaría multiplicar el volumen por la densidad sacada de la tensión y de la temperatura, para saber la tensión que corresponde

á su vapor acuoso; pero como esta circunstancia jamas se presenta, de ahí la necesidad de instrumentos apropiados, que partiendo de dos puntos fijos sean comparables, y puedan dar á conocer el grado de humedad. Estos instrumentos llevan el nombre de *higrómetros* ó *higróscopos*.

Se conocen dos clases de higrómetros, los de absorcion y los de condensacion. Los primeros están fundados en la propiedad que tienen ciertos cuerpos como los cabellos, barbas de ballena, etc. de adquirir mayor longitud expuestos á la humedad: los mas usados son el de Sanssure ó de *cabello*, y el de Deluc ó de *barba de ballena* cortada perpendicularmente á las fibras. En estos higrómetros hay dos límites; el *muy seco* que se señala con el grado cero, el cual se consigue dejando el instrumento dentro de un recipiente con hipoclorito cálcico por espacio de tres ó cuatro dias, y el *muy húmedo* que se obtiene colocando el higrómetro dentro de un recipiente cuyas paredes interiores se han humedecido de antemano: el límite se marca con el grado ciento, y la distancia entre estos dos puntos se divide en 100 partes iguales llamadas grados. Los segundos consisten en la condensacion de los vapores acuosos que contiene un volúmen de aire conocido: el higrómetro de Daniell es de condensacion, y se halla en este caso; este aparato consiste en la disminucion de temperatura que produce la evaporacion del éter sulfúrico, y por consiguiente la condensacion de los vapores acuosos de un volúmen de aire conocido; un termómetro que forma parte importante del instrumento, señala la temperatura.

381. Las sustancias dotadas de la propiedad de absorber una parte del vapor de agua que se halla suspendido en la atmósfera, se llaman *higrométricas* ó *higroscópicas*, y pueden servir para formar un higrómetro: sin embargo, el cuerpo que se elija ha de ser excesivamente sensible á las variaciones de humedad mas insignificantes, é inalterable por la accion del aire y la temperatura. El higrómetro solo sirve para indicar el mayor ó menor grado de humedad que tiene la atmósfera; pero de ningun modo la cantidad absoluta. Pocos físicos se han ocupado de indagar las relaciones que

existen entre los diversos grados que representa el higrómetro y las cantidades á que corresponden; Sanssure empezó este trabajo, y Gay-Lussac ha emprendido una serie de experimentos determinando la correspondencia entre el grado que indica el higrómetro con la temperatura del vapor: una vez conocido este dato, basta tener en consideracion que $\frac{10}{15}$ es la densidad del vapor de agua. Dulong y Melloni se han ocupado tambien del mismo asunto. — Ademas se conocen otros higrómetros como el de los académicos del Cimento, el de Leslie, la modificacion de Leroi, etc.

382. *La tension máxima del vapor, colocado en un espacio estando en contacto con una disolucion salina, está en razon inversa de su grado de concentracion. Fundado en este principio M. Gay-Lussac coloca el higrómetro debajo de un recipiente que contenga una cápsula con una disolucion salina, ó bien un ácido suficientemente concentrado; introduce en el vacío barométrico una pequeña cantidad de la misma disolucion, la cual sirve para dar á conocer la tension de su vapor, otro barómetro da la tension del agua pura bajo la misma temperatura; de donde resulta que comparando la relacion que guardan estas dos tensiones, se conoce el estado higrométrico del aire que contiene el recipiente, correspondiente al grado del higrómetro observado á la temperatura constante de 10°.*

LAS TABLAS DE GAY-LUSSAC

SON LAS SIGUIENTES:

Tensiones del vapor.	Grados del higr.º de S.	Tensiones del vapor.	Grados del H de S.	Tensiones del vapor.	Grados del H de S.	Tensiones del vapor.	Grados del H de S.
0...	0,00	26...	47,55	51...	72,94	76...	88,47
1...	2,19	27...	48,86	52...	73,68	77...	88,99
2...	4,57	28...	50,18	53...	74,41	78...	89,51
3...	6,56	29...	51,49	54...	75,14	79...	90,03
4...	8,75	30...	52,81	55...	75,87	80...	90,55
5...	10,94	31...	53,96	56...	76,54	81...	91,05
6...	12,93	32...	55,11	57...	77,21	82...	91,55
7...	14,92	33...	56,27	58...	77,88	83...	92,05
8...	16,92	34...	57,42	59...	78,55	84...	92,54
9...	18,91	35...	58,58	60...	79,22	85...	93,04
10...	20,91	36...	59,61	61...	79,84	86...	93,52
11...	22,81	37...	60,64	62...	80,46	87...	94,00
12...	24,71	38...	61,66	63...	81,08	88...	94,48
13...	26,61	39...	62,69	64...	81,70	89...	94,95
14...	28,51	40...	63,72	65...	82,32	90...	95,43
15...	30,41	41...	64,63	66...	82,90	91...	95,90
16...	32,08	42...	65,53	67...	83,48	92...	96,36
17...	33,76	43...	66,43	68...	84,06	93...	96,82
18...	35,43	44...	67,34	69...	84,64	94...	97,29
19...	37,11	45...	68,24	70...	85,22	95...	97,75
20...	38,78	46...	69,03	71...	85,77	96...	98,20
21...	40,27	47...	69,83	72...	86,31	97...	98,69
22...	41,76	48...	70,62	73...	86,86	98...	99,20
23...	43,26	49...	71,42	74...	87,41	99...	99,55
24...	44,75	50...	72,21	75...	87,95	100...	100,00
25...	46,24						

Grados del H de S.	Tensiones del vapor.	Grados del H de S.	Tensiones del vapor.	Grados del H de S.	Tensiones del vapor.
0.....	0,00	34....	17,10	68.....	44,89
1.....	0,45	35....	17,68	69.....	46,04
2.....	0,90	36....	18,30	70.....	47,19
3.....	1,35	37....	18,92	71.....	48,51
4.....	1,80	38....	19,54	72.....	49,82
5.....	2,25	39....	20,16	73.....	51,14
6.....	2,71	40....	20,78	74.....	52,45
7.....	3,18	41....	21,45	75.....	53,76
8.....	3,64	42....	22,12	76.....	55,25
9.....	4,10	43....	22,79	77.....	56,74
10.....	4,57	44....	23,46	78.....	58,24
11.....	5,05	45....	24,13	79.....	59,73
12.....	5,52	46....	24,86	80.....	61,22
13.....	6,00	47....	25,59	81.....	62,89
14.....	6,48	48....	26,32	82.....	64,57
15.....	6,96	49....	27,06	83.....	66,24
16.....	7,46	50....	27,79	84.....	67,92
17.....	7,95	51....	28,58	85.....	69,59
18.....	8,45	52....	29,38	86.....	71,49
19.....	8,95	53....	30,17	87.....	73,39
20.....	9,45	54....	30,97	88.....	75,29
21.....	9,97	55....	31,76	89.....	77,19
22.....	10,49	56....	32,66	90.....	79,09
23.....	11,01	57....	33,57	91.....	81,09
24.....	11,53	58....	34,47	92.....	83,08
25.....	12,05	59....	35,37	93.....	85,08
26.....	12,59	60....	36,28	94.....	87,07
27.....	13,14	61....	37,31	95.....	89,06
28.....	13,69	62....	38,34	96.....	91,25
29.....	14,23	63....	39,36	97.....	93,44
30.....	14,78	64....	40,39	98.....	95,63
31.....	15,36	65....	41,42	99.....	97,81
32.....	15,94	66....	42,58	100.....	100,00
33.....	16,52	67....	43,73		

Segun estas tablas no existe relacion alguna entre el grado de humedad del aire, y la extension que adquiere el cablelo del higrómetro de Sanssure.

383. Dulong valiéndose de un procedimiento diferente, pero mas rápido, ha conseguido iguales resultados. El método de este fisico está fundado en introducir en una campana donde ha suspendido el higrómetro, dos corrientes, una de aire perfectamente seco, y otra de gas hidrógeno saturado de humedad: esta mezcla debe tener proporciones fijas y determinadas, lo cual se consigue estableciendo la corriente constante. Una vez que se ha desalojado el aire de la campana, por medio de la corriente mista, se consulta el grado que señala el higrómetro, porque en este caso se ha establecido el equilibrio higrométrico. Si representamos por v el volúmen de aire seco introducido en la campana, y por v' el que corresponde al del hidrógeno saturado de vapor acuoso, claro está que habrá dentro de la campana una cantidad de mezcla igual á $(v+v')$: el vapor que antes se hallaba tan solo mezclado con el gas hidrógeno, ahora está en toda la mezcla de aire é hidrógeno; de suerte que su cantidad no ha variado; mas como las fuerzas elásticas están en razon inversa de los volúmenes, resul-

ta que el estado higrométrico de la mezcla será $\left(\frac{v'}{v+v'}\right)$.

Por fin, para llegar á un resultado final y conocer la relacion de v' á v , es decir, del hidrógeno saturado al aire seco, debe analizarse con el cudiómetro, ó por uno de los procedimientos que enseña la química, un volúmen conocido de dicha mezcla; teniendo en cuenta la presion á que se exponen los gases que se descomponen, y el vapor que puede prestar el agua sobre que se opera, á la temperatura reinante para hacer las correcciones debidas.

