

Luis G. León.



# Física sin Aparatos

para la Escuela Primaria.



CE  
QC21.2  
L4.4

MEXICO

ERIA DE LA VIUDA DE CH. BOURET  
14.—Cinco de Mayo.—14.

1906







BIBLIOTECA DE VULGARIZACION CIENTIFICA.

---

# Física sin Aparatos

para la Escuela Primaria, Elemental y Superior.

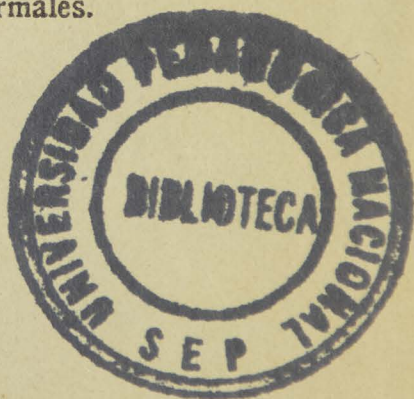
---

LECCIONES SENCILLAS QUE PUEDEN DARSE CON MUY  
CORTOS ELEMENTOS,

POR

Luis G. León,

Catedrático de Física, por oposición, en la Escuela Nacional  
Preparatoria, antiguo preparador  
de Física y Química en las Escuelas Normales.



MÉXICO.

LIBRERIA DE LA VDA. DE CH. BOURET,

Calle del Cinco de Mayo, núm. 14.

—  
1906.

CE  
QC21.2  
L4.4



56031/5-11-11

56031/5-11-11

A la memoria de mi adorado padre

el Sr. Profesor de Piano

Don. TOMAS LEÓN,

*uno de los fundadores  
del Conservatorio Nacional de Música.*



122693





## PROLOGO.

---

El método físico está caracterizado por tres elementos esenciales: observación, experimentación, generalización. Este método, y no otro, debe emplearse en la escuela primaria para la enseñanza de las ciencias físicas. Pero para llevar á cabo la experimentación, los profesores han tropezado hasta aquí con muchas dificultades: en muchas escuelas hay falta de aparatos y en otras escuelas en que hay algunos aparatos, se desconoce su manejo. Este mal viene de que en las Escuelas Normales no se ejercita á los alumnos en las manipulaciones que tienen que hacer en las escuelas elementales y superiores al ir á desempeñar el cargo de profesores. En las Escuelas Nor-

males los alumnos normalistas ven lo que hacen los preparadores; pero ellos (los alumnos) no se ejercitan en el manejo de los aparatos. Hace dos años yo presenté á la Subsecretaría de Instrucción Pública un proyecto, del cual conservo algunas copias, para el establecimiento de un curso de enseñanza científica experimental en la Escuela Normal para Profesores; pero hasta ahora nada se ha resuelto sobre el particular.

El libro que ahora tengo el gusto de presentar á los Sres. Profesores tiende á facilitar la enseñanza de la Física en la Escuela Primaria, tanto elemental como superior; pues al mismo tiempo que los experimentos que menciono son de muy fácil ejecución, el material de demostración se tiene siempre á la mano.

El profesor hace el experimento, los alumnos lo observan, después repiten ellos mismos el experimento y en seguida ya se puede comprender la ley relativa; pero querer que el alumno aprenda de memoria una ley relativa á un fenómeno que todavía no ha visto ó que no verá en todo el año, es perder

el tiempo y es atentar contra la inteligencia de los niños.

La experimentación ha de ser constante en la clase de Física, de este modo la enseñanza será fructuosa, los alumnos encontrarán la clase muy interesante, la esperarán con gusto, y en atención á que los aparatos se pueden improvisar con elementos caseros, los alumnos irán á repetir en su casa lo que han visto hacer en la escuela y lo que ellos mismos han ejecutado bajo la vigilancia de su profesor. El alumno se convierte, en su casa, en profesor de sus hermanos pequeños, y ya se sabe que no hay mejor manera de aprender que enseñando y repitiendo lo que se ha estudiado.

En algunas escuelas particulares en donde he desarrollado el método seguido en este libro, he obtenido los resultados más brillantes; mis discípulos se han esforzado por construir personalmente los sencillos aparatos que han visto en la cátedra, y el aprendizaje está asegurado.

Yo he construido todos los aparatos mencionados en este libro y he verificado todos

los experimentos relativos, y tendría mucho gusto en resolver cualquier duda á los Sres. Profesores que se interesen por desarrollar su enseñanza según las indicaciones de este libro.

Ya lo he dicho en otra de mis obritas: Física sin experimentación es lo mismo que nada.

México, Enero 16 de 1906.

LUIS G. LEÓN.



---

## LECCION PRIMERA.

---

### Los tres estados de los cuerpos.

OBJETOS NECESARIOS PARA EL DESARROLLO DE ESTA LEC-  
CIÓN: Una regla de madera, un lacre, una barra de  
azufre, un gis, una barrita de hierro, un litro, agua  
colorida con fushina, un vaso, un botellón, un va-  
so de pila, un trozo de hielo, un plato, una lámpa-  
ra de alcohol, un tripié, cera, estearina, una bote-  
lla con un tapón de dos taladros, tubos de cristal,  
tubo de goma, un embudo, municiones, iodo, frag-  
mentos de mármol blanco, ácido clorhídrico, una  
vela, un plato, un terrón de azúcar, una esfera de  
goma con válvula, un plato ó cápsula de metal.

El profesor presenta á los alumnos una ba-  
rra de madera, una barra de lacre, una barra  
de azufre, un gis y una barra de fierro. Es-  
tos cuerpos tienen una forma propia que el  
hombre les ha dado; para romperlos ó defor-  
marlos se necesita hacer un esfuerzo más ó  
menos grande. Los sólidos tienen forma pro-

pia y volumen constante y sus moléculas se hallan íntimamente ligadas por una fuerza llamada *cohesión*.

En un litro de los que se emplean en la casa para la medida de la leche se vierte agua colorida con fushina; hasta la señal que indica la capacidad de un litro. El agua colorida afecta la forma cilíndrica y la superficie libre del líquido es plana y horizontal. En seguida se vierte el líquido en un vaso cónico, que no falta en ninguna parte y cuyo precio es insignificante. El líquido afecta la forma cónica, siendo la superficie libre plana y horizontal, como en el caso anterior. Viértase ahora el líquido en un vaso esférico, en un botellón, por ejemplo, ó en un matraz, que puede conseguirse en el comercio por cuarenta centavos. El líquido toma la forma de un casquete esférico y la superficie libre es plana y horizontal.

Viértase por último el líquido en un vaso prismático;—puede usarse un vaso viejo de una pila de Leclanché—el agua afectará la forma prismática, siendo la superficie libre del líquido plana y horizontal. Después de estas operaciones se vuelve á verter el líquido en el litro y vemos que el volumen ha permanecido constante, pues aun cuando por

un fenómeno de adherencia se han quedado algunas gotas de líquido en los demás vasos, no tienen gran influencia en la disminución del volumen del líquido.

Se repiten los experimentos anteriores con alcohol, con leche, con petróleo y se llega á la consecuencia de que los líquidos tienen volumen constante; pero no tienen forma propia, como los sólidos, sino que afectan la forma de la parte del vaso en que están contenidos, siendo siempre, su superficie libre, plana y horizontal.

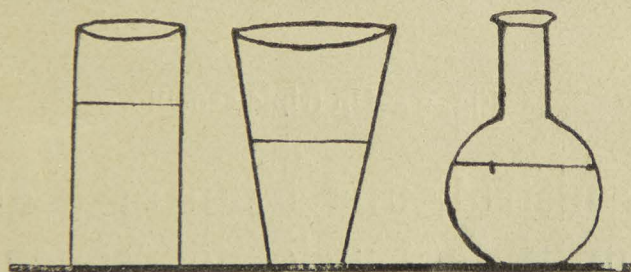


Fig. 1.—Los líquidos afectan la forma de los vasos que los contienen.

Ahora tomamos un trozo de hielo, lo colocamos en un pequeño plato de porcelana y lo calentamos con la lámpara de alcohol.

He aquí un procedimiento sencillo para construir un tripié y una lámpara de alcohol. Para lo primero tomamos un metro de alambre de hierro grueso y lo dividimos en tres partes iguales, valiéndonos de una lima

ó de un corta alambre. Cada una de las fracciones la doblamos en tres partes: una de trece centímetros, otra de siete y otra de trece. Las secciones de trece centímetros se reúnen, dos á dos, por medio de alambre delgado y con ésta operación tan sencilla, queda construido un tripié que resulta de mucha utilidad.

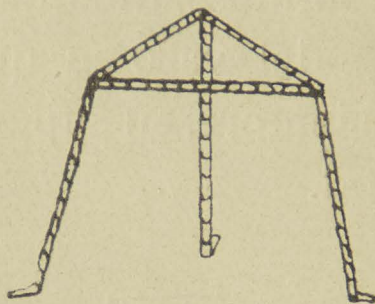


Fig. 2.—Un tripié sencillo.

Para construir una lámpara de alcohol se emplea un tintero viejo, de pequeña altura, al cual se adapta un tapón de corcho taladrado. Este taladro puede hacerse sencillamente con ayuda de una lima de *cola de ratón*. En el taladro se introduce un tubito de metal que puede quitarse de un porta-plumas, y por allí se hace pasar una mecha fabricada con hilos de algodón. La hilaza gruesa da muy buen resultado, así como los hilos que se sacan de una mecha para lámpara de petróleo. Se llena la lámpara con alcohol y



después se cubre la boca del tintero con una tapita de estaño, de las que vienen en las botellas de vino.



Fig. 3.—Lámpara de alcohol.

Habiendo indicado cómo se puede construir un tripié y una lámpara de alcohol, volvamos á nuestro experimento del hielo. Si calentamos el hielo con la lámpara de alcohol, veremos que pasa al estado líquido y presenta todos los caracteres del agua. De manera que un sólido puede pasar al estado líquido por la acción del calor. Si colocamos en el plato de porcelana, muy limpio y bien seco, un trozo de cera, ésta pasa también al estado líquido. Lo mismo sucedería con la estearina, la vaselina, el plomo, etc. Con mantenciales de calor considerables, se ha conseguido hacer pasar al estado líquido la mayor parte de los cuerpos. Muy pocos son los que no ha sido posible licuar, como por ejemplo el carbón, el sicilio y el boro.

Una de las nociones más difíciles de hacer comprender á los alumnos en la enseñanza de la Física elemental, es la relativa á la exis-

lencia de los gases. Los niños no tienen dificultad en apreciar desde luego la existencia de los cuerpos sólidos, porque los pueden ver, palpar, pesar, etc., y no hay alumno á quien no se ocurran al momento variados ejemplos de cuerpos sólidos. Tampoco se presenta obstáculo alguno en la cuestión de los cuerpos líquidos, cuyas propiedades son bien fáciles de apreciar. Pero siendo la mayor parte de los gases comunes, cuerpos desprovistos de color, olor y sabor; siendo cuerpos sutiles, impalpables, se necesita valerse de medios indirectos para que los alumnos se formen idea de esos cuerpos aéreos, expansibles, tan compresibles como elásticos. Los experimentos de que paso á ocuparme están destinados á hacer ver á los alumnos la existencia de los gases. Son experimentos muy sencillos, que verifiqué hace algunos años en una de las sesiones de la Sociedad "Alzate," y que puede repetir cualquier profesor, con pocos elementos.

Si á un niño se le pregunta: ¿Qué hay dentro de esta botella? dirá sin duda:

—No hay nada: está vacía.

Reflexionando por algunos instantes, corregirá su respuesta anterior, diciendo:

—Tiene aire.

Se toma una botella de cristal, de boca ancha, cerrada por un tapón de corcho con dos taladros. Por uno de los taladros pasa un tubo recto de cristal que va á dar hasta el fondo del frasco y que termina en la parte superior en un embudo. Estos tubos se llaman 'de seguridad' y se consiguen en las droguerías por treinta centavos; pero puede construirse uniendo al tubo de cristal, con ayuda de un pedacito de tubo de goma, un embudito de metal que vale unos cuantos centavos en cualquier estanquillo. Por el otro taladro pasa un pequeño tubo encorvado en ángulo recto y que termina en punta. Es operación muy sencilla, y en que deben ejercitarse los alumnos, doblar y afilar tubos de vidrio. Para doblar un tubo se coloca dentro de la flama de la lámpara de alcohol, manteniendo el tubo, con las dos manos, por sus dos extremidades. Se da vuelta al tubo entre los dedos para que se caliente uniformemente y tan pronto como se sienta que el vidrio se ablanda, se va doblando poco á poco, hasta que las dos ramas formen el ángulo que se desée. Después se deja enfriar el tubo y ya está listo para usarse.

Para afilar el tubo se calienta en la lámpara de alcohol, y cuando ya el vidrio esté

muy blando, se tira con las dos manos en sentido contrario y se obtendrán dos tubos muy puntiagudos. Si la punta quedó más aguda de lo que se desea, se corta con unas tijeras.

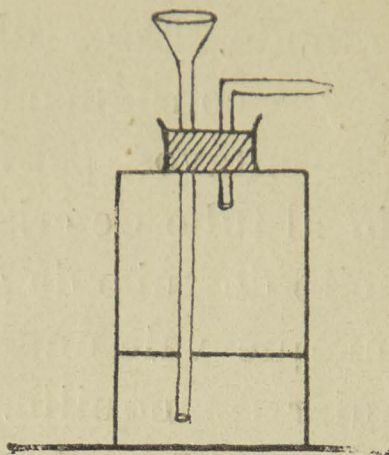


Fig. 4.—El aire desalojado por el agua se escapa por la punta.

Vamos á demostrar que dentro de la botella hay aire. Conocemos, desde que estudiamos segundo año de lecciones de cosas, una propiedad general de la materia que se llama *impenetrabilidad*, es decir, la imposibilidad en que están los cuerpos de poder ocupar *al mismo tiempo* el lugar que otros están ocupando.

Fundándonos en esto, es claro que si vertemos agua por el embudo, el aire será desalojado y saldrá por la punta. Para poder apreciar claramente la salida del aire, acercamos un cerillo encendido á la puntita del tubo, y al ir cayendo el agua por el embudo se ve que la flama oscila y al fin se apaga.

Modifiquemos el experimento anterior: Vaciamos el agua del frasco, volvemos á colocar el tapón, cuidando de que apriete bien y tapamos la puntita con una gota de lacre. Si en seguida vertemos agua por el embudo, observamos que á poco rato el embudo se queda lleno de agua y ya no pasa el líquido al interior, por más que *aparentemente* haya todavía mucho espacio vacío. Lo que ha ocurrido es que el agua que entró al principio comprimió al aire, el cual no encontró salida y aumentando su fuerza elástica llegó un momento en que esta fuerza se opuso á la entrada de nueva cantidad de líquido. Pero basta quitar la gota de lacre para que inmediatamente penetre el agua del embudo, saliendo por la punta una masa de aire.

Empleamos, ahora, el mismo aparato de los experimentos anteriores, nada más que sustituimos el tubo terminado en punta, por uno encorvado dos veces en ángulo recto. La extremidad de este tubo penetra en un vaso con agua. Si ponemos agua en el embudo, el aire es impulsado hacia afuera, y se ve salir en forma de burbujas por el agua del vaso. Hagamos un nuevo experimento. Tapamos una botella de boca ancha con un tapón de corcho taladrado y atravesado por un embu-

do. Debo advertir que en caso de que el corcho sea muy poroso se le da un baño con parafina fundida.

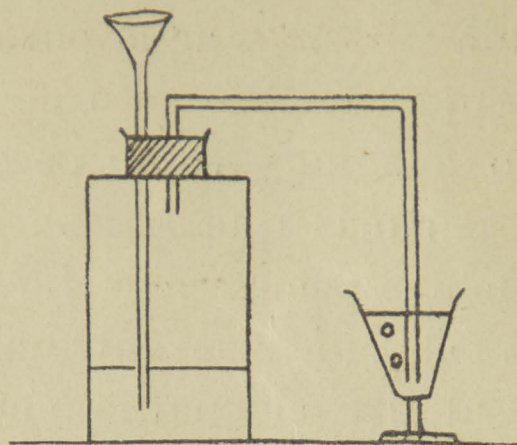


Fig. 5.—Las burbujas de aire se escapan á través del agua de la copa.

Si ponemos agua en el embudo, penetra una corta cantidad, y se detiene el escurrimiento. Dejamos caer en seguida unas municiones por el embudo. Estas municiones desalojan cierta cantidad de agua, el agua sube de nivel y comprime al aire y entonces éste sale á través del agua del embudo, haciendo que el líquido afecte la forma de un cono.

He aquí un nuevo experimento: En un matraz bien seco ponemos unos cristales de ese metaloide gris brillante que conocemos con el nombre de iodo, y calentando ligeramente con la lámpara de alcohol, el iodo pasa

inmediatamente al estado gaseoso, llenándose el globo de un vapor violado muy hermoso. En este experimento se aprovecha uno de la coloración del vapor de iodo para dar una idea más clara del estado gaseoso.

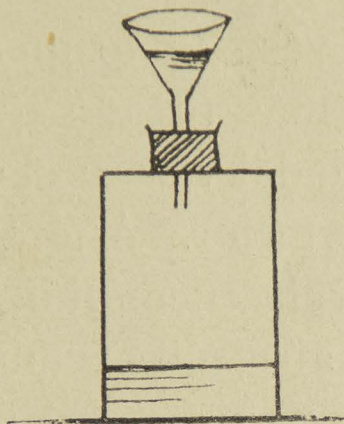


Fig. 6.—El aire comprimido se opone á la entrada del líquido.

Necesitamos para el siguiente experimento preparar un gas llamado ácido carbónico, preparación que no presenta ninguna dificultad. Empleamos el frasco de boca ancha con un tapón de dos taladros. Por un taladro pasa un tubo recto y por otro un tubo encorvado en ángulo recto. Dentro del frasco colocamos fragmentos de mármol blanco, agua hasta la tercera parte del frasco y añadimos una corta cantidad de ácido clorhídrico. El mármol se consigue por una bagatela en cualquier taller de lápidas y el ácido clorhídrico lo venden en las boticas. En las tlapalerías

se conoce este cuerpo con el nombre de ácido muriático. Se tapa el frasco y se observa que se desprenden del fondo numerosas burbujas. Para recibir estas burbujas se fija un tubo de goma en el tubo encorvado en ángulo recto y la otra extremidad del tubo de goma va á dar á un vaso lleno de aire. Siendo el gas carbónico más pesado que el aire, irá á ocupar el fondo del vaso y el aire será expulsado para el exterior. Ahora bien, si introducimos una vela encendida en una probeta que contenga aire, observamos que la vela sigue ardiendo; pero si la introducimos en el vaso con carbónico, vemos que inmediatamente se apaga, lo que indica que hay ahí

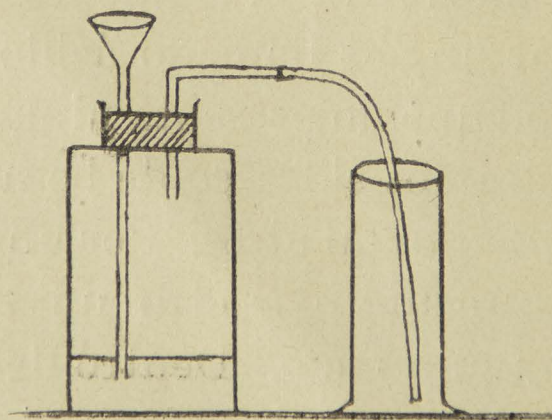


Fig. 7.—El gas carbónico es más pesado que el aire.

un cuerpo impropio para la combustión. Para demostrar que este gas es más denso que el aire, basta invertir la probeta sobre otra, conteniendo aire, y á poco rato el carbónico



habrá pasado á la probeta inferior, mientras que la superior queda llena de aire.

Otro experimento. Sobre un plato sopero casi lleno de agua, colocamos un disco de corcho sobre el cual se pone un terrón de azúcar. En seguida se cubre el disco con un vaso invertido, y ejerciendo una ligera presión se observa que el corcho baja y parece que se introduce en el agua.

Pero si sacamos la copa con precaución vemos que el terrón está completamente seco, lo que demuestra que si el corcho bajó, fué debido únicamente á la fuerza elástica del aire contenido dentro de la copa.

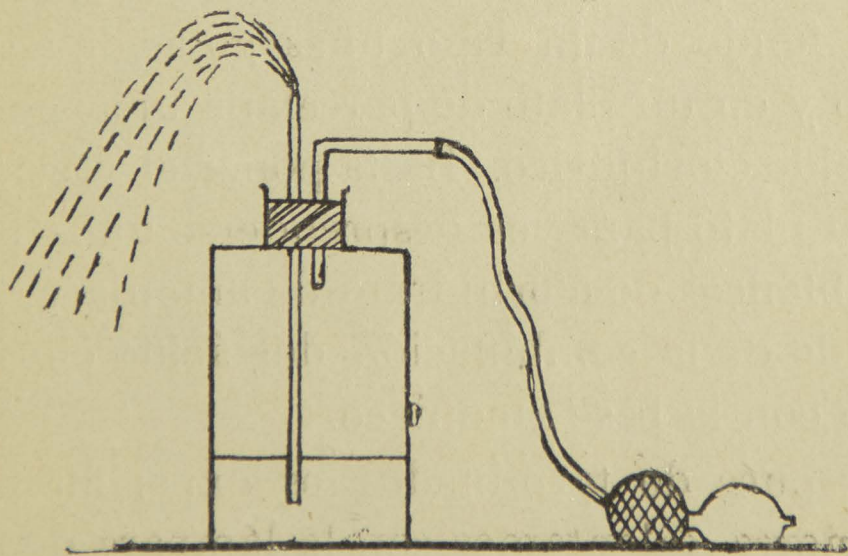


Fig. 8.—Acción del aire comprimido.

Otro experimento que nos va á permitir comprobar la fuerza elástica del aire compri-

mido. Por uno de los taladros de nuestro frasco pasa un tubo terminado en punta que se sumerge en el agua que con anterioridad hemos colocado en el frasco. Por el otro taladro pasa un pequeño tubo encorvado en ángulo recto y que se pone en comunicación con una bola de goma con válvula. Esta bola se consigue en las droguerías con el nombre de "bola de Richardson" y vale poco menos de un peso. Puede emplearse una bola de goma de un pulverizador. Al comprimirse la bola de goma, el aire es comprimido y salta por el tubo terminado en punta un fino chorro de agua.

Otro experimento, por último. Se ponen en el fondo de un vaso unas gotas de amoníaco y en un plato de porcelana unas gotas de ácido clorhídrico. Basta poner el vaso sobre el plato para ver desprenderse unos humos blancos de clorhidrato de amoníaco, resultado de la combinación del ácido clorhídrico con la base amoníaco.

Después de terminados los experimentos anteriores, calentamos con la lámpara de alcohol el agua que resultó de la fusión del hielo y vemos que el agua pasa al estado de vapor. De modo que hay cuerpos que colocados en diversas condiciones de temperatu-

ra pueden afectar sucesivamente los tres estados: sólido, líquido y gaseoso.

Cuerpos sólidos son aquellos que tienen forma constante y volumen constante; sus moléculas se hallan íntimamente unidas por una fuerza llamada *cohesión* y no puede modificarse su forma sino por medio de un esfuerzo más ó menos considerable. Sólido perfecto sería aquel indeformable por los más poderosos esfuerzos exteriores.

Cuerpos líquidos son aquellos que tienen volumen constante, pero cuya forma depende del vaso en que están contenidos. En los líquidos la fuerza de cohesión es muy débil, sus moléculas resbalan con mucha facilidad unas sobre otras, y aun cuando se someta á los líquidos á presiones en extremo considerables, la disminución de su volumen es casi imperceptible. Por esto se dice que los líquidos son aparentemente incompresibles.

Cuerpos gaseosos, llamados también flúidos elásticos, son aquellos cuya forma es variable y cuyo volumen es también variable. En los gases la fuerza de cohesión es nula; lo que domina en ellos es la constante repulsión de sus moléculas, de donde resulta la fuerza de expansibilidad, ó sea la propiedad

que tienen los gases de tender á ocupar siempre un volumen superior al suyo.

Hagamos ahora un experimento que tendremos que repetir más tarde. Sobre nuestro tripié, que construimos con tanta facilidad, colocamos un pequeño plato de metal, el cual calentamos con la lámpara de alcohol, y ya que esté muy caliente dejamos caer sobre él, por medio de un tubo de cristal, unas gotas de agua. Estas gotas de agua en lugar de extenderse, forman unos glóbulos que comienzan á girar rápidamente, y que á pesar de la elevada temperatura del plato, se evaporan muy lentamente. Pero si quitamos la lámpara para que el plato se enfrie, los glóbulos líquidos se evaporarán con rapidez, tan pronto como la temperatura del plato baja lo suficiente. Siempre que un líquido se encuentra en contacto con una lámina metálica muy caliente, se dice que pasa al *estado esferoidal*; pero este estado no puede considerarse como uno de los estados generales de la materia.

---

No se deberá pasar adelante sin haber verificado todos y cada uno de los experimentos contenidos en la lección anterior.

---

## CAPITULO SEGUNDO.

---

### Las propiedades generales y particulares de los cuerpos.

OBJETOS NECESARIOS PARA EL DESARROLLO DE ESTA LEC-  
CIÓN: Un trozo de azúcar, una pequeña hacha, un  
almirez, un vaso con agua, una cuchara, perman-  
ganato de potasa, una moneda de un centavo, áci-  
do nítrico, una bandeja con agua, amoniaco, jabo-  
nadura con glicerina, una pipa, tornasol, anilina, al-  
cohol, una varilla de cristal, un ladrillo, cal, pa-  
pel filtro, un block de madera, un martillo, miga de  
pan, un trozo de plomo, una esponja, una pelota,  
una cuerda de reloj, papel blanco, papel de pasar,  
una canica, mercurio, una botella, una pistolita de  
aire comprimido, un matraz con tapón de goma y  
tubo de cristal, una tira de papel, una moneda de  
un peso, una tarjeta, una copa, tres monedas de diez  
centavos, un aro de papel grueso, una regla, un pla-  
tillo de balanza, una caja de pesas, hilos de seda,  
lino y algodón, alambre de hierro delgado, cera, ja-  
bón, una lima, alambre de plata, de platino y de  
cobre, oro volador, papel de estaño, lámina de co-  
bre, lámina de aluminio.

El profesor presenta á los alumnos un trozo

de azúcar, el cual se divide en fragmentos con ayuda de una pequeña hacha; después se pone uno de los fragmentos en un almirez y se reduce á polvo. Este polvo se tamiza en seguida, haciéndolo pasar por un lienzo fino y se obtiene un polvito finísimo.

Se toma otro de los fragmentos de azúcar y se pone en un vaso con agua, agitando con una cuchara hasta que el azúcar se disuelva muy bien. Si ahora probamos el agua, está dulce, lo que indica que las partículas de azúcar se distribuyeron en toda la masa del agua.

Tomamos ahora un cristalito de permanganato de potasa, lo más pequeño posible, y lo dejamos caer en un gran vaso con agua. Agitamos después con una varilla de cristal y vemos que el agua se tiñe de morado, y para que esto haya sucedido el pedacito de permanganato de potasa tiene que haberse dividido en un número grandísimo de partículas.

Verificados estos experimentos los alumnos no tienen ninguna dificultad en comprender que la *divisibilidad* es la propiedad que tienen los cuerpos de poderse separar en partes distintas.

Hagamos otros experimentos de divisibilidad: En un vaso de cristal ponemos una mo-

nedita de un centavo y añadimos un poco de ácido nítrico. Todos estos cuerpos (ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, amoníaco) deben manejarse con mucha precaución y el profesor vigilará á los niños para que no cometan una imprudencia. Debe tenerse siempre al alcance de la mano una bandeja con agua y un trapo limpio para introducir la mano en el agua si por desgracia cae una gota de ácido en la piel. En el caso desgraciado de una quemada grave aplicar inmediatamente una mezcla de aceite de comer y agua de cal. Pero teniendo precaución y enseñando á los niños á manejar convenientemente estos cuerpos nunca habrá que lamentar un accidente.

Volvamos á nuestro experimento. El líquido toma un color verde debido á que se ha formado un compuesto llamado nitrato de cobre. Vertemos parte de este líquido verde en un vaso que contenga un litro de agua, y después de agitar bien con una varilla de cristal se añaden unas gotas de amoníaco. El líquido adquiere inmediatamente un bello color azul. Si observamos el centavo de cobre, apenas notamos una manchita insignificante; es muy corta la cantidad de metal que se disolvió en el ácido nítrico, y sin embargo ha

bastado para que disuelta en el litro de agua, se haya presentado la reacción del amoniaco. De modo que la pequeña cantidad de cobre ha tenido que dividirse en un número infinito de partes.

Prepárese una jabonadura con agua de jabón y glicerina y tómese una pequeña cantidad de este líquido en la abertura de una pipa de fumador. Soplando por la otra extremidad se puede formar una burbuja de grandes dimensiones, y para conseguir esto la gota de jabón ha tenido que extenderse en forma de lámina extremadamente delgada.

Un granito de tornasol puede bastar para enrojecer diez litros de agua ligeramente acidulada, y un centígramo de anilina basta para colorear un litro de agua mezclado con una corta cantidad de alcohol.

Pasemos ahora á otro género de experimentos: Sobre un ladrillo bien seco vertemos una pequeña cantidad de agua. El agua no tarda en desaparecer.

Pongamos una poca de cal en una copa con agua y después hagamos pasar esta agua turbia por un papel filtro. El agua de cal pasa enteramente limpia.

En un plato ponemos un poco de alcohol teñido con anilina y encima colocamos un te-



rrón de azúcar. El terrón se tiñe en su totalidad.

Estos fenómenos se deben á la *porosidad* ó sea á la propiedad que tienen los cuerpos de presentar entre sus moléculas unos intersticios llamados poros. Los poros pueden ser físicos ó insensibles y poros visibles. Estos se observan muy bien en la esponja, la piedra pómez y la piedra de los filtros comunes, impropriamente llamados “destiladeras.”

Sobre un trozo de madera se pega un golpe con un martillo; la madera conserva la huella del martillo.

Un migajón de pan caliente puede reducirse de volumen por la compresión. El plomo disminuye de volumen bajo la acción del martillo.

La *compresibilidad* es la propiedad que tienen los cuerpos de poder reducirse de volumen bajo el esfuerzo de una presión.

Llamemos la atención de los niños acerca de este hecho. La madera á la cual le dimos un golpe con el martillo, el migajón que comprimimos y el plomo que aplastamos no recobraron su volumen primitivo.

Pero si comprimimos una esponja seca hasta disminuir considerablemente su volumen, si aplastamos una pelota de goma, si estiramos

una banda de caucho, si estiramos una cuerda de reloj, vuelven á adquirir su forma y volumen primitivos tan pronto como cesa de obrar la fuerza que producía la deformación. Decimos entonces que esos cuerpos son elásticos. La *elasticidad* es la propiedad que tienen los cuerpos de recobrar su forma y volumen primitivos tan pronto como cesa de obrar la fuerza que obraba sobre ellos.

Sobre una mesa de mármol, ponemos una hojita de papel blanco y encima del papel un pedacito de papel de pasar. Puede emplearse el papel carbón que se usa para sacar copias en la máquina de escribir. Si colocamos una canica sobre el papel carbón, sólo encontraremos una pequeña huella, casi un punto, sobre el papel blanco; pero si dejamos caer la canica de cierta altura, encontraremos sobre el papel blanco una mancha, que indicará que la canica al caer se comprimió, recobrando después su forma y volumen primitivos.

Los líquidos también son elásticos. Sobre una superficie cubierta de polvo se deja caer una gota de agua, el agua rebota y se divide en gotitas. Si se hace rodar un glóbulo de mercurio de modo que vaya á chocar contra un cuerpo sólido, el glóbulo rebota como si fuera una canica de mármol ó de marfil,

Los gases son muy elásticos y con razón han recibido el nombre de *flúidos elásticos*. Si se sumerge una botella llena de aire, é invertida, sobre un bote con agua, el aire se va comprimiendo, pero conforme se va sacando la botella, el aire recobra poco á poco su volumen primitivo. No hay un niño que no conozca las pistolitas de aire comprimido. La presión del émbolo comprime el aire, y al recobrar éste su volumen primitivo expulsa al tapón, produciéndose un ruido semejante al de un disparo de arma de fuego.

El experimento citado en la página 16, figura 4, y que menciono en mi libro de *Segundo año de Lecciones de Cosas*, demuestra la *impenetrabilidad* ó sea la propiedad que tienen los cuerpos de no poder ocupar *al mismo tiempo* el lugar que otros cuerpos están ocupando. Cuando se introduce un clavo en una tabla, la materia del clavo no penetra, sino que únicamente separa las fibras leñosas de la madera, y cuando se introduce la mano en el agua de una vasija, el líquido desalojado hace subir el nivel libre del líquido en la vasija.

Pero hay algunos casos en que por cuestión de afinidad química parece que hay penetrabilidad. Hagamos el siguiente experimento:

En una botella de vidrio ó en un matraz ponemos agua hasta la mitad; en seguida y con precaución vertemos encima del agua alcohol de buena clase. Tapamos con un tapón de goma atravesado por un tubo de cristal, y marcamos con un hebrita de hilo ó con un pedacito de papel engomado el nivel del líquido en el tubo. Si era medio litro de agua y medio litro de alcohol, parece que la mezcla de los dos líquidos había de dar un volumen de un litro. Pues bien, si invertimos el matraz para que los líquidos se mezclen, vemos, al volver á poner el matraz sobre la mesa, que el nivel libre del líquido no llega hasta la señal que habíamos hecho, sino que queda más bajo; esto se debe á una contracción del volumen total, debido á la afinidad del agua por el alcohol.

En la orilla de una mesa bien nivelada se pone una tira de papel, sobre cuya extremidad se para de canto una moneda de un peso. Se coge con una mano el extremo libre de la tira de papel y con la otra se da un golpe fuerte en el papel. La tira sale de la mesa y la moneda no se cae.

Se coloca en el dedo índice de la mano izquierda una tarjeta de visita y encima de la tarjeta se pone una moneda de un peso. En

seguida con los dedos medio y pulgar de la mano derecha se da un golpe á la tarjeta, cuidando de que este golpe sea horizontal y que su dirección esté comprendida en el plano mismo de la tarjeta. La tarjeta salta á distancia y la moneda permanece sobre el dedo. Los dos experimentos anteriores obedecen á la *inercia* ó sea la propiedad que tienen los cuerpos de no poder modificar por sí solos su estado de reposo ó su estado de movimiento. En el caso de la moneda y la tira de papel, y en el caso de la tarjeta y el papel, el golpe dado con la mano es tan repentino que no tiene tiempo de comunicarse á la moneda y ésta permanece en reposo.

Otro experimento: Se cubre una mesa con un mantel ó con un paño, y cerca del borde de la mesa se pone una moneda de diez centavos. Esta moneda se tapa con una copa apoyada sobre otras dos monedas de diez centavos diametralmente opuestas, de tal modo que los bordes de la copa queden separados de la mesa una distancia igual al espesor de las monedas. En seguida con el dedo índice de la mano derecha se rasca sobre el mantel cerca del borde de la copa; la elasticidad del tejido comunica el movimiento á la moneda libre y ésta por efecto de su inercia progresa

poco á poco, acercándose al dedo, hasta salir por debajo de la copa.

Colóquese verticalmente sobre la boca de una botella vacía un anillo de papel de diez centímetros de diámetro. En la parte superior del anillo se pone una moneda de diez centavos, de tal manera que venga á quedar encima de la abertura de la botella. Se introduce en el anillo la extremidad de una regla con la cual se da horizontalmente un golpe brusco al anillo de papel; éste será impulsado lateralmente, y la moneda en lugar de seguir el movimiento del anillo, caerá verticalmente en la abertura de la botella como resultado de la rapidez del choque; la moneda, á causa de la inercia, no ha tenido tiempo de participar del movimiento impreso al papel.

Por medio de un tornillo fijemos en el borde de una mesa corriente una regla de madera en cuya extremidad libre atornillamos una pequeña armella. En esta armella amarramos cuidadosamente la extremidad de un cabello largo que lleva en la otra extremidad un pequeño platillo de balanza. En este platillo vamos poniendo pesos más y más grandes hasta que el cabello se rompa. Repítase el mismo experimento con hilos muy delgados de algodón, de seda y de lino, y por úl-

timo con un alambre muy delgado de hierro, cuidando de anotar el número de gramos necesario para romper cada hilo. La *tenacidad* es la propiedad que tienen los sólidos de oponer resistencia á los esfuerzos que tienden á romperlos. El hierro es uno de los cuerpos más tenaces.

Pongamos sobre la mesa de experimentos un pedazo de plomo, un trozo de cera blanca y un jabón. Todos estos cuerpos pueden ser fácilmente rayados con la uña y decimos que son cuerpos *blandos*; pero si queremos rayar con la uña una lámina de vidrio veremos que no es posible. El acero de buena calidad raya al vidrio; pero lo que se emplea ordinariamente para rayar el vidrio y poderlo cortar, es el diamante, que es el más duro de todos los cuerpos, pues raya á todos y no se deja rayar por ninguno. Después siguen el zafiro, el rubí, el cristal de roca, etc. La *dureza* es la propiedad que tienen los cuerpos de no dejarse rayar por otros. La dureza del diamante hace que haya necesidad de utilizarse su propio polvo para pulimentarlo.

Muéstrese á los alumnos alambres muy delgados de plata, de platino, de hierro y de cobre, una hojita de oro volador, una hoja de papel de estaño, una lámina de cobre y

una lámina de aluminio y compárense sus distintos espesores. La *maleabilidad* es la propiedad que tienen algunos cuerpos de poder reducirse á hojas muy delgadas bajo la acción del martillo ó del laminador, y la *ductilidad* es la propiedad que tienen algunos sólidos de poder reducirse á hilos ó de cambiar de forma por efecto de una presión ó de una tracción más ó menos considerable.

La impenetrabilidad, la divisibilidad, la porosidad, la compresibilidad, la elasticidad y la inercia, son propiedades generales de los cuerpos, mientras que la tenacidad, la dureza, la maleabilidad y la ductilidad, son algunas de las propiedades particulares de los cuerpos sólidos.

---



## CAPITULO TERCERO.

---

### Pesantez.

**MATERIAL NECESARIO PARA EL DESARROLLO DE ESTA LECCIÓN:** Un reloj, papel cuadriculado, dos mesas, una polea, una regla, un metro graduado, un metro de alambre grueso, un hilo de seda, dos pesas de 200 gramos, un despertador, una caja de madera, una regla grande, esferitas de distintas sustancias, lacre, un cono, un aro de cartón, una moneda de cincuenta centavos, una tablita, varios libros, dos bastones, un doble cono de cartón, una botella, un centavo, un tapón de corcho, un fistol, dos tenedores, figuras irregulares de cartón, un carrito.

Muéstrese á los niños un reloj de bolsa. Si hay un reloj de pared en el salón de la clase, puede servir mejor que el de bolsa para la explicación, porque todos los niños lo pueden observar á la vez. Como los alumnos de 5º año han estudiado ya geometría, saben que la circunferencia de círculo está dividida en 360 grados. En la carátula están marcados

los números romanos I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI y XII, es decir, que la circunferencia que limita la carátula se halla dividida en 12 partes. Como las doce partes son iguales, tendrán un valor angular de 30 grados, número que resulta de dividir 360 entre 12. El espacio comprendido entre hora y hora está dividido en cinco partes, y cada parte es un minuto de tiempo. Dividiendo 30 entre cinco, obtenemos por cociente 6 minutos de arco. No hay que olvidar que los minutos de tiempo se representan con una m, y los minutos de arco se representan con una comita ' ; los segundos de tiempo se representan con un s, y los segundos de arco se representan con dos comitas ''.

En la carátula del reloj hay dos manecillas, una más grande que se llama el minuterero, y otra más pequeña que se llama el horario. El minuterero da una vuelta entera en una hora y el horario da una vuelta entera en doce horas. En algunos relojes hay otra aguja muy pequeña que se llama el instantero y que da una vuelta en un minuto. La pequeña circunferencia del instantero está dividida en sesenta partes, cada una de las cuales corresponde á 6 grados de arco, y la agujita recorre 6 grados de arco en un segundo de tiempo, y

como recorre espacios iguales en tiempos iguales, se dice que camina con *movimiento uniforme*. El minuterero recorre 6 grados por minuto, 12 grados en 2 minutos, 18 grados en 3 minutos, 24 grados en 4 minutos, es decir, que en cada minuto recorre siempre 6 grados, luego si recorre espacios iguales en tiempos iguales, decimos que el minuterero camina, lo mismo que el instantero, con *movimiento uniforme*. El horario recorre 30 grados en una hora y otros 30 grados en otra hora, y así sucesivamente; de manera que recorriendo espacios iguales en tiempos iguales, la aguja del horario camina también con *movimiento uniforme*. Siempre que un cuerpo recorre espacios iguales en tiempos iguales decimos que camina con movimiento uniforme. Es verdad que un reloj puede atrasarse ó adelantarse; pero si consideramos un reloj perfeccionado y muy bien construido, de los que usan los astrónomos para la medida exacta del tiempo en los Observatorios, cada una de las agujas camina con *movimiento uniforme*. Pero consideremos ahora el caso de un tren de vapor que sale de una estación. Cuando comienza á caminar va muy despacio, después aumenta un poco su velocidad, después camina más aprisa, hasta que regulariza su velo-

cidad. Desde que salió de la estación hasta que regularizó su velocidad, no caminó con movimiento uniforme, puesto que no recorría espacios iguales en tiempos iguales; decimos, entonces, que ese tren caminaba con *movimiento variado*. Supongamos que el tren va á llegar á una estación: el maquinista empleando el freno de aire comprimido comienza á disminuir la velocidad del convoy, y el tren va caminando más y más despacio hasta que al entrar á la estación llega al reposo. En este segundo caso, como el tren no ha recorrido espacios iguales en tiempos iguales, decimos que ha caminado con *movimiento variado*. Pero analicemos con más atención los dos movimientos. En el primer caso el tren partió del reposo y fué aumentando poco á poco su velocidad; este movimiento se llama *acelerado*; en el segundo caso el tren estaba en movimiento y poco á poco fué disminuyendo su velocidad hasta que llegó al reposo; este movimiento se llama *retardado*. En ambos casos ha habido una variación en la velocidad, ya en más, ya en menos; esta variación se llama la *aceleración* en el movimiento variado. Ahora bien, como en el movimiento uniforme no hay variación en la ve-

locidad, la aceleración es nula, es decir, es igual á cero.