LECCION XIX.

Fuentes de calor.

384. *Fuentes del calor.* A cinco fuentes principales se pueden reducir los orígenes del calor: 1.º calor solar; 2.º calor desenvuelto por medios mecánicos; 3.º calor desprendido por acciones químicas; 4.º calor debido á corrientes eléctricas; y 5.º calor central ó propio del planeta que habitamos.

385. *Calor solar.* Todo el mundo conoce que la accion de los rayos del sol aumenta la temperatura de los cuerpos, ó lo que es igual los calienta. Sin embargo, en la insolacion se observan diferencias notables segun la naturaleza del cuerpo; [así es que las sustancias transparentes apenas se calientan, mientras que las opacas indican un aumento considerable de calor libre: el estado de la superficie tambien influye en este fenómeno, porque un cuerpo opaco y pulimentado se calentará menos, que otro de igual naturaleza, cuya superficie presenta escabrosidades. Mr. Ponillet calcula que la cantidad de calor que envia el astro solar durante un año, puede derretir una capa de hielo de 14 metros de espesor. Estos rayos caloríficos aumentan de intensidad, cuando se acumulan en el foco de una lente ó de un espejo parabólico.

386. *Calor desenvuelto por medios mecánicos.* La percusion, el frotamiento y la presion son tambien otros tantos medios para desenvolver el fluido calórico.

No se ha podido fijar de un modo claro y evidente, qual sea la verdadera causa á que se debe el calor que se desprende por la *percusion*. Se dice que las moléculas se aproximan durante esta operacion mecánica, y que el cuerpo aumenta de densidad; de suerte que se pretende ver una porcion de calor latente puesto al estado libre: algunos hechos corroboran esta teoría, y sobre todo el poco calor que desenvuelve la percusion cuando la densidad del cuerpo percutido ha lle-

gado á su máximo. Sin embargo, hay cuerpos que sin adquirir por la percusion una densidad mayor, desenvuelven una cantidad notable de calórico libre: esto contradice la primera teoría. No ha faltado quien haya presentado como probable, que la percusion comunicaba á las moléculas un movimiento vibratorio, de donde resultaba el aumento de temperatura.

387. De la misma manera no se puede explicar de un modo satisfactorio el desprendimiento de calor que tiene lugar por la frotacion de los cuerpos. Rumford ha hecho experiencias curiosas sobre este punto importante, y de ellas ha deducido que la capacidad calorífica de un metal y de su limadura, en nada influyen en el fenómeno. Segun este distinguido fisico, un trozo de bronce que tenga un decímetro cuadrado de superficie frotante, dando treinta y dos vueltas en un minuto y rozando sobre otro trozo del mismo metal, ha producido en dos horas 250 gramos de limaduras, y ha desenvuelto una cantidad de calor capaz de elevar 50 litros de agua á la temperatura de 400° . El calor que se desenvuelve por el frote, niega la teoría de la emision, es decir, el poder considerar el calórico como un cuerpo material; los movimientos vibratorios abren campo para dar á conocer todos estos fenómenos.

388. La compresion de las sustancias gaseosas nos ofrece tambien un aumento de densidad, y por consiguiente un desenvolvimiento de calor; el eslabon fisico ó neumático, y aun el tubo de Mariotte lo demuestran de un modo evidente. El baron de Thénard ha observado que los gases cuando se comprimen solo desprenden calor, pero de ningun modo luz; el fenómeno de la combustion depende segun este profesor de la accion química que tiene lugar entre el oxígeno del aire y los elementos de la grasa que se pone en el émbolo.

389. *Calor desprendido por medio de acciones químicas.* Si el cambio de estado en una sustancia gaseosa permite explicar el calórico que se desprende, ó bien el que se absorbe cuando vuelve á adquirir su primitiva elasticidad, no sucede lo mismo con el fluido calórico que se presenta libre durante

la combinacion ó la simple mezcla de dos ó mas cuerpos. Se ha pretendido explicar estos fenómenos teniendo en cuenta la capacidad calorífica de los cuerpos que reaccionaban antes y despues de haberse verificado la combinacion; pero si con efecto algunos casos dados pueden explicarse por esta teoria, en los mas es ineficaz. Hace algunos años que á la capacidad calorífica quise añadir la cantidad ponderante de materia antes y despues de la accion química, la disminucion de volumen y otras causas fisico-químicas, que indispensablemente han de influir en los resultados; pero á mi juicio solo conseguí dar razon de mayor número de hechos, mas no establecer una ley general. Suponer que este calor en las combinaciones es debido á movimientos vibratorios producidos por las fuerzas que obran sobre la materia, es una suposicion gratuita que nada puede resolver; mejor seria hacer depender estos movimientos moleculares de la atraccion y repulsion debida á la accion eléctrica; quizá seria mas verosímil suponer que se debe á la combinacion de las dos electricidades de nombres contrarios, las cuales residen con diverso signo en las dos sustancias que van á combinarse. Por consiguiente, la capacidad calorífica, la cantidad de materia ponderable, la contraccion de las sustancias despues de la combinacion, la union de las dos electricidades, y hasta los movimientos moleculares debidos á la atraccion y repulsion eléctrica, son las causas que influyen en el desprendimiento del calor químico.

390. En el cuerpo humano se nota una temperatura casi constante que hace subir el termómetro á 37° centígrados, notándose una pequeña diferencia de dos grados en los hotentotes del cabo de Buena-Esperanza. Este fluido proviene de las acciones y reacciones que se verifican en cada aparato orgánico, bajo la influencia estimulante del gas oxígeno que eliminado en el pulmon del aire que introdujo la inspiracion, entra con la sangre venosa en el torrente circulatorio, con el carácter de sangre arterial.

391. *Al hacer esta indicacion, no puedo menos de dar algunas explicaciones sobre esta teoria de la respiracion, tal cual yo la concibo. La sangre venosa despues de haber*

recorrido todos los aparatos secretorios y dejado en ellos los distintos productos que cada uno necesita, unas veces por simple eliminacion, y otras por una verdadera reaccion molecular, entra á la sub-clavia izquierda; aquí recibe tambien los materiales preparados por la digestion, pasa luego á la aurícula derecha del corazon, de esta al pulmon, vuelve á la aurícula izquierda, y entra en el torrente circulatorio arterioso. Cuando la sangre recorrió las arterias con la cantidad de oxígeno debido á la respiracion, hubo una reaccion en casi todos los aparatos orgánicos, y en ella se formó alguna cantidad de carbonato sódico, el cual se descompuso en el canal colector por el ácido láctico que conducian los materiales de la digestion. Este ácido carbónico libre llega al pulmon, donde por endosmoso se ha eliminado el oxígeno que contenian las vesículas aéreas, el cual reemplaza á otra igual cantidad de ácido carbónico libre, segun la ley de la metalepsia: esta sustitucion se verifica átomo por átomo. La sangre venosa privada ya del ácido carbónico libre, y provista de una igual cantidad de oxígeno, vuelve al corazon con un color rutilante, y con las propiedades estimulantes para sostener la vida. Para mayores detalles véase la memoria presentada á la Academia de medicina y cirujía de Granada, marzo de 1849.

392. La electricidad es otra fuente de fluido calórico: con efecto, se observa que cuando los dos fluidos eléctricos se combinan, hay desprendimiento de calor, el cual algunas veces puede llevarse á un alto grado de tension, y presentarse luminoso. En las acciones moleculares que tienen lugar bajo el influjo de dos corrientes eléctricas de nombre contrario, es innegable que hay un desprendimiento de calor; pero en este caso hay que tener en consideracion la capacidad calorífica y eléctrica de los dos cuerpos que obran, y el cambio de estado que pueden experimentar.

393. *Calor central.* En todos los puntos de la superficie de nuestro planeta se observa á cierta profundidad una temperatura fija, la cual es siempre la misma cualquiera que sea la de la atmósfera: esta profundidad varia desde 7 á 20 varas, segun la altura sobre el nivel del mar, y la latitud

del punto donde se verifica la observacion. Pasado este límite el termómetro aumenta en todas las regiones y países. Esta verdad se halla probada por la experiencia con los taldros y minas abiertos hasta profundidades considerables: en nuestros días se ha sentado como evidente, que el termómetro sube de un grado en la escala centigrada para cada 31^m, 9. Algunos han supuesto que el aumento de temperatura guardaba una relacion constante, y por lo tanto han creido que á 3100 metros de profundidad el termómetro debe marcar 100° centigrados; y que á 30 miriámetros ó á 25 ó 30 leguas de profundidad, existia un grado de calor capaz de mantener en perfecto estado de licuacion á todas las sustancias minerales conocidas. — No puedo convenir en este principio, respetando siempre los ilustres nombres de los autores que le han admitido. Si la ley expuesta (324) es evidente, como nadie que conozca la ciencia puede negar, la distancia para cada aumento de un grado debe ir disminuyendo á medida que nos aproximamos al foco calorífico, aun cuando haya dispension sensible de fluido.

DEL LUMÍNICO.

LECCION XX.

Propagacion del fluido lumínico.