Galileo, sabio italiano, haciendo experimentos desde la torre inclinada de Pisa, y

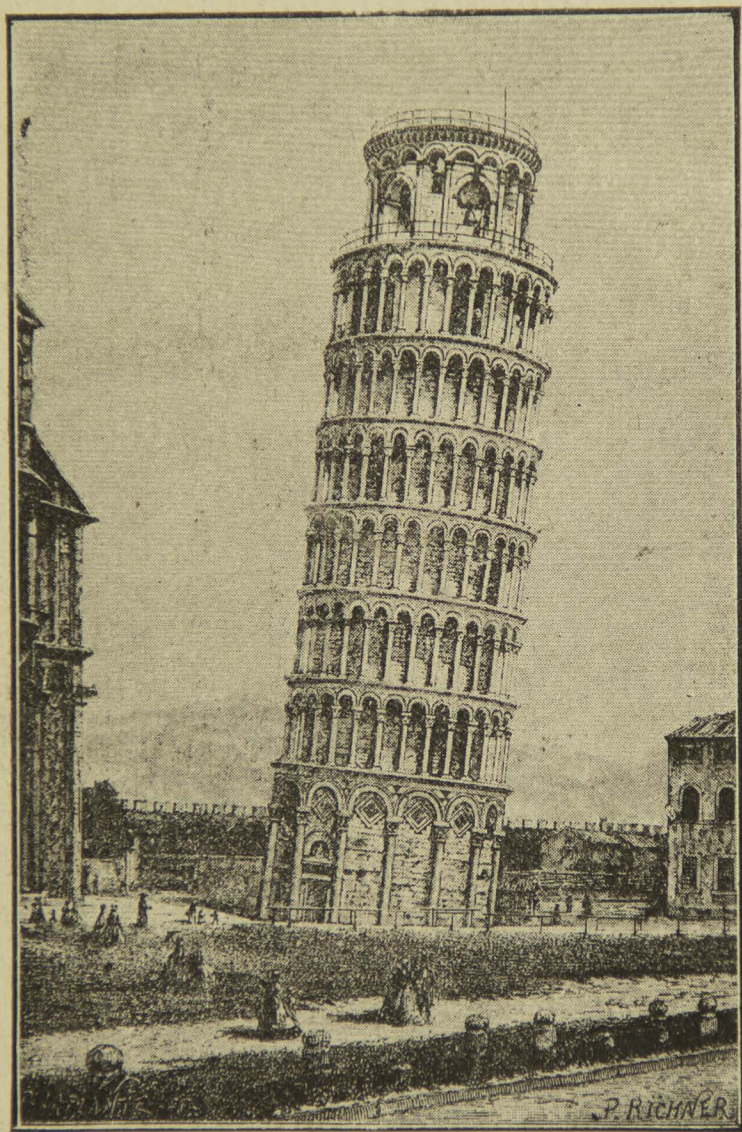


Fig. 9.—La torre inclinada de Pisa.

haciendo experimentos con un plano inclinado, experimentos que consistieron en dejar caer cuerpos de distintas masas y midien-

do el tiempo que empleaban en recorrer distintos espacios, llegó al descubrimiento de que bajo la influencia de la acción de la gravedad, ó sea la atracción de la Tierra, un cuerpo libre camina con movimiento *uniformemente acelerado*; es decir, que recorre espacios que son proporcionales á los cuadrados de los tiempos. Esta ley, dicha así de una manera abstracta, es muy difícil de ser entendida por los niños; pero vamos á recurrir á un procedimiento que permitirá que los alumnos entiendan perfectamente una de las leyes más importantes de la caída de los cuerpos. Recomendando, solamente, á los Señores Profesores, que cuiden de que todos los alumnos dibujen en su papel cuadriculado la gráfica á que voy á referirme, y que el profesor dibujará en el pizarrón. Sobre el papel cuadriculado y en el sentido de una línea vertical, tómense 16 cuadritos, y márquese la línea correspondiente AB. En seguida cuéntense ocho divisiones á la derecha de B, y de dos en dos divisiones tírense las líneas C' C, D' D, E' E, F' F. Suponemos que un cuerpo ha caído, al cabo de una unidad de tiempo, un espacio AG, espacio que trasportamos de C á M. En dos unidades de tiempo el móvil habrá recorrido un espacio cuatro veces ma-



tro unidades de tiempo el móvil recorrerá un espacio igual á 16, puesto que 16 es el cuadrado de 4. Llevamos la distancia AB de F á F' y tenemos un nuevo punto de la curva: el punto F'. Entonces trazamos la curva.. AMNPF' que es una rama de la curva conocida en matemáticas con el nombre de parábola. Formemos ahora la siguiente tabla, tomando como unidad de tiempo el segundo, y como unidad de espacio el centímetro:

Tiempos transcurridos.	Espacios recorridos.
—	—
1 segundo.....	1 centímetro.
2 „ .....	4 „
3 „ .....	9 „
4 „ .....	16 „

Es decir, que los espacios son proporcionales á los cuadrados de los tiempos. Intentemos la demostración de esta ley. En los gabinetes de Física se emplea para el estudio de las leyes de la caída de los cuerpos, una máquina llamada *máquina de Atwood* ó un aparato llamado *aparato de indicaciones continuas del General Morin*. Ambos aparatos son muy caros y no podían formar parte de la humilde colección, relativa á nuestro libro “Física sin aparatos.” Sin embargo, vamos á cons-



truir con poco dinero, pero con muy buena voluntad, una máquina de Atwood, que si re-

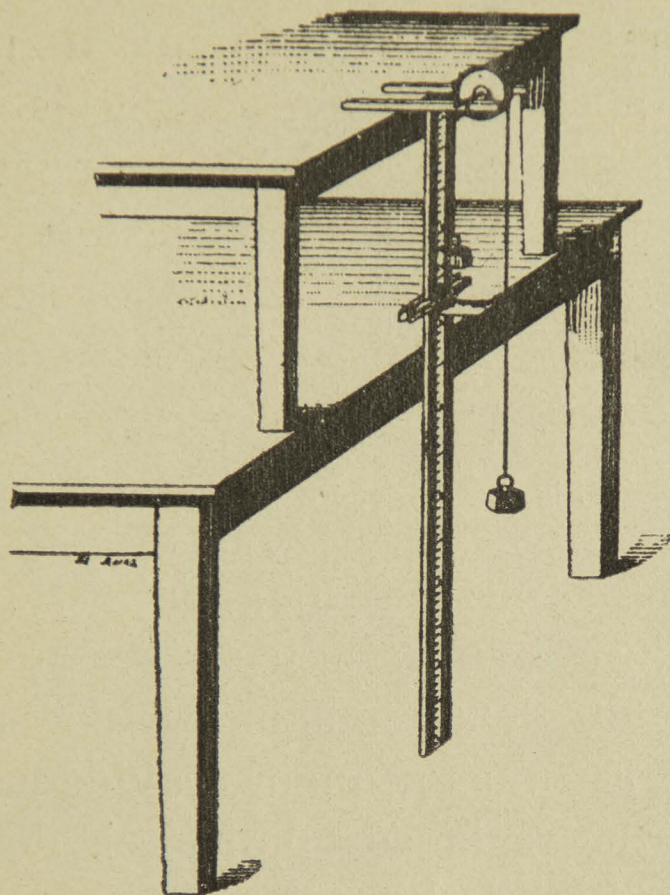


Fig. 11.—Una máquina de Atwood, barata.

sulta imperfecta, será preferible á no tener nada y á pintar figuras en el pizarrón, como hacen muchos maestros á quienes, indudablemente, les gusta perder el tiempo.

Se pone una mesa pequeña sobre una grande y se atornillan en la cubierta de la mesa pequeña las dos mitades de una regla cuadrada de madera dura, de tal modo que queden perpendiculares al borde de la mesa. La dis

tancia que separa á las dos medias reglas debe ser de 4 centímetros y la parte que sobresale debe medir 15 centímetros. Contra los

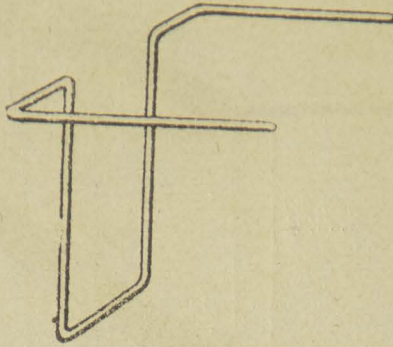


Fig. 12 — El soporte de la máquina.

bordes de las mesas se fija, por medio de unos clavitos, un metro graduado, que no falta en la colección de sistema métrico de ninguna escuela. En unas pequeñas cavidades practicadas en las reglas se monta el eje de una polea de latón ó de hierro, que se consigue por 30 ó 40 centavos en cualquier ferretería. Por la garganta de la polea pasa un hilo fino de seda, en cuyas extremidades se atan dos masas iguales, por ejemplo, de 200 gramos. Preparemos también una corredera con una láminita de zinc ( $13\text{ c} \times 6\text{ c} \times 0,1\text{ c}$ ) doblada en ángulo recto á la tercera parte de su longitud; y preparemos también un soporte hueco, hecho con alambre de 3 milímetros de grueso, tal como se ve en la figura. Para la medida

del tiempo se puede conseguir uno de esos aparatos que usan las personas que estudian música, aparatos conocidos con el nombre de *metrónomos*; pero si no se consigue el metrónomo, puede emplearse un reloj despertador de golpe fuerte. Una vez provistos ya de nuestro material barato de experimentación, procedamos á la demostración de la ley de los espacios que enunciaremos así:

—*Los espacios recorridos por un cuerpo que cae libremente en el vacío, crecen proporcionalmente á los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos, á partir del origen del movimiento.*

Sobre la masa móvil más aproximada de la regla, ponemos una sobrecarga, que puede recortarse de una lámina de zinc y que puede tener cualquier forma simétrica, y sostenemos esa masa, con su masa adicional, por medio de una tablita que tenemos con la mano. Se retira bruscamente la tablita en un momento que coincida con un golpe del metrónomo ó con un golpe del despertador, y buscamos por tanteos en qué división debemos fijar la corredera para que la masa choque contra ella al cabo de la primera unidad de tiempo. Supongamos que después de algunos tanteos encontramos que esa distancia

es de 5 centímetros. Entonces veremos que para que la masa tarde 2 unidades de tiempo en chocar contra la corredera, hay que colocar ésta á los 20 centímetros, y para que tarde 3 unidades de tiempo hay que colocar la corredera á los 45 centímetros.

Efectivamente:

Al cabo de 1 segundo	5 centímetros.
„ „ 2 „	$5 \times 2^2 = 5 \times 4 = 20$ cent.
„ „ 3 „	$5 \times 3^2 = 5 \times 9 = 45$ cent.

Cambiando el peso de la sobrecarga, cambiaría el espacio recorrido en la primera unidad de tiempo, y claro que había que encontrar las otras distancias multiplicando el espacio, por el cuadrado de 2, por el cuadrado de 3, por el cuadrado de 4, etc., etc.

Yo he construido últimamente una máquina de Atwood, con ayuda de una polea de 30 centavos de costo, dos metros graduados, y una columna de madera que me construyó un carpintero cuidadoso; el aparato funciona muy bien y saca de costo \$6; debiendo advertir que una máquina de Atwood de laboratorio no se consigue por menos de \$70. Ya verán los Sres. Profesores si hay diferencia.

Hagamos ahora el siguiente experimento: En la orilla de una mesa corriente colocamos

una sólida caja de madera, sobre la cual fijamos una regla. Esta regla lleva en la par-

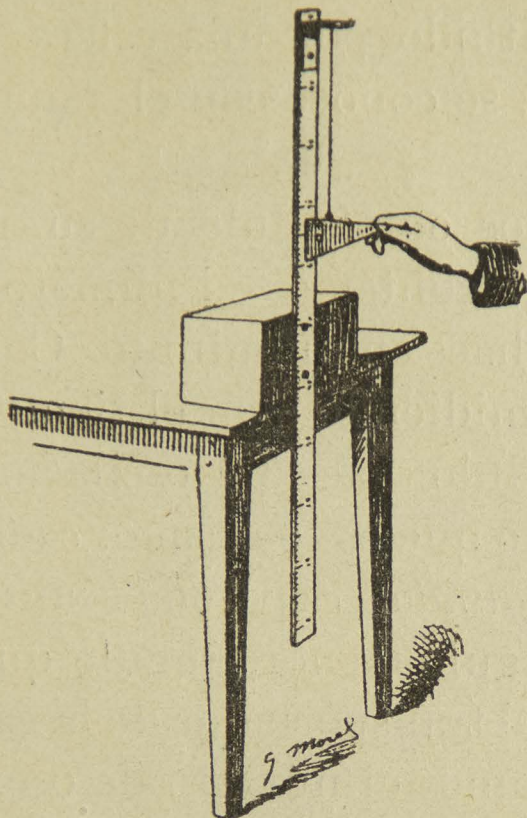


Fig. 13.—El péndulo.

te superior una pieza de metal (lámina de zinc) doblada en ángulo recto á la tercera parte de su longitud. En esa lámina de zinc se cuelga un hilo de cáñamo que tenga un metro de longitud, y en cuyo extremo se ata una esferita de plomo ó de latón. Puede emplearse una esferita de las que venden en las ferreterías para las camas de latón. Esta esferita se llena de lacre fundido y se le pone un ganchito de alambre en la abertura

por donde se vertió el lacre. Con ayuda de una escuadra de dibujo se convence uno de que la regla ha quedado vertical. Un aparato constituido por una esfera suspendida de un hilo, se conoce con el nombre de *péndulo*.

Separemos el péndulo de su posición de equilibrio y contemos el número de oscilaciones que hace en un minuto. Contando con cuidado y midiendo bien el tiempo, veremos que el péndulo hace 60 oscilaciones en un minuto, ó lo que es lo mismo: *cada oscilación tarda un segundo*. Separemos ahora el péndulo un ángulo menor, ángulo que podemos medir con el transportador de la caja de compases; contamos el número de oscilaciones, y vemos que también da 60 en un minuto, ó lo que es lo mismo, una oscilación en un segundo.

Una vez hecho este experimento y repetido varias veces, queda demostrada la siguiente ley:

—*En un mismo lugar de la Tierra, la duración de las oscilaciones de un mismo péndulo es la misma, á pesar de las variaciones de la amplitud.*

Se refiere que en el año de 1583, encontrándose Galileo (quien á la sazón tenía 18

años de edad) asistiendo á una ceremonia religiosa en la catedral de Pisa, fijó su atención en una hermosa lámpara, obra maestra de Benvenuto Cellini, que acababa de ser encendida y que oscilaba frente al altar. Galileo notó que á pesar de las variaciones de la amplitud, cada oscilación tardaba el mismo tiempo, y si Galileo pudo hacer esta interesante observación, se debió á que los officiantes cantaban acompañados del órgano y casualmente las oscilaciones de la lámpara llevaban el compás de la música.

Aprovechando el gancho que hay casi siempre en la mitad del cielo raso de las habitaciones (y si no lo hay, muy fácil es mandarlo poner), colguemos del techo un hilo de 4 metros de largo, en cuya extremidad ponemos la esferita de fierro ó de latón. Hagamos oscilar nuestro péndulo de 4 metros de largo y contemos cuántas oscilaciones da en un minuto. Contando con cuidado y midiendo el tiempo con atención, veremos que el péndulo hace 30 oscilaciones en un minuto, es decir, que cada oscilación tarda 2 segundos, en vista de que 30 por 2 es igual á 60. Ahora que el péndulo es cuatro veces más largo, la oscilación tardó dos veces más, puesto que recordaremos que el péndulo de un metro de

largo empleaba un segundo en cada oscilación. Sería muy interesante que el Sr. Profesor colgara desde la azotea de la escuela, un péndulo de 9 metros de largo, para que los alumnos contaran las oscilaciones desde el patio. El péndulo de 9 metros de largo haría 20 oscilaciones en un minuto, ó lo que es lo mismo, cada oscilación tardaría 3 segundos. Analicemos nuestros experimentos:

Péndulo de 1 metro. La oscilación tarda 1 segundo.

Péndulo de 4 metros. La oscilación tarda 2 segundos.

Péndulo de 9 metros. La oscilación tarda 3 segundos.

Ahora bien: 2 es la raíz cuadrada de 4, y 3 es la raíz cuadrada de 9; luego habremos demostrado la siguiente ley, igualmente descubierta por el gran sabio Galileo:

—*En péndulos de distinta longitud que oscilan en el mismo lugar de la Tierra, la duración de las oscilaciones es proporcional á las raíces cuadradas de las longitudes de los péndulos.*

Abrigo la convicción (fundada en la experiencia), de que si los Señores Profesores se ciñen á este método totalmente experimental, notarán el adelanto de sus discípulos, y sobre todo, tendrán la seguridad de que lo que han aprendido, lo han aprendido bien. El profesor animará constantemente á sus alumnos á



que repitan en sus casas los experimentos verificados en la escuela, y esta es tal vez la ventaja principal de que los experimentos sean ejecutados con elementos muy sencillos. Claro que un alumno no podrá comprar una máquina neumática; pero sí podrá comprar una bola de cáñamo y una esferita de latón. Con 25 centavos ya tiene construido su péndulo.

Volvamos ahora á nuestro péndulo de 1 metro, y sustituyamos la esfera de latón por una esfera de plomo. Contemos el número de oscilaciones efectuadas en un minuto y veremos que son 60; sustituimos la esfera de plomo por una de madera, y veremos que ejecuta también 60 oscilaciones en un minuto. Si ponemos esferas de otras sustancias, cuidando nada más que la longitud del péndulo sea siempre de un metro, veremos que la duración de cada oscilación permanece invariable: un segundo. Entonces habremos demostrado la siguiente ley:

—*En péndulos de la misma longitud que oscilan en el mismo lugar de la Tierra, la duración de las oscilaciones es independiente de la sustancia de que están hechos los péndulos.*

La causa de que un péndulo oscile á un lado y otro de su posición de equilibrio, es la

misma que obliga á caer á los cuerpos que no están sostenidos. Esa causa es la atracción de la Tierra.

Usemos un cono de la caja de sólidos. Apoyemos ese cono por su base, sobre la mesa de experimentos. Si separamos el cono de su posición de equilibrio, desviando con la mano la dirección del eje del cono, éste recobra por sí sólo su primitiva posición. Entonces decimos que un cono apoyado por su base, está en *equilibrio estable*. Si después de muchos trabajos y con mucha paciencia, logramos parar el cono por su vértice, notaremos que á la menor vibración del suelo, el cono cae, es decir, que separado momentáneamente de su posición de equilibrio, no la recobra. Decimos que un cono apoyado por su vértice, está en *equilibrio inestable*. En cambio apoyado el cono por cualquiera de sus generatrices, está en *equilibrio indiferente*.

La atracción de la Tierra se ejerce sobre todas y cada una de las moléculas de un cuerpo; pero un conjunto de fuerzas puede representarse por una sola que produce el mismo efecto de las demás reunidas y que se llama la *resultante*. Pues bien, la resultante de todas las acciones de la gravedad sobre las distintas moléculas de un cuerpo tiene por pun-

to de aplicación un punto llamado el *centro de gravedad* del cuerpo. Llamamos, pues, *centro de gravedad* de un cuerpo al punto de aplicación de todas las acciones de la gravedad sobre las diversas moléculas del cuerpo. Podemos decir que un cuerpo está en equilibrio estable cuando su energía potencial es mínima, ó en otras palabras, cuando la distancia de su centro de gravedad á la base de

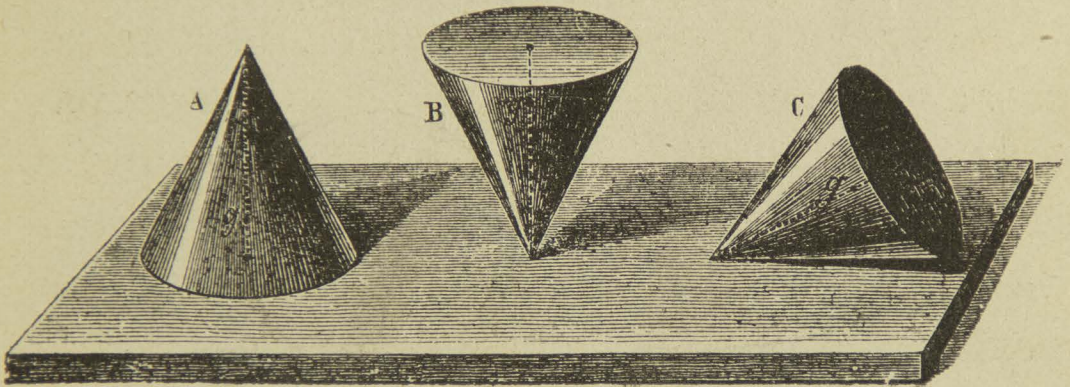


Fig. 14.—Los tres casos de equilibrio.

sustentación es la menor posible. Como el centro de gravedad de un cono se encuentra á la cuarta parte de su altura, á partir de la base, se comprende que cuando un cono está apoyado por su base, es cuando su centro de gravedad se halla más cercano á la mesa en que el cono se apoya. En cambio, estando el cono apoyado por su vértice, su centro de gravedad se encuentra lo más lejos posible de la mesa en que se apoya; su energía potencial

es máxima, y por lo tanto, el equilibrio es inestable.

Si colocamos un cuerpo sobre un plano inclinado, el cuerpo resbala hasta llegar á la base del plano; pero podemos, valiéndonos de un sencillo artificio, conseguir que un cuerpo colocado cerca de la base del plano inclinado ascienda en lugar de bajar. Formemos un plano inclinado con una tablita y unos libros, tal como se ve en la figura 15.

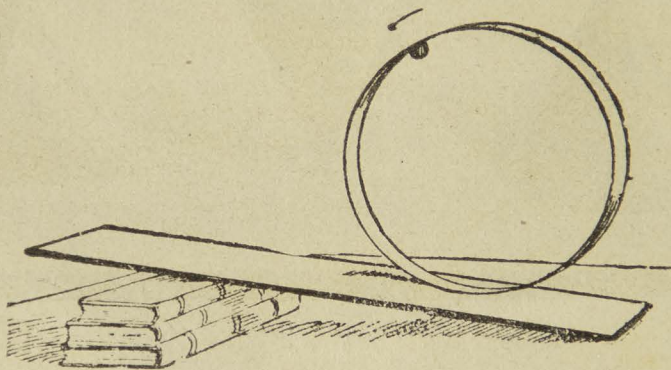


Fig. 15.—El aro asciende por el plano inclinado.

En seguida preparemos un aro de cartón al cual fijamos, por un punto de su superficie interior, un disco de plomo ó una moneda de plata, por medio de una gota de lacre. Colocando el aro, según se ve en la figura, con la moneda hacia la parte superior del plano, el centro de gravedad tiende á descender y entonces vemos al aro ascender hasta que la moneda queda apoyada sobre el pla-

no. De hecho, el aro ha subido; pero el centro de gravedad ha descendido, es decir, que el estado de equilibrio se efectuó cuando la energía potencial del sistema fué mínima.

Formemos, ahora, un doble plano inclinado, con dos bastones y dos libros (figura 16), y hagamos un doble cono de cartón. Los alumnos no tendrán dificultad en hacer el doble cono, puesto que en el programa de Cuarto año se les exige la construcción de sólidos de papel grueso. El centro de gravedad del doble cono está en el centro de la base común á los dos conos, esto no hay que olvidarlo antes de hacer el experimento. Colocamos el doble cono apoyado sobre los bastones, cerca del libro de menor altura, y una vez que lo dejamos libre, vemos que el doble cono comienza á ascender hasta que los vértices se apoyan sobre los bastones. El cono ha ascendi-

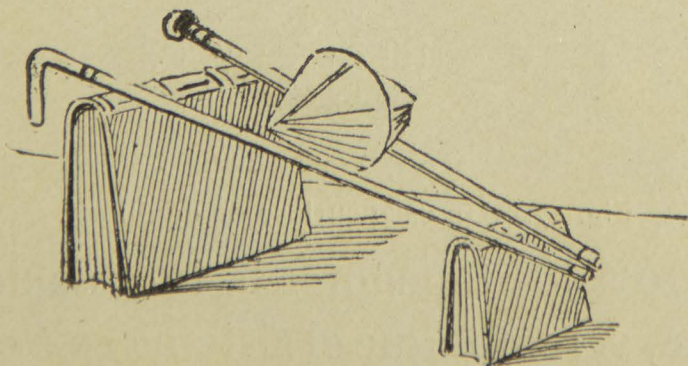


Fig. 16.—El doble cono asciende sobre los bastones.

do; pero en realidad el centro de gravedad ha

bajado, hasta llegar á la condición de equilibrio: que la energía potencial del sistema sea mínima.

Hagamos otro experimento relacionado también con el centro de gravedad. Atravesamos un corcho con un fístol, de los que usan las señoras en los sombreros, y si intentamos parar este aparato sobre una moneda de un centavo, colocada sobre la boca de una botella, no lo conseguiremos; pero vamos á bajar el centro de gravedad del sistema, por un procedimiento muy sencillo. Clavamos en el corcho y en zonas diametralmente opuestas, dos tenedores (figura 17), y una vez que he-

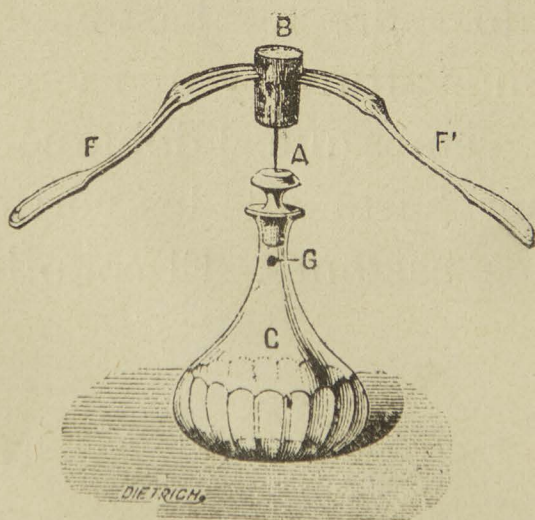


Fig. 17.—Un caso curioso de equilibrio.

mos dado á los tenedores la inclinación conveniente, veremos que el sistema está en equilibrio estable: la vertical bajada del punto de apoyo pasa por el centro de gravedad.

Todos conocemos el experimento que consiste en equilibrar un bastón en la punta de un dedo: el bastón tiene que estar vertical, para que la línea vertical bajada del centro de gravedad del bastón pase por el punto de apoyo. El equilibrio es inestable, y pa-



Fig. 18.—Un caso de equilibrio inestable,

ra conservarlo por algún tiempo, se necesita seguir con la mano los movimientos del bastón.

En algunos casos es fácil determinar inmediatamente el centro de gravedad de un cuerpo, sobre todo, cuando se trata de cuerpos homogéneos, de forma geométrica regular; así, por ejemplo, el centro de gravedad de un paralelepípedo se halla en el punto de intersección de las dos diagonales; el centro

de gravedad de un cilindro recto está en la mitad del eje, y el de una esfera en el centro mismo de la esfera. Puede determinarse experimentalmente el centro de gravedad de un cuerpo, suspendiéndolo de un hilo en dos posiciones sucesivas y el punto donde se encuentran las prolongaciones del hilo, será el centro de gravedad. El profesor hará que los alumnos corten figuras irregulares de cartón, las cuales tienen practicados, en dos vértices, pequeños agujeros para atar en ellos un hilo. Se suspende la figura de cartón por uno de sus puntos á un clavito fijo en el muro, y después, por medio de una regla y un lápiz, se traza sobre la figura una línea que sea prolongación del hilo; es claro que tendrá que ser una línea vertical. El centro de gravedad de la figura tendrá que estar sobre la raya que hemos trazado; pero no sabemos en qué punto. Para averiguarlo, colgamos la figura por otro punto y repetimos la operación anterior, es decir, que trazamos otra raya que sea prolongación de la nueva posición del hilo. El punto de intersección de las dos líneas será el centro de gravedad de la figura de cartón. Nos convencemos de ello poniendo un ganchito de alambre en el punto determinado, y suspendiendo la figura por



medio de otro hilo, vemos que toma la posición horizontal.

Un hombre de pie se encontrará en equilibrio tanto más estable cuanto que sus pies se hallen más separados. Si un hombre lleva un fardo, tendrá que inclinarse del lado opuesto al fardo, á fin de que la vertical que parte del centro de gravedad del sistema formado por el hombre y el fardo, caiga dentro de la base de sustentación. Un carro será tanto *menos* estable en su posición, cuanto más alto esté su centro de gravedad, porque entonces su energía potencial es máxima.



Fig. 19.—Diversas posiciones de equilibrio.

Arréglese en la mesa de experimentos un plano inclinado con una tabla y unos libros. Con anterioridad se habrá pedido á uno de los niños que lleve un carrito, de sus juguetes. Se carga el carro con distintos objetos y se le hace avanzar por encima del plano in-



Fig. 20.—El carro perderá su equilibrio.

clinado. Mientras la vertical bajada del centro de gravedad caiga sobre la base de sustentación, el carro no se volcará; pero si lo cargamos hasta gran altura ó si inclinamos exageradamente el plano, el carro se volcará.

---

## CAPITULO CUARTO.

---

### La masa de los cuerpos.

OBJETOS NECESARIOS PARA EL DESARROLLO DE ESTA LEC-  
CIÓN: Una balanza, una caja de pesas con múltiplos  
y submúltiplos del gramo; un trozo de azufre, un  
trozo de plomo, municiones, marmaja, unas pinzas,  
una copa, ácido sulfúrico, una pipeta.

De la precisión de las pesas y de las medi-  
das—ha dicho con mucha razón el Sr. J. Mo-  
leschot—depende el perfeccionamiento de la  
Química, de la Física y de la Fisiología. Las  
pesas y medidas son jueces inflexibles que  
predominan sobre todas las opiniones basa-  
das únicamente en observaciones imperfec-  
tas.

El sistema métrico ó sistema legal de pesas  
y medidas no posee más que una sola uni-  
dad fundamental que es el *metro*. Las uni-

dades de superficie, de volumen, de peso, son unidades derivadas del metro.

La unidad de superficie es el *metro cuadrado*.

La unidad de volumen es el *metro cúbico*. La unidad de peso es el peso de un litro de agua destilada á la temperatura de 4° centígrados, y ha recibido el nombre de *kilogramo*.

Estas diferentes unidades, sus múltiplos y submúltiplos, bastarán para todas las medidas de longitud, de superficie, de volumen y de peso; pero no bastan para todas las magnitudes consideradas en mecánica y en física; además, este sistema tiene el inconveniente de hacer depender ciertas unidades de la aceleración de la pesantez.

El Congreso de Electricistas, en 1881, adoptó un sistema de unidades absolutas, ó sistema C. G. S., tomado del nombre de las tres unidades fundamentales; *centímetro, gramo, segundo*.

Se ha escogido para unidades fundamentales, las unidades de *longitud, de masa y de tiempo*.

1° *Unidad de longitud*.—La unidad de longitud es el *centímetro*; es decir, la centésima parte del *metro-patrón*.

2º *Unidad de masa.*—La unidad de masa es la masa de *un centímetro cúbico de agua destilada á 4º centígrados*; se le designa con el nombre de *gramo-masa*.

3º *Unidad de tiempo.*—La unidad de tiempo es el *segundo* de tiempo medio, ó sea la 86,400ª parte del día solar medio.

El metro legal es la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre. En la época en que fué promulgada en Francia la ley que creó el sistema métrico, el conjunto de medidas geodésicas dió para el metro el valor de 3 pies 11 líneas 296, tomando por unidad la *toesa del Perú*, (\*) empleada por Delambre y Méchain para la medida del meridiano á fines del siglo XVIII.

Este es el valor que los legisladores han adoptado para la medida del metro legal, y es también la longitud del *metro-patrón*, depositado en los Archivos. Según las medidas geodésicas modernas, la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre tiene una longitud de 0<sup>m</sup>0002 mayor que el metro legal.

El *metro internacional* es una regla de platino iridiado cuya forma ha sido calculada

(1) Siete pies castellanos.

de tal manera, que presenta el máximo de resistencia á la flexión. La sección recta de la regla se parece á una letra X, y la longitud del metro está definida por la separación de dos rayas paralelas, trazadas cerca de las extremidades de la regla y en el plano que forma el fondo de la ranura mediana.

En el Departamento de pesas y medidas de México, dependiente del Ministerio de Fomento, se encuentra un metro prototipo, de platino iridiado, que fué adquirido por nuestro Gobierno por conducto de la Legación Mexicana en París.

En este capítulo voy á ocuparme de la determinación de la masa de los cuerpos. Se da el nombre de masa á la cantidad de materia que un cuerpo contiene. Si llenamos una botella de agua, y después la llenamos de ácido sulfúrico, y después la llenamos de mercurio, notaremos que cuando está llena de ácido sulfúrico pesa más que cuando está llena de agua, y que cuando está llena de mercurio pesa más que cuando está llena de ácido sulfúrico, y esto en igualdad de volumen. Entonces decimos que el ácido sulfúrico tiene mayor masa que el agua, y el mercurio tiene mayor masa que el ácido sulfúrico. Si pesamos un decímetro cúbico de madera y un

decímetro cúbico de fierro, éste pesa más que el de madera; decimos, entonces, que el fierro tiene mayor masa que la madera.

Aplicando á la consideración de la masa la noción de aceleración que dimos en el Capítulo III, diremos que dos cuerpos tendrán la misma masa, cuando solicitados por la misma fuerza, adquieren en el mismo tiempo la misma aceleración.

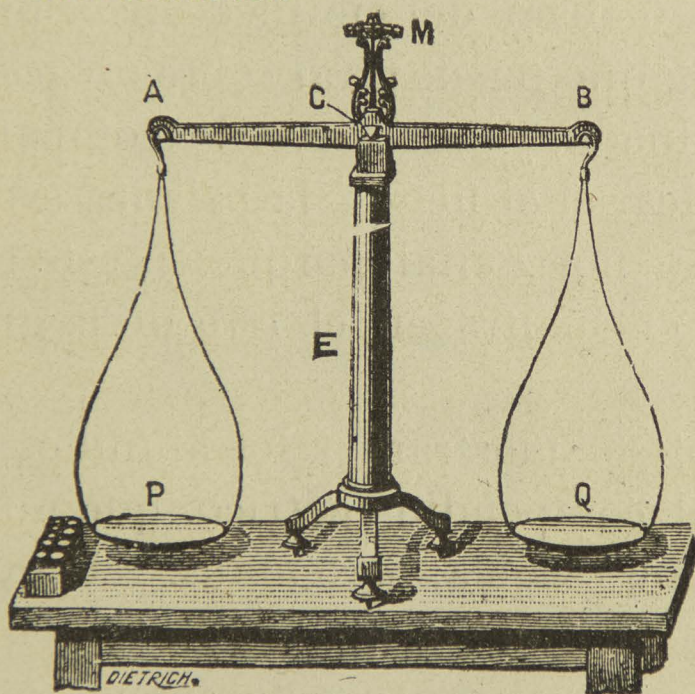


Fig. 21.—La balanza ordinaria.

El instrumento que nos permite comprobar la igualdad de peso entre dos cuerpos, y por lo tanto la igualdad de masa, es la balanza. Pesar un cuerpo es *determinar la combinación de múltiplos y submúltiplos del gramo, cuya masa total iguala la masa del cuerpo propuesto.*

La balanza se compone de una barra llamada fiel, cuya forma es de rombo alargado, y que es movable al rededor de un eje. En las extremidades de la barra se hallan suspendidos dos platillos del mismo peso. El fiel lleva en su parte media un prisma triangular de acero, cuya arista inferior C descansa sobre una superficie de ágata, para disminuir en cuanto sea posible el frotamiento.

Arriba ó abajo del eje de suspensión hay una aguja que puede girar sobre un pequeño arco graduado, y que sirve de comparación para indicar si el fiel de la balanza está perfectamente horizontal; porque en este caso la aguja se encuentra en el *ceró* de la graduación.

El profesor mostrará á los alumnos la balanza del compendio métrico, que no falta en ninguna escuela; pero en caso de que falte, puede fácilmente conseguirse; es un instrumento que se usa constantemente en las casas.

Una balanza debe obedecer á condiciones de *exactitud*, *precisión* y *sensibilidad*. Las condiciones absolutamente necesarias para una buena pesada, son las de exactitud; pero bueno es que una balanza tenga también condiciones de precisión y de sensibilidad.



Las condiciones de exactitud son:

1<sup>a</sup> *La rigidez del fiel.*

2<sup>a</sup> *La buena suspensión de los platillos, la finura de las aristas y su paralelismo perfecto.*

Precisamente para que un fiel sea rígido se le da la forma de un rombo alargado, forma que ofrece una gran resistencia á la flexión, y es claro que hay para cada balanza un límite de carga, más allá del cual el instrumento no puede ser utilizado. En una balanza de una tienda ó de una carnicería, podemos impunemente pesar dos ó tres kilos y aun más de un cuerpo; pero no nos atreveríamos á poner una pesa de 500 gramos en una balanza de precisión, de las usadas por los farmacéuticos.

Se convence uno de la buena suspensión de los platillos, así como de la finura y paralelismo de las aristas, viendo que la posición de equilibrio de la balanza no cambia cuando se desaloja un cuerpo sobre un platillo ó cuando se desaloja el estribo de los platillos sobre los prismas que los sostienen.

Las condiciones de precisión son:

1<sup>a</sup> *Las tres aristas han de estar en el mismo plano.*

2<sup>a</sup> *Las tres aristas han de estar equidistantes.*

Para convencerse de que una balanza obedece á estas condiciones, se comienza por observar la posición de la balanza cuando está en equilibrio. Se coloca un cuerpo en un platillo y se ponen pesos en el otro platillo hasta que la balanza recobre su primitiva posición de equilibrio. Si en seguida ponemos el cuerpo en el platillo en que estaban los pesos y éstos en el platillo en que estaba el cuerpo, y subsiste el equilibrio, podemos decir que la balanza es precisa.

Cuando una balanza es precisa, puede uno determinar el peso de un cuerpo por simple pesada; pero á pesar del cuidado que tienen los constructores para dar á una balanza las condiciones de precisión, no lo consiguen de una manera absoluta, y por lo tanto, para una pesada de precisión, como las que se hacen en Física, hay que recurrir siempre á los métodos de doble pesada, métodos que indicaremos después.

Las condiciones de sensibilidad en una balanza, son las siguientes:

- 1º *El fiel ha de ser bastante largo.*
- 2º *El fiel ha de ser muy ligero.*
- 3º *La distancia del centro de gravedad del sistema formado por el fiel y sus platillos, al eje de suspensión, ha de ser muy pequeña.*

Si en un platillo de una balanza colocamos un peso de un miligramo y el fiel se desvía notablemente, decimos que la balanza es sensible al miligramo. Una balanza es tanto más sensible, cuanto que para una misma sobrecarga, el fiel forma un ángulo mayor con la posición horizontal. Podemos llamar sensibilidad de una balanza, la relación que existe entre el ángulo de desviación del fiel y el valor de la sobrecarga.

Toda balanza va acompañada de una caja de masas ó pesos graduados, con los que es posible verificar una pesada, miligramo á miligramo, hasta un número muy grande de gramos. Del gramo para arriba las masas son de latón y tienen la forma de cilindros con una perillita para poderlas manejar, y las fracciones de gramo son generalmente laminitas cuadradas, muy delgadas, de latón ó de platino.

Supongamos una caja de pesas que comience con una masa de 100 gramos. He aquí cómo está formada la serie:

1	masa de.....	100	gramos.
1	„ „ .....	50	„
1	„ „ .....	20	„
1	„ „ .....	10	„
1	„ „ .....	10	„

1	masa de.....	5	gramos.
1	„ „ .....	2	„
1	„ „ .....	2	„
1	„ „ .....	1	„

Suma total... 200 gramos.

Con esta caja de pesos graduados podíamos pesar de 200 gramos hasta 1 gramo; para masas menores habrá que recurrir á esta otra serie:

1	masa de.....	5	decigramos.
1	„ „ .....	2	„
1	„ „ .....	2	„
1	„ „ .....	1	„
1	„ „ .....	5	centigramos.
1	„ „ .....	2	„
1	„ „ .....	2	„
1	„ „ .....	1	„
1	„ „ .....	5	miligramos.
1	„ „ .....	2	„
1	„ „ .....	2	„
1	„ „ .....	1	„

Ya con esta serie podíamos pesar hasta 1 miligramo.

Ejercitemos, ahora, á los alumnos, y esto es del mayor interés, en la verificación de pesa-

das. Colocada la balanza sobre una sólida mesa que se apoye sobre un piso que no esté sujeto á vibraciones, se sienta la persona que va á hacer las pesadas, frente á la mesa. Además de la balanza, la caja de pesas y los objetos que se trata de pesar, debe haber tres frascos con municiones de distinto diámetro, una caja con marmaja, unas pinzas y unas cucharitas de madera ó de hueso.

El alumno debe fijarse en la división frente á la cual se detiene la aguja del fiel cuando no hay ningún cuerpo colocado en los platillos, con objeto de que frente á esta misma división se detenga la aguja en las distintas manipulaciones.

En uno de los platillos de la balanza, colocamos el cuerpo que se trata de pesar, y en el otro platillo colocamos municiones y marmaja, hasta que la aguja del fiel venga á colocarse frente á la división de referencia.

El objeto que llevamos al tener municiones de distintos gruesos, es que muchas veces una sola munición añadida en el platillo correspondiente, resulta muy pesada para restablecer el equilibrio; entonces recurrimos á municiones más pequeñas, y si aun éstas resultan muy pesadas, se recurre á la marmaja. Esta primera operación se llama hacer la

*tara*. En seguida se quita del platillo el cuerpo que se trata de pesar y en su lugar vamos á poner masas graduadas. Esta segunda operación hay que hacerla con mucho orden y de este modo se llega pronto al resultado final. Supongamos que comenzamos por colocar un peso de 50 gramos y que el platillo se inclinó del lado de esta masa. Entonces quitamos el peso de 50 gramos y ponemos el de 20. Se inclina la balanza del lado de la tara, lo que nos hace comprender que 20 gramos es poco. Entonces decimos que el peso del cuerpo está comprendido entre 50 gramos y 20 gramos. Añadimos una masa de 10 gramos; si todavía es poco, añadimos otra masa de 10 gramos, y así seguimos con la de 5 gramos y las dos de 2 gramos ó una de 2 y una de 1 gramo, hasta restablecer el equilibrio primitivo. Si la masa de 1 gramo resulta todavía grande, se emplean las fracciones de gramo, comenzando por los cinco decigramos, los dos de 2, uno de 2 y uno de 1, ó por fin, nada más el de 1. Este procedimiento de doble pesada, fué ideado por el Sr. Borda.

Hagamos uso de otro procedimiento de doble pesada, debido á Gauss. En uno de los platillos de la balanza, ponemos el cuerpo que se trata de pesar, y en el otro colocamos ma-

sas conocidas hasta que la aguja del fiel se detenga frente á la división de referencia. Las masas grandes pueden tomarse con los dedos índice y pulgar, para ser colocadas en el platillo; pero las masas pequeñas, sobre todo, las fracciones de gramo, deben manejarse con las pinzas. La segunda operación del procedimiento de Gauss, consiste en cambiar al otro platillo el cuerpo que se trata de pesar, y poner masas graduadas en el platillo donde antes estaba el cuerpo. Si la balanza fuera un modelo de perfección, claro es que las mismas masas que habíamos empleado en la primera pesada, tendríamos que emplear ahora; pero esto nunca sucede, sino que tenemos que cambiar ligeramente las masas. Llamemos  $m$  á las primeras masas y  $m'$  á las segundas. La masa del cuerpo que se trata de pesar, estará dada por la raíz cuadrada del producto de  $m$  y  $m'$ :  $M = \sqrt{mm'}$ . Es, pues, una media proporcional entre las dos masas obtenidas en las dos pesadas.

Con frecuencia se presenta en los laboratorios de Física y de Química, el caso de pesar un líquido, y entonces hay que recurrir á un procedimiento especial que nos ahorra tiempo y que nos permite obtener una buena pesada. En uno de los platillos se coloca

la copa ó vaso en que vamos á verter el líquido, y junto á la copa ó vaso se pone una masa graduada mayor que el peso del líquido que la copa vaya á contener. En el otro platillo taramos con municiones ó marmaja. Supongamos que deseamos pesar 65 gramos de ácido sulfúrico; entonces coloraríamos una masa de 50 y una de 20 junto á la copa vacía y haríamos la tara. En seguida quitaríamos la masa de 50 y la de 20 y en su lugar colocaríamos una masa de 5 gramos. Si primero teníamos una masa total de 70 gramos y ahora tenemos nada más una masa de 5 gramos, faltan 65 gramos para restablecer el equilibrio. Vamos poniendo poco á poco el ácido sulfúrico en la copa, hasta que el equilibrio se restablezca. En caso de que haya un exceso de ácido, se va sacando el líquido de la copa por medio de una pipeta, aparato que nosotros podemos construir, según explicaré en el capítulo relativo de la presión atmosférica.

Se nos puede presentar ahora un caso distinto. Dada determinada cantidad de líquido, saber lo que pesa. Ponemos, como antes, la copa vacía sobre un platillo de la balanza, y junto, una masa mayor de lo que calculemos que puede pesar el líquido. En el otro



platillo hacemos la tara con municiones y marmaja. En seguida quitamos la masa graduada, vertemos en la copa el líquido cuyo peso tratamos de averiguar, y después añadimos junto á la copa masas graduadas, hasta que se restablezca el equilibrio. La diferencia entre la masa que pusimos primero y la que pusimos después, nos dará el peso del líquido por el procedimiento de la doble pesada.

---

Este capítulo es del mayor interés y los Señores Profesores deberán cuidar de que todos los alumnos se ejerciten en la ejecución de pesadas. La operación de pesar parece cosa muy sencilla; todo el mundo cree que sabe pesar, y sin embargo, pocos son los que pueden hacer correctamente una buena pesada. Con práctica frecuente, pronto aprenderán los alumnos á pesar bien por el procedimiento de doble pesada.

---

## CAPITULO QUINTO.

---

### Hidrostática.

**MATERIAL NECESARIO PARA EL DESARROLLO DE ESTA LECCIÓN:** Una copa, mercurio, agua salada, aceite, alcohol colorido, cinco bombillas de lámpara de petróleo, tapones de corcho y de goma, tubos de cristal, un nivel de burbuja, algunos libros, un tubo en U, un tubo de goma, un embudo, una lámpara de alcohol, un bote de hoja de lata, dos pelotas de goma, una cuba con agua, un disco de zinc ó de lata, lacre, seda, un vaso grande, una pequeña maceta de porcelana, una tela elástica, una masa de 1 kilo, un huevo, un cañón de pluma de ave, papel de estaño, dos cilindros de hoja de lata, uno macizo y otro hueco; unas balanzas con pesas y tara, una botella, un alfiler, cartón Brístol, un sifón de agua gaseosa, algunas pasas, un trozo de plomo, un frasco esmerilado de boca ancha, un disco de cristal, un termómetro.

En el capítulo primero de este libro vimos que los líquidos son cuerpos que tienen volumen constante, pero que su forma depende de la forma del vaso en que están conte-

nidos; observamos, además, que la superficie libre de un líquido es plana y horizontal. Si vamos inclinando poco á poco un vaso lleno de agua hasta la mitad, veremos que la superficie libre del líquido conserva su horizontalidad, y si seguimos inclinando el vaso, el líquido se derrama al exterior.

Pongamos en el fondo de una copa una corta cantidad de mercurio, en seguida añadimos agua salada, después aceite de comer y al último alcohol teñido con fushina. Los líquidos mencionados permanecerán en equilibrio en el orden en que los hemos mencionado; primero el mercurio, después el agua salada, después el aceite y al último el alcohol. Notaremos que la superficie libre del alcohol es plana y horizontal y que las superficies de separación de los distintos líquidos, son también planos horizontales. Así pues, los líquidos heterogéneos se colocan unos sobre otros en el orden de sus masas específicas, quedando los más pesados en la parte inferior y el menos pesado hasta la parte superior; es decir, que el sistema estará en equilibrio cuando su energía potencial sea mínima. Puede agitarse la copa y, á pesar de esto, pasados algunos instantes, los líquidos volverán á quedar en el orden mencionado.

Un aparato de esta clase se conoce en Física con el nombre de “frasco de los cuatro elementos”.

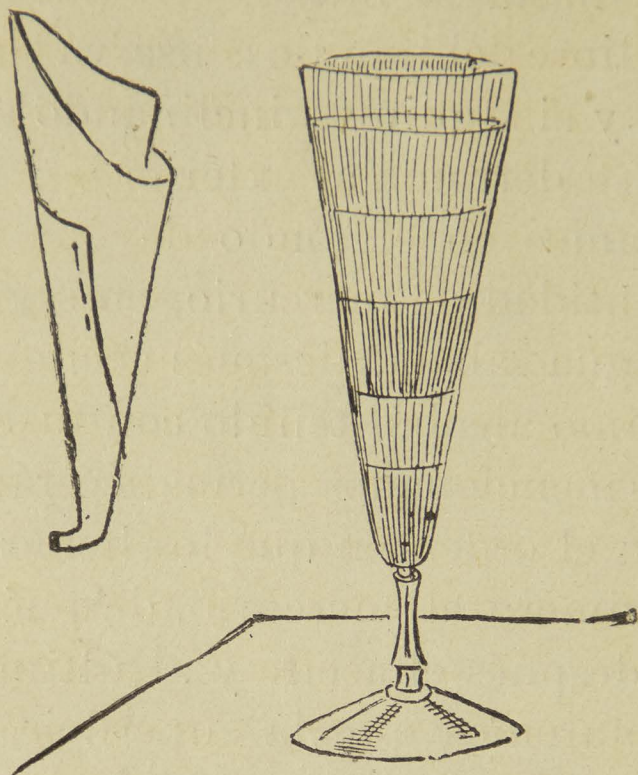


Fig. 22.—Frasco de los cuatro elementos.

Hagamos unos vasos comunicantes de un modo muy sencillo y económico. Empleamos dos bombillas de lámpara de petróleo, dos tapones de goma ó de corcho parafinado, y un tubo de cristal doblemente encorvado en ángulo recto. Los Señores Profesores deben dedicar una ó dos clases á ejercitar á los alumnos en doblar tubos de vidrio con la lámpara de alcohol; cuando ya hayan aprendido

esta sencilla operación, se les enseñará á estirar tubos en punta. Son estas manipulaciones muy fáciles y que los alumnos ejecutan con sumo agrado.

En el excelente Liceo Fournier, donde doy hace muchos años la clase de Física y Química, todos los alumnos han construido sus lámparas de alcohol, tal como lo indico en la página 12 de este libro, y los he ejercitado en las manipulaciones arriba expresadas.

Una vez doblado el tubo doblemente en ángulo recto, se introducen las extremidades en los taladros de los tapones de goma ó corcho y estos tapones se aprietan en las bocas de las bombillas. De este modo hemos construido unos vasos comunicantes, cuyo valor no pasa de 90 centavos, mientras que unos vasos

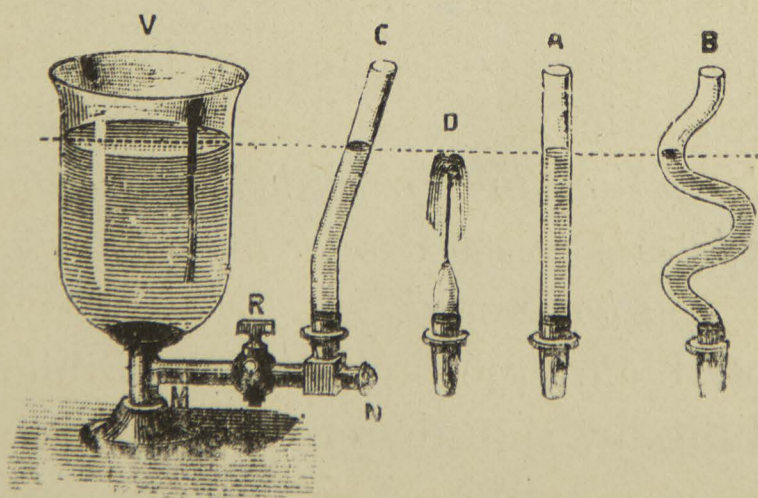


Fig. 23.—Vasos comunicantes de laboratorio.

comunicantes, como los indicados en el gra.

bado, valen 10 ó 12 pesos. Si ponemos agua en una de las bombillas vemos que el líquido va pasando por el tubo de comunicación, y una vez que el líquido está en reposo, las dos superficies libres se encuentran en un mismo plano horizontal. Es conveniente emplear en todos los experimentos de Hidrostática agua ligeramente alcoholizada y teñida con fushina, para que los alumnos puedan distinguir los niveles. Para convencerse de que los niveles en los vasos comunicantes están en un mismo plano horizontal se sostiene, por medio de libros, una regla que quede exactamente á la altura de los niveles y empleando un nivel de burbuja de aire—que describiremos más adelante—nos convencemos de la horizontalidad de la regla y por consiguiente de los niveles. Este resultado no es más que la consecuencia de una ley de la Hidrostática:

—*En un líquido en equilibrio la presión tiene que ser la misma sobre todos los puntos de una misma capa horizontal.*

Ahora bien, ¿qué presión está recibiendo el nivel libre del líquido en uno de los vasos? La presión atmosférica. Y ¿qué presión recibe la superficie libre del otro vaso? También la presión del aire; luego la dos superficies,

que pertenecen á una misma capa, tienen que estar en un plano horizontal.

Hemos mencionado ya una ley de la Hidrostática. Diremos, ahora, que la *Hidrostática es la parte de la Física que se ocupa de las leyes del equilibrio de los líquidos y de las presiones que éstos ejercen en su propia masa y sobre las paredes de los vasos que los contienen.*

En el experimento anterior colocamos en los vasos comunicantes un líquido homogéneo. Doblemos con la lámpara de alcohol un tubo en forma de U, operación muy sencilla, y pongamos en el tubo un poco de mercurio; después añadimos agua colorida y notamos que el nivel del agua colorida es muy superior al del mercurio. Si con ayuda de un doble decímetro medimos la altura de la columna de agua y la altura de la columna de mercurio que le hace equilibrio, notaremos que la de agua es trece veces mayor que la de mercurio. Entonces establecemos la siguiente ley: *Si en vasos comunicantes se ponen líquidos heterogéneos, las alturas de las columnas líquidas están en razón inversa de las masas específicas.*

Es decir que al líquido más denso le corresponde menor altura y al líquido menos denso le corresponde mayor altura.

Construyamos otros vasos comunicantes de la siguiente manera: En una de las extremidades de un tubo de goma de 50 centímetros de longitud introducimos un tubo de cristal

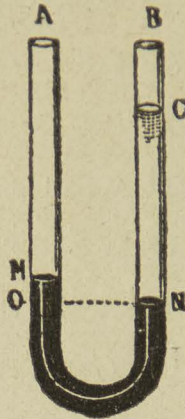


Fig. 24.—Las alturas de líquidos heterogéneos están en razón inversa de las masas específicas.

de 25 centímetros de largo, y en la otra extremidad del tubo de goma ponemos un embudo de cristal ó de metal. Si doblamos el tubo de goma en forma de U y vertemos agua por el embudo, el nivel en el tubo de cristal y en el embudo quedan en el mismo plano horizontal; pero si vamos elevando el embudo, el líquido sube en el tubo de cristal hasta que se derrama. Vaciamos el agua y sustituimos el tubo de cristal por otro terminado en punta. Si volvemos á poner agua en estos vasos comunicantes y subimos el embudo, saltará por la punta un fino chorro de agua.



Teóricamente la altura de este chorro debía ser igual á la altura del agua en el embudo, y si prácticamente no resulta así es á causa de la resistencia del aire y de los frotamientos del líquido contra las paredes de los tubos. El Sr. Profesor debe aprovecharse de este experimento para explicar á los alumnos los juegos de agua de las fuentes y para establecer la teoría de los pozos artesianos.

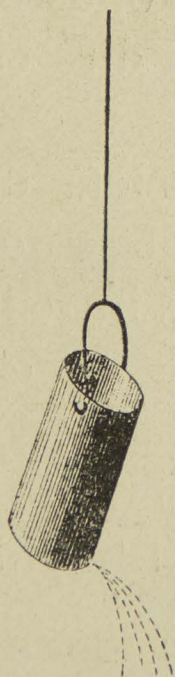


Fig. 25.—Los líquidos ejercen presiones sobre las paredes de los vasos que los contienen.

Pongamos líquido en un vaso cilíndrico de metal, por ejemplo en un bote viejo de conservas, al cual le hemos practicado un peque-

ño agujero cerca de la base, y le hemos hecho una asa con un pedazo de alambre. El líquido se escapa por la abertura con tanta mayor fuerza cuanto mayor es la altura del líquido; esto indica que el líquido está ejerciendo una presión sobre las paredes del vaso. Pero tenemos que notar otro fenómeno importante y es que el vaso se inclina del lado opuesto al escurrimiento; esto se debe á que como el líquido ejerce presiones en todos sentidos, la presión en la parte opuesta al agujero solicita al líquido en esa dirección y lo hace inclinarse.

Tomemos una pelota de goma y le hacemos un agujero arriba y dos lateralmente. En el agujero de arriba introducimos un tubo de cristal terminado en un embudo. Ya hemos indicado que esto puede hacerse uniendo el tubo recto con el embudo por medio de un tubito de goma. El líquido se escurrirá por los dos agujeros con la misma intensidad. Repitamos el experimento con otra pelota en la cual hayamos practicado un gran número de agujeros y se repetirá el mismo fenómeno.

Pascal, celebre geómetra francés, enunció el siguiente principio, conocido con el nombre de *principio de Pascal*:

—*Los líquidos transmiten en todos sentidos y*

*con igual intensidad las presiones ejercidas en un punto cualquiera de su masa.*

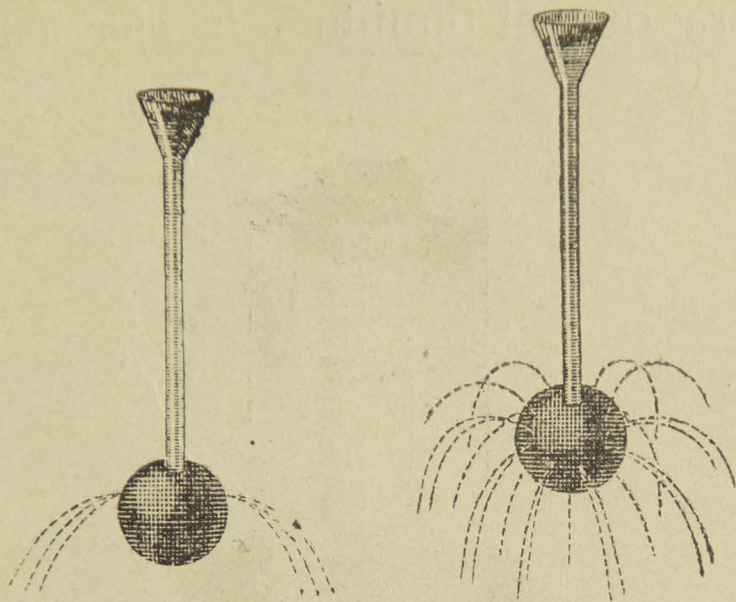


Fig. 26.—El líquido se escapa por los agujeros.

Las presiones que los líquidos ejercen tanto en su misma masa como sobre las paredes de los vasos que los contienen pueden ser de tres clases: presiones de abajo arriba, presiones laterales y presiones de arriba abajo.

Hagamos el siguiente experimento: De un pedazo de hoja de lata cortamos un círculo de diámetro algo mayor que la base de una bombilla de lámpara de petróleo y en el centro del círculo fijamos con un poco de lacre un anillito de alambre delgado, en el cual atamos una hebra de seda fina. Introducimos el hilo en el tubo de lámpara y cui-

dando de restirar el hilo metemos todo dentro de un vaso con agua. Soltamos el hilo y el disco de hoja de lata no cae, lo que demuestra que el líquido está ejerciendo un

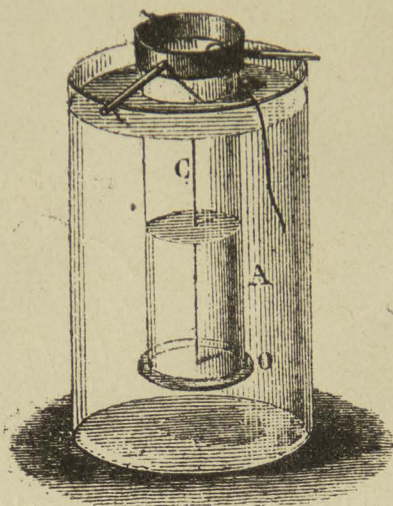


Fig. 27.—La presión de abajo arriba.

empuje de abajo arriba. Midamos ahora el valor de ese empuje. Comenzamos á verter agua por dentro de la bombilla y notamos que en el momento en que el nivel dentro de la bombilla se iguala con el nivel del líquido en el vaso, el obturador se desprende y cae en el fondo del vaso. Entonces, decimos que el empuje de abajo arriba en una superficie dada de un líquido es igual con el peso de una columna de agua que tiene por base la superficie considerada y por altura la distan-

cia que hay de esa superficie al nivel libre del líquido.

Con el experimento á que se refiere la figura 25 ya hemos demostrado la existencia de la presión lateral; pero podemos recurrir á otros experimentos. Hagamos uso de una caja cuadrangular, por ejemplo de las que se usan para guardar naipes franceses y practiquemos dos agujeritos en las caras mayores de la caja: uno á la derecha y otro á la iz-

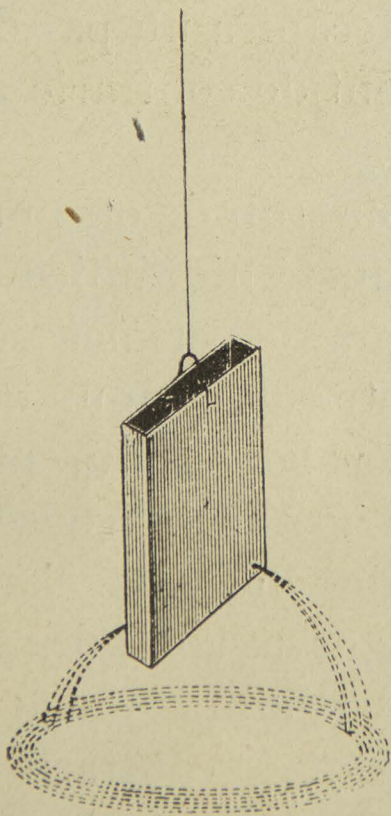


Fig. 28.—Las presiones laterales.

quierda. Suspendemos la caja por medio de

un hilo sin torsión, llenamos la caja con agua, y al escaparse los dos chorritos, la caja comienza á girar en sentido contrario á la dirección de los chorros. Este fenómeno se funda en la presión que ejerce el líquido sobre las paredes del vaso.

El líquido que se escapa por el agujero ejerce también una presión sobre la parte de pared que se encuentra enfrente de la abertura y solicita la caja en esa dirección. Como lo mismo pasa del otro lado, se produce lo que se llama en Mecánica un par de fuerzas y la caja gira en sentido contrario á la dirección de los chorros.

Podemos construir de otro modo muy sencillo un torniquete hidráulico con una bombilla de lámpara de petróleo suspendida por un hilo y obturada con un tapón de goma con dos taladros por los que pasan dos tubitos de cristal encorvados en sentido contrario y terminados en punta. Tan pronto como llenamos de agua la bombilla se escapan dos chorritos por las puntas y el aparato comienza á girar en sentido contrario á la dirección de los chorros.

Para demostrar en los gabinetes de Física que la presión ejercida por los líquidos en el fondo de los vasos es independiente de la for-

ma de los vasos, y sólo depende de la densidad del líquido, de la altura del líquido y de

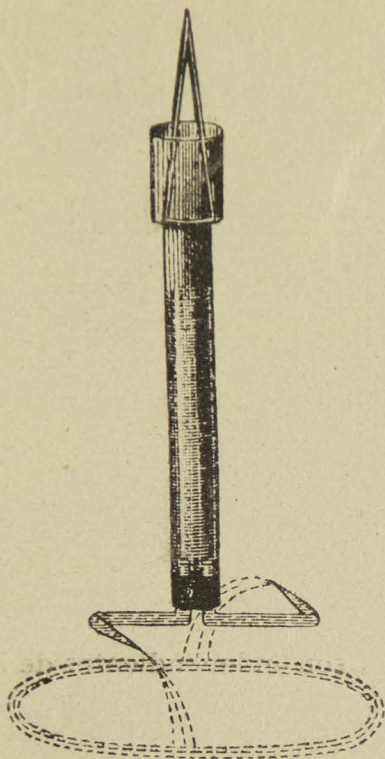


Fig. 29.—El torniquete hidráulico.

la superficie considerada, se hace uso de aparatos costosos, como el de Pascal, modificado por Masson, ó el de Haldat. Nosotros vamos á hacer la demostración con un aparato muy sencillo, de muy poco costo. Busquemos en un establecimiento de alumbrado tres bombillas de distintas formas, pero cuyas bases sean enteramente iguales, es decir que sus diámetros sean idénticos. Paramos las tres bombillas sobre la mesa y exactamente á la misma altura, hacemos en las tres bombillas

una señal por medio de una lima triangular. En seguida empleando el obturador de hoja

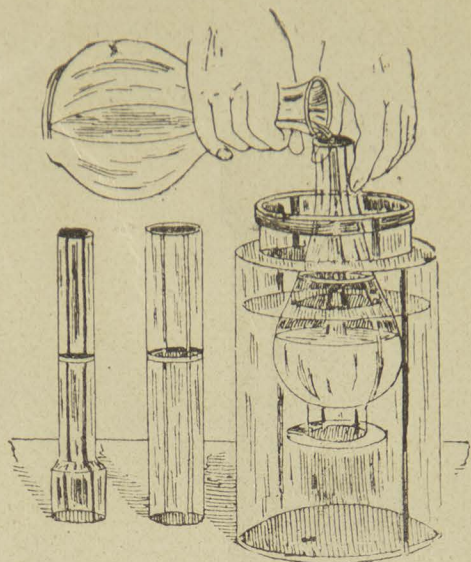


Fig. 30.—Las presiones son independientes de la forma de los vasos.

de lata que ya empleamos en otro experimento introducimos una de las bombillas en un vaso con agua hasta la señal marcada y vamos poniendo agua dentro de la bombilla hasta que el obturador se desprenda. Según ya vimos antes, esto sucederá cuando se igualen los niveles. Después empleamos otra bombilla y la introducimos en el vaso con agua hasta la señal marcada. A esta bombilla le cabe distinta cantidad de agua que á la anterior y sin embargo al llegar el agua á la señal el obturador se desprende. Lo mismo sucederá al emplear la tercera bombilla.



Recordemos el enunciado del principio de Pascal:

—*Los líquidos transmiten en todos sentidos y con igual intensidad las presiones ejercidas en un punto cualquiera de su masa.*

Explicuemos este principio con una figura teórica y después procedamos á una verificación experimental.

Supongamos dos vasos comunicantes de igual superficie. Ya sabemos que un líquido homogéneo alcanzará igual altura en los dos vasos y si ejercemos una presión de 2 kilogramos en una de las superficies tendríamos que ejercer una presión igual en el otro nivel para que el líquido no se desalojara. Pero ahora supongamos que los dos vasos no son del mismo diámetro sino que la relación sea, por ejemplo, de 1 á 4. Es claro que si la relación de los diámetros es de 1 á 4, la relación de las superficies será de 1 á 16. Imaginemos que sobre la superficie del líquido en las dos ramas hay unos émbolos del mismo peso; poniendo una pesa de un kilo sobre el émbolo pequeño; tendremos que poner pesas por valor de 16 kilos sobre el émbolo grande para que subsista el equilibrio; luego no solamente las presiones ejercidas en los líquidos se transmiten en todos sentidos sino con igual

intensidad; es decir que la intensidad es proporcional á la superficie; si la superficie es doble, el empuje es doble; si la superficie es triple, el empuje es triple, etc., etc.

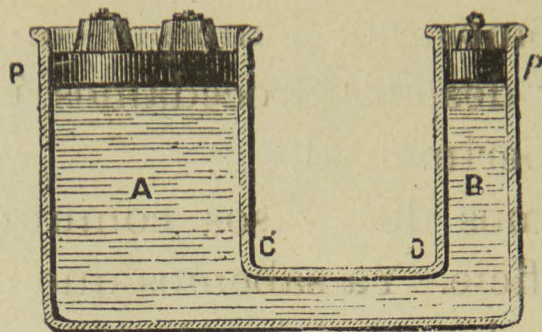


Fig. 31.—El empuje es proporcional á la superficie.

La industria ha sabido aplicar el principio de Pascal en un aparato llamado prensa hidráulica, por medio de la cual es posible ejercer grandes presiones con débiles esfuerzos. Para dar una idea á los alumnos del funcionamiento de la prensa hidráulica, hagamos uso de un vaso de porcelana que tenga un taladro en el fondo; nos podía servir muy bien una pequeña maceta de porcelana ó de barro vidriado. En el taladro de la maceta ponemos un tapón de goma atravesado por un tubo de cristal, doblemente encorvado en ángulo recto, una de cuyas ramas es mucho más grande que la otra. Esta rama grande termina en un embudo.

Se comienza por llenar de agua el vaso de porcelana, y según ya sabemos, el nivel llega hasta la misma altura en el tubo de vidrio.

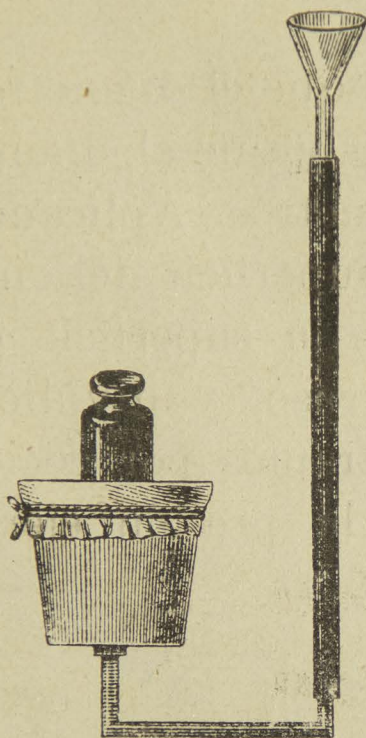


Fig. 32.—Aparato para dar una idea de la prensa hidráulica.

Después restiramos una membrana elástica en la boca del vaso y la atamos muy bien contra las paredes del mismo. El amarre debe estar bien hecho para que el líquido no pueda escaparse en el momento de hacer el experimento. Colocamos una pesa de 1 kilo sobre la membrana, ésta se deprime y el líquido sube en el tubo de vidrio; pero basta llenar de agua el tubo para ver á la membrana adquirir su posesión primitiva, elevando

consigo al peso de 1 kilo. Vemos, pues, que una columna de agua de muy pequeña base fué suficiente para elevar al peso de 1 kilo, debido á la diferencia entre la superficie del tubo y del vaso.

Supongamos que el diámetro del tubo sea de 4 milímetros y que el diámetro del vaso sea de 60 milímetros. Aplicando la conocida fórmula de la superficie del círculo, obtenemos el valor de la superficie de la sección del tubo y del vaso, y dividiendo ésta por aquella encontramos por cociente 225. De modo que si la presión ejercida sobre el

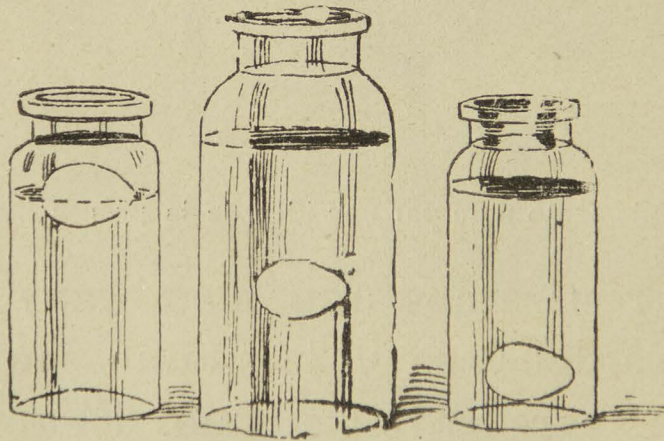


Fig. 33.—Tres casos de equilibrio.

agua del tubo es de 1 gramo, la presión sobre la superficie del vaso será de 225 gramos. Deducimos de aquí que para elevar el peso de un kilo se necesitará poner en el tubo delgado poco más de 4 gramos de agua,

Preparemos tres vasos: uno con agua limpia, otro con agua muy salada y otro vacío. Aunque generalmente decimos que un vaso está vacío cuando no contiene ningún líquido, ya sabemos que en realidad no está vacío sino lleno de aire. Soltamos dentro del vaso con agua limpia un huevo fresco de gallina; el huevo se precipita al fondo del vaso. En seguida sacamos el huevo del agua limpia y lo soltamos en el agua salada; el huevo no se va al fondo sino que flota. Por último, ponemos en el vaso lleno de aire, agua salada hasta la mitad, en seguida ponemos el huevo, y si vamos añadiendo poco á poco agua limpia notaremos que el huevo comienza á sumirse hasta que queda en equilibrio en el seno de la masa líquida. Examinemos lo que ha ocurrido en estos tres experimentos. Hemos demostrado ya que los líquidos ejercen empujes de abajo arriba, y al mismo tiempo sabemos que la fuerza de gravedad solicita á los cuerpos hacia abajo. De manera que tenemos que considerar dos fuerzas obrando en sentido contrario: el peso del cuerpo y el empuje del líquido. Se comprende fácilmente que si el cuerpo pesa más que el líquido desalojado, se precipitará al fondo, que es el caso del huevo en el agua limpia. Si el cuerpo pesa me-

nos que el peso del líquido desalojado, el cuerpo flota, que es lo que pasa con el huevo en el agua salada; y si el cuerpo pesa lo mismo que el líquido desalojado, el cuerpo permanecerá en equilibrio en el seno de la masa líquida, que es lo que pasa con el huevo en el agua poco salada.

Estos tres casos de equilibrio de un sólido en un líquido se verifican en un aparato llamado *ludión* ó el *diablillo de Descartes*. Veamos la manera de construirlo. Se corta un tubito cilíndrico de una pluma para los dientes y se cierra en las dos extremidades con una gota de lacre. Después con ayuda de una aguja muy caliente se practica un pequeño agujero en uno de los tapones de lacre. Luego se cuelga del tubo de pluma una figura de papel de estaño ó de lata, de tal manera que la pluma quede suficientemente lastrada y permanezca vertical en el agua. Se hace flotar el tubo dentro de una botella enteramente llena de agua. En seguida se pone un tapón que aprieta bien y observamos que al ejercer presión sobre el corcho, la figurita desciende hasta el fondo de la botella. Si después aflojamos el corcho, la figurita asciende. Cuando apretamos el tapón el agua resiste á la compresión y penetra dentro del

tubito por la pequeña abertura practicada en el tapón de lacre. Cuando aflojamos el corcho el aire comprimido en el interior del tubito expulsa al agua y la figura asciende.

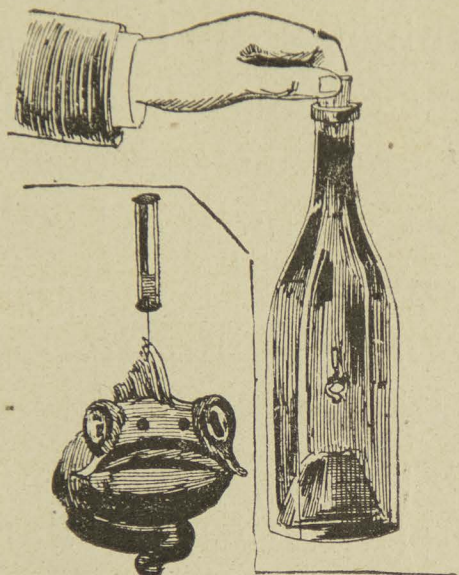


Fig. 34.—Un ludión barato.

Arquímedes enunció, por primera vez, el siguiente principio:

—*Todo cuerpo sumergido en un líquido pierde una parte de su peso igual al peso del líquido desalojado.*

Este principio también lo podemos enunciar diciendo:

—*Todo cuerpo sumergido en un líquido sufre un empuje de abajo arriba igual al peso del líquido desalojado,*

O bien;

—*El conjunto de todos los empujes parciales que un líquido en equilibrio ejerce sobre la superficie de un cuerpo sumergido en dicho líquido, admite una resultante única, igual y directamente opuesta al peso del líquido desalojado.*

En los gabinetes de Física se demuestra este principio con ayuda de dos cilindros: uno hueco y uno macizo, construídos de tal manera que el volumen del cilindro macizo sea enteramente igual á la capacidad del cilindro hueco. Estos cilindros los puede construir un hojalatero inteligente y no cuestan arriba de cincuenta centavos. Si carecemos de balanza hidrostática, mandamos soldar en los platillos de una balanza común y corriente de cadenas, dos ganchitos del mismo peso. De uno de los ganchos se suspenden los cilindros: quedando arriba el cilindro hueco y abajo el macizo; en el otro platillo se hace equilibrio con municiones y marmaja. En seguida se introduce el cilindro macizo en un vaso con agua y se nota que la balanza se desequilibra en favor de la tara, pero basta llenar de agua el cilindro hueco para que se restablezca el equilibrio. Ahora bien: como la misma cantidad de agua que desaloja el cilindro macizo es la cantidad que le cabe al cilindro hueco, resulta que el empuje que ha



sufrido el cilindro hueco es igual con el peso del agua desalojada, con lo que queda demostrado el principio de Arquímedes.

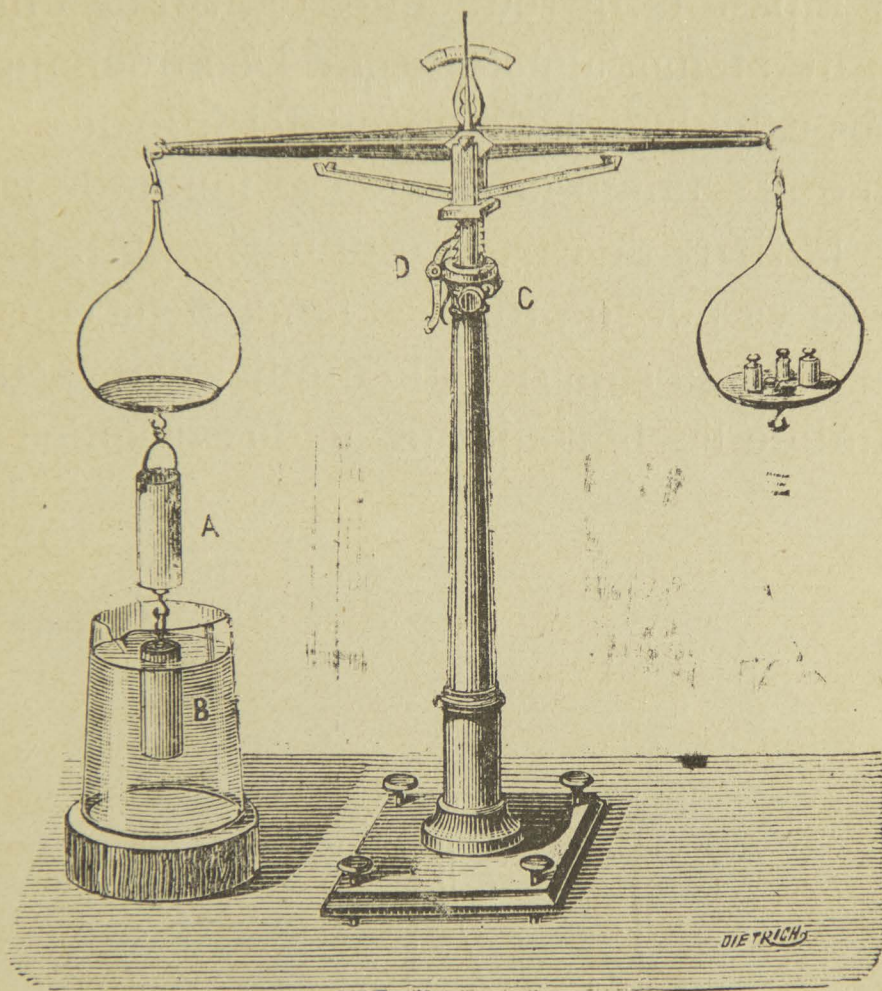


Fig. 35.—Demostración del principio de Arquímedes.

Hagamos otro sencillo experimento relativo al empuje de los líquidos con relación al peso del cuerpo. En el tapón de una botella de vino fijemos por medio de un alfiler una tira de cartón brístol en una de cuyas extre-

midades pegamos un diablillo ó cualquier otra figura, y en la otra suspendemos una hebra de hilo que sostiene una pasa bien seca. Esta pasa la introducimos dentro de una copa que tenga agua gaseosa. De antemano hemos calculado la longitud del hilo de tal modo que estando la pasa en el fondo de la copa la tirita de cartón esté horizontal. La pasa se va por lo pronto al fondo de la copa por ser su peso superior al empuje; pero acumulándose las burbujas de ácido carbónico alre-

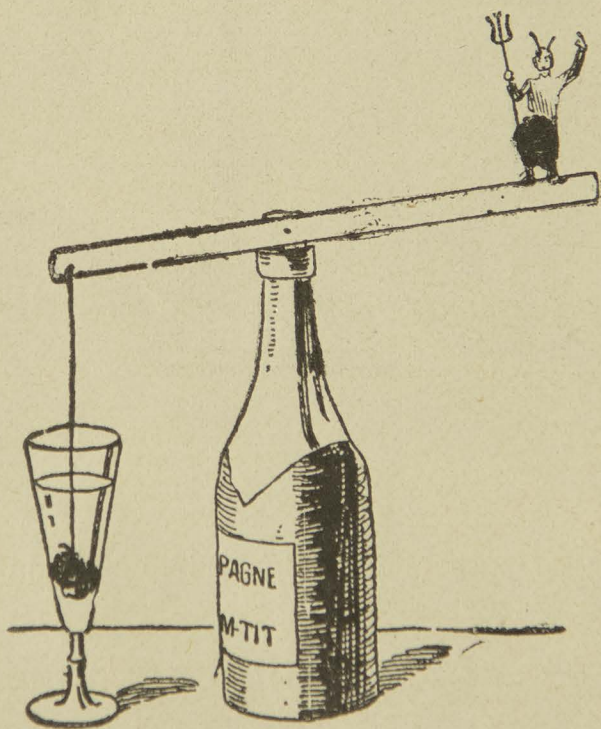


Fig. 36.—Las burbujas de ácido carbónico en el agua gaseosa.

dedor de la pasa llega un momento en que ésta asciende hasta el nivel del líquido. Poco

después de que la pasa ha permanecido en la superficie del líquido se desprenden las burbujas de ácido carbónico y la pasa cae de nuevo al fondo de la copa. El experimento puede durar cinco ó diez minutos.