394. *Consideraciones generales acerca de la luz.* Entre los fenómenos que hemos dado á conocer bajo un punto de vista general para explicar las propiedades de la materia ponderable, y la manera con que obran los agentes ó dynamias, segun hice notar (véase la leccion XI) al presentar algunas reflexiones sobre ellos; hemos podido observar cierta independencia que los separa, cierto límite que el hombre no puede vencer. Ninguna relacion guardan entre sí las alteraciones que sufre aquella, ni mucho menos sus condiciones esencia-

les de impenetrabilidad y pesantez se alteran por la influencia de estos agentes. La materia bruta bien sea orgánica bien inorgánica, existe en un estado determinado, ocupa un espacio dado, se atrae recíprocamente, y los resultados dependen de la masa; de suerte que sus efectos y propiedades son diferentes de los que la ciencia enseña para los fluidos que impropriamente solemos llamar imponderables. El sol calienta al diamante ó al espató de Islandia, y se presentan luminosos en la oscuridad; la creta, el azúcar y otras sustancias ofrecen igual fenómeno; las aguas del mar dejan ráfagas brillantes llamadas *laldas*, que llenan de terror al marineró, y sirven de estudio al físico; pero en todos estos casos la sustancia pesada, la materia bruta no ha alterado su modo de existir, se ha presentado pasiva. Así como se admite que todos los cuerpos de la naturaleza están provistos de una cantidad de calor y aun de electricidad propio á su estado, el cual se manifiesta sensible en circunstancias dadas, también se puede suponer, que contienen el fluido lumínico encadenado entre los átomos ponderables, el cual produce la luz así que se halla puesto en movimiento. Nada mas razonable en este caso, que considerar á la materia íntimamente unida con un ente de naturaleza desconocida; pero que puesto en acción de esta ó aquella manera, se manifiesta al estado de calor, de luz ó de electricidad.

Muchas veces reflexionando acerca de las leyes ó atributos con que estos agentes presentan su influencia sobre la materia bruta, la mente se extravía en un piélago inmenso de conjeturas. Si la ciencia llega algun día á probar que estos entes inmateriales son modificaciones de una causa primera, si la ciencia puede demostrar que ellos ocasionan la metamorfosis del mundo visible, se habrá dado un gran paso, y la filosofía toda sufrirá notables trastornos. Algún día, tal vez, nos resolvamos á dar á conocer nuestras opiniones sobre este asunto, entonces expondré con la mayor franqueza algunas consideraciones, que demostrarán la necesidad de continuar con tesón la senda emprendida con tanta gloria por A. Nicolas y Wiseman.

395. *Propagacion de la luz en un medio homogéneo.* Nada mas fácil que convencerse por medio de fenómenos vulgares de la direccion que toman los rayos luminosos, cuando atraviesan una sustancia de igual naturaleza. Para ello basta observar la llama de una bujia, ó una esfera metálica incandescente, las cuales se hacen visibles en todas direcciones; de suerte que el punto luminoso puede considerarse como el centro de una esfera de actividad, de donde salen rayos de luz que se propagan al traves del cuerpo aeriforme que le sirve de conductor. Si de un punto cualquiera observamos el centro luminoso por medio de discos opacos que solo tengan un pequeño agujero hecho con un alfiler, se nota que aquel centro no es visible cuando los discos no se hallan en línea recta. Esto nos manifiesta que el fluido lumínico se propaga siguiendo la direccion *rectilínea*, cuando el medio que atraviesa es homogéneo.

396. Se llama *rayo luminoso* ó de luz, á la línea que sigue la luz cuando se propaga. En la hipótesis de la emision, esta línea es la direccion de las moléculas luminosas, cuyos extremos se hallan en el cuerpo que emite, y en el que intercepta la direccion; pero en la hipótesis de las ondulaciones esta línea será el centro de los movimientos vibratorios, producidos en el éter por tres sistemas de vibraciones que obran simultaneamente. Se llama *haz luminoso* ó *hacecillo luminoso*, á la reunion de muchos *rayos*, ora estén próximos unos de otros, ora estén separados.

397. Todos los cuerpos de la naturaleza que no son luminosos, se dividen en *opacos* ó malos conductores, en *diáfanos*, transparentes ó buenos conductores, y en *traslucidos* ó semiconductores. La facultad conductriz de los cuerpos con respecto á la luz, depende del espesor que tiene la cantidad de materia: así se ve que siendo los gases los mas transparentes, se hacen opacos cuando tienen un número suficiente de capas; los líquidos se hallan en el mismo caso, y el agua que vista en corta cantidad deja pasar perfectamente el fluido lumínico, se hace opaca en los grandes rios, en los estanques, en los lagos y en los mares. Si en los líquidos y en los

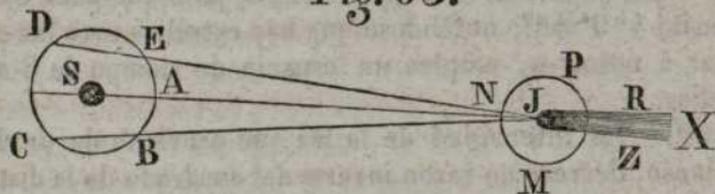
gases notamos que la transparencia disminuye á medida que aumenta el espesor, con mayor razon observaremos este fenómeno en las sustancias sólidas: el cristal pierde su conductibilidad, el asta, el fósforo y otros cuerpos se hallan en igual caso. Otras veces el arreglo particular de las moléculas influye directamente y disminuye la transparencia; el cristal fundido y enfriado con prontitud, el fósforo en las mismas circunstancias etc., prueban la verdad de lo expuesto, y producen cierto arreglo particular en las moléculas que el químico llama estados *alotrópicos*.

398. *Velocidad de la luz, y medios para determinarla.* La luz ó el fluido luminico se propaga con increíble velocidad, pudiéndose asegurar que segun los cálculos es cerca de diez mil veces mayor que la que tiene la tierra en rededor del sol.

399. Para determinar la velocidad del fluido luminoso, es indispensable estudiar los eclipses de algun satélite en rededor de su planeta principal. Roemer durante los años de 1675 y 1676 observando el eclipse del primer satélite, de Júpiter, llegó á resolver este problema de un modo satisfactorio.

Supongamos que el sol, fig. 63, se halla situado en el pun-

Fig. 63.



to S, y que A, B, C, D y E es la órbita que recorre la tierra á su rededor: sea J el planeta Júpiter situado en el plano de la eclíptica, M, N y P la órbita que recorre el primer satélite, y J R, X y Z el cono de sombra que proyecta el planeta. Sentados estos principios, si se observan los momentos que corresponden á dos inmersiones, es decir, el momento en que el satélite entra en la sombra de su planeta principal,

el intervalo es de 42 horas 28 minutos y 35 segundos; intervalo que es el mismo, cualquiera que sea el punto de la órbita donde se halla nuestro planeta. Si lejos de hacer la observacion con dos inmersiones, se hace con dos emersiones, es decir, en el momento en que el satélite sale de la sombra de su planeta, este intervalo es tambien igual, y constituye una revolucion.

400. Ahora bien, si desde el punto B se observa una emersion en un instante dado, se puede asegurar por induccion, que la décima emersion tendrá lugar pasadas diez veces $42^h 28' 35''$, y que será vista en el punto C donde habrá llegado el globo de la tierra por su movimiento de traslacion; pero no sucede así, si no que llega un poco mas tarde, y se ha sentado como principio, que este retardo es el tiempo que emplea la luz para pasar de B á C: por consiguiente dividiendo la distancia B C por el retardo observado, se deducirá la velocidad de propagacion.

401. Repitiendo las observaciones indicadas se ha llegado á conocer, que la propagacion de la luz no es instantánea, y que tarda para llegar del sol á nosotros $8' 13''$. Sentados ya estos principios se ha calculado que la luz en un segundo de tiempo corre un espacio de 70,000 leguas, y en un cuarto de hora el diámetro del globo donde vivimos; que la luz solar para llegar á Mercurio tarda $3' 10''$, al paso que para Urano necesita $4^h 9' 48''$; notándose que hay estrellas cuya luz para llegar á nosotros, emplea un espacio de tiempo de 3 años 45 dias.

402. La intensidad de la luz que proviene de un foco luminoso, decrece en razon inversa del cuadrado de la distancia. Esta proposicion se concibe fácilmente, si se atiende que no variando la cantidad de luz emitida por el punto focal, aumenta en aquella proporcion la superficie iluminada; de manera que el número de ondas luminosas, ó bien el de rayos emitidos, son siempre los mismos, porque la luz al iluminar una superficie, forma una figura mas ó menos regular cuya base es la superficie iluminada, y el vértice ó base superior el átomo ó átomos del éter en vibracion. Estos rayos

son divergentes, y á medida que la base se prolonga porque se aleja el plano iluminado, este disminuye de intensidad: de suerte que comparando dos distancias que guarden entre sí la relacion de uno *es* á dos, el diámetro de la base de la pirámide mayor, es duplo de la que forma la distancia menor; pero su area es cuádrupla, lo cual está conforme con la experiencia.

Segun lo dicho, ya no nos sorprenderémos que los objetos sean para nosotros menos visibles á proporcion que se van alejando, hasta que se hagan de todo punto invisibles. Sin embargo, algunos cuerpos dotados de luz propia y colocados á grande distancia, como las estrellas fijas, les vemos de un modo claro y distinto, porque en este caso los rayos que nos envian son casi paralelos.

LECCION XXI.

Fotometría.