Ya hemos definido lo que se entiende por masa de un cuerpo, y hemos dicho que la unidad de masa es el gramo ó sea la milésima parte de la masa de un block de platino iridiado, llamado el kilogramo internacional. Hicimos notar también que un centímetro cúbico de madera pesa menos que un centímetro cúbico de fierro; y un centímetro cúbico de fierro pesa menos que un centímetro cúbico de plata. *Masa específica* de un cuerpo es la masa en gramos de un centímetro cúbico de ese cuerpo.

Es importante que los alumnos se ejerciten en la determinación de la masa específica de algunos cuerpos sólidos, empleando el procedimiento del frasco.

Supongamos que deseamos determinar la masa específica del azufre. En uno de los platillos de una balanza ponemos un frasco de boca ancha, lleno totalmente de agua y cubierto con un disco de vidrio, cuyo diámetro sea un poco mayor que el diámetro de la boca del frasco. Hay que cuidar que no que-

de ni una burbuja de aire entre el frasco y la cubierta de vidrio, y que el frasco esté muy bien seco en su superficie exterior. Junto al frasco ponemos un fragmento de azufre, cuyas dimensiones las escogemos de tal manera que pueda caber dentro del frasco. En el otro platillo hacemos la tara por medio de municiones y marmaja. Es cómodo, para no revolver la marmaja con las municiones y no ensuciar el platillo de la balanza, poner primero unas cajitas de madera: una destinada á las municiones y otra á la marmaja. Una vez hecha la tara, quitamos el fragmento de azufre y en su lugar ponemos masas graduadas. De este modo averiguamos el peso del azufre por el procedimiento de la doble pesada. En seguida quitamos las masas graduadas; introducimos el azufre en el vaso con agua, y como el azufre desaloja un volumen de agua—que es igual al suyo—parte del líquido se derrama. Enjugamos cuidadosamente el frasco, le ponemos de nuevo la tapita de vidrio y lo colocamos otra vez en el mismo platillo. La balanza se inclina del lado de la tara, y para restablecer el equilibrio, tenemos que colocar una pequeña masa graduada junto al frasco. Esta masa representa en gramos la masa del agua desalojada y en cen-

tímetros cúbicos el volumen del azufre. Dividiendo el peso del azufre por el peso del agua desalojada, tendremos la masa específica del azufre. Sólo debo advertir que las masas específicas de los cuerpos sólidos y líquidos se toman con respecto al agua destilada á 4 grados de temperatura, arriba de cero, y como es difícil mantener el agua á la temperatura de 4 grados, es bueno tomar la precaución de medir con un termómetro la temperatura del agua del frasco, y relacionar después con esta temperatura el valor obtenido. Por ejemplo, supongamos que la temperatura del agua del frasco es de 15 grados, entonces la masa específica que obtuvimos la multiplicamos por 0,9991 que es la masa específica del agua á la temperatura de 15 grados.

Terminaremos este capítulo poniendo una tablita de masas específicas de algunos cuerpos sólidos que el Sr. Profesor puede tener á su alcance para los ejercicios prácticos con los alumnos:

## MASAS ESPECÍFICAS.

Platino.....	21,45
Oro.....	19,26
Plomo.....	11,35
Plata.....	10,47

---

Cobre.....	8,85
Fierro.....	7,55
Zinc.....	6,90
Aluminio.....	2,50
Azufre.....	1,98
Fósforo ordinario.....	1,82
Magnesio.....	1,74
Potasio.....	0,86
Médula de Saúco.....	0,08

Según indicamos antes, estos números expresan la masa en gramos del centímetro cúbico de cada cuerpo. Es decir, que un centímetro cúbico de plomo pesa 11 gramos, 35 centigramos; un centímetro cúbico de azufre pesa 1 gramo, 98 centigramos; un centímetro cúbico de médula de saúco pesa, apenas, ocho centigramos, etc., etc.

Me permito encarecer á los Sres. Profesores la conveniencia de que los alumnos se ejerciten en la determinación de la masa específica de diversos cuerpos sólidos.

---

---

## CAPITULO SEXTO.

---

### Capilaridad.—Difusión.—Osmosis.

MATERIAL NECESARIO PARA EL DESARROLLO DE ESTA LECCIÓN: Copas de cristal, tubos capilares, alcohol colorido, mercurio, jabón, glicerina, lámpara de alcohol, seda, alambre delgado de hierro y de cobre, un plato sopero, azúcar, balanzas con masas pequeñas, vaselina, alcanfor, una bandeja, aceite, alcohol, una pipeta, cartón brístol, dos docenas de limpiadientes de madera, tubo grueso de cristal, lacre, un doble decímetro, un embudo, dos vasos, éter sulfúrico, un huevo, una vela, dos láminas de vidrio, dos resortes de goma, un frasquito de boca ancha, un disco de vidrio, una vejiga, miel, un vaso grande.

En el capítulo anterior hemos dicho que la superficie libre de un líquido en equilibrio es plana y horizontal, é indicamos también que cuando un líquido homogéneo está contenido en vasos comunicantes, las superficies libres se encuentran en un mismo plano horizontal. Hay algunas excepciones á esas le-

yes. Si fijamos nuestra atención en la superficie de un líquido, por ejemplo agua, contenido en un vaso grande, notaremos que la superficie deja de ser plana y horizontal á contar de unos 5 milímetros de las paredes del vaso. En el caso del agua y, en general, en el caso de un líquido que moja al vidrio, se observa que el líquido asciende hacia los bordes formando una superficie cóncava. Si en lugar de que se trate de un líquido que moje al vidrio, empleamos uno que no moje al vidrio, mercurio, verbigracia, el nivel desciende, formando una superficie convexa.

Más notables serán estos fenómenos si empleamos para observarlos, tubos de pequeño diámetro.

Si en una copa que contiene alcohol colorido introducimos un tubito de cristal de corto diámetro, notaremos que la altura del líquido dentro del tubo es mayor que en la copa, y tanto mayor cuanto más delgado es el tubo. En cambio, si la copa tiene mercurio é introducimos un tubo de cristal muy limpio y bien seco, observaremos que la altura del mercurio dentro del tubo es menor que en la copa. Todavía podemos hacer otra observación: el nivel del alcohol colorido en el tubo de cristal no es plano y horizontal si-



no que tiene la forma de un casquete esférico vuelto hacia arriba, y que se llama *menisco cóncavo*; y el nivel del mercurio dentro del tubo introducido en la otra copa tiene la forma de un casquete esférico vuelto hacia abajo y que se llama *menisco convexo*. A la temperatura ordinaria (15 grados) la altura del agua en un tubo cilíndrico vertical, de 1 milímetro de diámetro, es de 30 milímetros.

Todos estos fenómenos de ascensiones y depresiones en los tubos de pequeño diámetro, la forma esférica que adquieren las burbujas de jabón, la forma de las gotas que se

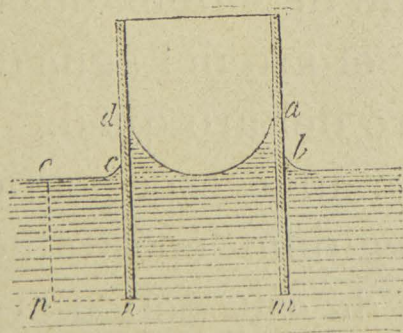


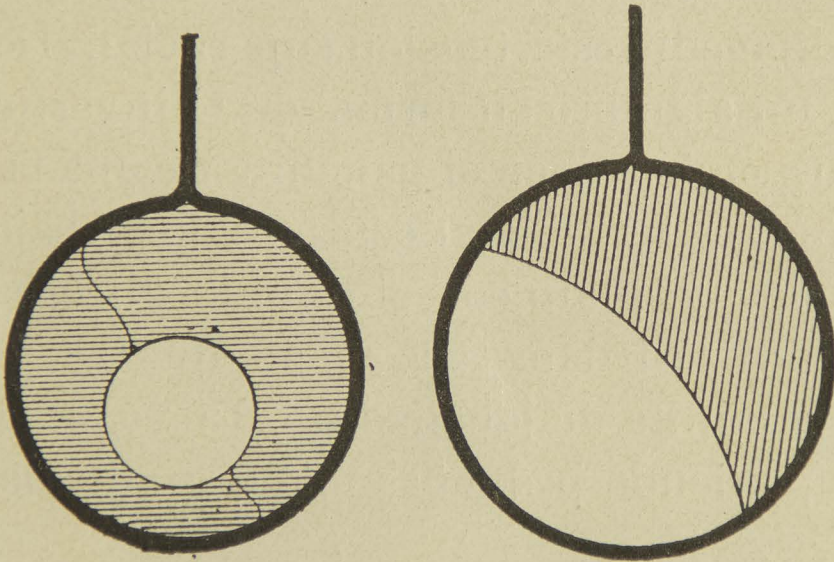
Fig. 37.—Ascensión de un líquido en un tubo.

adhieren á la extremidad de una varilla de vidrio cuando se saca del agua, la forma de las gotas de rocío, etc., se conocen con el nombre de *fenómenos capilares*. La parte de la Física que trata del estudio de los fenómenos que se verifican al contacto de los sólidos con

los líquidos y que parecen oponerse á las leyes generales de la Hidrostática, se conoce con el nombre de *Capilaridad*.

Preparemos el líquido glicérico de Plateau de la manera siguiente: Disolvemos 25 gramos de jabón en un litro de agua destilada tibia; después filtramos y dejamos enfriar. Cuando el agua de jabón está ya fría, le añadimos 35 centímetros cúbicos de glicerina. Esta mezcla la embotellamos, la tapamos con un corcho y cada vez que hagamos uso de ella la agitamos muy bien. Hagamos ahora un aro de alambre provisto de un pequeño mango y lo introducimos en el líquido de Plateau, vertido de antemano en un plato sobero. Al sacar el aro del agua de jabón veremos que dentro del aro queda una película de jabonadura, una especie de membrana elástica. En seguida depositamos cuidadosamente encima de esta película un anillito de seda mojado en jabonadura. Al pronto el anillo toma una forma irregular; pero si con un rollito de papel rompemos la telita de jabón que quedaba dentro del anillo, éste adquiere inmediatamente la forma circular, lo que demuestra que *la superficie de separación de un líquido y de otro fluido se puede comparar con una membrana elástica uniformemente restirada,*

Se puede dar otra disposición al experimento: Atamos en dos puntos opuestos del aro de alambre, las extremidades de una hebra de seda, de manera que el hilo quede flojo. Después introducimos el aro en el líquido glicérico de Plateau, y al romper la película de un lado del hilo, la tensión del resto de la película obliga al hilo á adquirir la forma de un arco de círculo.



Figs. 38 y 39.—La superficie de separación de un líquido y de otro fluido, puede compararse con una membrana elástica uniformemente restirada.

Estos experimentos fueron hechos por primera vez por el Sr. Van der Mensbrugghe.

En lugar del líquido glicérico de Plateau puede emplearse el líquido de Terquem, preparado de la manera siguiente:

Agua.....	1,000	gramos
Jabón.....	10	„
Azúcar blanca.....	400	„

Como este líquido es susceptible de fermentarse, conviene añadirle algunas gotas de formol.

Hemos visto que una superficie líquida posee, como si fuera un resorte restirado, cierta energía potencial, que ha recibido el nombre de *tensión superficial*. Veamos cómo se puede medir esta tensión superficial. Doblamos un alambre en forma de U invertida y lo suspendemos en el ganchito de una balanza que sea sensible al centigramo. Abajo colocamos un plato con el líquido glicérico, y bajamos la balanza de modo que se forme una laminita de jabonadura. En seguida vamos poniendo pequeñas masas graduadas en

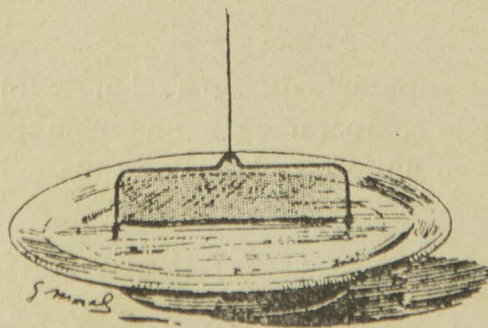
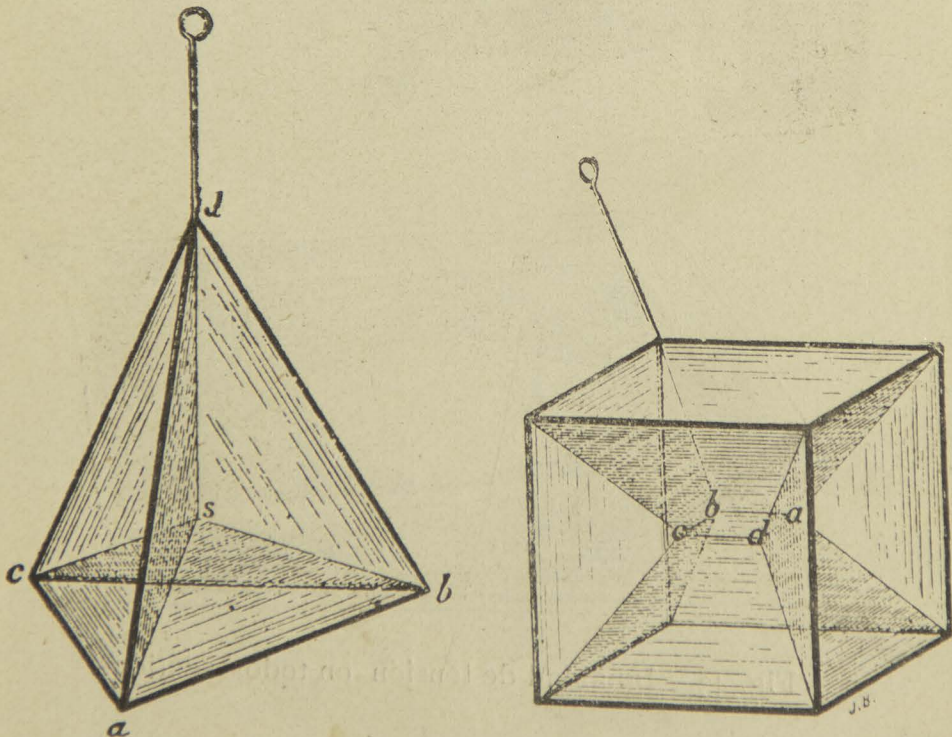


Fig. 40.—Medida de la tensión superficial.

el otro platillo hasta que la lámina se desprenda del resto del líquido y esas masas repre-

sentarán el valor de la tensión superficial. Las dimensiones de la lámina son tan cortas, que podemos despreciar su peso.

Formemos un tetraedro con alambre de cobre de 2 milímetros de grueso, y de tal modo que cada triángulo tenga 6 centímetros de lado. Formemos también un cubo de 4 centímetros de lado, y si introducimos estos armazones en un vaso lleno de líquido glicérico veremos formarse sistemas laminares muy curiosos.



Figs. 41 y 42.—Sistemas laminares con el líquido glicérico.

Hay otros experimentos para hacer patente la existencia de la tensión superficial en

los líquidos y para demostrar que la tensión es igual en todos sentidos. Se ata un hilo de seda muy delgado y de 25 centímetros de longitud, y se le unta de vaselina con objeto de que pueda flotar en el agua. Al pronto flota en una posición irregular; pero si se dejan caer algunos granitos de alcanfor dentro del hilo, éste toma la forma de una circunferencia de círculo.



Fig. 43.—Igualdad de tensión en todos sentidos.

Para demostrar la permeabilidad de las láminas delgadas, se forma una burbuja de jabón en la boca de un embudo y después tapando con el dedo el tubo del embudo se in-

.....

introduce la burbuja en un vaso que contiene unas gotas de éter. Sacando después el embudo se puede inflamar el éter contenido dentro de la burbuja. Al hacer éste experimento se debe tener la precaución de tapar muy bien y retirar á distancia el frasco que contenga el éter, pues no hay que olvidar que este líquido es muy inflamable.

Si en una copa con buen alcohol ponemos por medio de una pipeta, un poco de aceite, el aceite se precipita al fondo de la copa; pero si después vamos añadiendo agua con precaución, veremos que el aceite comienza á desprenderse del fondo de la copa, hasta formar una esferita que permanece suspendida en perfecto equilibrio en el seno de la masa líquida. En este momento la masa específica de la mezcla de agua y alcohol, es enteramente igual á la masa específica del aceite. En estas condiciones la gota se encuentra sustraída á la acción de la pesantez, y su energía total se reduce á la energía de su superficie, y como la esfera es la superficie más pequeña que puede ofrecer un volumen determinado de un cuerpo cualquiera, resulta que la energía de la superficie es mínima.

Cortemos en una hojita de papel brístol un disco terminado por un rectángulo, el cual

doblamos dos veces en ángulo recto. Se coloca el aparato en equilibrio, sobre el borde de un vaso, de tal modo que el rectángulo haga exactamente contrapeso al disco. Nos convencemos de lo perfecto del equilibrio, viendo que el menor peso puesto sobre el extremo del rectángulo basta para hacer girar al sistema hacia afuera. Una vez conseguido el equilibrio se vierte agua en el vaso hasta que el nivel libre toque al disco. En este momento es posible colocar algunas monedas sobre la extremidad del rectángulo sin que la pieza de cartón se desprenda. Esta es una nueva demostración de la existencia de la tensión superficial.

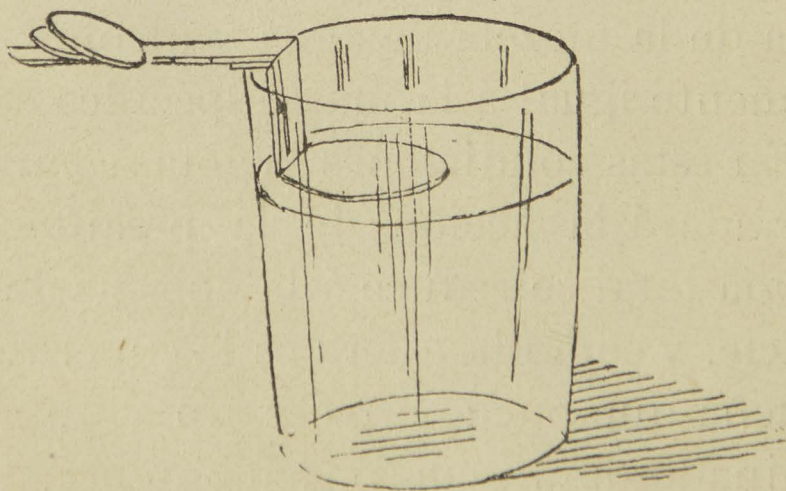


Fig. 44.—Otro experimento de tensión superficial.

Con un alambre de fierro muy delgado ha-



gamos una espiral, la que untamos ligeramente de aceite para que pueda flotar en el agua. Una vez que la espiral está flotando en la superficie del agua de una bandeja, se dejan caer unas gotas de agua de jabón en el centro de la espiral y ésta comenzará á girar. Cuando el movimiento cese, se puede



Fig. 45.—La espiral gira al caer la gota de agua de jabón.

excitar de nuevo dejando caer otra gota de agua de jabón. Este movimiento se explica por la modificación que el agua de jabón produce en la tensión superficial del agua.

Otro experimento de tensión superficial: Sobre la superficie de una bandeja con agua se hacen flotar unos pedacitos de madera, en forma de pequeños cilindros; da buen resultado el empleo de fósforos americanos. Los palitos se disponen en forma de estrella cerca de los bordes de la bandeja. Si introduci-

mos en el centro del agua un pedazo de jabón tallado en punta, veremos á los palitos alejarse del centro del líquido; pero si introducimos en el agua un terrón de azúcar, veremos á los palitos precipitarse rápidamente hacia el trozo de azúcar.



Fig. 46.—Modificación de la tensión superficial.

Ya hemos dicho que la superficie de un líquido puede compararse con una membrana elástica uniformemente restirada, y la fuerza de contracción varía con la naturaleza del líquido. El jabón, disolviéndose en el centro del agua, disminuye la elasticidad de la membrana interior y los palitos ceden á la tracción exterior. La ascensión del agua en el azúcar determina una corriente que va de los

bordes al centro de la bandeja y esta corriente es la que impulsa á los palitos hacia el centro del líquido.

Dijimos antes que cuando se introduce un delgado tubo de cristal en un vaso con agua, vemos ascender el nivel del líquido dentro del tubo, y que cuando introducimos un tubo delgado de vidrio dentro de un vaso con mercurio, vemos descender el nivel del mercurio dentro del tubo. Para observar bien estos experimentos, se requiere que los tubos estén muy limpios. El Sr. E. Dessains, que tanto se dedicó al estudio de los fenómenos capilares, sumergía los tubos capilares en ácido sulfúrico, después los sumergía en potasa, luego los lavaba con alcohol, y al último los lavaba con agua destilada. Hemos dicho que cuanto menor es el diámetro del tubo empleado, mayor es la ascensión (líquido que moja) ó mayor es la depresión (líquido que no moja). Este fenómeno está sujeto á una ley conocida con el nombre de Ley de Jurin, y que dice:

*Las ascensiones y las depresiones de los líquidos en los tubos capilares, están en razón inversa de los diámetros de los tubos.*

Para poder observar cómodamente las depresiones, construyamos un aparato muy

sencillo: Con la lámpara de alcohol doblamos en forma de J un tubo de cristal, de tal modo, que la rama grande tenga 20 centímetros de altura y la rama corta 5 centímetros de altura. El tubo tendrá centímetro y medio de diámetro. En la rama chica fijamos por medio de un poco de lacre, un tubito capilar. Este aparato lo sujetamos con alambre en una planchita de madera, sobre la cual sostenemos con unas grapas ó con unos clavitos, un doble decímetro para medir la diferencia de nivel del líquido en las dos ramas.

Con la lámpara de alcohol alarguemos un tubo de cristal en forma cónica y pongamos en el interior una gota de un líquido que moje al vidrio: alcohol colorido. La gota formará un menisco cóncavo de cada lado y al

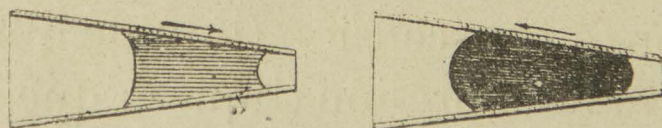


Fig. 47.—Forma de las gotas en tubos estrechos.

mismo tiempo la veremos avanzar hacia la parte estrecha del tubo. Por el contrario, si introducimos mercurio, ú otro líquido que no moje, la gota formará meniscos convexos de los dos lados y caminará espontáneamente hacia la parte ancha del tubo.

Estos fenómenos son efectos de la tensión superficial.

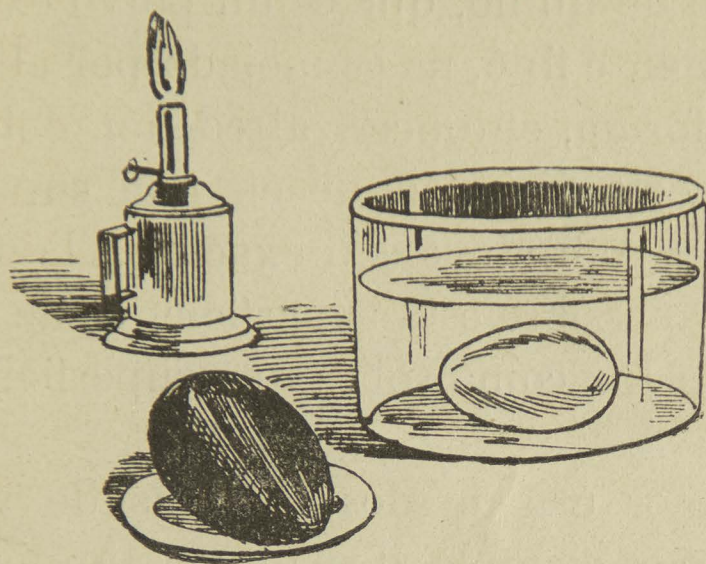


Fig. 48.—El huevo parecerá de plata.

Hay un experimento muy curioso y muy fácil de ser repetido para comprobar que cuando un sólido no es mojado por un líquido, éste forma una especie de bolsa alrededor del sólido. Se ennegrece un huevo por medio de la flama de una vela ó mejor de una lámpara de petróleo. Sabido es que en la flama de esos manantiales hay partículas incandescentes de carbón que se depositan fácilmente sobre los cuerpos con los cuales se pone la flama en contacto. Si ponemos un huevo ahumado dentro de un vaso lleno de agua,

nos parecerá que el huevo es de plata, tal será el brillo que adquiriera.

Veamos la explicación de este fenómeno: El negro de humo, que es un polvo extraordinariamente fino, no es mojado por el agua; el agua forma, entonces, alrededor del huevo, y á corta distancia de él, una superficie curva que reproduce con exactitud la forma del huevo. Sobre esta superficie viene á reflejarse la luz como sobre una superficie metálica.

Hágamos uso de dos láminas de vidrio iguales, por ejemplo dos placas limpias, de cámara fotográfica. No hay un aficionado á la fotografía que no haya echado á perder algunas placas, las cuales se despojan de su capa de gelatina, poniéndolas por algunos instantes en agua caliente. Después se limpian muy bien con un lienzo mojado en alcohol. Se unen las dos láminas de vidrio con dos resortes y á lo largo de uno de los lados mayores se separan ligeramente las placas con una tirita de vidrio. Si introducimos este aparato en una bandeja que tenga agua ó alcohol colorido, observaremos que el líquido asciende por entre las dos láminas formando una elegante curva que se conoce con el nombre de *hipérbola equilátera*. Proyectando

esta curva con una lámpara eléctrica, sobre una hoja de papel cuadrículado, es fácil hacer el trazado de la curva.

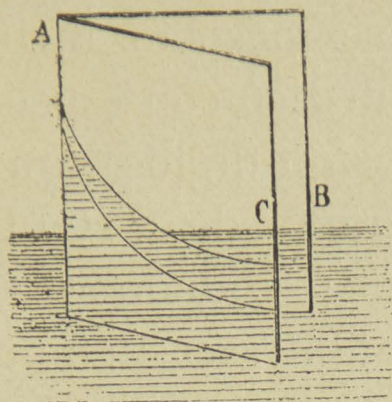


Fig. 49.—Ascensión del agua entre dos láminas de vidrio.

La capilaridad nos da la explicación de muchos fenómenos que observamos todos los días. La capilaridad es la que hace que ascienda el petróleo en la mecha de una lámpara; la misma fuerza hace que se moje enteramente un trozo de azúcar sumergido en el agua por un solo punto. Una de las causas de la ascensión de la savia en los vegetales es la capilaridad. Por un efecto de capilaridad algunos insectos pueden sostenerse sobre la superficie del agua y aun caminar rápidamente por encima de ella sin hundirse.

Pasemos ahora al estudio de la *difusión* de los líquidos.

En el capítulo relativo á la Hidrostática vimos que los líquidos heterogéneos en un

mismo vaso se colocan según el orden de sus densidades decrecientes de abajo arriba. Pero si los líquidos son miscibles ó mas propiamente dicho *difusibles*, entonces al cabo de algún tiempo se mezclan íntimamente. El Sr. Graham se dedicó con especialidad al estudio de la difusión de los líquidos.

En un vaso grande de cristal lleno de agua pura se introduce cuidadosamente hasta el fondo un pequeño frasco lleno de vino tinto ó de buen alcohol colorido, y cubierto con un disco de cristal. Con mucha precaución se retira el disco y desde luego se observa que el vino y el agua comienzan á mezclarse. Al cabo de 24 horas la difusión es com-

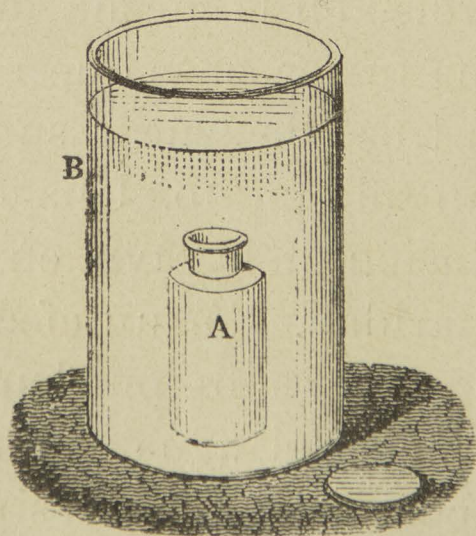


Fig. 50.—Experimento de difusión.

pleta y todo el líquido estará rojo. En vista de que el experimento dura bastante tiempo,



el Señor Profesor puede dejar el aparato en un lugar donde nadie lo toque y cubierto con una campana ó capelo de cristal.

Otro experimento de difusión de líquidos: Se llena un vaso con tintura azul de tornasol, cuidando que sea un vaso profundo, co-

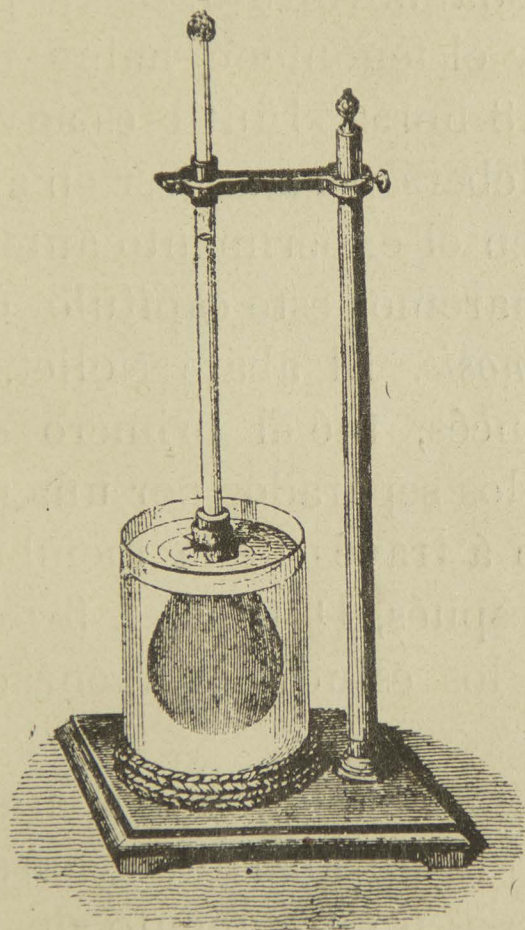


Fig. 51.—El endosmómetro.

mo los que se usan para cerveza. Se introduce en el vaso un largo tubo de cristal terminado por un embudo. Se dejan caer por

éste unas gotas de ácido sulfúrico, y desde luego se observa que se enrojece la parte inferior de la tintura azul de tornasol. Este fenómeno se debe á una acción química del ácido sobre la base de la tintura, acción que deja en libertad al ácido lítmico, que es rojo. Lentamente, y por un fenómeno de difusión, toda la tintura se va poniendo encarnada y el fenómeno habrá terminado al cabo de 48 horas. Inútil es advertir que el aparato deberá permanecer en absoluto reposo como en el experimento anterior.

Terminaremos este capítulo ocupándonos de la *Osmosis*. El abate Nollet, distinguido físico francés, fué el primero en notar que dos líquidos separados por una membrana se difundían á través de la membrana. Algún tiempo después, Dutrochet, fisiólogo francés, completó los estudios comenzados por Nollet.

Preparemos el siguiente aparato. En cualquier tienda de abarrotes conseguimos por tres centavos un fragmento de intestino de borrego, el cual cerramos por una extremidad con una hebra de cáñamo. En la otra extremidad fijamos un tapón de corcho taladrado y atravesado por un tubo de cristal. Antes de atar el corcho contra la abertura de

la tripa, llenamos ésta con miel y al fijar el corcho sube el nivel de la miel en el tubo. En seguida introducimos la membrana dentro de un vaso con agua pura, y sostenemos el tubo de vidrio en un soporte con pinzas. Marcamos con una hebrita de hilo de color, el nivel del líquido azucarado en el tubo y dejamos el aparato en reposo. Pronto se observa que el líquido asciende en el tubo, lo que sólo nos podemos explicar admitiendo que el agua ha penetrado á través de los poros de la membrana. Además, se nota que el agua del vaso está azucarada, lo que comprueba que la miel atravesó, en sentido contrario, la membrana porosa. La corriente de dentro afuera se llama *exósmosis* y la corriente de fuera adentro se llama *endósmosis*; dándose el nombre general de *osmosis* á la propiedad que tienen dos líquidos heterogéneos miscibles, de densidades diferentes y separados por una pared delgada y porosa, de establecer corrientes de dirección contraria que tienden á mezclarlos.

Por lo general la corriente más intensa se dirige del líquido menos denso al líquido más denso. El alcohol y los éteres forman, sin embargo, una excepción, pues no obstante ser menos densos que el agua, atraviesan con

menor velocidad que ésta, las membranas porosas.

Los fenómenos de osmosis desempeñan un papel muy importante en las funciones de absorción y nutrición de los animales y de las plantas.

---

---

## CAPITULO SEPTIMO.

---

### Neumática.

**MATERIAL NECESARIO PARA EL DESARROLLO DE ESTA LECCIÓN:** Un frasco de 2 bocas con tapones y tubo de seguridad, mármol blanco, ácido clorhídrico, balanzas con sus pesas, un vasito de cristal, una hoja de papel, un tripié, una lámpara de alcohol, una botella con agua, una bombilla, un tapón de corcho, una vejiga, una tabla delgada, un periódico, dos vasos iguales, una vela, un tubo de cristal de 80 centímetros de largo, un frasco con mercurio, un platito hondo, un soporte de madera, pedacitos de zinc, ácido sulfúrico, jabonadura con glicerina, tubos de cristal para construir sifones, dos vasos grandes, un disco de corcho.

En el capítulo primero de este libro, página 20, indicamos cómo se prepara el ácido carbónico. Volvamos á armar ese aparato, que nos va á servir para un experimento interesante. Del ganchito de una balanzá de cadenas, colgamos un vaso de cristal ó bien

un cilindro de cartón cerrado por la base inferior, y lo equilibramos con municiones y marmaja. En seguida introducimos cuidadosamente en el vaso ó cilindro el tubo de goma del frasco productor de ácido carbónico. Pocos instantes después observamos que la balanza se inclina del lado del recipiente con ácido carbónico, lo que nos indica que este gas pesa, y no solamente que pesa, sino que pesa más que el aire.

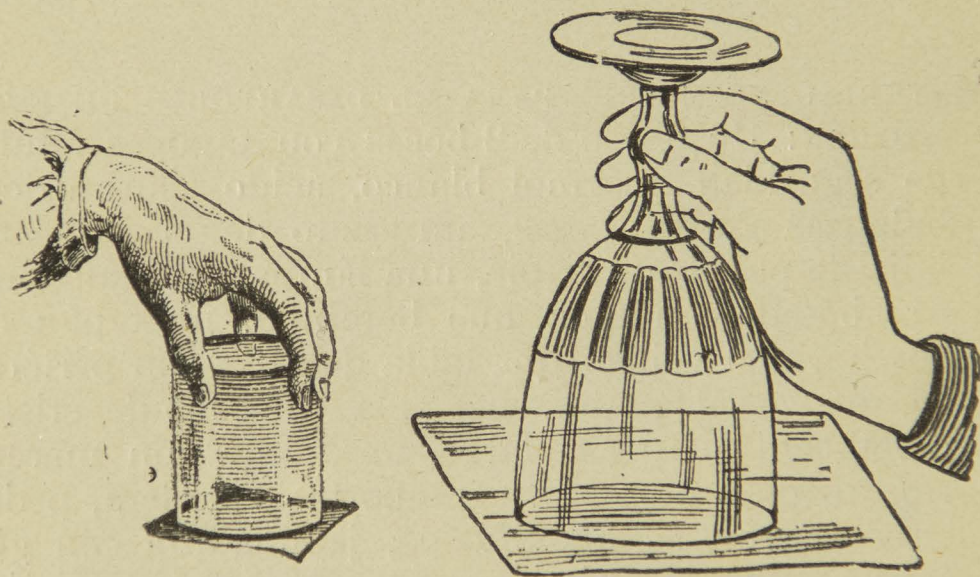


Fig. 52.—El aire ejerce un empuje de abajo arriba.

Hay experimentos muy sencillos que comprueban el peso del aire. Llenamos con agua un vaso de cristal y lo cubrimos con una hoja de papel. En seguida, tomando el vaso con la mano derecha se apoya la palma de la izquierda en el papel, se invierte el vaso y qui-

tando la mano izquierda el agua no se cae. El papel sólo tiene por objeto oponerse á la separación de las partículas líquidas.

El viento, que no es sino aire en movimiento, tiene fuerza suficiente para arrancar árboles de raíz, para derribar casas, para arrebatar techos de madera y lámina, para hacer naufragar las embarcaciones, y esa fuerza no existiría si el aire no pesara. El azufre al estado sólido pesa; si una masa determinada de azufre la hacemos pasar al estado líquido, conserva el mismo peso que al estado sólido, y si la misma masa la hacemos pasar al estado de vapor, el azufre aumentará mucho de volumen, pero el peso permanecerá invariable.

Hagamos el siguiente experimento. Empleando el tripié y la lámpara de alcohol que construimos desde la primera lección, calentamos agua en una botella. Cuando el líquido haya llegado á la temperatura de 92 grados 8, temperatura á que hierve el agua al nivel de México, (\*) veremos desprenderse abundantes vapores. Dejamos que se prolongue por algún tiempo la ebullición, para te-

(\*) Al nivel del mar el agua pura hierve á la temperatura de 100 grados. México está situado á 2,265 metros sobre el nivel del mar.

ner la seguridad de que todo el aire ha sido expulsado: después quitamos la lámpara y rápidamente tapamos la botella con un tapón de goma atravesado por un tubito de cristal terminado en punta cerrada.

En seguida dejamos enfriar la botella y aun activamos el enfriamiento, pasando un lienzo húmedo por el frasco. Cuando la botella esté fría la secamos muy bien y la pesamos. Si ya que la balanza está equilibrada rompemos la punta de cristal con ayuda de unas pinzas, escucharemos el ruido que produce la entrada del aire en la botella y veremos que la balanza se inclina del lado de la botella, indicando esto que al entrar el aire hubo un aumento de peso. No debemos olvidar la precaución de dejar, sobre el platillo correspondiente, el pedacito de vidrio que cortamos con las pinzas. El aire pesa, y con aparatos adecuados se comprueba que un litro de aire á la temperatura de 0 grados y á la presión del nivel del mar pesa 1 gramo 293 miligramos.

Volvamos á calentar agua dentro de la botella y ya que gran parte del aire haya sido expulsado invertimos la botella sobre agua tibia. Poco después, cuando el vapor de agua contenido dentro de la botella se ha conden-



sado, la presión del aire exterior obliga al agua de la bandeja á penetrar dentro de la botella.

Puede hacerse el experimento de otro modo. Se quema un pedazo de papel dentro de una copa, con objeto de enrarecer el aire, es decir, de disminuir su presión, é inmediatamente después se voltea dentro de un plato soperero que contiene agua. Tan pronto como el aire interior se enfría, el agua del plato sube en la copa por un efecto de presión atmosférica.

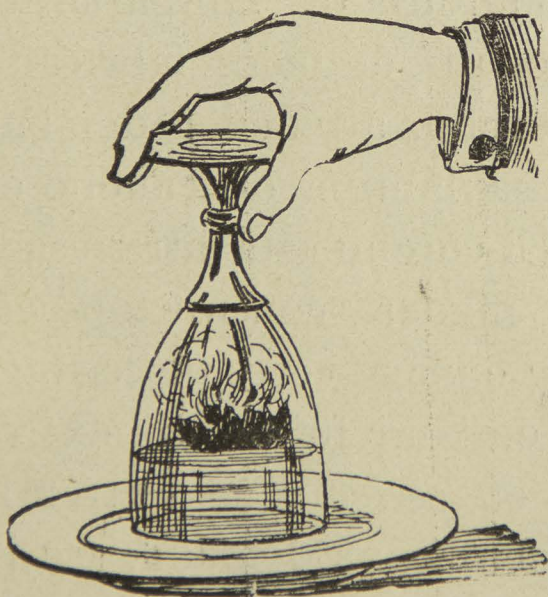


Fig. 53.—Un efecto de presión atmosférica.

Tissandier describe el siguiente experimento de presión atmosférica: Tómese una tabla delgada de 6 á 7 milímetros de espesor, 20

centímetros de ancho y 60 centímetros de largo. Esta tabla se pone en el borde de una mesa, de modo que quede la mitad dentro y la mitad fuera. En esta posición de equilibrio inestable el menor esfuerzo la hará caer. Sobre la mitad de la tabla que está sobre la mesa se extiende un periódico, y si en seguida se da un fuerte golpe con el puño sobre la mitad de la tabla que sobresale de la mesa, se observa que la tabla resiste al choque como si estuviera clavada contra la mesa. La presión del aire sobre la gran superficie del periódico explica este curioso fenómeno.

En una bombilla de lámpara de petróleo introducimos un émbolo, fabricado con un tapón de corcho, alrededor del cual hemos enredado una lámina de caucho empapada en aceite. El corcho está atravesado por un cilindro de madera con un tope en la parte inferior y que hace veces de vástago. Introducimos el émbolo hasta un extremo de la bombilla y en esa misma extremidad fijamos una membrana delgada; un pedazo de vejiga, por ejemplo. Si después retiramos el émbolo, la presión exterior deprime notablemente la vejiga.