403. *Teoría de las sombras considerada física y geométricamente.* Siempre que un obstáculo se interpone entre el foco luminoso para interceptar una parte de los rayos puestos en accion, produce una sombra que corresponde al cuerpo opaco. Esta sombra es diferente segun la distancia á que se halla el cuerpo opaco del punto luminoso, y sus respectivas magnitudes: así es que á medida que aumenta la distancia del obstáculo al foco, la sombra es mayor, y disminuye en el caso opuesto. La figura de la sombra será cónica, siempre que la esfera luminosa sea mayor que el cuerpo opaco que produce la sombra: en este caso los rayos son convergentes entre sí, y tienden á reunirse en un punto comun, que forma el vértice del cono; tal es la sombra de la tierra iluminada por el sol. Mas si la esfera del cuerpo luminoso es menor que el obstáculo que intercepta los rayos, entonces la sombra presenta la figura de un cono truncado, porque el límite de la sombra resulta de rayos divergentes entre sí, los

cuales tienden á separarse como sucede con la sombra de la tierra iluminada por la luna. Pero si las dos esferas tienen la misma magnitud, entonces la sombra tendrá la figura de un cilindro, porque los rayos serán paralelos.

404. La sombra que produce un cuerpo opaco es tanto mas intensa, cuanto mas intensa es tambien la luz que desprende el foco luminoso: en este caso la obscuridad de la sombra resulta del mayor número de rayos luminosos que intercepta, de donde resulta que la sombra parece mas oscura.

Todo cuerpo opaco colocado en el espacio puede arrojar tras sí tantas sombras cuantos sean los focos luminosos diferentes, á los cuales intercepta una parte de los rayos puestos en accion.

405. Se distinguen dos especies de sombra, la recta y la inversa: la primera es la que arroja un cuerpo sobre un plano horizontal, cuando su posicion es perpendicular á dicho plano. En este caso la sombra que produce el cuerpo, es al mismo cuerpo, como el coseno de la altura de la luz, es al seno de esta misma altura. De aquí se deducen tres casos, á saber: 1.º cuando el seno es igual al coseno, la sombra recta tiene las mismas dimensiones que el cuerpo que la produce; esto sucede siempre que el sol se halla sobre el horizonte á 45 grados de elevacion; 2.º si el seno de la altura de la luz es menor que el coseno de esta misma altura, entonces la sombra es mas grande que el cuerpo; esto se verifica cuando la elevacion del sol en el horizonte es menor que los 45 grados; y 3.º en el caso de ser el seno mayor que el coseno, por estar el sol á una altura mas grande que la que corresponde á los 45 grados, la sombra es mas pequeña. La sombra inversa es la que produce un cuerpo opaco colocado sobre un plano vertical: esta sombra es al cuerpo que la produce, como el seno de la altura de la luz, es á su coseno.

406. Se llama *penumbra* el espacio iluminado con desigualdad, y comprendido entre la sombra propiamente dicha y la parte alumbrada. Cuando se examinan los bordes ó límites que ofrece una sombra, se ve que hay una degradacion sensible, por medio de la cual se verifica el tránsito de la

parte oscura á la iluminada. La penumbra es siempre infinita, cualquiera que sea el limite de la sombra.

407. *Imágenes producidas por orificios de pequeño diámetro.* Hemos demostrado que la luz cuando se propaga por un medio homogéneo, sigue la direccion rectilínea. Si se cierra exactamente un aposento, de modo que el fluido luminoso solo pueda entrar por un orificio practicado al intento, se ve que la imágen del sol va á indicarse en la pared de enfrente, sin que el fluido se disipe por los lados. El hacesillo luminoso atraviesa el espacio libre, y manifiesta una imágen circular, cualquiera que sea por otra parte la figura del orificio. Los objetos que se hallan fuera de él, se representan en la pared, pero en sentido inverso; siendo de notar que aquellos que están dotados de movimiento aparecen moviéndose, y los que están inmóviles conservan su respectiva posicion. Las imágenes pintadas sobre un mismo plano son tanto menores, cuanto mayor es la distancia de los objetos al orificio. Los rayos luminosos se cruzan al atravesar el orificio, de modo que vienen á formar dos pirámides, cuyas bases opuestas se hallan en la superficie del objeto y en su representacion dentro del aposento, y los vértices en el orificio. Este fenómeno se verifica tambien valiéndose de la luz artificial; pero si los rayos atraviesan un orificio cuadrangular, entonces la imágen que va á pintarse en la pared tiene tambien la figura rectangular.

408. Los cuerpos que no son luminosos se dividen en *opacos* ó malos conductores, en *diáfanos*, transparentes ó buenos conductores, y en *traslucidos* ó semiconductores (397).

Los cuerpos opacos no transmiten la luz al traves de su masa: la opacidad depende mas bien del espesor ó grueso que de la naturaleza química del cuerpo; porque se ha observado, que todas las sustancias reducidas á hojas suficientemente delgadas, dejan pasar una porcion de la luz que reciben, al paso que aquellas dotadas de una perfecta transparencia pierden esta propiedad cuando tienen mucho espesor. La intensidad del foco luminoso influye tambien en la transparencia; porque se nota á cada paso, que ciertas sustancias dejan pa-

sar una parte de los rayos solares que chocan sobre la superficie, mientras que son del todo opacos cuando se examinan á la luz de una bujía.

Todos los cuerpos dotados de una perfecta transparencia dejan pasar la luz al traves de su sustancia, y se distinguen perfectamente la figura y color de los objetos: tal sucedé con los gases, los líquidos, el cristal y otras materias análogas.

Los cuerpos traslucidos dejan pasar por entre su propia sustancia una parte de la luz que reciben, pero no puede distinguirse el color y figura de los objetos; tal se puede observar con la concha, la gelatina, etc. El lenguaje vulgar confunde con frecuencia con la palabra transparente, todos los cuerpos traslucidos y los que en realidad gozan de esta propiedad.

409. *Fotómetro de Rumford y de Leslie.* El fotómetro es un aparato que se usa para apreciar la intensidad de la luz. Rumford ha dado á conocer la mayor ó menor intensidad de dos focos luminosos, valiéndose de la comparacion de sus respectivas sombras. Claro está que para verificar esta operacion con algun éxito, es indispensable que los dos focos de luz iluminen á la vez una misma extension de superficie traslucida, interponiendo entre ellos un cuerpo opaco.

410. Si D y D' representan las distancias que separan los dos focos luminosos de la superficie traslucida, y L y L' las intensidades de la luz en cada foco tomadas á la unidad de distancia, se tendrá:

$$\frac{L}{D^2} = \frac{L'}{D'^2}, \text{ ó bien } \frac{L'}{L} = \frac{D'^2}{D^2}.$$

Ahora bien, si se hacen variar las distancias D y D' , hasta que la intensidad de la luz que pasa por el cuerpo traslucido sea respectivamente igual, lo cual se manifestará por medio de las sombras, tan luego como se haya conseguido esta igualdad, el foco que esté á mayor distancia será el mas intenso.

411. Leslie admite que la cantidad de calor radiante que emite un cuerpo que ilumina, es proporcional á la de fluido luminoso: fundado en este principio ha imaginado un fotómetro, el cual consiste unicamente en un termómetro diferencial. Una de las esferas de este aparato sirve para recibir directamente los rayos que salen del foco, y la otra se cubre con una capa opaca, para impedir la accion del calor radiante luminoso: el aire de la esfera trasparente se calienta mucho mas que el de la otra, y el índice recorre un número de grados mas ó menos grande atendida la intensidad del punto focal. Segun este fisico cree, estos grados pueden ser considerados como producto de la accion de la luz, y proporcionales á su intensidad. A pesar de los inconvenientes que presenta este fotómetro para la exactitud de los resultados, y de los muchos experimentos que los contradicen, es de grande utilidad cuando solo se destina á comparar la intensidad del poder que tiene un mismo aparato para iluminar.

Leslie por medio de su fotómetro considera, que la claridad de la luz del sol es doce mil veces mayor que la de una bujía comun; y que la de este astro equiparada á la de la luna, es como 94500 á uno. Comparando estos resultados con los que otros fisicos presentan, se nota una diferencia muy grande: así se ve que Bouguer ha obtenido una relacion tres veces mayor que Leslie, y Wollaston deduce de sus observaciones que la luz del sol ilumina 800000 veces mas que la de la luna. Esto nos demuestra que los medios fotométricos empleados por estos fisicos están lejos de ser exactos; todos los profesores se ocupan de esta clase de fenómenos, porque es innegable que la invencion de un aparato capaz de dar la intensidad de la luz de un modo exacto y comparable, desde la que nos envia el sol hasta la de una estrella, será un gran paso para la astronomía. Hasta ahora Carecemos de un instrumento que nos conduzca á algun resultado que pueda compararse.

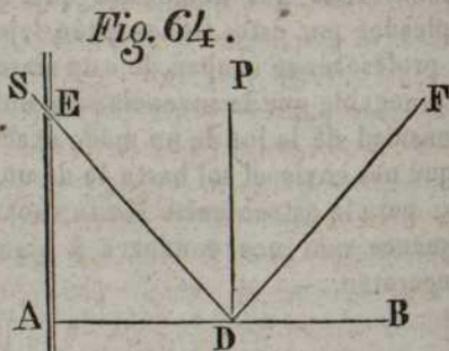
LECCION XXII.

Reflexion de la luz.