Tomemos dos vasos del mismo tamaño, y los sobreponemos borde con borde, cuidando

de que se adhieran bien entre sí. Se coloca uno de los vasos en una mesa y se pone en su interior un cabito de vela; después se cubre el vaso con una hoja de papel grueso y bien mojado en agua. Por último se cubre el vaso con el otro. A poco rato se apaga la vela; pero como el aire se había enrarecido, la presión exterior retiene pegados á los vasos,

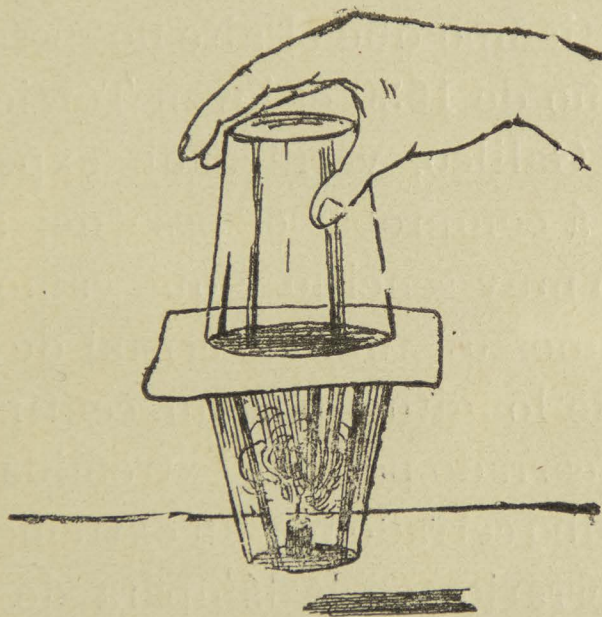


Fig. 54.—Los dos vasos permanecen adheridos entre sí.

como en el experimento clásico de los hemisferios de Magdeburgo (\*).

Siendo el aire un cuerpo tan sutil, es natural que por mucho tiempo se creyera que ca-

(\*) Véase Física para Niños, por Luis G. León, Edición de Ch. Bouret.

recía de peso. Los antiguos presumieron la gravedad del aire, pero no llegaron á comprobarla.

Aristóteles hizo un experimento que consistió en pesar una vejiga vacía, y después llena de aire, y viendo que en ambos casos la vejiga pesaba lo mismo, dedujo que el aire carecía de peso. Este experimento, cuya interpretación daremos después, hizo creer por tanto tiempo que el aire no pesaba.

En el año de 1630 el joven Torricelli, discípulo de Galileo, verificó un experimento destinado á comprobar el peso del aire, experimento muy sencillo y que vamos á repetir. Tomamos un tubo de cristal de 80 centímetros de longitud por un centímetro de diámetro, cerrado por una extremidad. Si no tenemos tubo cerrado por un extremo es muy sencillo cerrarlo con la lámpara de alcohol. Preparamos una cubita ó platito hondo lleno de mercurio y después llenamos con mercurio el tubo de 80 centímetros. Tapamos el tubo con el dedo índice de la mano derecha, lo invertimos é introducimos en el plato con mercurio y quitamos el dedo. Entonces observamos que el mercurio baja en el tubo. Sostenemos el tubo verticalmente por medio de unas pinzas de madera y medimos con

un metro graduado la distancia que hay del nivel del mercurio en la cuba al nivel del mercurio en el tubo. Esta altura es, en la

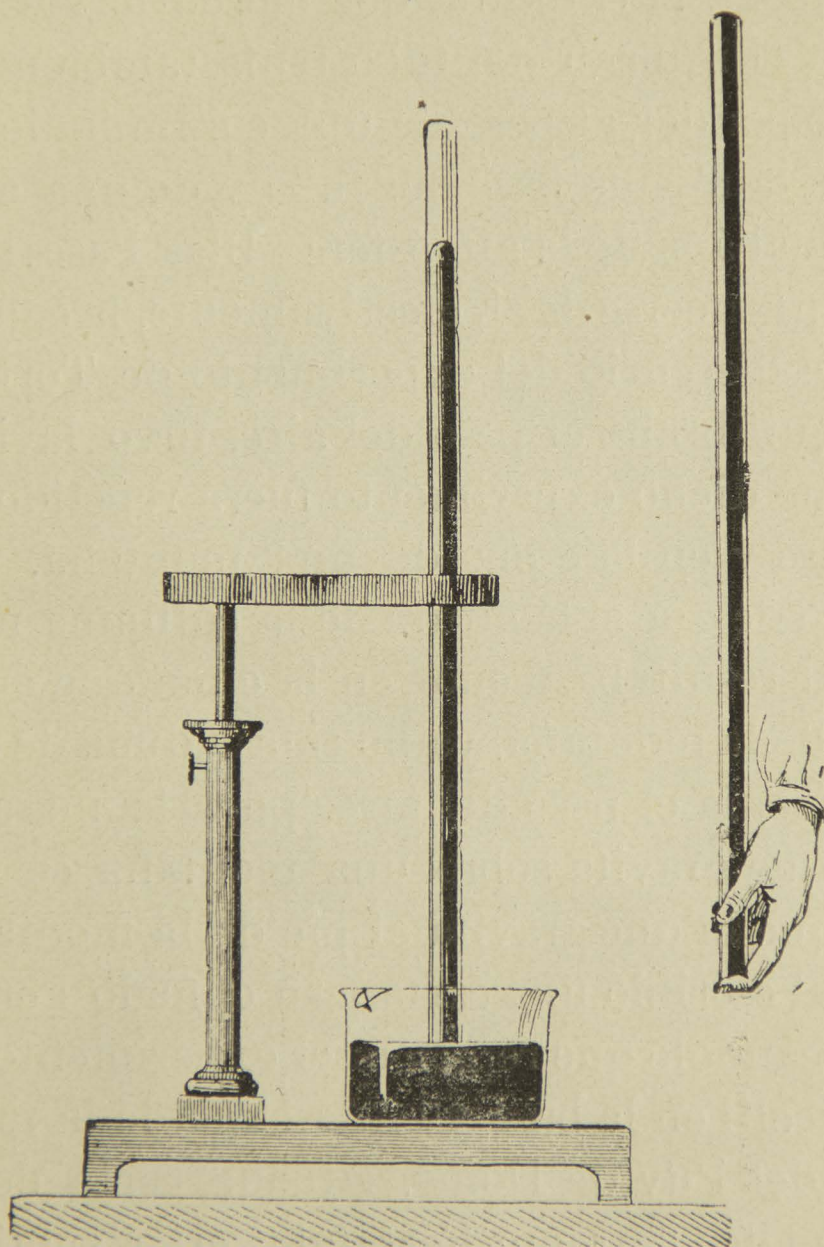


Fig. 55.—Experimento de Torricelli.

ciudad de México, de 586 milímetros. Al ni-

vel del mar es de 760 milímetros. Torricelli y Blas Pascal interpretaron este experimento diciendo que así como la presión obraba sobre la superficie libre del mercurio fuera de la cubeta, la columna del mercurio sostenida en el interior del tubo tenía también que corresponder al peso de una columna de aire de la misma base del tubo y de una altura igual á la de la atmósfera. Blas Pascal para convencerse de si, efectivamente, la columna de mercurio del experimento de Torricelli equilibraba el peso del aire, tuvo la idea de que dicho experimento fuera repetido en la base y en la cima de una montaña, con objeto de que si la altura de la columna mercurial resultaba menor en la cima que en la base de la montaña, ya no cabría duda de que intervenía el peso del aire, pues la masa de aire que gravita sobre una montaña es menor que la que gravita al pie de la montaña. Pascal escribió una carta á su cuñado Perier, suplicándole que repitiera el experimento de Torricelli en la base y en la cima de la montaña del Puy de Dôme, situada cerca de la ciudad de Clermont Ferrand. Perier, siguiendo los consejos de Blas Pascal, repitió el experimento de Torricelli en la base y en la cima del Puy de Dôme y, tal como Pascal lo

había creído, la altura del mercurio resultó menor en la cima que en la base de la montaña. Este célebre experimento fué ejecutado en el año de 1648. (\*)

Pascal hizo otro experimento que consistió en llenar con vino rojo un tubo de 11 metros de altura, y al invertir el tubo sobre una cuba con vino, vió que la columna bajaba hasta detenerse á la altura de 10 metros 33 centímetros. Este experimento fué una preciosa comprobación del peso del aire. Efectivamente: las alturas de los líquidos en vasos comunicantes están en razón inversa de sus masas específicas. El mercurio equilibra el peso de la atmósfera con una columna de 76 centímetros de altura. El agua siendo 13 veces 6 menos densa que el mercurio, tendrá que equilibrar al peso del aire con una columna de 13,6 veces mayor. Si multiplicamos 76 por 13,6 encontraremos como producto 10 m. 33. Los Señores Profesores no podrán probablemente repetir el experimento de Pascal; pero sí será conveniente hacer ver á los alumnos que un tubo de cristal de dos metros de largo queda enteramente lleno

(\*) Véase "Los Fenómenos del aire" por Luis G. León.

de agua cuando se le invierte sobre una cuba con agua. (\*)

El aparato de Torricelli se consideró desde luego útil para medir las variaciones de la presión atmosférica. Actualmente se conocen con el nombre de *barómetros* unos instrumentos muy bien contruídos y que dan en cualquier momento el valor de la presión del aire. Cuando la presión del aire aumenta, la columna mercurial adquiere mayor altura y se dice que el barómetro *sube*, y cuando disminuye la presión, la altura de la columna mercurial se hace menor y se dice que el barómetro *baja*. En el barómetro se distinguen dos especies de variaciones: unas horarias

(\*) En el año de 1895, siendo Profesor de Física de la Escuela Normal para Profesoras el Sr. Ingeniero D. Manuel Ramírez, tan distinguido matemático como hábil físico, se hizo en dicho establecimiento el experimento de Pascal, reuniendo cuatro tubos de cristal de 2 metros de largo por medio de tubitos de zinc. En la ciudad de México una columna de agua de 7 m. 96, hace equilibrio á la presión atmosférica. En la época en que el Sr. Ramírez era catedrático de Física en la Escuela Normal, la enseñanza tenía un carácter puramente experimental, con marcado beneplácito de las alumnas. La muerte del Sr. Ramírez fué una pérdida irreparable para la Escuela Normal.



que se producen periódicamente á ciertas horas del día, y otras accidentales que no presentan regularidad alguna y que dependen de las estaciones, dirección de los vientos, cambios bruscos de temperatura, etc. En el ecuador y en las regiones intertropicales las variaciones horarias se repiten con gran regularidad. Hay dos máximas: una á las 11 de la mañana y otra á las 11 de la noche; y dos mínimas: una á las 4 de la mañana y otra á las 4 de la tarde.

Una presión elevada es hasta cierto punto necesaria para la conservación de la salud. En efecto, cuando aumenta la presión, lo que nos es indicado por el ascenso de la columna barométrica, las funciones del organismo se efectúan con mayor energía y experimentamos una sensación de bienestar; pero cuando la presión atmosférica disminuye mucho, como pasa en las altas montañas y en las ascensiones aerostáticas, la respiración se hace difícil y penosa; la sangre no encuentra resistencia bastante en las extremidades de los vasos y se producen hemorragias más ó menos abundantes, zumbido de oídos y una sensación de profundo malestar. En una ascensión verificada por los Sres. Coxwell y Glassier el 5 de Septiembre de 1862, poco antes

de llegar á los 10,000 metros de altura, el Sr. Glashier notó que había perdido el movimiento del brazo derecho; quiso mover el brazo izquierdo y estaba igualmente paralizado. El célebre físico perdió por completo la sensación visual, quiso hablar y no pudo, y al fin cayó desvanecido.

En algunas escuelas hay barómetros de sifón entre los aparatos del gabinete de Física. Los Señores Profesores deben ejercitar á los alumnos en hacer lecturas frecuentes para que se den cuenta de las variaciones de la presión. Convendría también hacer algunas visitas al Observatorio Central, situado en los altos del Palacio Nacional, y á la instalación meteorológica del Observatorio Nacional de Tacubaya.

En el capítulo referente á la Hidrostática mencionamos el principio de Arquímedes, que dice:

—*Todo cuerpo sumergido en un líquido sufre un empuje de abajo arriba igual con el peso del líquido desalojado.*

Este principio también se aplica á los gases, y su enunciado es el siguiente:

—*Todo cuerpo sumergido en un gas sufre un empuje de abajo arriba igual con el peso del gas desalojado.*

De tal modo que si algunos cuerpos se elevan en el aire, no es porque no pesen, no es porque no estén solicitados por la acción de la gravedad, sino porque domina el peso del empuje, es decir, el peso del aire desalojado. Si el humo que se desprende de las chimeneas asciende en el aire es porque es menos denso que el aire. Los globos que venden á los niños están llenos de un gas llamado gas hidrógeno, que es 14 veces y media menos pesado que el aire—en igualdad de volumen—y dominando considerablemente el empuje del aire desalojado, el globo sube rápidamente.

En el año de 1782 el físico inglés Tiberio Cavallo hizo por primera vez un experimento que consistió en llenar burbujas de jabón con hidrógeno, las cuales se elevaban graciosamente en el aire.

El día 4 de Junio del año de 1783 los hermanos José y Esteban Montgolfier hicieron en la ciudad de Annonay el experimento de lanzar en los aires un globo de papel, de 12 metros de diámetro, lleno de aire caliente. Las primeras personas que hicieron un viaje en globo fueron Pilâtre de Rozier y el Marqués de Arlandes.

El mismo aparato que nos ha servido para

preparar ácido carbónico nos va á servir para preparar hidrógeno. Dentro del frasco de dos bocas ponemos pedacitos de zinc y agua, y por el tubo de seguridad vertemos poco á poco y con mucha precaución ácido sulfúrico (\*). Después de que se haya desprendido un buen número de burbujas introducimos la extremidad del tubo de goma en el líquido glicérico de Plateau (Véase el capítulo de *Capilaridad*), y cuando se haya formado una burbuja como de unos 6 centímetros de diámetro damos una ligera sacudida al tubo de goma para que la burbuja se desprenda, y la vemos elevarse en el aire hasta ir á reventarse en el cielo raso de la habitación.

Dijimos al principio de este capítulo que Aristóteles había hecho un experimento que consistió en pesar una vejiga vacía y después llena de aire, y vió que en ambos casos pesaba lo mismo; de aquí dedujo que el aire no pesaba. Ahora que ya conocemos el principio de Arquímedes aplicado á los gases, comprendemos por qué la vejiga pesó lo mismo vacía que llena de aire. Estando la vejiga

(\*) Para mayores detalles en la preparación del Hidrógeno, véase Química para los Niños por Luis G. León, edición de Ch. Bouret.

aplastada ocupaba un volumen muy pequeño y desalojaba una corta cantidad de aire. Una vez que la vejiga estaba inflada aumentaba de peso por el aire introducido; pero como al mismo tiempo sufría un empuje de abajo arriba igual al peso del aire desalojado, y ese empuje era enteramente igual con el peso del aire introducido en la vejiga, el peso volvía á ser el mismo. Se explica, pues, el error de Aristóteles.

En un vaso con agua sostenido en un banquito de madera coloquemos un tubo de vidrio doblemente encorvado en ángulo recto. Una de las ramas de este tubo ha de ser mayor que la otra y la rama pequeña es la que debemos introducir en el líquido. Abajo de la rama grande ponemos otro vaso vacío. Aplicamos los labios en la extremidad de la rama grande, absorbemos el aire, y al quitar los labios notamos que comienza á salir un chorro de agua. El vaso con agua se vaciará por completo si la rama pequeña penetra hasta el fondo del vaso.

Un aparato de este género se conoce con el nombre de sifón. Decimos entonces que un sifón es un tubo encorvado, de ramas desiguales y que sirve para trasvasar líquidos. Al absorber el aire con nuestros labios, ha-

ceamos el vacío y entonces la presión atmosférica obliga al líquido á salir por la rama grande.

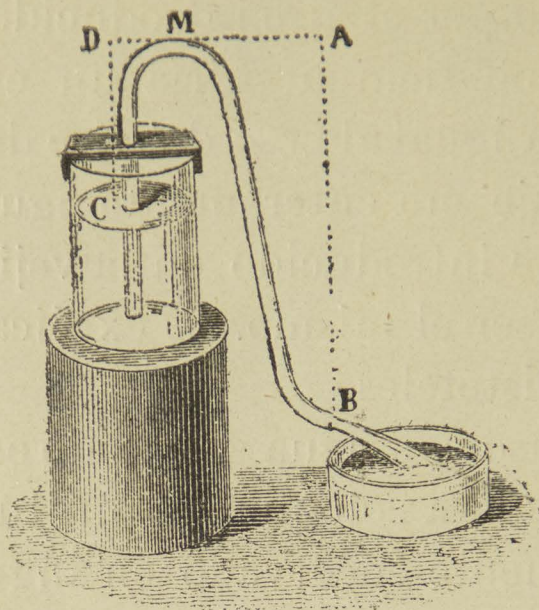


Fig. 56.—El sifón ordinario.

Pero como al irse derramando el líquido va bajando el nivel en el vaso y disminuye la distancia del nivel del líquido en el vaso á la extremidad de la rama grande, se va haciendo menor la velocidad del escurrimiento. Es muy fácil conservar invariable la distancia del nivel del líquido en el vaso á la extremidad de la rama grande. El sifón lo colgamos por medio de un hilo que pasa por dos pequeñas poleas fijas en un soporte como el indicado en la figura 57. En la extremidad posterior del hilo amarramos un pedazo de

plomo ó de fierro que sirva de contrapeso y la rama pequeña del sifón lleva un disco de corcho que flota en el agua. Resulta de esta disposición, que conforme va descendiendo el

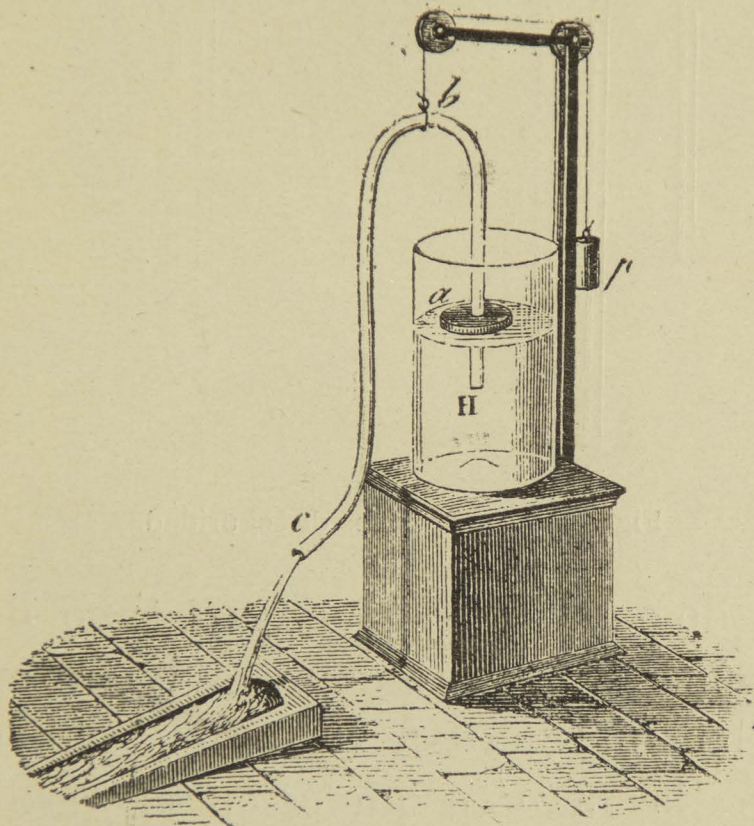
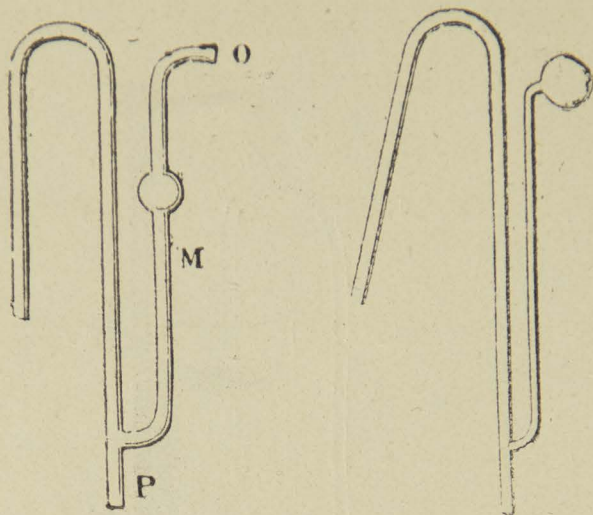


Fig. 57.—Sifón de escurrimiento constante.

nivel del agua en el vaso, el sifón va descendiendo también y así conseguimos que la distancia del nivel del líquido en el vaso á la extremidad de la rama grande permanezca constante.

Cuando el líquido que se va á trasvasar es agua pura, no hay ningún inconveniente en aplicar los labios al sifón; pero si se trata de un

líquido repugnante ó malsano, no podríamos recurrir al sifón ordinario. Entonces empleamos los sifones llamados de seguridad.



Figs. 58 y 59.—Sifones de seguridad.

Uno de ellos consiste en un tubo doblemente encorvado y que lleva lateralmente otro tubo con una esferita (Fig. 58). Introducimos la rama pequeña en el vaso que contiene el líquido, tapamos con el dedo la extremidad P, absorbemos por O y cuando el nivel va por M, dejamos de absorber; quitamos el dedo, y el líquido escurre por P. Hay otros sifones de seguridad que tienen una esfera (Fig. 59). Se tapa la extremidad de la rama grande, se calienta con la lámpara de alcohol la esfera y cuando el aire está bastante enrarecido se introduce la rama pequeña en el líquido. El aire se enfría, se



contrae; la presión atmosférica obliga al líquido á penetrar, y al quitar el dedo comienza el escurrimiento. En las casas que venden productos químicos se consigue, por poco dinero, tubitos en ángulo recto, tubitos en V, tubos en Y y tubos de goma, con los cuales es muy sencillo construir sifones como los indicados.

Algunas veces conviene sacar de un recipiente una corta cantidad de líquido. Entonces recurrimos á una pipeta, aparato que ya hemos mencionado. Con un tubo de cristal de un centímetro de diámetro por 20 centímetros de largo, podemos construir una pipeta. Calentamos el tubo cerca de su extremidad para adelgazarlo y cuando haya adquirido un diámetro de dos ó tres milímetros lo dejamos enfriar. La pipeta está ya construída. Para usarla la introducimos en el líquido; éste penetra en el tubo, tapamos con el dedo y al retirar la pipeta nos llevamos una cierta cantidad de líquido que permanece sostenida en el tubo por un efecto de presión atmosférica.

Podemos también retirar líquido de un vaso por medio de una jeringa de cristal, que conseguimos en una botica por 6 centavos. Al subir el émbolo se hace el vacío y la

presión atmosférica obliga al líquido á subir. El Sr. Profesor se aprovechará de estos experimentos para explicar á sus alumnos el funcionamiento de las bombas elevadoras de agua.

Intencionalmente no nos hemos ocupado en este capítulo de la máquina neumática. Este es un aparato muy caro que no encontrará lugar en nuestra colección de aparatos sencillos. En algunas escuelas hay unos modelos baratos de máquina neumática; pero esto y nada es lo mismo. Una máquina neumática debe ser muy buena, y éstas son muy caras. Si el Sr. Profesor puede conseguir una bombita de bicicleta, le será muy útil para variados experimentos de neumática.

---

---

## CAPITULO OCTAVO.

---

### Calor.

MATERIAL NECESARIO PARA EL DESARROLLO DE ESTA LECCIÓN: Alambre de fierro, cobre, acero y aluminio, lámpara de alcohol, un tripié, un plato, hielo, astillas de madera, varillas de cristal, estearina, azufre, cera, iodo, un matraz, una tabla, dos clavos, unas tenazas, un pequeño tubo de latón, dos cajas de madera, una pesa de dos kilos, una lámina de vidrio, una aguja de acero, una armella, una lente de aumento, una vela, una copa, dos tapones de corcho, una laminita de zinc, unas pinzas, una moneda, un tubo de cristal, agua colorida, una hebra de seda, un frasco de dos bocas, un tubo de seguridad, un tubo de goma, un tubo terminado en punta, una tarjeta, un fragmento de fósforo, un termómetro, hielo, una cápsula metálica, una pipeta, una retorta, una bandeja, un lienzo, un embudo.

El Sr. Profesor tiene sobre la mesa de experimentos varios alambres de la misma longitud y del mismo grueso, é invita á tantos

alumnos como alambres ha preparado, á venir á la mesa con sus lámparas de alcohol. Supongamos que tenemos un alambre de cobre, uno de hierro, uno de acero y uno de aluminio. Cada alumno toma uno de los alambres (25 centímetros de longitud) y calienta una extremidad con la lámpara de alcohol, cuidando de tener su mano lo más cerca posible de la flama. Conforme el alambre se va calentando, el alumno siente la necesidad de ir retirando su mano, pues el calor le llega á los dedos y produce una sensación dolorosa. Al fin, el alumno tiene que soltar el alambre, pues todo éste se ha calentado.

Pasan los cuatro alumnos á sus asientos, y el Sr. Profesor llama á otros cuatro. Estos reciben pequeños cilindros de madera ó bien unas varillas de cristal. Se calienta la madera ó cristal con la lámpara de alcohol y aun cuando pase bastante tiempo el calor no llega á la mano del alumno; puede el cristal enrojecerse y la madera quemarse y el calor no camina hasta la mano.

Tenemos, pues, que unos cuerpos son *buenos conductores del calor* y otros son *malos conductores del calor*. Los metales son buenos conductores del calor; la madera, el vidrio, los

líquidos y los gases (con excepción del hidrógeno) son malos conductores del calor.

Si ponemos un trozo de hielo en un plato y calentamos ligeramente con la lámpara de alcohol, el hielo pasa al estado líquido; si calentamos el agua hasta la temperatura de  $92^{\circ}8$  ( $100^{\circ}$  al nivel del mar), pasa al estado de vapor.

Si calentamos un trozo de estearina ó un trozo de azufre, pasan al estado líquido. Si calentamos en un matraz de vidrio unos cristallitos de iodo, vemos que todo el matraz se llena de hermosos vapores violetas. Vemos, por los experimentos anteriores, que uno de los efectos del calor es cambiar el *estado* de los cuerpos. Si en el momento de la clase hay nubes en el cielo, el Sr. Profesor explicará á los alumnos que á causa del calor solar las aguas de los ríos, de los lagos, de los mares, se evaporan, y, siendo estos vapores menos densos que el aire, ascienden (*principio de Arquímedes aplicado á los gases*) hasta que al encontrar capas de aire muy frías, esos vapores pasan al estado líquido en forma de diminutas gotas, que no caen debido á las corrientes ascendentes de aire caliente y á la resistencia del aire. Solamente cuando por una nueva condensación, las gotas aumentan

de tamaño, y por lo tanto de masa, caen á la Tierra en forma de lluvia. Si el frío de las capas superiores es muy considerable, las gotas de agua se solidifican y caen en forma de nieve ó de granizo.

Sobre una tabla clavamos dos clavos á una distancia tal que una varilla de fierro quepa exactamente entre ellos. En seguida tomando la varilla con unas tenazas la calentamos con dos ó tres lámparas de alcohol. A los 5 minutos dejamos de calentar y vemos que la varilla ya no cabe entre los clavos, á causa de qué ha aumentado de longitud. Tan pronto como la varilla se enfría vemos que cabe de nuevo entre los clavos.

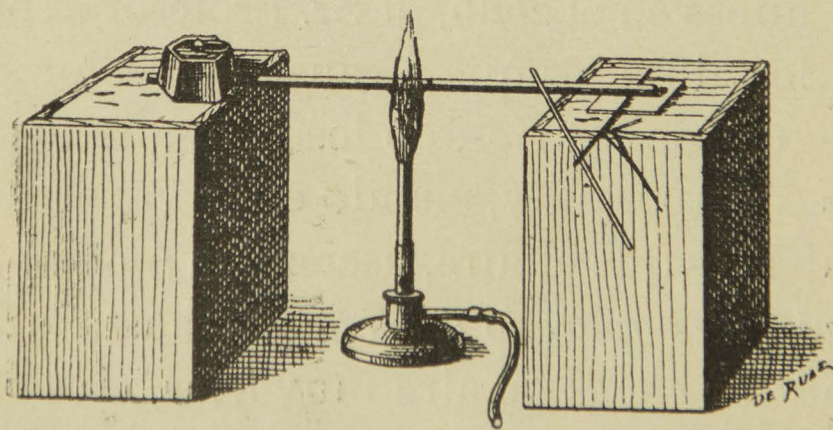


Fig. 60.—Un dilatoscopio barato.

Tomemos un tubo de latón de 1 centímetro de diámetro, por 20 centímetros de largo (en una latonería puede obtenerse un pedazo de

tubo por unos cuantos centavos) y lo colocamos horizontalmente sobre dos cajas de madera. Una extremidad la fijamos con una pesa de 2 kilos y la otra la apoyamos sobre una laminita de cristal (placa vieja de fotografía). Entre esta extremidad del tubo de latón y la lámina de vidrio ponemos una aguja de tejer (de acero) que lleva un índice de papel. Antes de comenzar el experimento el índice

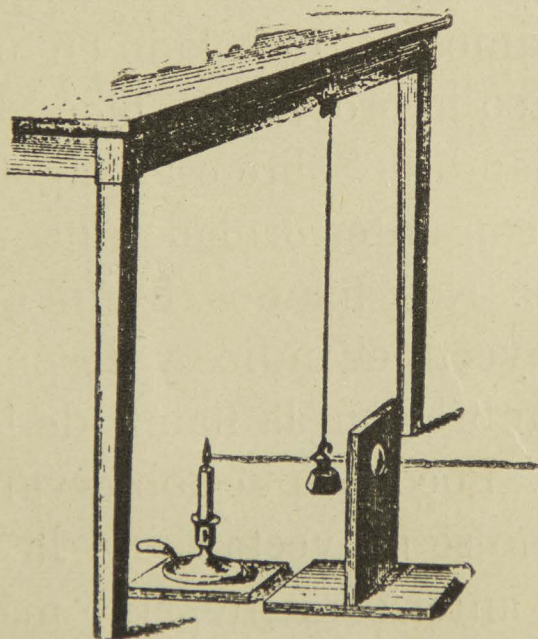


Fig. 61.—La dilatación de los sólidos.

ha de estar vertical. Calentamos el tubo de latón con una ó dos lámparas de alcohol y á los pocos instantes vemos girar el índice de papel, lo que indica que la aguja de acero ha girado impulsada por la dilatación del tubo de latón.

De una armella fija en el costado de una mesa colgamos un alambre de fierro del cual pende una pesa de 2 kilos. Al enrollar el alambre en la pesa, dejamos el extremo libre en posición horizontal para que sirva de índice. Frente á este índice ponemos una planchita de madera con un taladro en el cual fijamos con una poca de cera una lente de aumento. Atrás del índice colocamos una vela, ó mejor—si es posible—una lámpara eléctrica, y buscamos del otro lado en una hoja de papel blanco la proyección bien clara del índice del alambre. Sobre este papel habremos dibujado, con anterioridad, una escalita en milímetros. Nos fijamos frente á qué división se proyecta el índice y después calentamos el alambre con la flama de la lámpara de alcohol. Poco después observamos que el índice ya no se proyecta sobre la misma división que anteriormente, sino más abajo, lo que comprueba que el alambre se ha alargado (dilatado) por la acción del calor.

Construyamos otro dilatoscopio muy sencillo. Atravesamos un tapón de corcho con un alambre grueso y por medio de dos alfileres apoyamos el aparato sobre una copa invertida. En los dos extremos del alambre fijamos otros corchos y por medio de clavos



bajamos el centro de gravedad para que el sistema quede en perfecto equilibrio. Esta viene á ser una especie de balanza de gran sensibilidad. Cuando después de algunos tanteos se consigue que el alambre permanezca horizontal, se calienta suavemente uno de los brazos de palanca con la lámpara de alcohol. Es claro que nos será imposible apreciar á la simple vista el alargamiento sufrido por el alambre; pero al inclinarse el alambre del lado del calentamiento comprendemos que ha habido aumento de longitud.

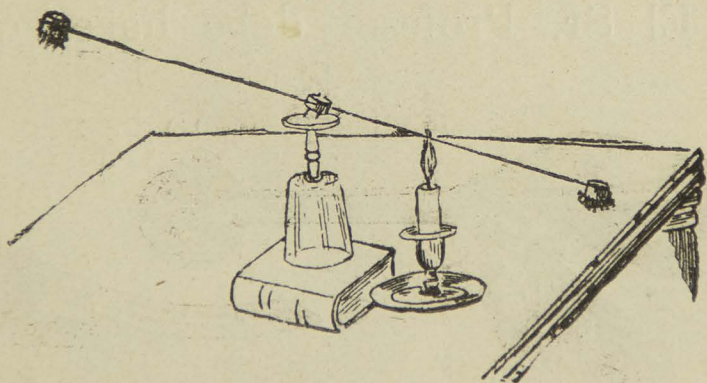


Fig. 62.—Otro experimento para comprobar la dilatación lineal.

Hagamos que un hojalatero nos corte una laminita de zinc con una ranura en el centro, de tal modo que quepa exactamente una moneda de un peso. Esta laminita, que no puede costarnos arriba de seis centavos, se fija por una de sus extremidades en un corcho. Por medio de unas pinzas calentamos la mo-

neda de un peso en la lámpara de alcohol y después de un rato vemos que la moneda ya no cabe por la ranura, lo que indica que la moneda se ha dilatado en todos sentidos.

Veamos si los líquidos también se dilatan. En la boca de una botella llena de agua colorida ponemos un tapón de corcho atravesado por un largo tubo de cristal y marcamos con una hebrita de seda el nivel del líquido en el tubo, pues al apretar el tapón en la botella el líquido sube en el tubo. Una vez que hemos marcado cuidadosamente el nivel, calentamos la botella con la lámpara de alcohol. El Sr. Profesor debe hacer que los

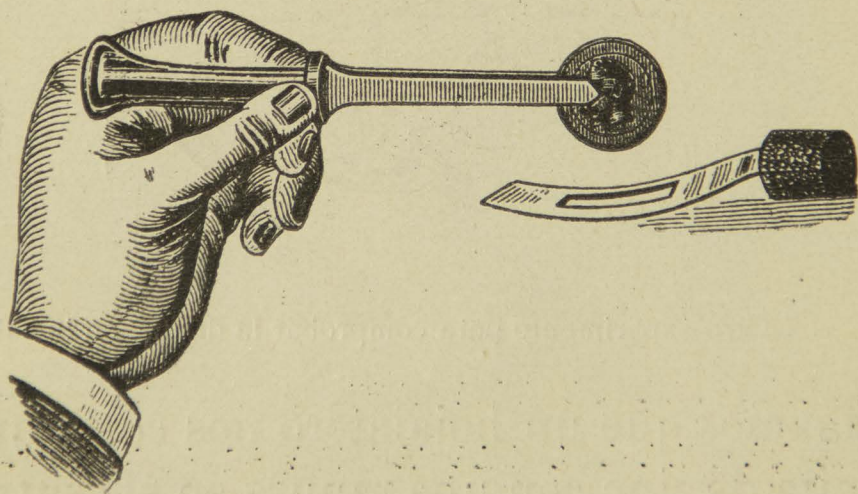


Fig. 63.—La dilatación cúbica.

alumnos fijen su atención en un fenómeno interesante. Al comenzar á calentar, el nivel del líquido baja en el tubo, y después co-

mienza á subir hasta derramarse. Lo que sucede es que la botella se dilata ligeramente por la acción del calor, aumenta de volumen, y aumentando su capacidad antes de que el líquido haya tenido tiempo de dilatarse, el líquido desciende; pero después el líquido se dilata mucho y se hace sensible esta dilatación por el ascenso del nivel en el tubo.

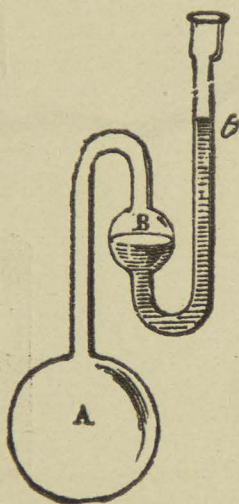


Fig. 64. — Los gases también se dilatan.

Los gases también se dilatán y mucho más que los líquidos. Pongamos en una botella un tapón atravesado por un tubo de cristal muy delgado y en el que hemos puesto un pequeño índice de mercurio. Basta poner las manos sobre la botella para ver al índice avanzar hasta que se escapa al exterior. Podemos también poner en la boca de una botella un tapón atravesado por un tubo en

forma de S. Esta forma podemos darla á un tubo con la lámpara de alcohol. En el tubo en S ponemos alcohol colorido y al calentar ligeramente el globo vemos que varían notablemente los niveles del líquido.

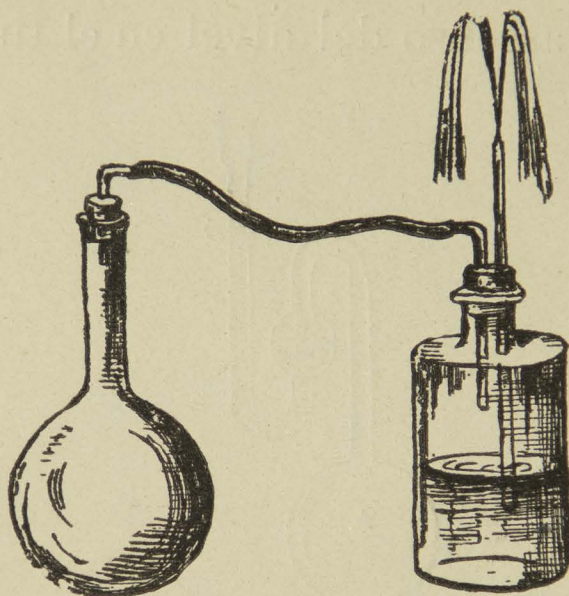


Fig. 65.—La presión del gas aumenta con el calor.

Hay un experimento muy sencillo para comprobar que cuando un gas de volumen constante se calienta, aumenta su fuerza elástica. Se hace uso de un frasco de dos bocas y, en su defecto, de un frasco de boca ancha, con un tapón que tenga dos taladros. Por uno de los taladros pasa un tubo que termina en punta y por el otro un tubo encorvado en ángulo recto. Dentro del frasco se pone agua y

se cuida de que el tubo que termina en punta penetre en el agua, cosa que no debe suceder con el tubo encorvado en ángulo recto. Este se comunica por medio de un tubo de goma con una botella ó matraz lleno de aire y tapado con un corcho atravesado por un tubito de cristal encorvado en ángulo recto. Se calienta el matraz y como el aire no puede dilatarse aumenta de fuerza elástica y al ejercer presión sobre la superficie del agua contenida en el frasco salta un chorro de líquido por el tubo terminado en punta. El chorro puede alcanzar una altura de un metro.

El aire caliente es más ligero que el aire frío y tiende á elevarse, lo que da la explicación de los vientos, cuando en dos lugares cercanos de la Tierra se produce un desequilibrio de temperatura. Para demostrar que el aire caliente sube, basta cortar en una tarjeta de visita una espiral y equilibrarla sobre la punta de un alambre encorvado en ángulo recto y con un mango de corcho. Al colocar la espiral arriba de la lámpara de alcohol la espiral comienza á girar rápidamente.

Veamos algunas aplicaciones de la dilatación sobre los cuerpos. El carroceros calienta las yantas de las ruedas para que se dilaten,

después las coloca sobre el esqueleto de madera y al enfriarse la yanta aprieta fuertemente.

Dos muros que no están derechos se pueden enderezar por medio de una barra de fierro. La barra se dilata y entonces se fijan las tuercas. La barra al enfriarse se contrae y endereza los muros. Los rieles en los caminos de fierro se van colocando algo separados en sus extremos para que no se tuerzan al dilatarse y empujarse unos á otros.

La dilatación de los líquidos ha sido aplicada en los termómetros comunes que se construyen con mercurio ó con alcohol. Nosotros en la clase no vamos á construir un termómetro; sencillamente veremos si está bien graduado. Un termómetro de cristal (no montado en madera) puede conseguirse en una droguería por 80 centavos ó un peso. Comenzaremos por ver si el *cero* está bien colocado. Preparemos un embudo sostenido en el tripié y colocado sobre un plato sopero. Llenamos el embudo con hielo machacado, habiendo tenido antes la precaución de lavar muy bien el trozo de hielo, para que no vaya á contener algo de sal. Introducimos el termómetro en el hielo machacado y observamos que inmediatamente el mercurio comien-

za á bajar. Si el termómetro está bien graduado, el mercurio se detendrá en el *ceros*; si no lo está se detendrá algunos décimos arriba ó abajo del cero y ese error lo debemos tener en cuenta para corregir las lecturas que hagamos en lo de adelante. Después preparamos un matraz que tenga un tapón con dos taladros: por uno debe pasar el termómetro y por el otro un tubito encorvado en ángulo recto. Ponemos en el matraz agua hasta la mitad y calentamos con la lámpara de alcohol. El mercurio comienza á subir y al llegar á la temperatura de  $92^{\circ}8$  debe permanecer estacionario. Al nivel del mar el agua pura hierve á los 100 grados; pero al nivel de México hierve á  $92^{\circ}8$  á causa de que como la altura de México sobre el nivel del mar es de 2,265 metros, la presión del aire es mucho menor que al nivel del mar.

El Sr. Profesor debe ejercitar frecuentemente á sus alumnos en hacer lecturas termométricas. Parece muy fácil leer un termómetro y sin embargo pocas personas hacen una lectura apreciando hasta décimos de grado. Aun cuando un termómetro no esté graduado en décimos de grado, la práctica constante permite al observador apreciar esas fracciones con bastante aproximación.

Dijimos antes que cuando un cuerpo sólido, como el azufre, la estearina, la parafina, la cera, se calienta con la lámpara de alcohol, pasa al estado líquido y este fenómeno se conoce con el nombre de *sufrimiento*. Si ya que el cuerpo está fundido lo dejamos enfriar, pasa de nuevo al estado sólido. Pero hay algunos cuerpos que presentan el fenómeno curioso de permanecer al estado líquido aun cuando ya hayan llegado y aun bajado de la temperatura de solidificación. Este fenómeno se conoce con el nombre de *sobrefusión*. Estudiemos la sobrefusión del fósforo. Ante todo debo advertir que este cuerpo debe ser manejado con mucha precaución, pues produce muy graves quemaduras. El fósforo debe siempre conservarse en frascos llenos de agua y muy bien tapados. El frasco ha de ser de vidrio azul obscuro ó bien ha de estar forrado con papel negro, pues la luz lo altera. Para hacer uso de un fragmento de fósforo se extrae del frasco con ayuda de unas pinzas y se pone dentro de una bandeja ó cristalizadora con agua. Con un cuchillo, y siempre ayudándose de las pinzas, se corta el fragmento que se desee y el resto se vuelve á poner en el frasco. Teniendo todas estas



precauciones no habrá que lamentar un accidente.

Volvamos al experimento de sobrefusión del fósforo. Dentro de un tubo cerrado por una extremidad ponemos agua hasta la mitad y un pequeño pedazo de fósforo. Siendo el fósforo más denso que el agua, se irá al fondo del tubo. El tubo lo introducimos en un vasito de cristal lleno de agua y provisto de un termómetro. Ya preparado de este modo el aparato, comenzamos á calentar el vasito por medio de la lámpara de alcohol. Cuando el termómetro marca 44 grados de temperatura el fósforo se funde, es decir, pasa al estado líquido, y como el fósforo líquido es más denso que el agua, permanece en el fondo del tubo. Seguimos calentando hasta llegar á la temperatura de 60 grados, y en seguida apagamos la lámpara. El termómetro empieza á descender, llega á 44 grados y en este momento el fósforo debía solidificarse, puesto que *la temperatura de solidificación de un cuerpo es igual á la temperatura de fusión*. No sucede así, sin embargo; la temperatura llega hasta 30 grados y el fósforo no se solidifica. Si introducimos en el tubo una varilla de cristal muy limpia, vemos que podemos mover el líquido fácilmente: el fósfo-

ro está enteramente fluído. Pero si frotamos la varilla de cristal contra un fragmento de fósforo y después introducimos la varilla dentro del fósforo sobrefundido, la solidificación se efectúa de una manera brusca. Este experimento se debe al Sr. Gernez.

El agua también presenta el fenómeno de la sobrefusión. El agua de los ríos no se congela sino cuando la temperatura del aire ha descendido 10 ó 12 grados abajo de cero.

La *fusión* es el paso de un sólido al estado líquido; la *solidificación* es el fenómeno inverso: el paso de un líquido al estado sólido. Si ponemos un trozo de estearina en un plato y calentamos con la lámpara de alcohol, la estearina pasa al estado líquido, y por medio de un termómetro podemos convencernos de que este paso se efectúa á la temperatura de 70 grados. Además, una vez comenzada la fusión, la temperatura permanece constante hasta que termina el fenómeno de la fusión. Ya que toda la estearina está líquida, el termómetro comienza á subir por arriba de 70 grados. Dejamos enfriar y al llegar el termómetro á 70 grados empieza la solidificación.

En vista de que el agua presenta el fenómeno de la sobrefusión se recurre á

las mezclas refrigerantes para conseguir fácilmente su solidificación. En una taza de porcelana mezclamos 2 partes de hielo machacado y 1 parte de sal marina. Si introducimos en esta mezcla un termómetro veremos que el mercurio desciende rápidamente y baja hasta 21 grados bajo cero. Si en otra taza ponemos una mezcla de 3 partes de hielo machacado y 4 partes de cloruro de calcio en polvo la temperatura desciende hasta 50 grados bajo de cero. Todos conocemos la aplicación de las mezclas refrigerantes en la fabricación de nieve y helados. Todo cuerpo sólido necesita calor para pasar al estado líquido. La sal que se mezcla al hielo se disuelve en el agua que resulta de la fusión, es decir, la sal pasa al estado líquido y la absorción de calor que necesita para fundirse hace bajar la temperatura de los cuerpos que están en contacto con ella.

Basta hacer el siguiente experimento. En un vaso con agua se introduce un termómetro y ya que la temperatura está estacionaria se disuelve un terrón de azúcar en el agua. Inmediatamente el termómetro marca una temperatura más baja. El azúcar para disolverse absorbió calor. Si en otro vaso con agua y provisto de un termómetro vamos ponien-

do cortas cantidades de sal de cocina (cloruro de sodio) vemos que la sal se disuelve; pero llega un momento en que permaneciendo constante la temperatura, ya no se disuelve mayor cantidad de sal. Entonces decimos que el agua está *saturada* á esa temperatura.

Calentamos el agua y observamos que se disuelve la sal que antes no se había querido disolver. Pero si mantenemos otra temperatura constante, vuelve la solución á estar saturada, aunque con mayor cantidad de sal. ¿Qué sucederá si no estando el agua saturada de sal á una temperatura elevada, bajamos la temperatura? Que comenzará la solución á estar saturada y aparecerán cristales de sal. Sin embargo, así como algunos líquidos presentan el fenómeno de la sobrefusión, algunas soluciones presentan el fenómeno de la sobresaturación. El experimento resulta muy hermoso con el acetato de sosa. En un litro de agua disolvemos 600 gramos de acetato de sosa, calentando por largo tiempo con la lámpara de alcohol. Esta operación debe hacerse en un matraz muy limpio. Cuando todo el acetato se haya disuelto retiramos la lámpara y tapamos la boca del matraz con un poco de algodón. El aparato debe quedar

en perfecto reposo. Ya que la solución esté fría, ó lo que es lo mismo, ya que haya adquirido la temperatura ambiente, nos convencemos de que la solución está perfectamente fluída, inclinando suavemente el matraz y viendo que el líquido resbala por todos lados. En seguida quitamos el tapón, introducimos cuidadosamente un termómetro y por último dejamos caer dentro de la solución unos cristalitos de acetato de sosa. El fenómeno que se presenta es bellísimo. La sal comienza á cristalizar en la superficie, se forman unas estrellas de cristales y á los pocos instantes todo es una masa sólida. Además, la temperatura asciende algunos grados, á causa de que la sal sobresaturada abandona, al solidificarse, el calor que había hecho *latente* en el momento de la fusión.

El agua presenta un curioso fenómeno y es que á la temperatura de 4 grados es cuando presenta su máximo de densidad. Supongamos un litro de agua á la temperatura de 15 grados, conforme vamos enfriando, el agua va disminuyendo de volumen y aumentando la densidad. Al llegar á la temperatura de 4 grados, el agua adquiere su mínimo volumen y su máxima densidad, y si seguimos enfriando, entonces aumenta el vo-

lumen y disminuye la densidad. Desde luego es muy fácil convencerse de que el agua al estado sólido es menos densa que al estado líquido. Un trozo de hielo flota en el agua, y si el hielo fuera más denso que el agua se precipitaría al fondo. Vamos á demostrar con un experimento concluyente que el agua al solidificarse aumenta de volumen. Llenamos enteramente con agua una botellita de vidrio y la tapamos muy bien con un corcho lacrado y amarrado con un alambre, é introducimos la botella en una mezcla refrigerante (hielo machacado y cloruro de sodio). A poco rato se escucha un ruido: la dilatación del agua al congelarse rompe la botella y quitando con precaución los fragmentos de vidrio, tendremos una masa de hielo de la misma forma de la botella.

Es realmente una ventaja que el agua al congelarse aumente de volumen, disminuyendo, por lo tanto, de masa específica. Si el agua al congelarse aumentara de masa específica se precipitaría al fondo de los lagos y de los ríos, imposibilitando la continuación de la vida animal y vegetal dentro de las aguas. Además, como al venir la estación de verano, los rayos solares no tendrían fuerza suficiente para fundir el hielo acumulado en

el fondo de los ríos y de los lagos, y como al año siguiente habría una nueva acumulación de hielo, resultarían grandes inundaciones; mientras que permaneciendo los hielos en la superficie de las aguas, la temperatura del fondo se mantiene á cuatro grados y al llegar la época de calor los hielos se funden fácilmente.

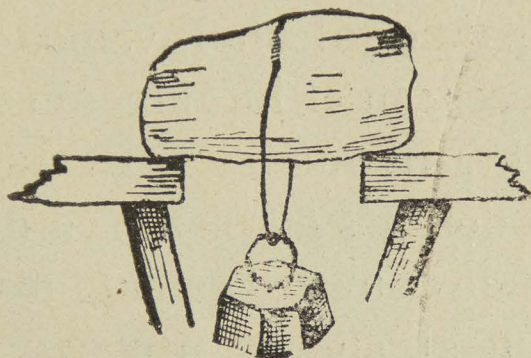


Fig. 66.—El rehielo.

Cuando aumenta la presión en un cuerpo que se dilata al pasar del estado líquido al sólido, se favorece la solidificación. Hagamos el siguiente experimento. Colóquese un grueso trozo de hielo entre dos soportes cualesquiera, dos cajas de madera, por ejemplo, y abrácese con un aro de alambre del que cuelgue una pesa de dos kilos. El alambre va pasando á través del hielo, dejando una huella bien marcada y ya que ha pasado del otro lado se observa que el hielo se ha sol-

dado íntimamente. Este fenómeno se conoce con el nombre de *rehielo*.

Si en un plato extendido ponemos una poca de agua y dejamos el plato en reposo, al cabo de algunas horas todo el líquido ha desaparecido. Decimos que el agua se evaporó. La *evaporación* es el paso lento de un líquido al estado de vapor. Si en un vaso de cristal ó de metal ponemos agua y calentamos con la lámpara de alcohol, vemos que empiezan á aparecer en el líquido unas burbujas que son del aire que estaba disuelto en el agua. Poco después empiezan á desprenderse de todos los puntos calentados, burbujas de vapor que al encontrar capas superiores más frías se condensan y no llegan á la superficie. A esta formación y condensación sucesiva de las primeras burbujas de vapor que se desprenden es á lo que se debe el ruido que se escucha cuando un líquido va á comenzar á hervir. Por último, hay un desprendimiento tumultuoso de burbujas en el líquido calentado. Este fenómeno se conoce con el nombre de *ebullición*.

Cada líquido tiene una temperatura invariable de ebullición, siempre que la presión del medio que rodea al líquido sea constante. El agua hierve al nivel del mar á la tem-



peratura de 100 grados, y al nivel de México (donde la presión atmosférica es mucho menor que al nivel del mar) el agua hierve á  $92^{\circ}8$ . La temperatura de un líquido permanece constante mientras dura el fenómeno de la ebullición.

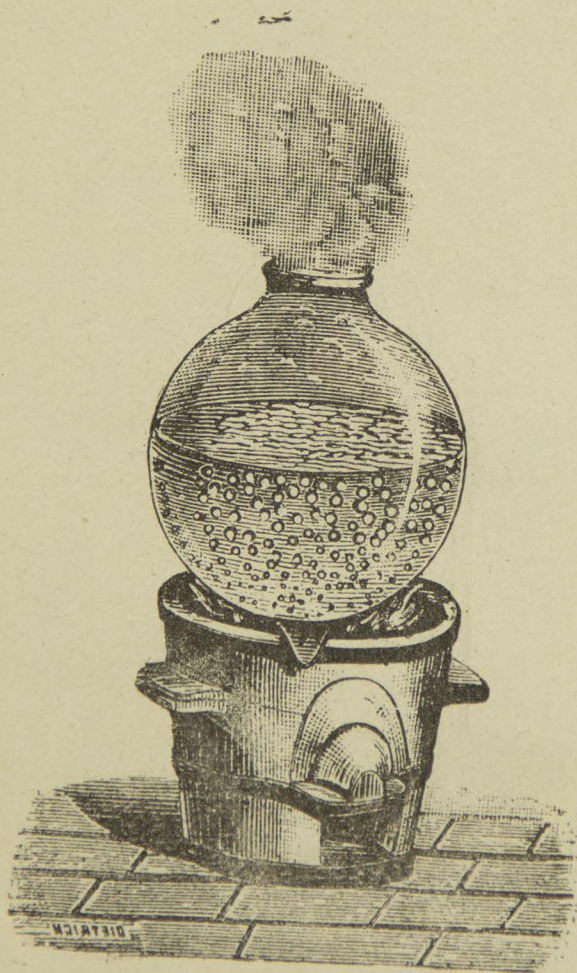


Fig. 67.—El fenómeno de la ebullición.

Hemos dicho que en México el agua hierve á menor temperatura que al nivel del

mar á causa de que la presión atmosférica es menor. Conforme vamos alejándonos del nivel del mar la temperatura de ebullición del agua va siendo menor.

El Sr. Saussure hizo hervir agua en la cima del Monte Blanco (4,815 metros sobre el nivel del mar) y vió que el agua hervía á 80

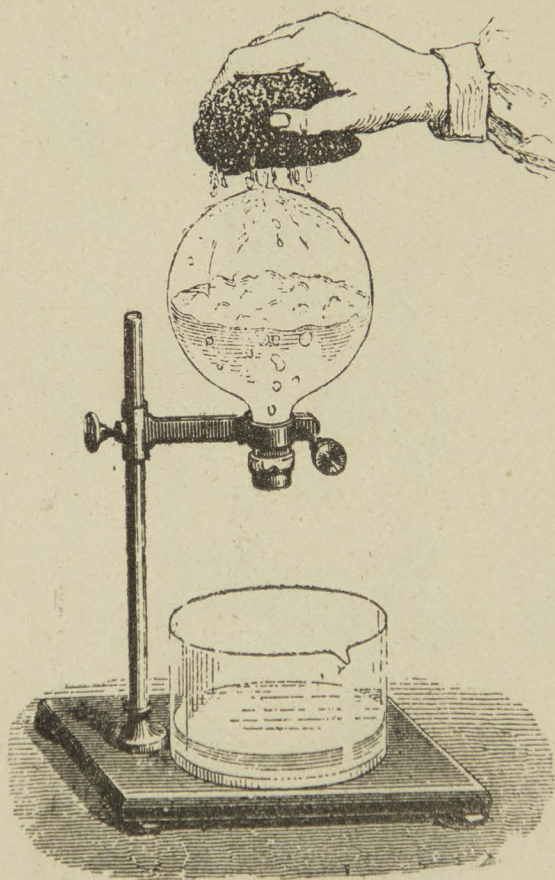


Fig. 68.—Experimento de Franklin.

grados. Se comprende por esto que la fuerza elástica del vapor de agua en ebullición es igual á la presión exterior que se ejerce en

su superficie. El célebre americano Benjamín Franklin ideó un experimento para demostrar la influencia que tiene la disminución de presión en la ebullición de los líquidos. En un matraz de vidrio se pone agua hasta la mitad y se calienta con la lámpara de alcohol. Ya que los vapores del agua en ebullición hayan expulsado todo el aire, se retira la lámpara, se tapa muy bien el frasco y se invierte, teniendo cuidado de introducir el cuello del matraz en un vaso con agua para impedir la entrada del aire. Cuando ha cesado el desprendimiento de burbujas, se moja el fondo del matraz con una esponja ó con un lienzo empapado en agua fría é inmediatamente se ve que se desprenden del seno del agua gruesas burbujas que van á reventar en la superficie. Esta ebullición se debe á que, al enfriarse el matraz, los vapores se condensan, tiende á hacerse el vacío y los vapores se desprenden á temperatura más baja que la que se necesitaría en un medio más denso. En cambio si la presión aumenta se retarda el fenómeno de la ebullición; así, por ejemplo, el agua comprimida á la presión de dos atmósferas no hierve sino á la temperatura de 121°.

Sobre el tripié que construimos desde la

primera lección, calentamos con la lámpara de alcohol una cápsula de metal, por ejemplo una pequeña cacerola. Cuando la cápsula está muy caliente dejamos caer con ayuda de una pipeta unas gotas de agua. Observaremos que el agua en lugar de evaporarse rápidamente adquiere una forma esférica, comienza á girar, y se evapora en silencio y con extraordinaria lentitud. Si quitamos la lámpara para que la cápsula se enfríe llega un momento en que la gota de agua se evapora con rapidez. El físico Leidenfrost fué quien por primera vez—siglo XVIII—observó estos fenómenos; pero Boutigny se dedicó especialmente al estudio de ese hecho curioso y dió el nombre de *estado esferoidal* al estado peculiar de los líquidos que se hallan sobre láminas incandescentes. Si se comunica la placa con un polo de una pila eléctrica y ésta con un timbre eléctrico y el otro alambre se introduce dentro de la gota, el timbre no suena, lo que indica que no hay contacto entre la gota y la placa caliente.

El estado esferoidal se explica admitiendo que el glóbulo líquido se encuentra mantenido á corta distancia de la placa por la tensión del vapor que se produce en su superficie y que causa una repulsión tanto más in-

tensa cuanto mayor es la temperatura de la placa. No estando el líquido en contacto con la placa, sólo se calienta por radiación y como gran parte del calor atraviesa la gota sin calentarla, se explica que la evaporación sea tan lenta.

El Sr. Gossart explica el estado esferoidal considerándolo como una forma capilar especial que se produce siempre que una pequeña masa líquida está completamente rodeada por un fluido (vapor ó líquido) donde adquiere una tensión superficial constante.

---

## CAPITULO NOVENO.

---

### Acústica.

**MATERIAL NECESARIO PARA EL DESARROLLO DE ESTA LECCIÓN:** Un resorte de caucho, un trozo de madera, una aguja de acero, una esferita de metal, dos copas, una hoja de papel, un diapasón, una barra de cristal, alambre de cobre, de acero y de latón, un reloj de bolsa, una cuchara, un carrete de hilo, una pantalla de lámpara de petróleo, una caja de madera, una corneta de barro, una flautita de hoja de lata, dos argollas, dos clavos, una pesa de 10 kilos, una de 2 kilos, una de medio kilo, una cuerda de tripa, dos reglas de madera, un aparato para preparar hidrógeno, un tubo grueso de cristal, una caja de cerillos, un silbato.

Estamos tan acostumbrados á oír sonidos á nuestro derredor—digo en mi libro relativo al *Fonógrafo*—que el silencio absoluto nos conmovería sin duda, y no sólo nos conmovería: nos causaría terror. Desde que abrimos los ojos á la luz del día, escuchamos el gorgear de los pájaros que saludan al Autor de

la creación; la voz de las personas con quienes vivimos, el ruido de los coches y carros que pasan por la calle, el golpear del martillo sobre el yunque en la herrería cercana, y cien y cien ruidos más á que estamos acostumbrados. Ya es el repicar de la campana del templo, que llama á los creyentes, ó el grito del vendedor que anuncia su mercancía, ó el ladrido del perro ó el cantar del gallo.

En medio del silencio de la noche oímos el silbato de alerta del agente de policía, las pisadas del trasnochador, el tictac del reloj de mesa ó el roer de algún ratón que se ha introducido en nuestro cuarto. Pero aun suponiendo que en un espacio dado de tiempo no escucháremos ninguno de esos ruidos, apreciaríamos el producido por nuestra propia respiración. Así es que la ausencia de todo sonido, de todo ruido; en una palabra, el silencio absoluto, sería para nosotros sinónimo de inmovilidad y de muerte.

La necesidad del trabajo y de la industria humana han obligado al hombre á producir ruidos que no se recomiendan ni por la melodía ni por la armonía, pero que son inseparables de las labores que los producen y que participan, por decirlo así, de su carác-

ter de utilidad. El ruido que producen las maquinarias de los telares, carpinterías y fundiciones; el ruido de las máquinas de vapor, de los martillos y de las sierras, de los molinos y de los talleres, no tienen nada de agradable; pero son los alegres síntomas de la paz, de la tranquilidad y del trabajo, y es claro que preferimos estos ruidos al estampido de los cañones, al tronar de los fusiles y al reventar de las bombas que producen la muerte y la desolación entre los pueblos.

Fijemos en el costado de nuestra mesa de experimentos una pequeña armella y amarraremos un resorte de caucho. Restiremos el resorte, y en seguida con la otra mano separaremos el resorte por su parte media y al soltarlo escuchamos un sonido. Además, notamos que el resorte adquiere un movimiento de vaivén muy rápido.

Si en un block de madera fijamos la extremidad de una larga aguja de acero y separamos la extremidad libre de la aguja, veremos, al soltarla, que oscila á derecha é izquierda de su posición de equilibrio y produce un sonido.

De un soporte cualquiera colgamos con un hilo una esferita de metal (un botoncito de metal puede servir), y ponemos la esferita en



contacto con el borde de una copa. Si damos un pequeño golpe á la copa, escuchamos un sonido y al mismo tiempo observamos que la esferita es rechazada por la copa, lo que nos indica que las partículas de la copa han entrado en vibración, por más que esas vibraciones sean tan pequeñas que no podemos percibir las.

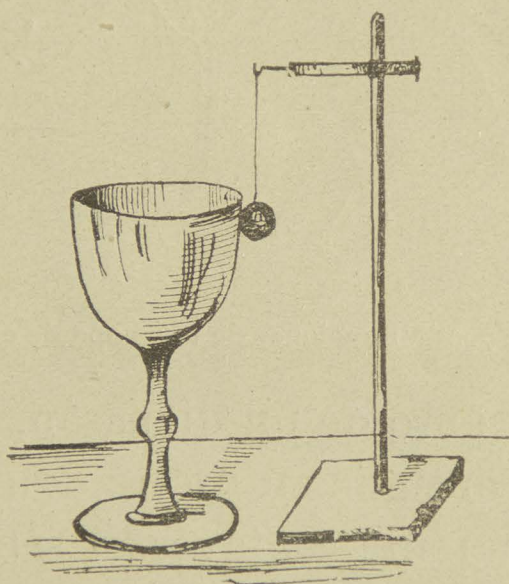


Fig. 69.—La bolita es impulsada por las vibraciones de la copa.

Tomemos una copa de cristal delgado, le ponemos agua hasta las tres cuartas partes, y después de limpiar muy bien los bordes, ponemos sobre la copa una cruz de papel cuyas extremidades están dobladas en ángulo recto para evitar que la cruz resbale lateralmente. En seguida, con el dedo mojado frotamos un punto cualquiera de la superficie exterior de

la copa; se escucha un sonido y la cruz de papel comienza á girar hasta que una de sus extremidades viene á quedar encima del punto frotado por el dedo.

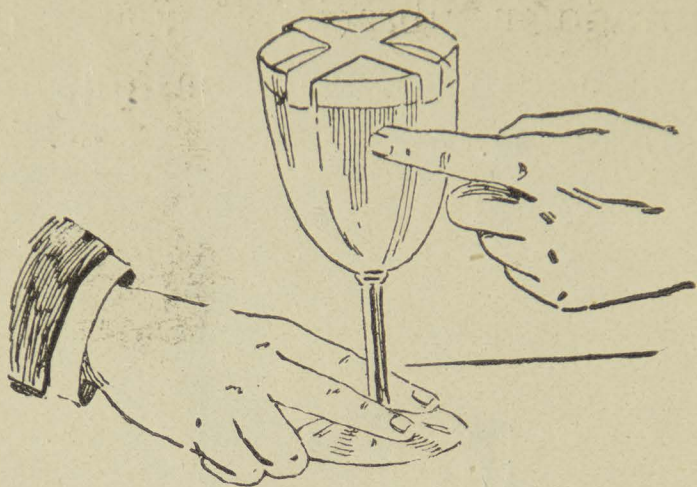


Fig. 70.—Vibraciones de una copa de cristal.

Hagamos uso de un diapasón, instrumento que se consigue en un repertorio de música por cuarenta centavos, y separemos sus ramas con una barra de cristal. El diapasón producirá una nota musical y la intensidad del sonido aumentará notablemente al apoyar el pie del diapasón sobre una mesa ó sobre una caja de madera. Si una vez que el diapasón está vibrando acercamos una de sus ramas á la esferita de metal del experimento anterior (fig. 69), la esferita será fuertemente impulsada por las vibraciones del diapasón.

Ponemos sobre la mesa dos copas de cristal llenas de agua hasta la cuarta parte de su altura. Añadimos agua en una ú otra copa

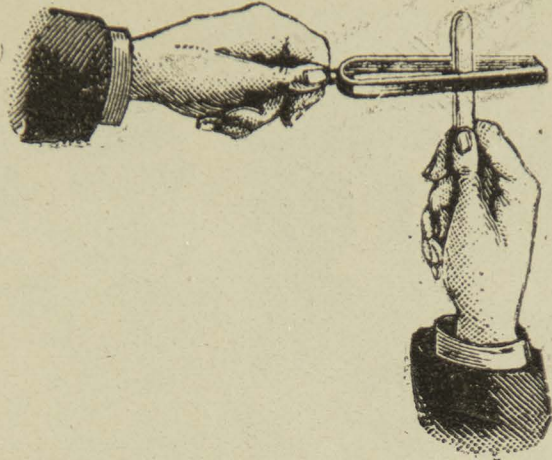


Fig. 71.—El diapasón al vibrar produce un sonido.

hasta que las dos den la misma nota cuando se les pegue con la hoja de un cuchillo, es decir hasta que las dos copas estén *al unísono*. Pongamos, ahora, atravesado en los bordes de una copa, un alambrito muy ligero encorvado en las dos extremidades y hágase vibrar la otra copa, frotando su borde con el dedo mojado. Las vibraciones de esta copa se transmiten inmediatamente á la otra, y nos convencemos de ello, viendo que el alambrito salta sobre la copa, movimiento que dura mientras dura la vibración de la otra copa.

El sonido se transmite en el aire en forma de ondas que se propagan con una velocidad de 340 metros por segundo.

Los líquidos transmiten el sonido mejor que los gases y los sólidos mejor que los líquidos. Si colocamos un reloj de bolsa en el extremo



Fig. 72.—Vibraciones por influencia.

de una larga mesa y nos colocamos frente al otro extremo de la mesa no escuchamos el tictac del reloj; pero basta que apoyemos el oído sobre la mesa para escuchar inmediatamente el sonido producido por el reloj.

Cortemos una hebra de hilo de 1 metro 50 de largo y en la mitad amarramos una cuchara grande de metal. Si después con el cuerpo inclinado hacemos oscilar la cuchara, teniendo cuidado de introducir las extremidades del hilo en nuestros oídos, percibimos, cada vez que la cuchara choca contra la mesa, unas fuertes vibraciones que semejan el

repicar de grandes campanas en una catedral.



Fig. 73.—Transmisión del sonido por una hebra de hilo.

Una pantalla de lámpara nos va á servir de espejo cóncavo para el siguiente experimento. Colocamos un reloj de bolsa un poco atrás del plano de la base mayor del reflector y colocados frente á frente del aparato podemos escuchar el sonido del reloj á una distancia de 15 metros. Puede aumentarse el alcance del sonido si se recogen las ondas sonoras por medio de otro reflector.

Hemos dicho que el sonido se propaga en forma de ondas, lo mismo que la luz. Supon-

gamos en el punto A (fig. 74) un centro de conmovión sonora. Las ondas se van propagando y al llegar á un muro PQ, por ejem-

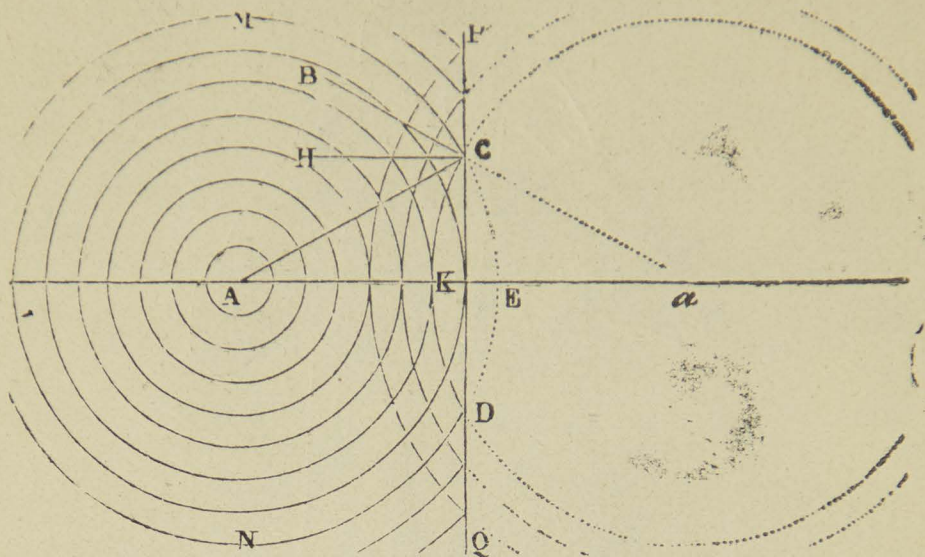


Fig. 74.—Las ondas sonoras.

plo, se reflejan y empiezan á caminar en sentido contrario; y éstas ondas reflejadas parecen tener un centro común *a* que se llama foco virtual. La reflexión del sonido sobre un muro, montaña, ó arboleda, da nacimiento á la producción del conocido fenómeno del *eco*; pero para que el eco se perciba se necesita que el observador esté colocado á una distancia de 17 metros del cuerpo reflector.

En efecto, la experiencia ha demostrado que para que pueda existir un eco verdadero es preciso que el sonido directo y el reflejado estén separados por un intervalo de

tiempo de  $\frac{1}{10}$  de segundo; como la velocidad del sonido en el aire es de 340 metros por segundo, en  $\frac{1}{10}$  de segundo el sonido caminará 34 metros, y teniendo en cuenta el tiempo que tarda en ir y venir, el obstáculo tendrá que estar colocado á una distancia de 17 metros que es la mitad de 34.

Cuando un observador está colocado á 17 metros de un muro reflector, percibe la repetición de la última sílaba de la palabra que pronuncia; este *eco* se llama *sencillo* ó *monosilábico*. Si el muro reflector está á una distancia doble de 17 metros, ó sea á 34 metros, el eco será *disilábico*.

Cuando la distancia que separa á un cuerpo sonoro, del cuerpo reflector, es menor de 17 metros, el sonido directo y el reflejado se sobreponen en parte, y se nota que los sonidos directos son á la vez reforzados y prolongados. Es cierto que de este modo el sonido adquiere mayor intensidad; pero se vuelve confuso y si su prolongación es considerable, el fenómeno toma el nombre de *resonancia*. Este fenómeno se observa principalmente en las grandes salas cuyas paredes están desnudas, mientras que deja de observarse en aquellas en que hay tapices y colgaduras,

Si hacemos sonar una corneta de barro y una flautita de hoja de lata, aquella produce un sonido más *grave*, y ésta un sonido más *agudo*. Entonces decimos que ambos sonidos son de diferente *altura*; dependiendo esta altura del número de vibraciones por segundo. El diapasón que se emplea en música para afinar las orquestas, da la nota *la*<sub>3</sub> ó sea *la* de la tercer escala y corresponde á 870 vibraciones por segundo.

Cuando estudiamos el péndulo, en el capítulo II de este libro, dijimos lo que se entiende por *amplitud* de una oscilación.

Las vibraciones de un cuerpo sonoro pueden compararse con los movimientos pendulares, y mientras mayor es la amplitud de una vibración, mayor es la *intensidad* de un sonido.

Cuando escuchamos una misma nota de la misma altura y de la misma intensidad, pero producida por instrumentos diferentes, reconocemos fácilmente si se trata de un violín, de un piano, de una flauta ó de la voz de una persona, por otra cualidad del sonido llamada *timbre*.

Resulta, por lo expuesto, que todo sonido está caracterizado por tres cualidades, á saber;



*La altura*, que depende del número de vibraciones producidas en un segundo.

*La intensidad*, que depende de la amplitud de las vibraciones.

*El timbre*, cualidad que sirve para distinguir á dos sonidos de la misma altura y de la misma intensidad, producidos por instrumentos diferentes. Este timbre depende, como veremos más tarde, de los harmónicos que acompañan al sonido fundamental.

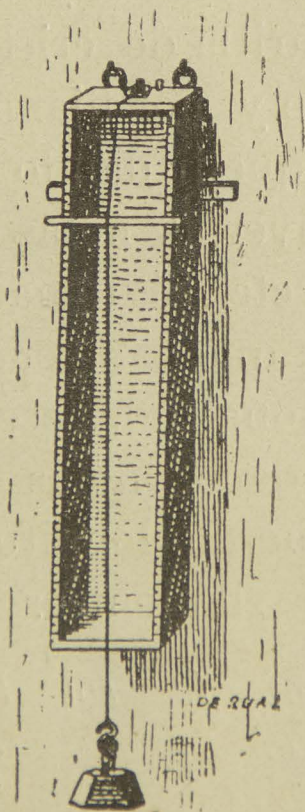


Fig. 75.—Un sonómetro improvisado.

Ocupémonos ahora de las vibraciones de las cuerdas. Tal como lo indica la figura 75,

hecemos uso de una caja de madera de 1 metro de largo por 20 centímetros de ancho y por 10 de profundidad, y la fijamos contra la pared con ayuda de dos argollas y dos clavos. A lo largo de los bordes de la caja pegamos dos tiritas de papel graduadas en centímetros. Fijamos una armella en la parte superior de la caja y colgamos de ahí una cuerda de piano de medio milímetro de diámetro y restirada por medio de una pesa de 10 kilos. Entre la cuerda y la caja vamos resbalando una varilla de cristal que hace veces de caballete y nos fijamos en las longitudes que hay que ir dando á la cuerda para producir las diversas notas de la gama: *do*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, etc. Si tomamos como nota fundamental la que da la cuerda cuando tiene 1 metro de longitud, veremos que para ir obteniendo las demás notas de la gama hay que dar á la cuerda longitudes expresadas por los números siguientes:

<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do</i>
1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{1}{2}$

El Sr. Profesor hará que los alumnos determinen, en centímetros, la longitud de cuerda que corresponde á las distintas notas, partiendo del dato de que á la nota *do*, co-

responde una longitud de cuerda de 100 centímetros, y como los números de vibraciones correspondientes á las notas de la gamma, están representados por los números

<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do</i>
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{1.5}{8}$	2

resulta, pues, que *los números de vibraciones de las cuerdas están en razón inversa de las longitudes.*

Reemplacemos ahora el peso de 10 kilos por uno de 2 kilos y medio, y veremos que la cuerda da una nota que es la octava grave de la precedente. Este es un resultado de una ley que se enuncia así:

*Los números de vibraciones de las cuerdas son proporcionales á las raíces cuadradas de los pesos que las tienden.*

Coloquemos ahora el sonómetro horizontalmente sobre una mesa y elevamos la cuerda por medio de dos reglas. Supongamos que la distancia entre las dos reglas sea exactamente de 90 centímetros. Si á la tercera parte de esta distancia ponemos otra regla, la nota que dará la cuerda de 60 centímetros será la *quinta* de la nota producida por la cuerda de 90 centímetros. Si ésta fué un *do*, aquella será un *sol*. Vamos á demostrar aho-

ra, que cuando una cuerda produce un sonido, existen en ella puntos de máxima vibración llamados *vientres*, y puntos de mínima vibración llamados *nodos*. Montamos sobre la cuerda varios caballetitos de papel; al hacerla vibrar, vemos que los caballetitos montados en los puntos correspondientes a los nodos permanecen inmóviles y los montados en los puntos correspondientes a los vientres son impulsados hacia fuera. Basta apoyar un dedo á la tercera parte de un

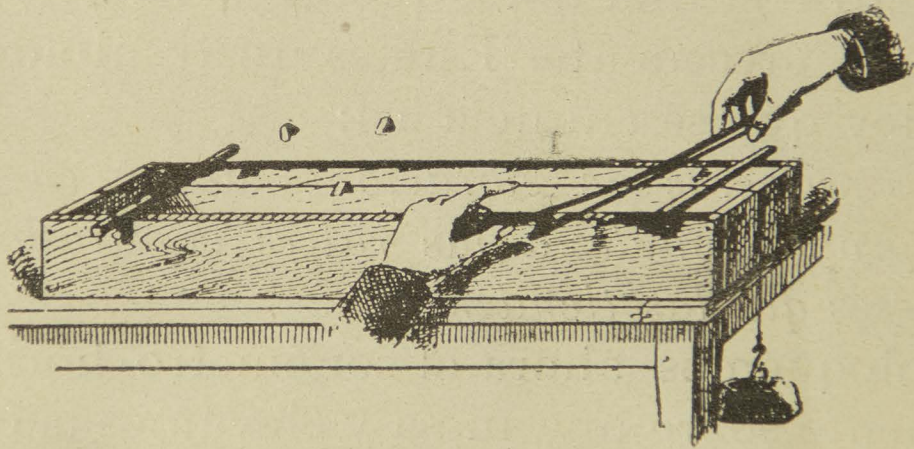


Fig. 76.—Los nodos y los vientres.

cuerda y hacer vibrar esa tercera parte para comprobar que en el otro tercio de la cuerda hay un nodo y en las mitades de los tercios hay vientres.

Preparamos el aparatõ siguiente que ya nos ha servido en capítulos anteriores para

preparación del ácido carbónico y del hidrógeno.

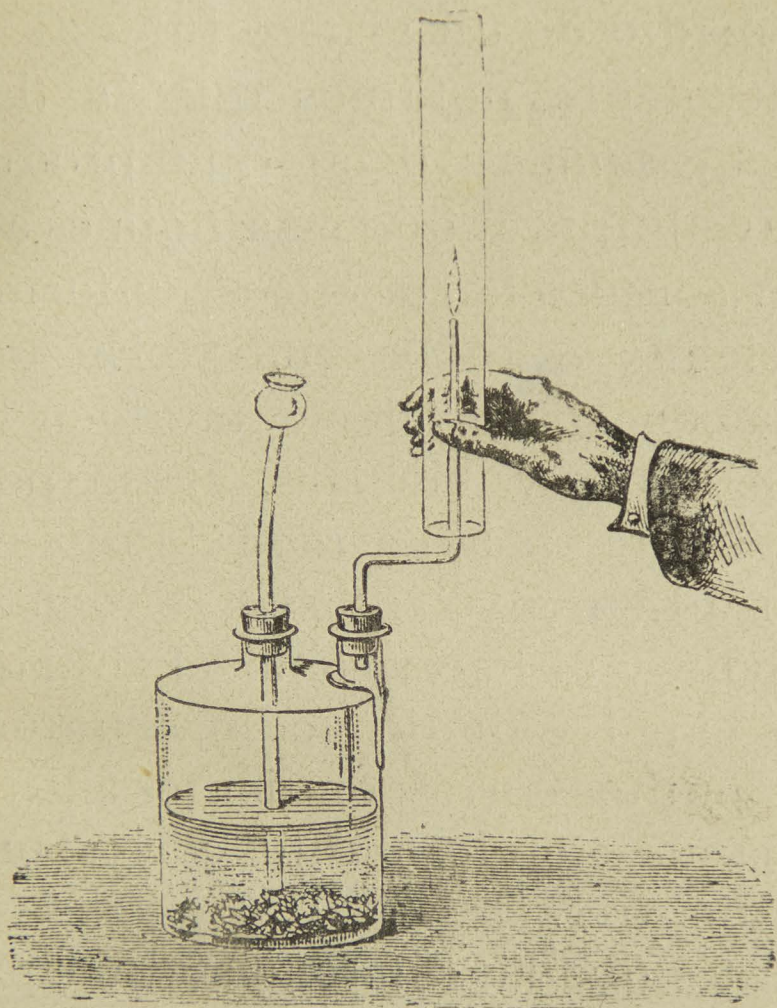


Fig. 77.—La flama cantante.

Es precisamente hidrógeno lo que tratamos de preparar y ya sabemos que para esta preparación necesitamos zinc, agua y ácido sulfúrico. Una vez que estamos seguros de que todo el aire contenido en el frasco ha sido desalojado se inflama el hidrógeno que se escapa por el tubo terminado en punta. El

Sr. Profesor hará que los alumnos se fijen en las cualidades de la flama: longitud, coloración, anchura. En seguida rodeamos la flama por medio de un grueso tubo de cristal é inmediatamente notamos que la flama comienza á *cantar*, es decir que produce una nota muy limpia y que esta nota es acompañada por sonidos harmónicos conforme se va introduciendo el tubo grueso. En un tubo sonoro puede comprobarse también la existencia de nodos y vientres. Basta para ello fijar un silbato en la entrada de un largo tubo de cristal en cuyo interior se pone polvo de licopodio y al hacer sonar el silbato se ve que salta el polvo de licopodio, acumulándose en los puntos correspondientes á los nodos y desalojándose en los puntos correspondientes á los vientres.

Dije antes que las diferencias que presentan los sonidos de la misma altura, dependen de los harmónicos que acompañan á cada sonido.

El ilustre Helmholtz demostró que: *los sonidos producidos por los instrumentos de música no son simples, sino que están formados por una nota dominante y por algunos harmónicos que la acompañan.*

Es indudable que la nota grave domina y

es la que fija la altura del sonido; pero el timbre particular depende del cortejo de harmónicos y de su intensidad relativa.

El piano y el violín son instrumentos muy ricos en harmónicos. Los harmónicos son el conjunto de sonidos, cuyos números de vibraciones son un múltiplo entero del número correspondiente á la nota dominante. Por ejemplo, el  $do_1$  del violoncello, corresponde á 65 vibraciones por segundo. Veamos cuáles son los harmónicos principales de esta nota, con expresión de sus números respectivos de vibraciones, por segundo:

$do_1$ .....	65
$do_2$ .....	130
$sol_2$ .....	195
$do_3$ .....	260
$mi_3$ .....	325
$sol_3$ .....	390

Ahora bien, si á los números 65, 130, 195, 260, 325, 390, les sacamos  $65^{ava}$  parte, encontraremos que dichos números están en la relación sencilla de los números 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Así, pues, el primer harmónico de un sonido es el sonido mismo; el segundo harmónico es la octava aguda que corresponde á un número doble de vibraciones; el tercer

harmónico es la quinta de la octava que corresponde á un número triple de vibraciones de la nota dominante, etc., etc.