412. *Leyes de la reflexion de la luz.* Los cuerpos opacos cualquiera que sea su naturaleza química, tienen la propiedad de reflejar el fluido luminoso. Si la superficie del cuerpo sobre que choca el hacesillo es irregular, ó está cubierta de asperezas y desigualdades, la reflexion es tambien irregular, porque se verifica en todos sus puntos y segun todas direcciones; pero cuando aquella superficie se halla pulimentada, entonces la reflexion es regular, porque se manifiesta en todos los puntos y hácia una misma direccion. Las leyes de la reflexion son las que constituyen la parte de la fisica llamada generalmente *catóptrica*.

413. Las leyes de la reflexion pueden reducirse á tres, á saber: 1.^a el *ángulo de incidencia es igual al de reflexion*; 2.^a el plano de incidencia coincide con el de reflexion; y 3.^a que la intensidad de la luz despues del choque varia con la inclinacion del rayo incidente, y la naturaleza de la superficie reflectante.

Para demostrar las dos primeras leyes, basta hacer pasar oblicuamente un hacesillo de luz, SD, fig. 64, por un orificio E practicado en el postigo de una ventana, procurando que vaya á chocar sobre la superficie plana del espejo AB colocado en el centro del aposento oscuro; desde luego se observa que en una direccion determinada se distingue un rayo DF, el cual parece salir del espejo y marca la imágen del



sol sobre cualquier cuerpo opaco que se interpone á su paso. Si en el punto *D* donde se verifica el choque del hacecillo con la superficie del espejo, bajamos una línea perpendicular *PD*, tendrémos los ángulos *SDP* y *PDF*; el primero se llama de *incidencia* porque está constituido con el rayo incidente *SD*, y el segundo se denomina de *reflexion* porque contiene el rayo reflejo *DF*: estos dos ángulos son exactamente iguales y están situados al lado de la normal. Además se nota que de los diversos puntos del aposento se ve de un modo mas ó menos claro la porcion del espejo sobre que choca la luz; lo cual nos prueba que hay una porcion de fluido irregularmente reflejado, y por consiguiente que el plano es imperfecto.

414. Los partidarios de la hipótesis de la emision pretenden explicar la reflexion de la luz, admitiendo ciertas fuerzas repulsivas en las partículas que forman la superficie reflectante cuya accion se manifiesta sobre las moléculas luminosas. La teoría de las ondulaciones explica del modo mas satisfactorio el fenómeno de la reflexion: la serie de vibraciones trasmitidas por el éter, llega á la superficie reflectante, donde halla un nuevo medio en el cual este éter tiene una elasticidad diferente, y segun las leyes de la mecánica racional toman origen dos sistemas de ondas; unas dirigidas desde el punto luminoso á la superficie, y otras que varian de direccion respecto á las incidentes. Los átomos etéreos que se hallan colocados en la superficie reflectante, se ponen en vibracion por el efecto que sobre ellos han producido las ondas incidentes, lo cual da nacimiento á otro sistema de ondas elementales que se reflejan variando la direccion.

415. Durante mucho tiempo se ha creído que la luz despues del choque se reflejaba con una fuerza igual á la que tenia antes; pero Mr. Bonguer ha probado que la cantidad de luz reflejada, disminuye á medida que el rayo incidente se aproxima á la normal. Este fisico representando por 1000 el número de rayos de un hacecillo incidente que cae oblicuamente sobre el agua bajo un ángulo de $0^{\circ}30'$, cree que solos 721 son los reflejados, y 18 cuando el ángulo es de 60° á

90°. La naturaleza de las superficies influye tambien en el poder reflectante; así se observa, que para una misma cantidad de luz, la reflexion es distinta en cada superficie.

416. *Espejos planos, esféricos, cóncavos y convexos.* Segun los principios que acabamos de exponer, la reflexion de los espejos planos es regular; las imágenes se representan con las mismas formas, y sus posiciones son *simétricas* con relacion al plano del espejo. Esta reflexion se verifica con un solo espejo, con dos en posicion paralela, sobre dos espejos perpendiculares, y sobre dos que estén inclinados. En el primer caso todos los rayos luminosos parten de un punto colocado delante del espejo, y reflejándose por leyes matemáticas, sus prolongaciones vienen á cortarse en un punto dado; en el segundo caso la imagen se repite varias veces, porque se refleja consecutivamente de un espejo á otro; y finalmente cuando los dos planos están inclinados entre si, el número de imágenes del objeto colocado entre los espejos depende del ángulo de inclinacion. Sobre este principio se funda el *kaleidóscopo ó transfigurador*, con el cual se consiguen hasta 30 imágenes, siempre que el ángulo de inclinacion de los dos espejos es de doce grados: así mismo se funda en esta propiedad el conocer el verdadero color de los metales. El kaleidóscopo consta de un tubo de carton ú hoja de lata, dentro del cual se han colocado dos tiras de espejo bajo un ángulo de 60°; en uno de los extremos tiene varios trozos de vidrio de diferentes colores, y mirando por el opuesto se ven figuras extravagantes y caprichosas, que varian al infinito con solo mover el instrumento.

417. Los espejos curvos pueden ser esféricos, cóncavos y convexos. Estos últimos no son otra cosa que casquetes de una esfera, los cuales se consideran como espejos cóncavos si están pulimentados por la parte interior, y convexos cuando el pulimento se halla por la exterior. En esta clase de espejos la luz se refleja segun las mismas leyes que en los planos, es decir, formando el ángulo de incidencia igual al de reflexion: la superficie curva puede considerarse como una serie de pequeños planos, cuyo número es infinito; de suerte que

el rayo de luz viene á chocar sobre uno de estos planos.

418. En los espejos cóncavos ó convexos se distinguen dos ejes; el primero ó principal es una recta que pasa por el centro de figura y por el de la esfera, y el segundo es la recta que solo pasa por el centro de la esfera. En ambos espejos hay que tener presente sus focos respectivos, y la manera como se forman las imágenes: en los cóncavos se distingue el *foco principal*, y el *foco virtual* de un punto luminoso; la distancia focal principal es sensiblemente igual á la mitad del radio. En los espejos convexos, como los rayos no se encuentran en su direccion, hay que buscar el punto focal en la prolongacion geométrica; en este caso el punto de reunion de los rayos se llama *foco virtual principal* del espejo: cuando el punto luminoso no se halla situado sobre el eje principal, el foco está en el eje secundario. Los *focos conyuges ó conjugados* son aquellos dos puntos en los cuales se restablece una reciprocidad entre el objeto iluminado y su imagen. Se llama *aberracion de esferoidad*, á la causa por la que muchos de los rayos de los espejos de poca concavidad no se cruzan en el foco.

419. *Imágenes por reflexion.* La magnitud de las imágenes vistas por reflexion, depende de la posicion del objeto con relacion al espejo. Cada punto del cuerpo iluminado produce una imagen real ó virtual, la cual se halla situada sobre el rayo que dirige el punto que representa á la superficie del espejo, y el conjunto de todos ellos componen la imagen real ó virtual del cuerpo. Cuando en un espejo siendo cóncavo y la imagen real, el objeto se halla situado mas allá del centro, la imagen se ve invertida con relacion al objeto cuya posicion constante debe hallarse entre el centro y el foco principal, y su magnitud es menor que la del objeto que representa; pero si en el mismo espejo cóncavo y siendo la imagen real, el objeto se halla entre el centro y el foco principal, la imagen sigue invertida, se ve situada mas allá del centro, y su magnitud es mayor que la del objeto. El objeto se verá en posicion natural, si siendo el espejo cóncavo se ha colocado entre el foco principal y el espejo, en cuyo caso la imagen será

virtual, y su magnitud mayor que la del cuerpo que representa; en fin en los espejos convexos la imágen es asimismo virtual y recta; pero mas pequeña que el objeto. De aquí se infiere, que si en un espejo esférico el observador se ha colocado mas allá del centro, la imágen es menor y se ve invertida; si se acerca al espejo entonces la imágen aumenta, pero sigue en su primitiva posicion; ella desaparece cuando él pasa mas allá del centro, hasta que llega al foco principal, porque durante esta distancia la imágen se ve situada detras de sí; y en fin si el observador se ha colocado mas cerca del espejo cóncavo que del foco principal, se ve en su posicion natural, pero de mayor tamaño, y si el espejo es convexo entonces la imágen es mas pequeña aun cuando se representa recta.

420. *Cáusticas por reflexion y anamórfofes.* Las cáusticas por reflexion son aquellas curvas que se forman por la interseccion de los rayos reflejados que han salido de los diferentes puntos del espejo. El conjunto de las curvas cáusticas de cada sistema, es lo que constituye una *superficie cáustica*.

421. Las anamórfofes no son otra cosa que dibujos iluminados hechos á propósito, los cuales vistos naturalmente manifiestan figuras extravagantes y casi imposible de poder descifrar; pero cuando se miran por reflexion en un espejo cilindrico ó cónico, entonces se representan en sentido natural. Este fenómeno sucede algunas veces al mirar un objeto reflejado por una superficie curva; sin embargo la geometría nos da reglas para conocer la verdadera figura del cuerpo observado, teniendo en consideracion las leyes que sigue la luz reflejada, la figura del espejo y la posicion en que se halla el ojo del observador. Segun estas reglas se dibujan aquellos caprichos raros, cuyas imágenes naturales deben verse por medio de espejos cilindricos ú cónicos.