El Sr. Profesor hará que los alumnos construyan un teléfono acústico por medio de dos tubos de hoja de lata, en una de cuyas bases se restira una hojita de pergamino atravesada en su centro por un hilo anudado.

Si el Sr. Profesor puede conseguir un pequeño fonógrafo (aparato actualmente muy generalizado), hará que los alumnos graben su voz en los tubos de cera, y al reproducir la palabra se aumentará la velocidad de rotación para comprobar que no solamente se eleva la altura del sonido, sino que cambia el timbre y se nota especialmente alteración en las vocales.

---



---

## CAPITULO DECIMO.

---

### Optica.

**MATERIAL NECESARIO PARA EL DESARROLLO DE ESTA LECCION:** Tres hojas de cartón, una vela, un papel restirado en un marco, una lente de aumento, una lámpara de petróleo, dos espejos planos, una caja de cerillos, un vidrio despulido, un vidrio transparente, una hoja de cartón, una esfera terrestre, una esfera de la caja de sólidos, una hoja de cartoncillo blanco, un pequeño banco, dos agujas de tejer, una regla graduada, una barra de lacre, un portaplumas, un paquete de velas, un transportador, una caja de madera, un espejito plano, un pebete, tres vidrios planos, papel de estaño, papel plateado, una esfera plateada, dos lentes de aumento, un prisma, una hoja de papel de china.

Coloquemos, una frente á otra, tres pantallas de cartón pintadas de negro, las tres del mismo tamaño y cada una lleva en el centro un agujero circular. Colocadas las tres pantallas paralelamente y con sus pies sobre una

misma línea recta, previamente trazada sobre la mesa, es claro que los tres agujeros quedarán también en línea recta. Ahora bien, si frente al agujero de la primera pantalla colocamos la flama de una vela y dirigimos una visual por el agujero de la tercera pantalla, observaremos claramente la flama; pero basta desviar un poco la segunda pantalla para que la flama deje de percibirse, porque entonces los agujeros no están en línea recta.

Resulta de aquí que *la luz se propaga en línea recta cuando camina en un medio homogéneo*, es decir en un medio que tiene la misma densidad en todos sus puntos.

Cuando sobre una pantalla blanca se reciben los rayos luminosos que penetran en un cuarto oscuro por una pequeña abertura, se observan claramente las imágenes de los objetos exteriores, nada más que invertidas. Además, la forma de estas imágenes es independiente de la forma del agujero. Si las imágenes se invierten se debe á que los rayos luminosos que proceden de los objetos exteriores se cruzan al pasar por el agujero y como siguen propagándose en línea recta, puesto que no cambian de medio, los rayos salidos de los puntos más altos van á herir

la pantalla en los más bajos y recíprocamente.

La demostración de que la imagen es independiente de la forma del agujero se hace sencillamente observando que en la sombra de los árboles todas las imágenes del Sol se ven circulares ó elípticas, mientras que los

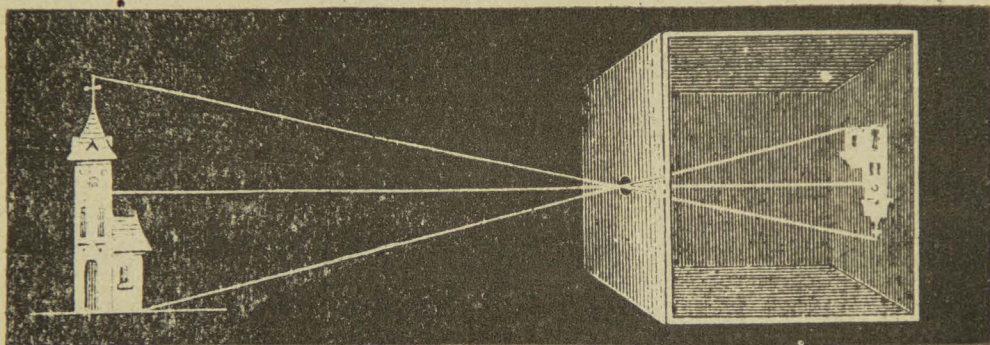


Fig. 78.—Imagen á través de una pequeña abertura.

intersticios que quedan entre las hojas distan mucho de tener cualquiera de esas dos formas.

Escojamos una pieza de la escuela con una puerta que dé á un corredor ó azotehuela y practiquemos en la puerta un pequeño agujero. Si una vez que la pieza está oscurecida acercamos al agujero una hoja de papel res-tirado en un marco de madera (puede servirnos para el caso un marco viejo de pizarra), veremos retratarse en la pantalla fielmente los objetos exteriores, con sus colores

propios. Si el lugar que está fuera de la pieza oscurecida, se halla vivamente iluminado por el Sol, la imagen resulta con una claridad sorprendente. Se aumenta la brillantez del fenómeno interponiendo entre el agujero y la pantalla una lente de aumento. Si la imagen no resulta muy clara se acerca ó se aleja la pantalla hasta conseguir un buen resultado.

Para nuestros experimentos de óptica necesitamos un manantial luminoso, el cual puede ser el Sol (manantial natural) ó bien una lámpara eléctrica, una lámpara de petróleo, una vela, ó un pico de acetileno (manantiales artificiales). Supongamos que sobre una de las puertas del salón de la clase caigan los rayos directos del Sol en un momento dado.

Obscurecemos el salón y uno de los alumnos situado fuera de la pieza recibe en un espejo plano los rayos del Sol y los refleja de tal modo que un haz de luz penetre por el agujero. Este es el mejor procedimiento para ejecutar los variados experimentos de la Óptica. Los alumnos ven claramente la propagación rectilínea de la luz al quedar iluminados los polvillos que flotan en la atmósfera; recibiendo este haz dentro de la pieza, en otro espejo plano, se puede estudiar la re-

flexión luminosa, y haciendo caer el haz de luz sobre la superficie de una vasija con agua, se observa la desviación que experimenta la luz al pasar del aire al agua ó sea de un medio á otro de distinta densidad. Pero en caso de que no puedan hacerse los experimentos con luz solar, habrá necesidad de recurrir á un manantial de luz artificial: lámpara de petróleo, lámpara incandescente, vela de estearina, no importa cuál; lo indispensable es hacer los experimentos y no contentarse con simples teorías y con explicaciones casi nunca entendidas por los alumnos. Explicaré la manera de construir sencillamente un generador de gas acetileno, cuya luz es tan blanca y brillante. Tomamos un frasco de cristal de boca ancha lleno de agua hasta la mitad y con un tapón de corcho parafinado, provisto de dos taladros. Por uno de los taladros pasa un tubo recto que penetra en el agua y por el otro pasa un tubo de cristal terminado en punta y que no debe penetrar en el agua. Hay una sustancia llamada *carburo de calcio* que tiene la curiosa propiedad de descomponer el agua tan pronto como se encuentra en contacto con ella, resultando de la reacción: cal y gas acetileno. El carburo de calcio se encuentra de venta en las droguerías y también en al-

gunas agencias de bicicletas y automóviles. Una vez llegado el momento de preparar el gas, se destapa el frasco, se deja caer en el agua un fragmento de carburo de calcio y se vuelve á tapar. Es necesario esperar á que el gas acetileno producido desaloje todo el aire contenido en el frasco para evitar la formación de una mezcla detonante. Tan pronto como ya sea muy notable el olor á ajo, olor característico del acetileno, se acerca un cerillo á la punta del tubo y el gas arderá con flama blanca y brillante. Recomiendo la precaución de cortar interiormente el tubo de desprendimiento en forma de bisel para que las gotas de agua arrastradas por el gas vuelvan á caer en el frasco.

Si la escuela tiene instalación de luz incandescente, puede emplearse como manantial luminoso una lámpara Nernst. Estas lámparas son de filamento grueso y puede diafragmarse la luz con una tablita pintada de negro que tenga una aberturita alargada de tres centímetros de largo por dos milímetros de ancho y practicada perpendicularmente á la línea luminosa.

El Sr. Profesor tendrá sobre su mesa de experimentos una caja de cerillos, un vidrio despulido, un vidrio común y una hoja de

cartón. El cerillo una vez encendido, por el frotamiento contra un cuerpo rugoso, da luz por sí mismo; el vidrio despulido permite ver á través la luz del cerillo, pero no deja distinguir al cuerpo que emite la luz; el vidrio común deja pasar la luz y permite ver á los cuerpos colocados del otro lado, y el cartón no deja pasar la luz. De aquí la división de los cuerpos en luminosos, transparentes, translúcidos y opacos. El Sol, las estrellas, una lámpara eléctrica, una lámpara de petróleo, son cuerpos luminosos; el vidrio común, el aire, el agua pura son cuerpos transparentes; el vidrio apagado, el papel delgado, las nubes son cuerpos translúcidos; las maderas, los metales, son cuerpos opacos. Algunos metales, como el oro, reducidos á hojas muy delgadas, permiten el paso de la luz.

Todo cuerpo opaco colocado frente á un manantial luminoso produce una sombra. Cuando caminamos por la calle, por la acera en donde da el Sol, y vamos dando la espalda al Sol, vemos nuestra sombra proyectada sobre el suelo ó sobre el muro. Dispongamos sobre nuestra mesa de experimentos una esfera (puede servirnos una esfera pequeña de la clase de Geografía) y en el pizarrón fijamos con cuatro clavitos de dibujo una hoja

de cartoncillo blanco, que nos cuesta cuatro centavos en cualquier tlapalería. Atrás de la esfera colocamos una vela ó una lámpara de tal modo que la mitad de la flama venga á quedar en el plano que pasa por el ecuador de la esfera. Para poder subir los aparatos á la altura conveniente, es bueno tener preparados unos banquitos de madera, que se consiguen en una carpintería por poco dinero. Las dimensiones más apropiadas son 15 cent.  $\times$  15 cent.  $\times$  3 cent. Colocada la vela en un extremo de la mesa, la esfera en el otro extremo y el pizarrón perpendicularmente á la mesa, vemos proyectarse en la hoja de cartoncillo (que hace veces de pantalla) la sombra de la esfera, cuyo contorno pueden seguir los alumnos con ayuda de un lápiz. Ese contorno es realmente la base del cono de sombra que la esfera proyecta en el espacio. Si tomamos en la mano una pequeña esfera de la caja de sólidos y la vamos acercando al cono de sombra, llegará un momento en que la pequeña esfera resultará débilmente iluminada, y este experimento servirá para dar á los alumnos una idea de los eclipses de Luna. La vela ó lámpara es el Sol, la esfera grande es la Tierra y la esfera pequeña es la Luna.



Sobre un pequeño banco clavamos dos agujas de tejer, á unos 10 centímetros una de otra, y á 50 centímetros de distancia de las agujas ponemos una hoja de cartón que nos sirve de pantalla. Si, ahora, á un metro de la pantalla ponemos el manantial luminoso (nuestra lámpara de acetileno, por ejemplo), notamos que se producen dos sombras sobre la pantalla. Hagamos que algún alumno mida cuidadosamente con ayuda de una regla graduada horizontal, la distancia que separa á las dos sombras: esta distancia será de 20 centímetros, es decir doble de la distancia que separa á las agujas, y como la distancia de la lámpara á la pantalla es también doble de la distancia que separa á las agujas de la pantalla, resulta que la luz se propaga en línea recta, como ya habíamos demostrado al principio de este capítulo. El Sr. Profesor hará que los alumnos tracen en el pizarrón un triángulo isósceles de un metro de altura por 20 centímetros de base y que después á la mitad de la altura (50 centímetros) tracen una recta paralela á la base del triángulo. La luz del manantial luminoso ha tenido que caminar según los lados iguales del triángulo.

Hagamos que un alumno corte en una hoja de cartón un anillo ó corona circular, de

modo que el diámetro exterior sea de 7 centímetros y el interior de cinco centímetros; con una gota de lacre la fijamos en un alambre, cuya extremidad inferior queda fija en

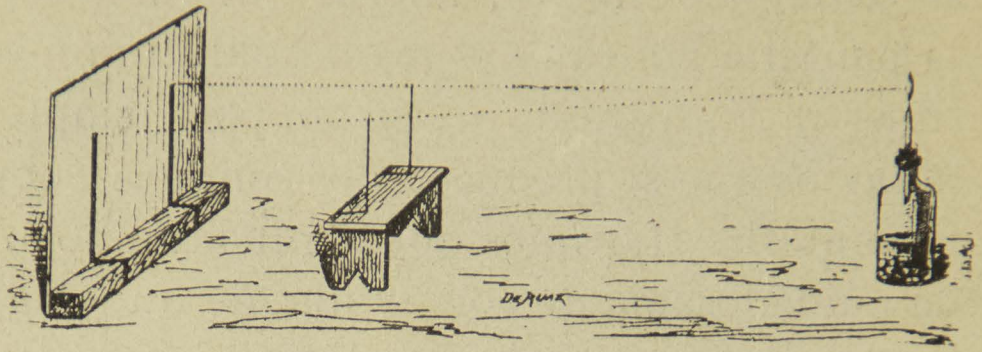


Fig. 79.—Sombras proyectadas por las agujas.

un disco de corcho. A 25 centímetros del anillo ponemos la pantalla (una hoja de cartón clavada contra un banquito de madera) y 50 centímetros detrás del anillo ponemos una vela. Debido á la extensión de la flama notamos que la sombra del anillo no queda bien definida, sino que al rededor de la sombra propiamente dicha hay otro espacio difuso, el cual se conoce con el nombre de penumbra. Si entre el anillo de cartón y la pantalla ponemos una aguja de tejer, notamos que la sombra de la aguja se deforma. El Sr. Profesor hará que los alumnos tracen en el pizarrón la marcha de los rayos luminosos para explicar la causa de esa deformación.

En el año de 1881 el Congreso de Electricistas, reunido en París, adoptó, á propuesta

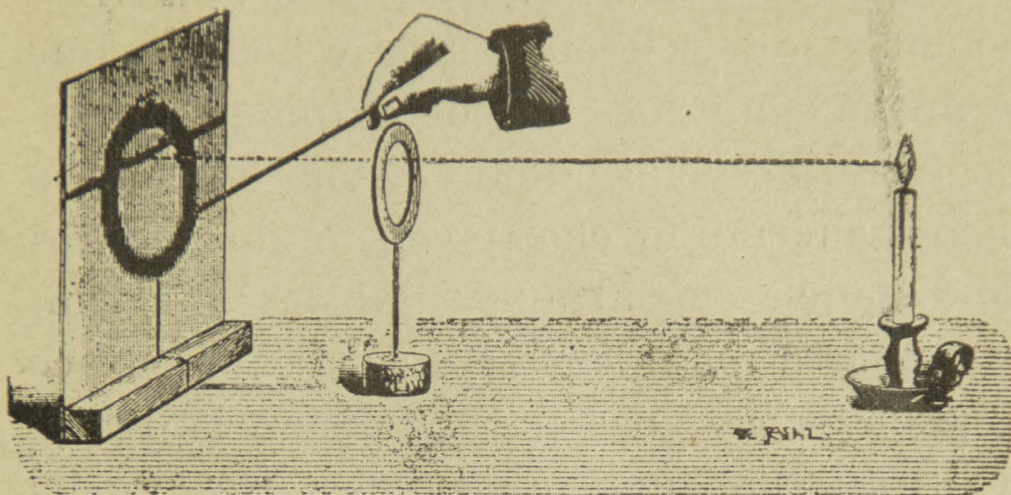


Fig. 80.—La sombra y la penumbra.

del Sr. Violle, una unidad absoluta de intensidad luminosa: la intensidad, en una dirección normal, de un centímetro cuadrado de la superficie de un baño de platino á la temperatura de fusión (1,700 grados aproximadamente). En el año de 1889 un nuevo Congreso de Electricistas adoptó como unidad práctica la *bujía decimal*, que vale exactamente la vigésima parte del Violle.

Construyamos un fotómetro de una manera muy sencilla. En el borde de una tablita clavamos una hoja de cartón que servirá de pantalla y en la mitad de la tabla sostenemos con un poco de lacre un mango de portaplumas. A un metro de distancia del man-

go ponemos una vela encendida, cuya luz hace que el mango proyecte una sombra sobre la pantalla. A una distancia doble (2 metros) ponemos otra vela encendida y notamos que la nueva sombra es más débil que la primera. Seguimos encendiendo velas y cuando hemos encendido cuatro velas á dos metros de distancia encontramos que las dos sombras tienen la misma intensidad. Idéntico fenómeno ocurriría si á una distancia de tres metros encendemos nueve velas. Resulta del experimento anterior que:

*La intensidad de la luz sobre una superficie dada está en razón inversa del cuadrado de la distancia al foco luminoso.*

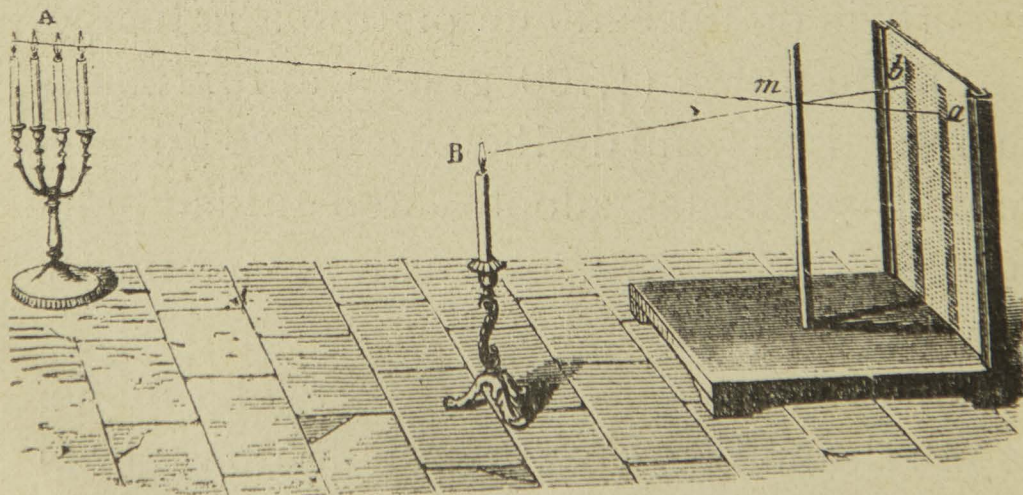


Fig. 81.—La intensidad de la luz varía en razón inversa del cuadrado de la distancia.

Conociendo ya esta ley, podemos medir con el mismo aparato la intensidad relativa

entre dos luces. Ponemos una vela á una distancia cualquiera que adoptemos como unidad, supongamos á 50 centímetros. Después vamos retirando la otra luz hasta que las dos sombras se igualen en intensidad y medimos la distancia á que hemos tenido que retirar la otra luz. Supongamos que la hemos retirado á 2 m. 50 ó sea una distancia cinco veces mayor. Elevando cinco al cuadrado, tenemos que la otra luz tiene una intensidad de 25 velas.

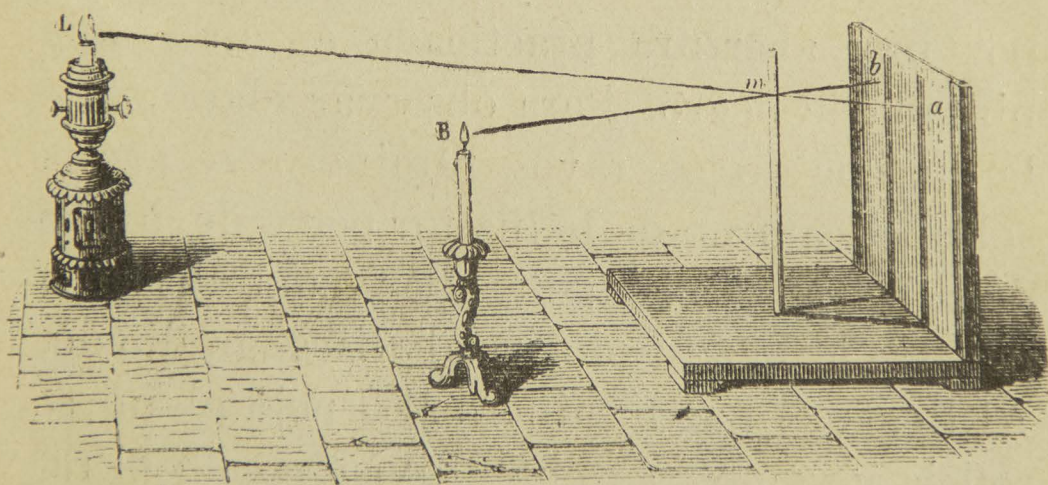


Fig. 82.—Medida de la intensidad relativa de dos luces.

Cortemos un círculo de cartón y con ayuda del transportador de la caja de compases, dividimos un semicírculo en 180 partes, cuidando de marcar 90 grados á la derecha y 90 grados á la izquierda del cero. Este círculo se coloca horizontalmente sobre una caja de

madera puesta sobre la mesa de experimentos. Exactamente en el centro del círculo se sostiene con unas tiritas de cartón encorvadas en ángulo recto un pequeño espejo plano, de tal modo que resulte perpendicular á la línea que va del 0 al centro del círculo. Se obscurece la pieza y se hace llegar un rayo luminoso sobre el espejo. Para esto, ó bien nos servimos del Sol, cuya luz hacemos entrar por un pequeño agujero practicado en la puerta de la pieza, ó bien empleamos una vela ó una lámpara cuya luz hacemos pasar por una abertura practicada en una tabla pintada de negro. Para observar claramente la marcha de los rayos luminosos se arroja sobre el camino de la luz un poco de humo de pebetero y nos fijamos por cuál división penetra el haz luminoso al disco graduado. Al llegar el haz luminoso al espejo plano se refleja y vemos por cuál división sale el rayo reflejado. Notaremos, con bastante aproximación, que tanto el rayo de llegada (rayo incidente), como el rayo de salida (rayo reflejado), forman con la perpendicular (normal) al espejo, ángulos iguales. Aclaremos esto con una figura. Supongamos que la línea AB represente el espejo, ó en general la superficie reflectora. De un punto C sale un

rayo luminoso que toca al espejo en el punto R y al reflejarse sigue la dirección RC. El

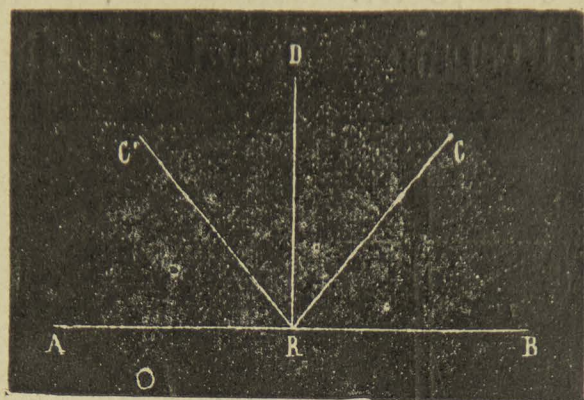


Fig. 83.—El ángulo de incidencia es igual con el ángulo de reflexión.

rayo CR se llama rayo incidente; el rayo RC' se llama rayo reflejado; el ángulo CRD es el ángulo de incidencia y el ángulo C'RD es el ángulo de reflexión. La línea RD es la normal. Enunciemos la ley de la reflexión:

*En un medio homogéneo el ángulo de incidencia es igual con el ángulo de reflexión.*

Se entiende por *reflexión* el cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso, en un medio homogéneo, al chocar contra una superficie pulida.

Las imágenes que producen los espejos planos son un resultado de la reflexión de la luz. Los espejos planos producen imágenes virtuales, situadas aparentemente detrás del

espejo y á una distancia igual á quella que separa al objeto del espejo. Si ponemos una vela *S* frente á un espejo plano se producirá detrás del espejo una imagen virtual *S'* cuya distancia al espejo es igual á la distancia de

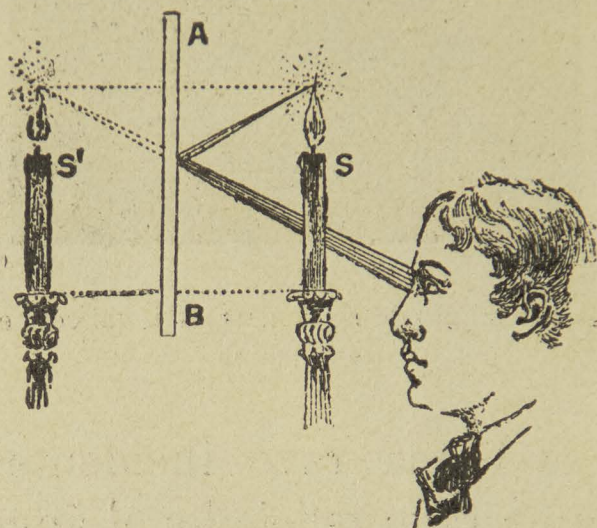


Fig. 84.—La imagen de un objeto en un espejo plano.

la vela al espejo. Además, las imágenes en los espejos planos son de dimensiones iguales á las del objeto.

Pongamos dos espejos reunidos por uno de sus bordes, de tal modo que formen un ángulo diedro de 90 grados. Si ponemos una vela encendida dentro del ángulo formado por los dos espejos, resultarán tres imágenes de la vela. Si hacemos que los dos espejos formen un ángulo de 45 grados se producirán siete imágenes de la vela. Por regla ge-



neral, el número de imágenes se obtiene dividiendo los 360 grados de la circunferencia entre el ángulo formado por los dos espejos y restando al cociente la unidad. En efecto: 360 entre 90 igual á 4;  $4 - 1 = 3$ . 360 grados entre 45, igual á 8.  $8 - 1 = 7$ .

Todos los niños conocen perfectamente un juguete llamado kaleidoscopio, que consiste en un tubo de cartón, que lleva en el interior dos espejos inclinados á 60 grados. En

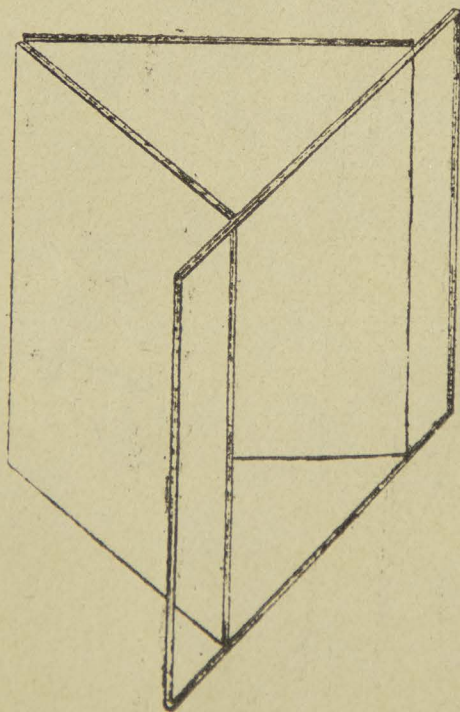


Fig. 85.—Manera de disponer los espejos.

el fondo, y entre dos discos de vidrio, se ponen pedacitos de vidrio, pedacitos de papel de color, cuentas de vidrio, etc., y aplicando la regla anterior resulta que dos espejos in-

clinados á 60 grados producirán 5 imágenes de un objeto, que reunidas con el objeto mismo producen estrellas de seis puntas. Cada vez que se sacude el aparato cambia la posición de los objetos y por lo tanto el aspecto de la estrella. Tratemos de dibujar algunas de las figuras del kaleidoscopio. Pongamos dos espejos inclinados á 60 grados recargados sobre unos libros y entre los espe-

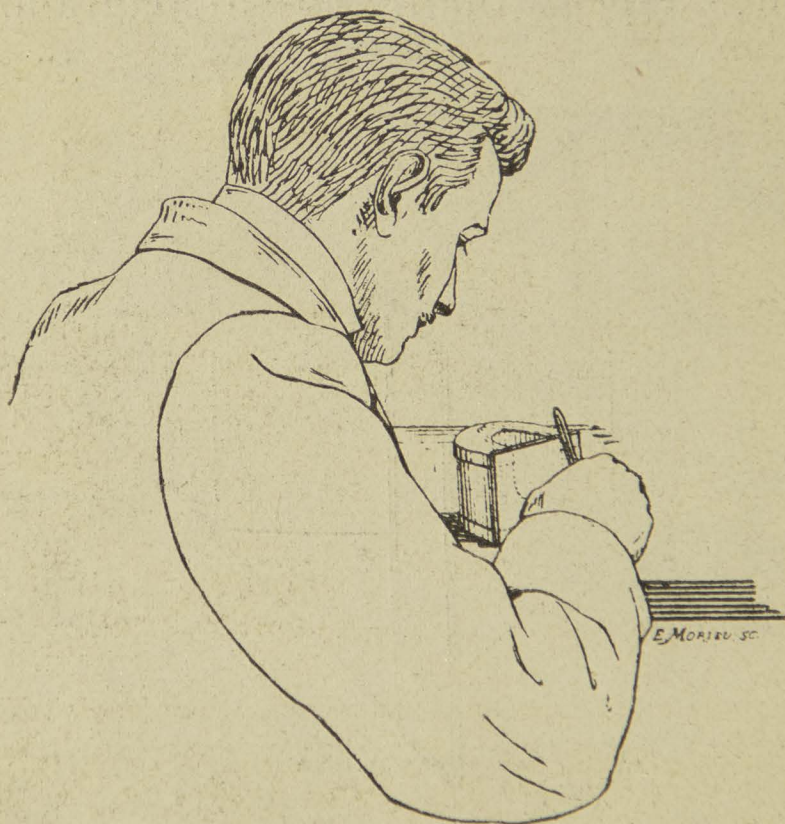


Fig. 86.—Kaleidoscopio para calcar.

jos coloquemos un dibujo en el que se ven líneas irregulares cualesquiera. El ángulo formado por los dos espejos se cierra por me-

dio de un vidrio transparente que se fija con cera contra las aristas de los espejos. Mirando por encima del aparato y á través del vi-



Fig. 87.—Imágenes en un espejo convexo.

drio transparente, se observa por reflexión una rosa entera que se puede calcar sobre

una hoja de papel puesta por afuera del vidrio.

Además de los espejos planos tenemos que considerar en óptica los espejos esférico-cóncavos y los espejos esférico-convexos. Los primeros se conocen también con el nombre de reflectores, y los vemos empleados en los faroles de los carruajes y de los automóviles, en las lámparas de bicicleta, etc.; también los emplean algunas personas para rasurarse, á causa de que estos espejos pueden dar una imagen amplificada de un objeto. Los espejos convexos se han empleado por mucho tiempo como adorno y los artistas pintores los emplean para tomar la perspectiva de un jardín ó de un salón, á pesar de que la imagen resulta un poco deformada.

El Sr. Profesor llevará á la clase una esfera de las que se usan para adornar los árboles de navidad, con objeto de que los alumnos se fijen en las imágenes que se producen. Son imágenes virtuales, rectas, más pequeñas que el objeto y algo deformadas. Es claro que los alumnos ya han visto esto antes; pero ahora se necesita que se fijen en el fenómeno con atención y que comprendan la causa de su producción. Podemos encorvar una hoja de cartón en forma de cilin-

dro, cuya superficie cubrimos con una hoja de papel de estaño ó de papel plateado. Esta superficie cilíndrica brillante la apoyamos sobre una pantalla de cartón y uno de los alumnos apoya sobre la pantalla otra hoja de cartón negro en la que hemos practicado

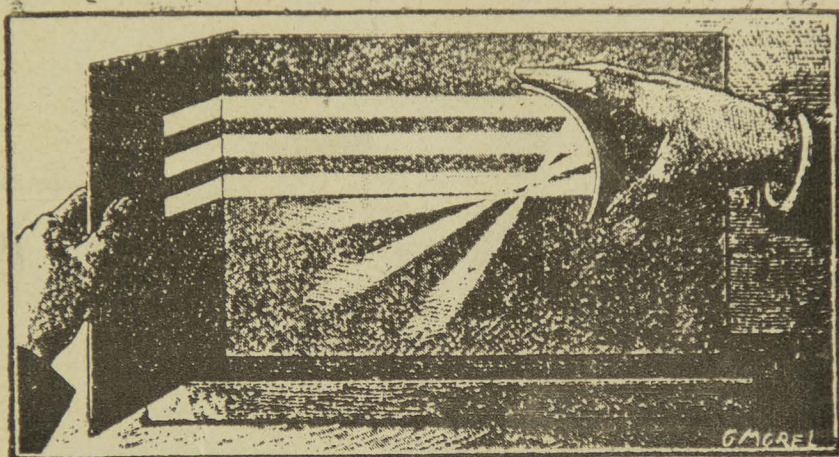


Fig. 88.—Los haces reflejados.

tres aberturas rectangulares. A una distancia de tres metros ponemos una lámpara de acetileno (puede emplearse una lámpara de bicicleta) ó bien una lámpara de petróleo ó una lámpara eléctrica y observamos los haces reflejados que se proyectan sobre la pantalla. Es conveniente que algún alumno dibuje sobre la pantalla con un lápiz de punta fina la traza del espejo cilíndrico y la marcha de los rayos incidentes y reflejados. Trazando las normales, se puede después con

toda calma y valiéndose de un transportador ver si se ha verificado la ley de la reflexión.

Hay alumnos que han adquirido bastante habilidad en trabajos manuales y que podrían construir el siguiente curioso aparato, con cartón ó con madera delgada (de caja de puros) y cuatro pequeños espejos planos. El

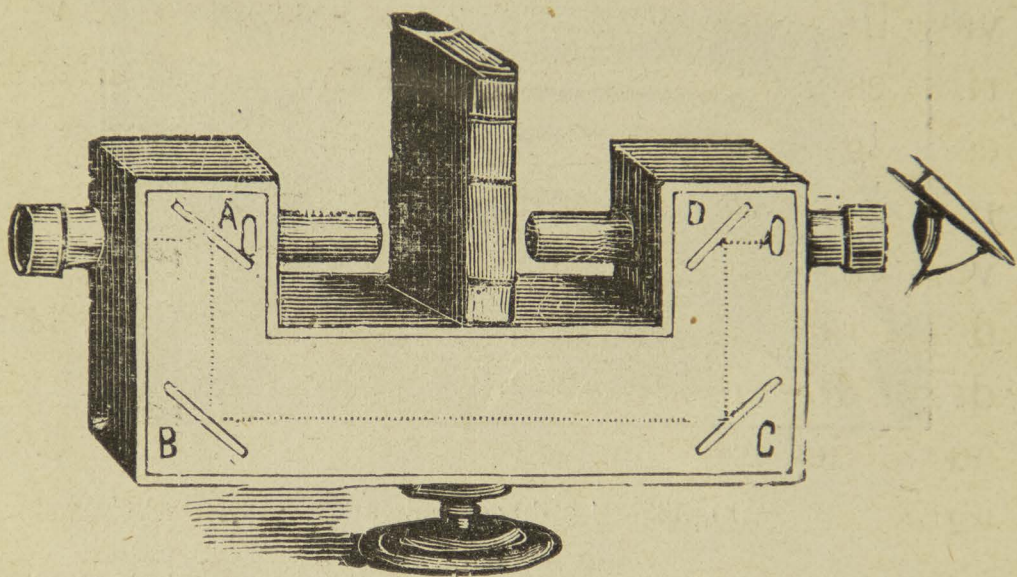


Fig. 89.—Parece que los rayos atraviesan el libro.

aparato no saca de costo ni 50 centavos. Conforme se ve en la figura, los cuatro espejitos están inclinados á 45 grados sobre el horizonte. Si colocamos un objeto cualquiera frente al tubo que queda cerca del espejo A, el rayo luminoso se refleja para el espejo B y de aquí se refleja en dirección de C y de aquí á D, hasta que el último rayo reflejado va á dar al ojo del observador. Pero como la

caja debe estar perfectamente cerrada y no se ven los espejos, parece que los rayos salidos del objeto van á dar directamente de un tubo al otro y que han sido capaces de atravesar el grueso libro colocado entre los dos tubos.

Introducimos una varilla de cristal en un vaso lleno de agua y nos parecerá que la varilla está doblada. Introducimos en una taza con agua una moneda de diez centavos y nos parecerá del tamaño de una moneda de veinticinco centavos. Un huevo de gallina dentro de un vaso con agua se ve muy grande y deformado, y observando una flor ó cualquier objeto á través de un botellón con agua se notará notablemente desalojado. Cuando vemos salir el Sol detrás de las montañas se ve muy achatado, sobre todo si hay brumas en el horizonte; idéntico fenómeno observamos con la Luna llena. Todos estos fenómenos se deben á la refracción de la luz ó sea al cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso al pasar oblicuamente de un medio á otro de distinta densidad. Supongamos que la línea  $AB$  representa la superficie de separación de dos medios heterogéneos: aire y agua.  $S'I$  es el rayo incidente y  $S'IN$  el ángulo de incidencia. Pues bien

el rayo S'I en lugar de seguir la misma dirección al penetrar al agua, se desvía acercándose á la normal. IR es el rayo refractado y RIN' es el ángulo de refracción. En este caso el ángulo de refracción es menor que el de incidencia. Por regla general, si el medio es más denso el rayo refractado se acerca á la normal, y si el medio es menos denso se separa de la normal.

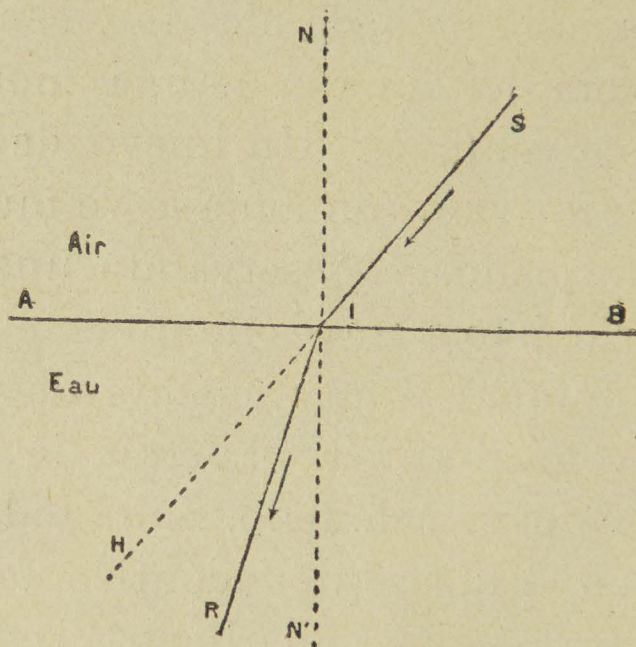


Fig. 90.—El fenómeno de la refracción.

El Sr. Profesor emplea una almendra de algún candil, que tiene la forma de un prisma de sección triangular, y hace que los niños observen algún objeto cualquiera á través del prisma. Los alumnos notarán que los objetos observados se desalojan notablemente, debido á un fenómeno de refracción. Una



vez que los alumnos hayan visto el desalajamiento producido por el prisma se les puede explicar la marcha de los rayos, por medio de una figura en el pizarrón. Si es posible (y debe tratarse de que lo sea) introducir á la pieza obscurecida, un rayo de luz solar, se verá muy bien la marcha del rayo refractado en el aire.

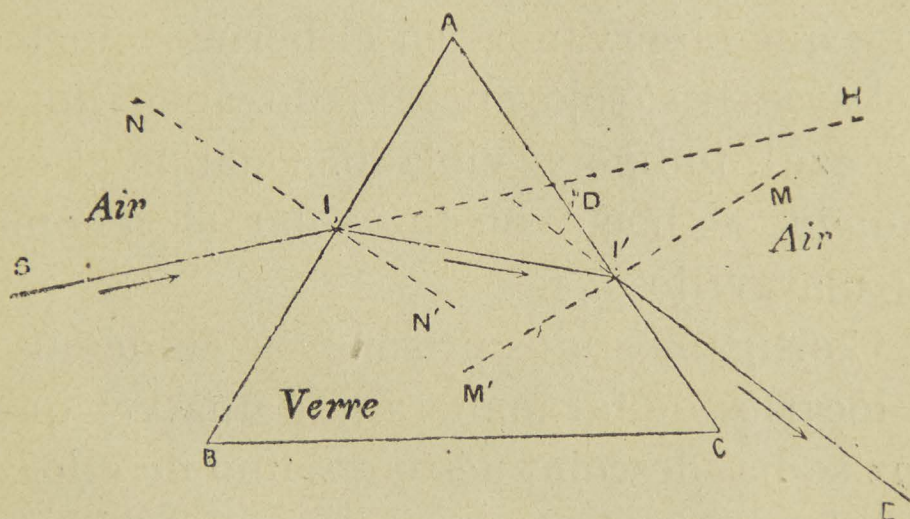


Fig. 91.—Marcha de la luz en el prisma.

Supongamos el prisma ABC; un rayo luminoso SI cae sobre la cara AB, y al entrar al vidrio, se acerca á la normal siguiendo la dirección II', después sale del prisma, alejándose de la normal y según la dirección I'E. Ahora bien, como el ojo ve la imagen en la prolongación del rayo de salida (rayo emergente), una persona colocada en E vería al punto luminoso S en la prolongación de

la línea EI' y exactamente arriba del punto S. Pero un prisma no produce nada más el simple fenómeno de la desviación, produce otro fenómeno muy interesante descubierto por Issac Newton y llamado dispersión ó descomposición de la luz. Los alumnos al ver una vela á través de un prisma, no solamente verán la flama desviada sino que la verán de colores. Estos colores son los mismos que observamos en el hermoso meteoro del arco-iris: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo y violado. Cuando el experimento se hace con luz solar el fenómeno es maravilloso.

Consigamos dos prismas y cuidemos de colocarlos de tal manera que una vez que la luz se ha descompuesto en uno de ellos, todos los rayos menos uno sean detenidos por una hoja de cartón que sirve de pantalla. Si son los rayos violados los que dejamos pasar por encima de la pantalla, y esos rayos violados los hacemos pasar por un segundo prisma, veremos que ya no se descomponen, sino que siguen siendo violados. Si hacemos un pequeño agujero en la pantalla para no dejar pasar más que los rayos amarillos, veremos que un segundo prisma ya no los descompone; lo mismo pasaría con los demás

rayos. Así, pues, cada uno de los colores del espectro es simple é indescomponible.