422. *Helióstato.* Este instrumento tiene por objeto, fijar durante un tiempo suficiente un rayo de luz reflejado. Se sabe por medio de la astronomía que la tierra gira al rededor de su eje por un movimiento de rotacion, y en derredor del sol por el de traslacion; pues bien, suponiendo por un momento que el globo donde vivimos se halla fijo, el sol descri-

birá durante el espacio de tiempo de un dia una circunferencia de círculo, cuyo centro estará sobre el eje del mundo, y podrá variar á medida que el astro adelante sobre la eclíptica de un solsticio á otro: esta circunferencia solo se halla en el plano del ecuador en los dias de los equinoccios. Por medio del helióstato se hace mover una superficie reflectante, de tal manera, que el movimiento aparente del sol, no altera ni la direccion de los rayos reflejados, ni el valor del ángulo de reflexion.

LECCION XXIII.

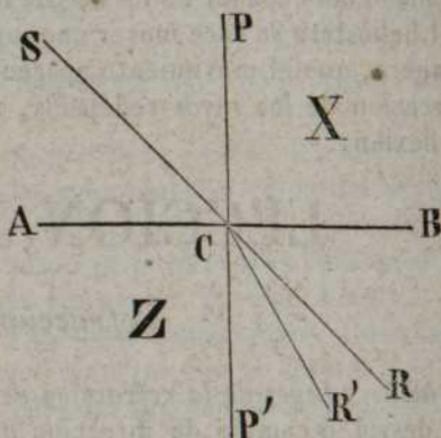
Refraccion.

423. *Leyes de la refraccion de la luz.* La refraccion es el desvío ó cambio de direccion que experimentan los rayos de luz, cuando atraviesan los cuerpos transparentes ó diáfanos. Esta desviacion se verifica siempre que la luz cae oblicuamente, pero si su direccion es perpendicular al plano de separacion de los dos medios refringentes, entonces sigue su direccion primitiva. Las leyes de la refraccion de la luz, forman la parte de la física llamada *dióptrica*.

424. Las leyes de la refraccion del fluido luminoso son tres, á saber: 1.^a la desviacion que experimenta el rayo de luz, el cual se acerca ó separa de la normal bajada al punto de inmersion; 2.^a la relacion constante é invariable del seno de incidencia y refraccion, cualquiera que sea la oblicuidad del rayo luminoso; y 3.^a la constante direccion del rayo de luz, siempre que despues de haber atravesado los medios refringentes, vuelve á continuar su direccion por el mismo cuerpo por donde se propagó. Cuando pasa un rayo de luz de un medio menos refringente á otro que lo es mas, se acerca á la perpendicular bajada en el punto de contacto de la superficie de los dos cuerpos; y al contrario la luz refracta se separa de esta normal, siempre que se propaga de un medio mas refrangible á otro que posee esta propiedad en menor grado.

Para probar esta primera ley, sea AB , fig. 65, la línea que separa los medios X y Z , siendo Z mas refrangible que X ; en este caso el rayo de luz SC no seguirá su dirección primitiva, que podrémos representar por SR , sino que tomará la que indica la línea CR' . Si por el punto C , donde el rayo se sumerge en el medio Z , se baja la perpendicular PCP' , se formarán dos ángulos SCP y $R'CP'$; el primero se llama ángulo de incidencia, por que está formado

Fig. 65.



por el rayo incidente SC , y el segundo es el ángulo de refracción, porque contiene el rayo refractado CR' . No es posible asegurar si el contacto de las dos superficies de distinto poder refrangible, se verifica por graduaciones insensibles, ó por dos planos de superposición; así es que el rayo de luz describirá una curva de pequeñas dimensiones en el primer caso, ó se romperá como una línea geométrica en el segundo: la razón y la teoría están á favor de la primera de estas dos suposiciones.

425. Descartes fué el primero que presentó la relación de los senos de incidencia y refracción; esta relación es lo que constituye el *índice de refracción*. Para probar por la experiencia este segundo principio, basta hacer atravesar dos ó mas haces de luz con distinta oblicuidad, y examinar la relación que guardan entre sí los diferentes senos de incidencia y refracción; de este modo se ha demostrado que el índice de refracción es de $\frac{4}{3}$ próximamente cuando la luz pasa del aire al agua: esta relación da seno de SCP : seno de $R'CP'$:: 4 : 3.

425. La refraccion de los rayos de luz reconoce un limite, que se llama limite del ángulo de refraccion; el cual se obtiene de distinto modo segun que el fluido pasa de un medio menos refrangible á otro que lo es mas ó vice-versa. Cuando la oblicuidad del rayo de luz que pasa de un medio refringente á otro que lo es mas es casi nula, porque el rayo es perpendicular á la superficie de separacion, entonces la luz refractada se confunde con la prolongacion de la normal, y viene á seguir la direccion rectilínea; pero si en este caso la oblicuidad de la luz incidente es tan grande que llega á confundirse con el plano de separacion de los dos medios, la refraccion se verifica segun la ley de los senos, y el rayo refracto pasa á ser rayo reflejo. Mas si el rayo incidente se propaga de un medio refrangible á otro que lo es menos, entonces el limite del ángulo de refraccion estará en la menor oblicuidad posible, es decir, cuando casi sea perpendicular á la superficie de separacion, en cuyo caso vendrá á formar un ángulo recto que el que tiene mayor valor.

Suponiendo que x y x' representan los ángulos de incidencia y refraccion, r la relacion constante de uno á otro seno, y $Z Z'$ los dos medios por donde se propaga la luz, siendo Z' el mas refrangible, se tendrá la ecuacion $\text{seno } x = r \text{ seno } x'$; en cuyo caso r es mayor que la unidad; pero si por el contrario el medio donde penetra la luz es menos refrangible que

aquel de donde sale, se tendrá $x = \frac{1}{r} \text{ seno } x'$: entonces

se obtiene el ángulo de refraccion constantemente mayor que

el de incidencia, siendo recto cuando x' tiene por seno $\frac{1}{r}$.

427. La reflexion total (440) es un caso particular producido por el contacto de las dos superficies. En general se puede asegurar que un rayo incidente solo da origen á un rayo refracto; sin embargo, algunas sustancias presentan la refraccion doble, porque la luz se polariza; entre ellas se puede citar el espato de Islandia, el cristal de roca etc. (484 y 485)

428. La tercera ley se deduce de la relacion de los senos y del principio de desviacion del rayo de luz por la diferente refrangibilidad de los dos medios. De estas leyes resulta, que los objetos que se observan en distintos medios se aproximan ó separan del observador segun el poder refringente de cada uno de ellos; he aquí porque los cuerpos colocados en el espacio no están en el punto donde los vemos, por la desviacion que experimentan los rayos visuales; de ahí proviene tambien, el por qué un rio nos parece tanto mas profundo, cuanta mayor es la oblicuidad con que miramos el fondo, la causa por la que el cazador varia la puntería segun tira en el agua ó en el aire, y otros muchos fenómenos de esta clase.

429. Newton explicaba el fenómeno de la refraccion suponiendo que los cuerpos diáfanos ejercian sobre las moléculas luminosas una accion atractiva, la cual aumentaba con la densidad. Esta teoría indicaba desde luego que la velocidad de propagacion de la luz aumentaba cuando atravesaba un medio mas denso, y por consiguiente que debia ser mayor que en el vacío, lo cual es contrario á la experiencia. La teoría de las ondas luminosas explica de un modo convincente este fenómeno, porque con ella se demuestra que el indice de refraccion es igual á la relacion directa de las velocidades con que se propaga la luz en los dos medios, y por consiguiente solo depende de la naturaleza y estado de los dos cuerpos diáfanos. De aquí se deduce, que la luz disminuye de velocidad á medida que la sustancia que atraviesa tiene mayor poder refringente, y que en el vacío es en donde esta velocidad está á su máximo.

430. *Medida de los indices de refraccion de los cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos.* Para dar á conocer el poder refringente de los cuerpos sólidos, puede emplearse el procedimiento de Descartes (425). Sin embargo, Newton fundándose en la magnitud mínima de un rayo de luz cuando atraviesa un prisma diáfano que se hace girar en el mismo sentido, ha llegado á presentar los resultados con mayor exactitud.

431. En las sustancias líquidas se mide el índice de refracción por medio de un prisma de cristal hueco, operando como si estuviese perfectamente macizo. En esta clase de operaciones hay que tener en cuenta, la desviación que sufre la luz al atravesar la sustancia que constituye el cristal, y cuando no ha sido posible establecer una compensación efectiva entre las dos caras del prisma hueco, sumar ó restar la pequeña desviación que el prisma presentaba cuando estaba vacío, según que se efectuaba en el mismo sentido ó en sentido opuesto.

432. Para los cuerpos gaseiformes hay necesidad de emplear un prisma hueco de cristal, cuyo ángulo sea muy grande á causa de su pequeño poder refringente. Los señores Biot y Arago han demostrado que la *potencia de refracción de un mismo gas, bajo presiones diferentes, varía proporcionalmente á su densidad*, y Dulong fundado en este principio disminuye ó aumenta la densidad de todos los gases, hasta que la desviación sea igual á la que tiene el aire á una presión dada. No obstante los adelantos de la ciencia, el índice de refracción no puede aun determinarse de un modo absoluto, por la dispersión del fluido al atravesar el cuerpo diáfano.

433. *Efectos de los prismas considerados únicamente con relación á la desviación de la luz.* En óptica se da el nombre de prisma á un sólido buen conductor de la luz, el cual presenta tres superficies planas y pulimentadas; de las que dos están inclinadas y la tercera constituye la base. La línea opuesta á la base se llama *vértice*; la posición de la base y del vértice es diferente según el punto sobre que choca la luz, y el ángulo refringente es el que está indicado por las dos caras del prisma. Se llama una *sección principal*, á la sección hecha por un plano perpendicular al vértice, y como quiera que ella puede dar un triángulo rectángulo, equilátero, isóceles ó escaleno, resulta que el prisma es rectángulo, equilá-

tero, isóceles ó escaleno, fig. 66. Entre los muchos fenómenos luminosos que se consiguen con el prisma, es uno de ellos la *desviacion* de los objetos y aun de las imágenes de la luz, segun la manera como se dirige. Cuando la luz atraviesa la sustancia propia del prisma, la desviacion se verifica en sentido opuesto al vértice; pero si el prisma se coloca de tal manera, que una de sus caras sea paralela al eje, entonces las imágenes parece que están levantadas, y la desviacion tiene lugar hácia el vértice.

434. *Lentes, su teoría, centro óptico, imágenes en los focos.* Se llaman lentes unas sustancias terminadas por superficies curvas, ó planas y curvas, las cuales

son buenos conductores de la luz. Las lentes pueden ser convergentes y divergentes segun que ambas superficies ó una de ellas por lo menos, es cóncava ó convexa; se llamarán convergentes cuando esta superficie sea cóncava, y divergentes en el caso de ser convexa. Las lentes pueden ser planas, esféricas, elípticas, parabólicas, etc.; pero solo nos ocuparemos de las esféricas: combinando las superficies planas y esféricas se pueden formar las seis lentes siguientes:

1.^a La *bi-convexa*, fig. 67, cuyas superficies son convexas; esta lente se llama simplemente *convexa*.

2.^a La *plano-convexa*, fig. 68, en la cual se ve una superficie plana y otra convexa.

3.^a La *cóncavo-convexa*, llamada tambien *cavo-convexa* ó *menisque convergente*, fig. 69, en la que una de las dos su-

Fig. 66.

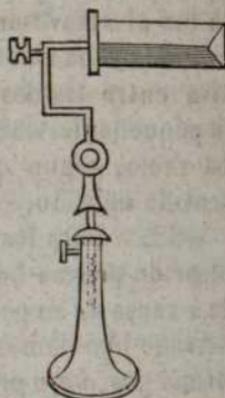


Fig. 67.



Fig. 68.

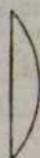
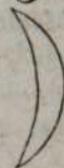


Fig. 69.



perfiles es cóncava y la otra convexa, y el radio de curvatura de la primera es mayor que el de la segunda.

4.^a La *bi-cóncava*, fig. 70, donde se notan las dos superficies cóncavas.

5.^a La *plano-cóncava*, fig. 71, que presenta una superficie plana y la otra cóncava.

6.^a Y finalmente el *menisque divergente*, fig. 72, que

Fig. 70.



Fig. 71.

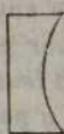
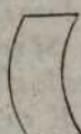


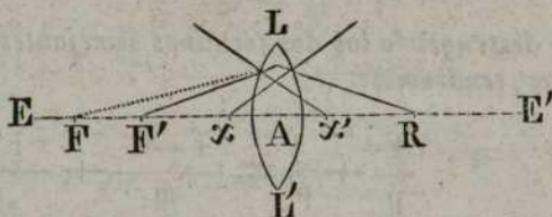
Fig. 72.



apesar de estar formado de una superficie cóncava y otra convexa, tiene los bordes muy gruesos como las otras dos anteriores, por cuya razón divergen los rayos de luz: al contrario las lentes convergentes son muy gruesas en el centro y delgadas en los bordes. La línea matemática que une los dos centros de la curva se llama eje; cuando la lente es plano-cóncava ó plano-convexa, el eje es la perpendicular bajada desde el plano al centro de la curvatura.

435. La luz al atravesar las lentes sigue las leyes de la refracción demostradas para las superficies planas: ellas manifiestan también la formación de los focos conjugados, los focos principal y virtual, y las cáusticas por refracción. Sea una lente bi-convexa $L L'$, fig. 73 la cual recibe los rayos incidentes que salen del cuerpo R colocado sobre el eje de las dos superficies convexas E, E' ; si R a representa un rayo incidente, este al entrar en el

Fig. 73.



medio que forma la lente se refractará acercándose á la normal $a x$, y continuará en la direccion $a a'$, hasta que saliendo de la lente se propagará por el aire, separándose de la nueva normal $x' a'$. El rayo entonces seguirá en esta nueva direccion hasta cortar el eje por el punto F , que será el foco donde se pintará la imágen; si el rayo luminoso saliera de la lente sin haber experimentado la refraccion, iria á representar la imágen en F' . En este caso R y F' serán los dos focos conjugados de la lente; pero el foco se alejará al infinito, ó formará un foco principal ó virtual, según que el objeto se acerca al foco, esté en él ó se aproxima mas á la lente.

436. Si representamos por p , p' y p'' las distancias tomadas desde el centro A de la lente al cuerpo R , y á los puntos F' y F en el eje $E E'$; y por m y m' los radios que se consideran desde el centro de la lente á las dos superficies opuestas, y siendo i el indice de la primera refraccion, tendrémos, que con respecto á la superficie del radio m , R y F serán los focos conjugados, y si F es el foco real se tendrá la ecuacion siguiente:

$$\frac{1}{p} + \frac{i}{p''} = \frac{i-1}{m}.$$

Mas si con relacion á la segunda superficie del radio m' , F y F' se consideran como dos focos conjugados, suponiendo que la luz sale de F' , el foco F será virtual, y dará:

$$\frac{1}{p'} - \frac{i}{p''} = \frac{i-1}{m'};$$

y destruyendo los dos términos semejantes de estas ecuaciones, tendrémos:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{i-1}{m} + \frac{i-1}{m'}.$$

Los puntos R y F' son los que se llaman focos conjugados de la lente. Ahora bien, si los rayos incidentes son paralelos, se tendrá:

$$\frac{1}{p'} = \frac{i-1}{m} + \frac{i-1}{m'};$$

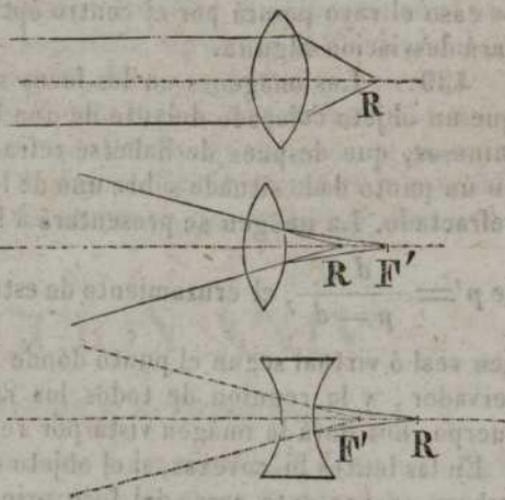
entonces el punto F' será el foco principal; pero suponiendo $p' = d$, d será la distancia focal principal, la cual será la misma si la luz cayera paralelamente al eje de la otra cara de la lente. Por consiguiente se podrá establecer en general:

$$\frac{i-1}{m} + \frac{i-1}{m'} = \frac{1}{d}, \text{ y } \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{d};$$

de donde resulta $p' = \frac{d p}{p-d}$.

437. Veamos ahora cuales son las consecuencias que emanan de estos principios; si p es infinito, fig. 74, $p' = d$; si p es finito y mayor que d , p' es positivo, los rayos serán convergentes al salir de la lente, y el foco F' será real. Si $p = d$, p' es infinito y los rayos al salir de la lente serán paralelos; si p es menor que d , p' es negativo, los rayos son divergentes al salir, y el foco F' es virtual. Cuando la lente es bi-cóncava hay necesidad de cambiar los signos

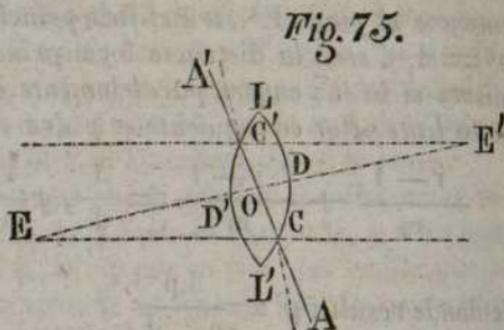
Fig. 74.



m y m' , ó bien el d ; entonces p' es siempre negativo, de manera que el foco principal y el foco conjugado F' son virtuales.

438. El centro óptico existe dentro de la lente y es independiente de la direccion de los rayos incidente y emergente. Para hallar este punto, sea una lente $L L'$, fig. 75,

en la que la línea $E E'$ une los centros convexos; tírense dos paralelas $E C$ y $E' C'$, en cuyo caso $C C'$ será el rayo refractado en el interior de la lente; las líneas normales $E C$ y $E' C'$ serán paralelas en los



puntos B y B' , y entonces los rayos tanto incidentes como emergentes serán también paralelos. Por consiguiente se tendrá $E O : E' O :: E D : E' D'$; de donde resulta $E D - E O : E' D' - E O :: E D : E' D'$, ó bien $O D : O D' :: m : m'$. Los dos focos R y F , figura 73, pueden estar sobre la línea que une los ejes, ó fuera de esta horizontal; pero en este caso el rayo pasará por el centro óptico, y no experimentará desviación alguna.

439. Las imágenes en los focos se presentan siempre que un objeto colocado delante de una lente envía rayos luminosos, que después de haberse refractado van á reunirse en un punto dado situado sobre uno de los rayos que no se ha refractado. La imagen se presentará á la distancia de la lente

$p' = \frac{d p}{p - d}$, el cruzamiento de estos rayos dará la imá-

gen real ó virtual según el punto donde se ha colocado el observador, y la reunión de todos los rayos enviados por el cuerpo, nos dará la imagen vista por refracción.

En las lentes bi-cóncavas, si el objeto está muy distante, la imagen se presenta cerca del foco principal, con reducidas

dimensiones y sentido invertido; pero si el objeto se aproxima á la lente, la imágen continuando en su posicion invertida se separa y aumenta de dimensiones, llegando á ser su tamaño igual al del objeto que representa cuando este se halla á una distancia doble de la que corresponde á la focal principal. Mas si en esta posicion el cuerpo se aproxima aun mas á la lente, entonces la imágen se hace mayor que el objeto, y sus dimensiones son infinitamente mayores, cuando dicho cuerpo se halla á una distancia del foco principal infinitamente pequeña.

440. *Refraccion total y espejismo.* En otro lugar hemos visto (427) que la refraccion tiene su limite, pasado el cual pasa á ser reflexion: esto tiene lugar siempre que la luz pasa de un medio mas refranjible á otro que lo es menos, en cuyo caso se separa de la normal, y el fenómeno en general se conoce con el nombre de *reflexion total*.

441. La reflexion total efectuada bajo ciertas condiciones, explica del modo mas satisfactorio el fenómeno que con tanta frecuencia se presenta en el bajo Egipto, y se designó por Monge y Berthollet con el nombre de *espejismo*. Nada mas fácil que darse razon de esta reflexion: cuando dos masas de aire atmosférico tienen sus temperaturas diferentes, sus densidades son tambien distintas, y presentan en el punto de contacto una superficie regular y uniforme, durante un dia sereno y tranquilo, los rayos de luz que atraviesan la capa de mayor densidad caen bajo un ángulo muy pequeño, la reflexion se verifica en totalidad y las imágenes se presentan como en un lago. Si la capa de aire superior es la mas dilatada, como sucede en alta mar, las imágenes se ven en el horizonte invertidas.

LECCION XXIV.

Dispersion y acromatismo.

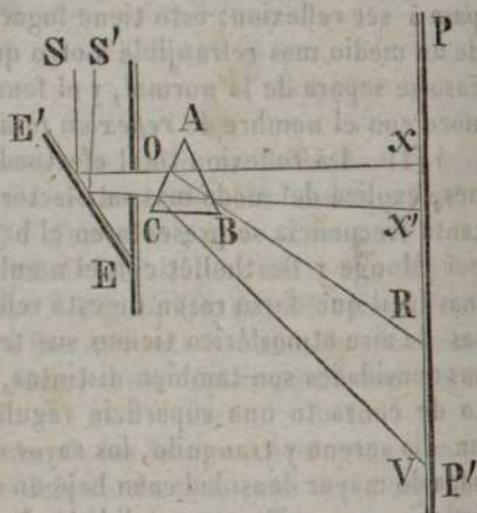
442. *Descomposicion y recomposicion de la luz.* La luz blanca del sol está compuesta de rayos de diferentes colores,

los cuales gozan de distinto poder refringente, y por lo tanto pueden separarse entre sí. Esta separacion se verifica por medio de un prisma transparente, y los siete colores principales que se distinguen, constituyen el *espectro solar*, los *colores del prisma*, del *iris*, ó del *arco del cielo*.

Para demostrar esta verdad basta hacer pasar un hacesillo luminoso por la abertura de una ventana, colocar un prisma para que descomponga la luz y recibir la imágen sobre una pantalla puesta á alguna distancia, fig. 76. Sea $E E'$ un espejo que refleja el hacesillo luminoso $S S'$,

Fig. 76.

el cual entra por el agujero O , y va á pintar la imágen del sol en el punto $x x'$ de la pantalla $P P'$. Si cerca de la abertura O se coloca un prisma $A B C$, el hacesillo luminoso se refracta, y como está formado de rayos de diferente poder refringente, sufre una descomposicion por medio de la cual se pinta en la pantalla la imágen coloreada $R V$: esta imágen se llama



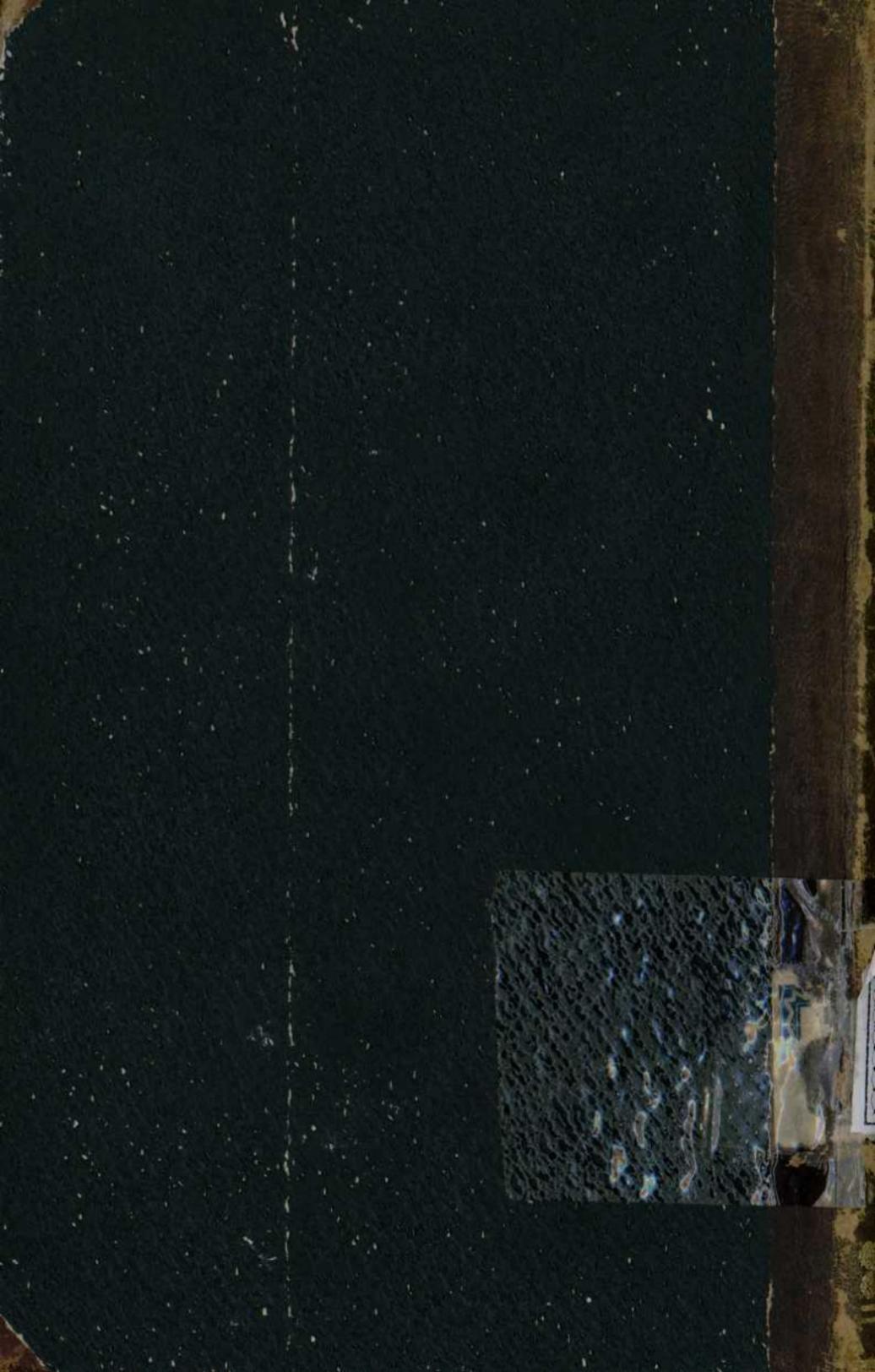
espectro solar. El espectro consta de siete colores llamados primitivos, dispuestos en el orden siguiente: *rojo*, *naranja*, *amarillo*, *verde*, *azul*, *índigo* y *violado*.

443. La separacion de estos rayos colorados y por lo tanto la formacion del espectro, está sujeta á tres condiciones: 1.^a paralelamente á las aristas del prisma, el diámetro del espectro es igual al diámetro de la imágen directa recibida á la misma distancia; 2.^a perpendicularmente á las aristas, la longitud $R V$ depende del ángulo refringente del prisma, y de la naturaleza de su sustancia; y 3.^a cuando la lon-

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA DE GRANADA



000409536



MONTELLI

ISTICA

B
28
451