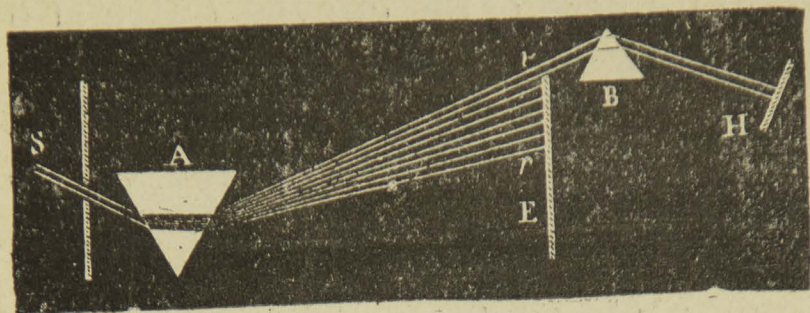


Fig. 92.—Cada color del espectro es simple é indescomponible.

Una vez que ya descompusimos la luz procedamos á recomponerla. El procedimiento más sencillo consiste en pintar sobre un disco de cartón los siete colores del espectro, tratando de imitar, hasta donde sea posible, los colores del arco-iris. Haciendo girar rápidamente el disco sobre un trompo de resorte, veremos que al fundirse los colores unos en otros, nuestra retina recibe la impresión de un color gris ó ligeramente rosado. Si el disco no se ve enteramente blanco se debe á la dificultad de imitar con toda exactitud los colores del espectro solar. Este experimento fué hecho por Newton y el disco con los colores del espectro se llama disco de Newton.

En los *instrumentos de óptica* se emplean unos aparatos llamados *lentes*.

Se da el nombre de *lentes* á unos medios transparentes limitados por caras curvas, Combinando las caras curvas entre sí ó con

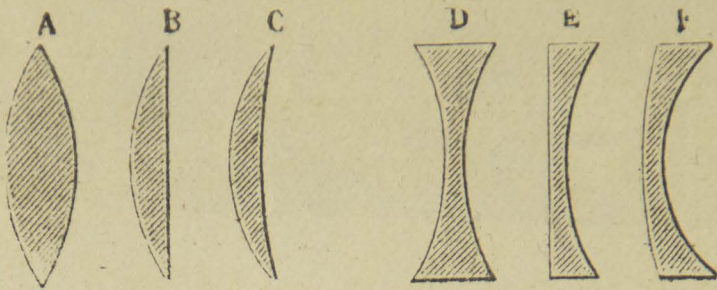


Fig. 93.—Diversas clases de lentes.

caras planas, resultan las seis clases de lentes que siguen: *biconvexa*, *plano-convexa*, *convexo-cóncava*, *bicóncava*, *plano-cóncava* y *cóncavo-convexa*.

Las lentes refractan la luz haciendo converger ó diverger á los rayos luminosos que las atraviesan.

Las lentes se construyen de *crown-glass*, vidrio que contiene escasa cantidad de plomo, ó de *flint-glass*, vidrio que contiene mucho plomo y que es más refringente que el primero.

En las lentes de superficies esféricas, los centros de esas esferas se llaman *centros de curvatura* y la recta que pasa por los centros recibe el nombre de *eje principal*. En una lente la normal es la perpendicular al plano tangente que pasa por el punto considerado,

Tomemos una lente de las llamadas “de aumento” y fijemos su pie en un soporte de madera, de tal modo que quede perfectamente vertical. De antemano habremos hecho á la vista de los alumnos el siguiente experimento: Exponemos la lente á los rayos directos del Sol y poniendo del otro lado una tarjeta, vemos la distancia exacta á que hay que colocar la lente para que dé una imagen deslumbrante del Sol. En ese punto es fácil encender un cerillo, quemar un papel, quemar un fragmento de algodón pólvora; este punto se llama el foco principal de la lente y la distancia del foco á la lente se denomina la distancia focal principal de la lente. Supongamos que la distancia focal de nuestra lente sea de treinta centímetros y tengamos constantemente en cuenta esta dimensión. Pongamos á sesenta centímetros de distancia de la lente una vela encendida y, á la misma distancia, pero del otro lado de la lente, pongamos una hoja de papel restirada sobre un marco de madera; veremos que se produce una imagen invertida y del mismo tamaño de la vela; esta imagen se llama *real*. Acerquemos la vela á la lente, pero cuidando de que la distancia sea superior á treinta centímetros (distancia focal). Entonces reti-

rando la pantalla veremos una imagen invertida, pero más grande que la vela; esta imagen también es real. Retiremos la vela á una distancia mayor de sesenta centímetros (doble de la focal principal) y veremos que acercando la pantalla del otro lado se produce una imagen invertida de la vela, pero más pequeña; esta es igualmente una imagen real. Las lentes de aumento producen imágenes reales que son siempre invertidas y que pueden ser más grandes, más pequeñas y del mismo tamaño que el objeto. Las imágenes reales son las que pueden recibirse sobre una pantalla y que impresionan la placa fotográfica. Si ponemos la vela á una distancia menor de treinta centímetros, y observamos por el otro lado de la lente, veremos una imagen virtual más grande que la vela. Es decir que la lente hace veces de microscopio simple.

Los instrumentos de óptica no pueden formar parte de nuestra humilde colección de Física sin aparatos; pero el Sr. Profesor no descuidará indicar á los alumnos las notables aplicaciones de las lentes en los microscopios, teléscopios, anteojos de campaña, anteojos de teatro, cámara fotográfica, cinematógrafo, linterna mágica, etc., etc.

En los gabinetes de Física hay unos instrumentos muy finos y muy caros, llamados espectroscopios, que sirven para estudiar los espectros producidos por distintos gases incandescentes. Un distinguido físico alemán llamado Fraünhofer descubrió en el espectro unas rayas muy finas que son distintas en cada gas y que sirven actualmente para caracterizar un espectro. Con un espectroscopio es posible ver las rayas espectrales, fijar su posición y caracterizar un espectro. Hay un admirable método de investigación, creado por los Sres. Kirchoff y Bunsen, llamado análisis espectral y que ha servido para descubrir cuerpos nuevos.

En la absoluta imposibilidad de tener un espectroscopio en nuestra colección económica, indiquemos la manera de construir un aparato, que nos dé una idea de tan admirable instrumento de investigación. Sobre un pequeño restirador colocamos un prisma de cristal. Estos prismas costaban todavía hace pocos años cinco ó seis pesos; pero actualmente se consiguen en los establecimientos de material escolar por cuarenta centavos. Hacia un lado del prisma, y sobre una tablita adicional, ponemos una lente de aumento sostenida en posición vertical con ayuda de

dos canalitas de zinc. La distancia focal de esta lente ha de ser de 15 centímetros. Hacia adelante de la lente clavamos un alfiler á 15 centímetros de la lente. Sobre otra tablita

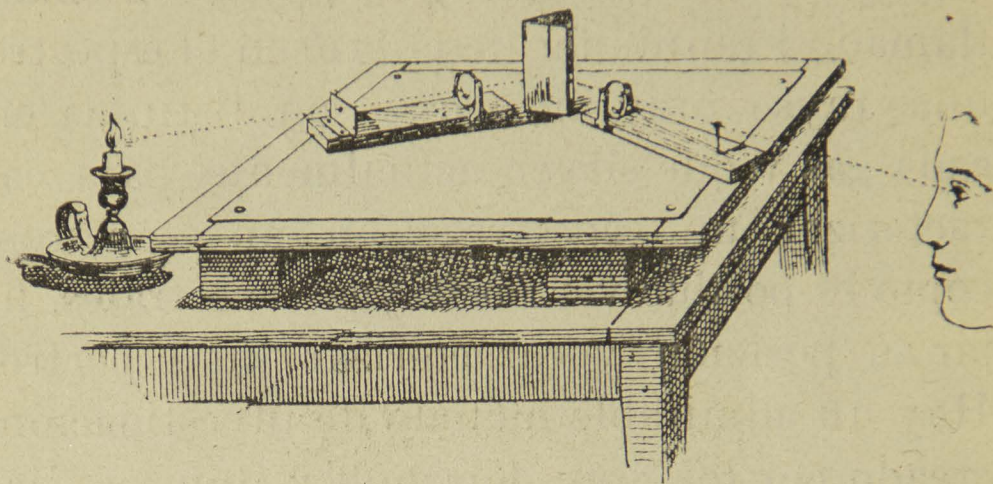


Fig. 94.—Un espectroscopio improvisado.

colocada al otro lado del prisma se pone otra lente; pero en lugar de clavar un alfiler en el punto correspondiente á la distancia focal, se pone una laminita de zinc doblada en ángulo recto y con una pequeña abertura vertical de 1 milímetro de ancho. Poniendo frente al diafragma una vela, se observa por la otra lente en la dirección del alfiler. En los espectroscopios de laboratorio la luz se hace llegar por un tubo llamado colimador, se observa por un anteojo astronómico, y para poder fijar la posición de las rayas espectrales se proyecta sobre el anteojo una escala finamente dividida.



Cuando en un cuarto oscuro hacemos girar rápidamente un pedazo de carbón con una punta incandescente, recibimos la impresión de un círculo luminoso. Esto se debe á la persistencia de las sensaciones en la retina, persistencia que queda comprobada con el maravilloso aparato llamado cinematógrafo. En el cinematógrafo se emplea una larga película fotográfica, donde están repre-

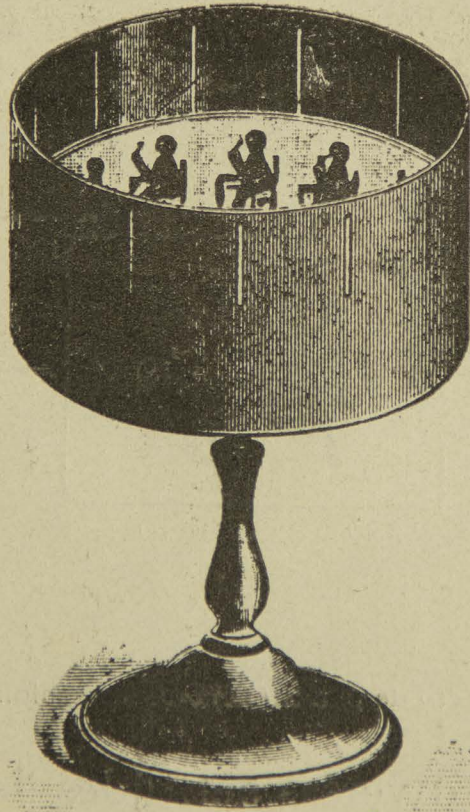


Fig. 95.—El zootropo.

sentadas las distintas fases de un movimiento cualquiera. Las imágenes son proyectadas, por medio de una lente de largo foco,

sobre una pantalla, empléandose como manantial luminoso una lámpara de arco voltaico.

Con el nombre de *zootropo* conocemos un aparato que consiste en una caja cilíndrica de cartón que lleva varias aberturas delgadas á lo largo de las generatrices. Dentro de la caja se pone una tira de papel que tiene

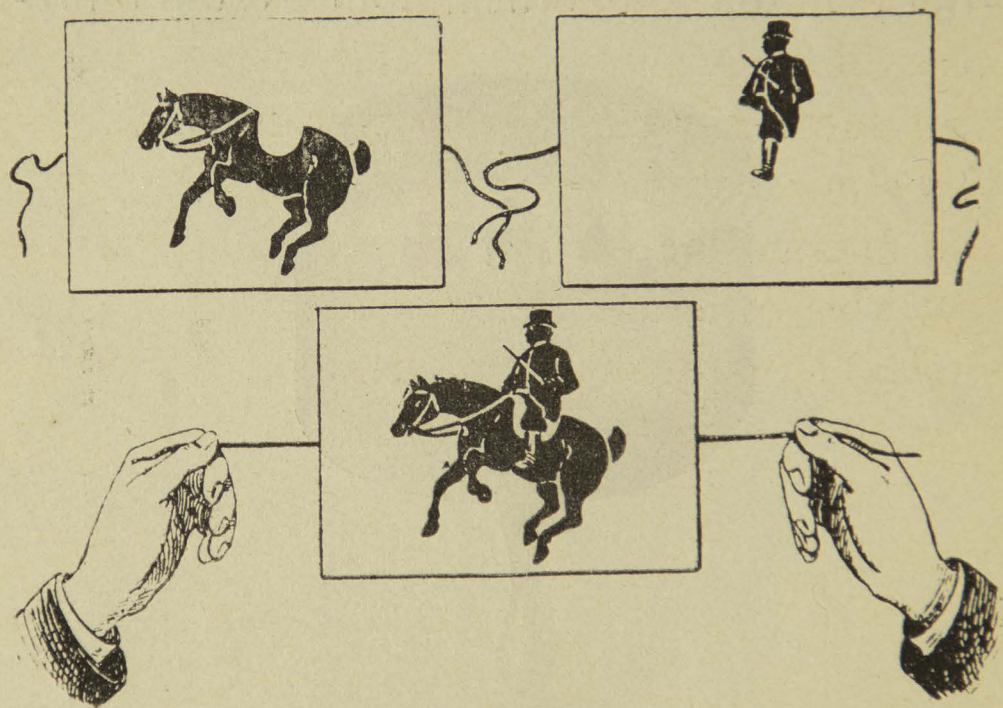


Fig. 96.—Un efecto de persistencia de sensaciones en la retina.

pintadas las diversas actitudes de una mujer bailando, de un perro saltando por un aro, de un niño comiendo, etc., y al hacer girar rápidamente la caja de cartón vemos, á través de las aberturas, reproducidos los movimientos de las figuras.

---

Si de un lado de una tarjeta dibujamos un caballo y del otro lado de la tarjeta dibujamos un jinete, y por medio de dos hebras de hilo hacemos girar rápidamente la tarjeta, recibiremos la impresión de que el jinete está montado en el caballo.

El Sr. Profesor cuidará de que los alumnos repitan todos los experimentos descritos en esta lección. Por ningún motivo se debe descuidar la parte experimental. Algunos profesores afirman que se puede enseñar Física sin hacer experimentos, y se conforman con desarrollar en el pizarrón cálculos que nadie les entiende. Desgraciadamente hay escuelas de verdadera importancia en donde pasa lo que acabo de indicar.

---

---

## CAPITULO UNDECIMO.

---

### Magnetismo.

**MATERIAL NECESARIO PARA EL DESARROLLO DE ESTA LECCIÓN:** Un imán en forma de herradura, plumas de acero, llaves, clavos, armellas, marmaja, monedas de níquel, una hoja de papel, un tamiz, un corta-alambre, una barra de lacre, una ruedita de hoja de lata, una aguja magnética, una pequeña brújula.

Según una tradición sumamente antigua, un pastor llamado Magnes, andaba en el monte Ida, en busca de una oveja que se le había perdido, cuando sintió que su tosco calzado, claveteado de fierro, y su bastón de férrea punta, se adherían con fuerza á un mineral negruzco que abundaba en la montaña: ese mineral era *pedra imán*. La antigüedad de esta leyenda prueba que la *pedra imán* era conocida desde los tiempos más remotos.

Esta piedra imán ó *imán natural* es un mineral de fierro, que existe principalmente en Suecia y en la isla Elba y tiene la propiedad de atraer al fierro, al acero, al cromo, al cobalto y al níquel. La fórmula química de este óxido de fierro es  $\text{Fe}^3 \text{O}^4$ , es decir que en cada molécula de óxido de fierro magnético hay tres átomos de fierro y cuatro de oxígeno.

Los griegos y los romanos conocían el imán, al que llamaban simplemente piedra, es decir, la piedra por excelencia; pero no sacaron de ella ningún partido; no le buscaron alguna aplicación. Sabían que el imán atrae al fierro; pero ignoraban su virtud principal: es decir, la de orientarse siempre en la dirección del Norte, cuando el imán está suspendido libremente.

El Sr. Profesor tiene sobre su mesa de experimentos un imán en forma de herradura. Este aparato se consigue por muy poco dinero en cualquier mercería ó ferretería. Los hay pequeños á 10 centavos; y por setenta y cinco centavos se puede conseguir uno bastante bueno para nuestros experimentos. Este imán atrae: I Plumas, hojas de navaja, hojas de cuchillo, llaves, llaveros, hebillas. II. Clavos, tornillos, armellas. III. Monedas de

níquel. Los objetos primeros mencionados, son de acero, los segundos son de fierro.



Fig. 97.—Los polos y la zona neutra.

Si introducimos las extremidades del imán en marmaja, notaremos que la marmaja se adhiere en forma de penacho en ambas extremidades del imán; pero si introducimos el imán en la marmaja por su parte curva, la marmaja no se adhiere. Las extremidades del imán se llaman *polos del imán*, y la parte en donde la marmaja no se adhiere, se conoce con el nombre de *zona neutra*. Esta denominación de zona neutra, es más propia que la conocida denominación de línea neutra.

Tomemos una aguja de acero, de las que usan las señoras para tejer, y que ya hemos empleado en otros experimentos, y apoyándola sobre la mesa, la frotamos enérgicamente con uno de los polos del imán, siempre en el mismo sentido, es decir, que frotamos, por ejemplo, de derecha á izquierda, levantamos el imán y volvemos á frotar de derecha á iz-

quiera; repitiendo la operación unas diez veces. Antes de que hubiéramos frotado la aguja con el imán, no tenía la virtud atractiva; sumergida en la marmaja, no había adherencia. Pero después de haber frotado con el imán, la aguja se ha convertido en un imán con sus polos y su zona neutra. Efectivamente: si introducimos la aguja en la marmaja, vemos que ésta se adhiere en las extremidades en forma de penachos. Además, si suspendemos la aguja por su parte media con un hilo de seda sin torsión, notamos que la aguja se orienta en la dirección Norte-Sur. Esta propiedad es sumamente interesante, pues permite á los caminantes y á los marinos, saber en la dirección en que van.

Dice Luis Figuier—el gran vulgarizador— que en los siglos VII y VIII de nuestra era, los comerciantes chinos hacían largas excursiones por mar y se pretende que la aguja imanada les servía para conocer su camino á través de los mares. Algunos escritores se han aventurado á decir que los chinos poseían desde el año 121 después de Jesucristo, un medio tan preciso para la navegación. Sin embargo, los documentos más antiguos que se encuentran en las obras chinas relativos á la navegación con el auxilio de la aguja ima-

nada, no datan sino del siglo XI de nuestra era.

Por medio del frotamiento con un imán en forma de herradura, imanamos fuertemente una laminita de acero ó una aguja; una vez imanada, la colocamos sobre la mesa y la cubrimos con una hojita de papel. En seguida con un tamiz dejamos caer marmaja sobre la hojita de papel y notamos que se empieza á dibujar el contorno de la aguja y después se forman al rededor de los polos unas líneas muy regulares que se conocen con el nombre de líneas de fuerza. El conjunto de estas líneas curvas se llama *espectro magnético*.

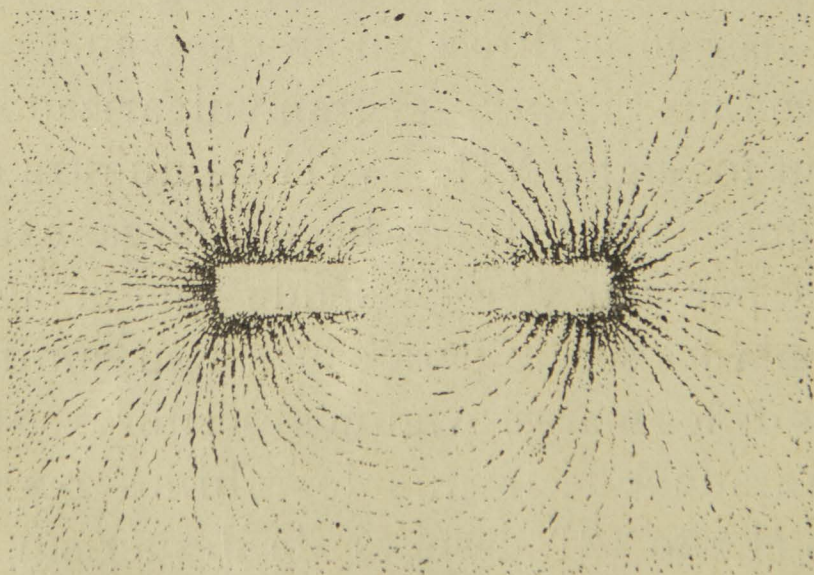


Fig. 98.—Las líneas de fuerza y el espectro magnético.

Terminado este experimento, cortemos la aguja imanada, á la mitad, por medio de un



corta-alambre. Cada mitad de la aguja se habrá convertido en un imán, de lo que nos convencemos, introduciendo ambas mitades en la marmaja y viendo que en cada mitad hay adherencia de marmaja en las extremidades. Cada mitad tiene sus polos y su zona neutra. Si cada mitad la dividimos con el corta-alambre, tendremos unos nuevos imanes con sus polos y su zona neutra. Se admite que en los cuerpos magnéticos cada partícula puede imanarse y presentar dos polos; bajo la influencia del imán y en virtud de las neutralizaciones sucesivas de los polos situados frente á frente hay dos polos eficaces A y B, en las extremidades de la aguja ó barra.

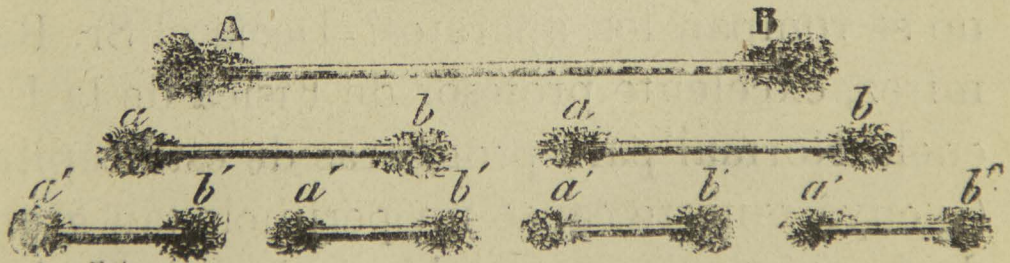


Fig. 99.—Cada fragmento es un nuevo imán.

Consigamos una aguja imanada y la apoyamos en un soporte, que puede ser una barra de lacre fija en una ruédita de cartón ó de hoja de lata y llevando en la parte superior un alfiler. En los bazares se encuentran

con frecuencia brújulas muy baratas, y de allí podemos tomar la aguja; pero si no tenemos aguja magnética, propiamente dicha, la hacemos nosotros frotando una aguja de acero con un polo del imán en forma de herradura. La cuestión es hacer los experimentos, y no cruzarse de brazos, como hacen algunos profesores, que dicen: ¿Cómo he de hacer experimentos si no tengo aparatos? Este es sencillamente un pretexto para no trabajar. Yo conozco profesores muy pobres y que tienen una muy completa colección de aparatos, construídos por ellos mismos, con muy poco dinero, pero con muy buena voluntad. ¿Y qué diremos de otros profesores que teniendo un buen gabinete no hacen experimentos, por ignorar su manejo ó porque no se rompan los aparatos? Decía el Sr. Ramírez, excelente profesor de Física de la Escuela Normal para profesoras de esta capital (y cuya muerte causó un perjuicio tan grande á ese importante establecimiento): No importa que se rompan los aparatos, si se rompen en activo servicio. Esto es preferible á tenerlos guardados y que nadie los aproveche (como pasa actualmente en muchos establecimientos).

Supongamos la aguja magnética apoyada

en su soporte; después de algunas oscilaciones, permanece tranquila en la dirección aproximada Norte-Sur. En cada ciudad civilizada, tenemos alguna regla vulgar para saber hacia dónde está el Norte. En la ciudad de México, por ejemplo, todos sabemos que el Norte se encuentra por el rumbo de la Villa de Guadalupe. Pero es necesario que los alumnos conozcan otro medio menos vulgar para poder encontrar el Norte de un lugar. Si la observación la hacemos durante el día, podemos valer nos del Sol. Nadie ignora que el Sol sale por el Oriente y se oculta por el Occidente. Pues bien, si una persona se coloca de tal modo que su brazo derecho quede hacia el Oriente ó punto por donde sale el Sol, y su brazo izquierdo hacia el occidente ó punto por donde se pone el Sol, tendrá el Norte al frente y el Sur á su espalda. Si la observación se hace de noche, el alumno debe saber reconocer la *estrella polar*, que es la última estrella de la cola de la Osa Menor. La Osa Menor, que es visible en México todas las noches en todo el año (siempre por supuesto que no está nublado), está principalmente formada por siete estrellas: cuatro forman el carro de la Osa y tres más forman la cola de la Osa. Considero de utilidad que

el Sr. Profesor escoja una noche limpia para reunir á sus discípulos y mostrarles la constelación de la Osa Menor. No hay que olvidar que los alumnos de 5<sup>o</sup> año estudian también Cosmografía, por lo tanto la explicación que recomiendo tendría una doble utilidad. (\*)

---

(\*) Hace mucho tiempo que estoy batallando por que la Cosmografía se estudie en nuestras Escuelas de una manera práctica y no como actualmente se estudia, perdiendo tristemente el tiempo. He presentado desde hace dos años un proyecto á la superioridad, y lo único que he conseguido es que se construya un pequeño Observatorio en la Escuela Normal para Profesores. El Observatorio está construido y pronto comenzarán las observaciones. A pesar del mal éxito que han tenido mis esfuerzos, no desmayo, y he de seguir luchando por conseguir que la enseñanza se haga de manera fructuosa para los alumnos. En el mes de Noviembre próximo pasado, asistía yo á una conferencia que daba en la Dirección de Instrucción Primaria el inteligente experimentador Sr. D. Víctor J. Lizardi, de Guanajuato, y terminada la conferencia, hablaba yo con una señorita Profesora que da la clase de 5<sup>o</sup> año en una de las escuelas más favorecidas.

Tratando del asunto de la enseñanza de la Cosmografía le decía yo que no tenía absolutamente objeto que se hiciera á una niña aprender de memoria los

Una vez conocida la posición de la estrella polar, es ya muy fácil orientarse, y los alum-

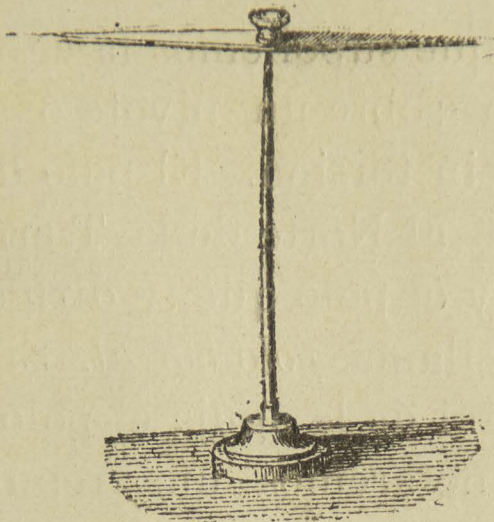


Fig. 100.—La aguja magnética.

nos no tendrán dificultad en darse cuenta del movimiento diurno, observando que por

nombres de las constelaciones y que dijera como el perico: Aries, Tauro, Geminis, Cáncer, etc., si no veía esas constelaciones en el cielo, y aprendía á reconocerlas.

—Pero no diga usted las niñas—replicó—nosotras las profesoras no conocemos el cielo, porque nadie nos lo ha enseñado.

Y es la verdad; en las escuelas llamadas Normales, la enseñanza de una materia tan hermosa como la Cosmografía se hace con pura teoría, sirviéndose de mapas y esferas, y descuidando la observación del cielo estrellado.

el Oriente van saliendo nuevas estrellas y que por el Occidente se van ocultando estrellas que poco antes eran visibles.

Decía yo que suponemos la aguja magnética apoyada sobre un pivote ó suspendida de un hilo sin torsión. El polo de la aguja que se dirige al Norte de la Tierra se llama *polo austral* y el polo que se dirige al Sur de la Tierra se llama *polo boreal*. Si acercamos al polo austral de la aguja el polo austral de otra aguja notaremos una repulsión; y lo mismo sucederá si acercamos al polo boreal

---

Enseñar Cosmografía en un mapa, es como si á un alumno del Colegio Militar, le explicarán cómo es un fusil pintando la figura en el pizarrón, y en esa figura explicándole cuál es el disparador, y cuál la recámara y cuál el cañón, sin darle el arma en su mano para que la manejara y aprendiera á tirar con ella.

Con seguridad que si así se enseñara el manejo del arma, los japoneses no hubieran obtenido la victoria en la última guerra. Mi discípula la Srita. Profesora Laura Martínez, llevó algunas noches á sus alumnas á mi Observatorio para que estudiaran prácticamente el cielo, y se lamentaba de que en su Escuela no hubiera manera de hacer práctica la enseñanza de la Cosmografía.

Es indudable que con el tiempo la superioridad se convencerá de que enseñar Cosmografía como se enseña ahora es enteramente infructuoso.

de la aguja el polo boreal de otra aguja. En cambio si ponemos frente á frente polos de distinto nombre, hay atracción. Esta acción recíproca queda expresada con la siguiente ley:

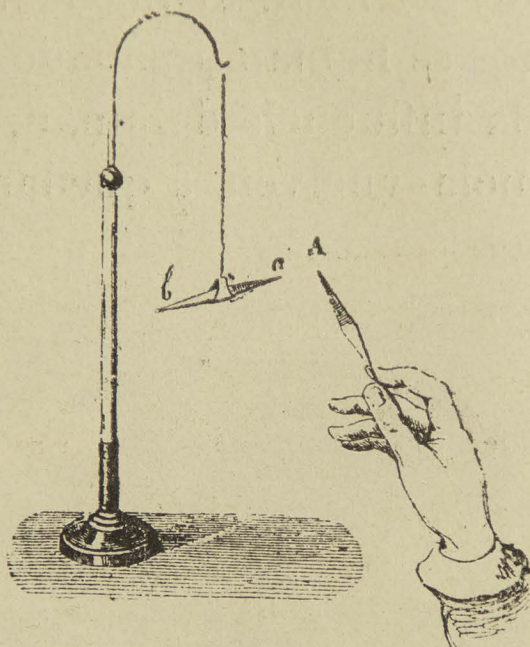


Fig. 101.—Los polos del mismo nombre se rechazan.

*Los polos magnéticos del mismo nombre se rechazan y los de nombre contrario se atraen.*

Acerquemos á uno de los polos de un imán en forma de herradura un clavito de hierro; el clavito quedará adherido al imán. Si acercamos un segundo clavito al primero, quedará también adherido, á causa de que el primer clavo se ha imanado temporalmente bajo la influencia del imán. El segundo clavito será capaz de atraer á un tercero, y éste

á un cuarto clavito, etc.; dependiendo de la fuerza del imán el número de clavitos que puedan quedar suspendidos. Pero si sostenemos con una mano el primer clavito y con la otra mano retiramos el imán, todos los clavitos se desprenden, lo que demuestra que si los clavitos se habían imanado era únicamente por la influencia del imán, y lejos de esta influencia vuelven á quedar al estado neutro.

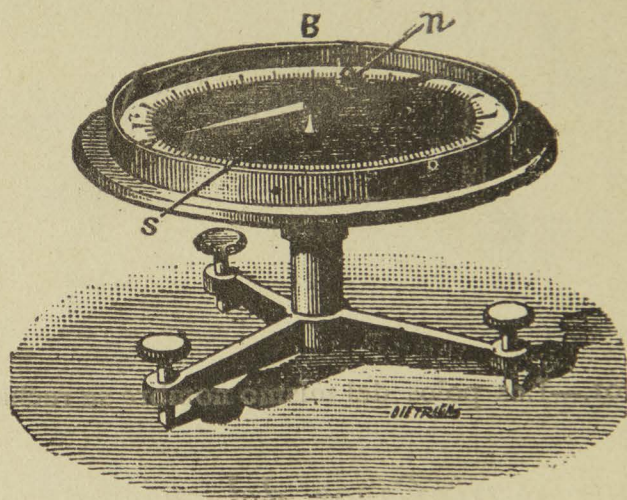


Fig. 102.—La brújula.

La brújula es un instrumento que sirve para trazar la dirección de los puntos cardinales, para las operaciones topográficas y para dirigir los navíos en el mar.

Las brújulas terrestres tienen generalmente la forma de una caja circular que se puede fijar horizontalmente sobre un trípode. La



aguja se mueve en el centro de un cuadrante graduado de 0 á 180°, á derecha é izquierda de un diámetro que se toma como origen.

Para hacer una observación se comienza por nivelar la brújula de manera que el pivote quede perfectamente vertical; después se orienta la línea 0 — 180 del círculo graduado, paralelamente á la dirección del meridiano geográfico N. S. del lugar, determinado por procedimientos astronómicos. La división del círculo en que se detiene la punta Norte de la aguja hace conocer la declinación. En México la declinación es oriental y tiene por valor: 7° 21' 10'' (\*)

---

(\*) Observaciones del Departamento Magnético de Tacubaya.

---

## CAPITULO DUODECIMO.

---

### Electricidad.

**MATERIAL NECESARIO PARA EL DESARROLLO DE ESTA LECCIÓN:** Una barra de lacre, un frotador de franela, oro volador, papel de china, una barra de vidrio, un bastón, una silla, una jarra con agua, un sifón, una bandeja, dos tazas, un alambre aislado, dos bolitas de latón, cordón de seda, un vaso con agua, una hoja de papel, tapones de corcho, una aguja, vasos de cristal, una pipa de barro, líquido de Plateau, un embudo, una carpeta de lana, un rectángulo de madera, tubos de vidrio, parafina, un carrete de seda blanca, médula de saúco, una piel de gato, alambre de cobre, una charola pequeña, una caja de madera, resina, un disco de latón, una botella de vidrio, papel de estaño, un gancho de alambre, una rana, una tirita de zinc, una pila seca, una aguja imanada, un dedal, un fístol, dos tenedores pequeños, dos copas grandes, un muñequito de porcelana, clavos de fierro.

El Sr. Profesor toma una barra de lacre bien seca, la frota fuertemente con un pedazo de franela que también deberá estar muy

bien seca, y la acerca á cuerpos ligeros, como pedacitos de oro volador ó de papel de china; se verá que estos cuerpecitos son vivamente atraídos por el lacre frotado, y que tan pronto como hay contacto son rechazados. En algunos casos este último hecho no es muy notable por un fenómeno de adherencia. Pero si una vez frotado el lacre por una extremidad se acerca á los cuerpos ligeros la extremidad no frotada, no se verifica ningún fenómeno de atracción ni de repulsión, lo que demuestra que el lacre no es buen conductor de la electricidad, pues el fluído únicamente se limitó á la parte frotada y no se repartió por toda la mesa. Lo mismo pasará al hacer el experimento con una barra de vidrio, ebonita ó azufre.

El célebre conferencista inglés Juan Tyndall hacía un experimento muy demostrativo que consiste en equilibrar un bastón en el respaldo de una silla. En seguida se frota enérgicamente una barra de lacre contra un pedazo de franela y se acerca á uno de los extremos del bastón; el bastón es atraído, comienza á girar y, al fin, al perder su equilibrio cae al suelo.

En una jarra llena de agua se introduce un sifón, que puede hacerse fácilmente doblan-

do un tubo de cristal con la ayuda de una lámpara de alcohol, cuidando de sumergir en el líquido la rama más corta del sifón; absorbiendo el aire por la rama más larga, el agua empieza á escurrir sobre una taza ó cualquier otro recipiente.

Si se acerca al chorro de agua una barra electrizada de lacre ó vidrio el chorro se desvía notablemente y llega á formar una S.

Seiscientos años antes de Jesucristo, el filósofo griego Thales descubrió que el ámbar amarillo (*electrón* en griego) tenía, cuando se le frotaba, la propiedad curiosa de atraer á los cuerpos ligeros, y explicaba el fenómeno diciendo que el ámbar *adquiría alma* por efecto del frotamiento y atraía á los cuerpos ligeros como por un soplo. Más tarde, Teofrasto, en su "Tratado de las piedras preciosas," menciona la propiedad del ámbar amarillo y hace notar que otros cuerpos, como la turmalina, pueden adquirir por el frotamiento la misma propiedad que el ámbar.

En el año de 1727 el Sr. Gray, acompañado de su amigo Wheeler, se ocupaba en electrizar un tubo de vidrio frotándolo con franela y tuvo la curiosidad de ver si obtendría el mismo resultado tapando el tubo con un corcho. Entonces observó que el tapón se ha-

bía electrizado á pesar de que el corcho estaba colocado entre los cuerpos *anelectricos*, es decir, cuerpos que no se podían electrizar. Entonces Gray atravesó el corcho con un hilo de cáñamo. de cuya extremidad libre colgó una esfera de marfil y comprobó que al frotar el tubo de vidrio la electricidad pasaba hasta el marfil. Gray, llevando adelante sus investigaciones, se subió al tercer piso de una casa, frotó el tubo de vidrio, y la bola de marfil que colgaba hasta cerca del suelo atrajo pequeños cuerpos; de esto dedujo que había habido transmisión de la electricidad. Entonces quiso saber si el experimento saldría lo mismo colocando el hilo horizontal y no verticalmente. Para esto suspendió la cuerda horizontalmente en un jardín, sosteniéndola por medio de hilos de seda muy finos, con la idea de que la electricidad no podría escaparse fácilmente por esos sostenes tan delicados. El experimento salió perfectamente; pero un día que quiso repetirlo, se rompió uno de los hilos y entonces lo reemplazó por un hilo muy delgado, pero metálico. Desde este momento el experimento ya no dió resultado. Este hecho casual fué el que condujo á Gray al notable descubrimiento de los *cuerpos buenos conductores* y los *cuerpos malos*

*conductores ó aisladores.* El cuerpo humano, los vegetales, los animales, los metales, el agua, son buenos conductores; la seda, el vidrio, la resina, el lacre, el aire seco, son aisladores.

Tyndall hacía la siguiente clasificación de algunos cuerpos:

Conductores.	Medio-conductores.	Aisladores.
Metales.	Alcohol.	Aceites.
Carbón de retorta.	Éter.	Yeso.
Ácidos concentrados.	Madera seca.	Caucho.
Soluciones salinas.	Mármol.	Papel seco
Agua de lluvia.	Papel.	Cabello.
Lino.	Paja.	Seda.
Animales y vegetales.		Vidrio.
		Cera.
		Azufre.
		Goma laca.

Dispóngase el siguiente experimento: En las extremidades de la mesa de experimentación se ponen dos pequeñas tazas de porcelana, boca abajo, y por sus bases se hace pasar un alambre de cobre aislado (del que usa en las instalaciones de timbres eléctricos). En las dos extremidades del alambre (extremidades á las cuales se quita la cubierta aisladora) se atan dos esferitas metálicas. Yo ge-

neralmente empleo esferitas de latón, de las que se emplean en las camas, y un plomero les pone por seis centavos unos ganchitos de cobre. El Sr. Profesor frota una barra de lacre con un paño de franela y acerca la barra frotada á una de las esferitas; si en ese momento un alumno acerca unos pedacitos de oro volador á la otra esferita serán atraídos, lo que demuestra que el alambre de cobre *condujo* la electricidad. Pero si quitamos el alambre aislado y lo sustituímos por un cordón de seda, en cuyas extremidades colgamos las esferitas de latón, veremos al repetir el experimento anterior, que la esferita no atrae los pedacitos de oro volador, á causa de que la seda no es un cuerpo *buen conductor* de la electricidad. Lo mismo sucederá si cortamos el alambre de cobre á la mitad y una vez quitada la capa aisladora en las extremidades cortadas, las introducimos en agua destilada; la esferita de latón no atraerá á los pedacitos de oro volador por la resistencia que presenta el agua al paso de la electricidad.

Cortemos en un pedazo de papel una cruz como la indicada en la fig. 103, y doblamos ligeramente la parte media de los brazos de la cruz. En seguida apoyamos la cruz en un

soporte formado con un tapón de corcho y una aguja. Todo esto lo cubrimos con un vaso de cristal bien seco, y si en seguida frotamos enérgicamente una zona de la superficie del vaso, con un pedazo de franela, la aguja de papel gira hasta que su punta se dirige hacia la parte frotada. El vidrio, lo mismo que el lacre, se electriza por el frotamiento.

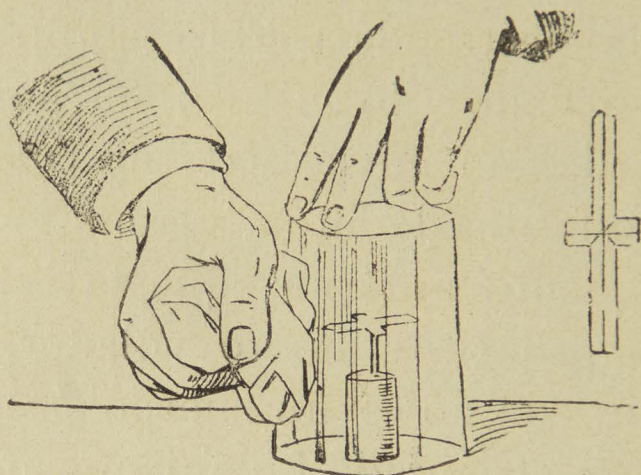


Fig. 103.—El vidrio se electriza con el frotamiento.

Equilibremos en el borde de una capa bien seca, una pipa de barro y ya que esté bien equilibrada acerquemos otra copa frotada con franela. La pipa es atraída, comienza á girar y, al fin, cae sobre la mesa. Antes de que la pipa caiga, acérquese la copa frotada del lado contrario al de la dirección del movimiento. La copa permanecerá un momento estacionaria, luchando entre la inercia del



movimiento y la atracción en sentido contrario; pero pronto obedece á la nueva atracción y comienza á girar de nuevo.

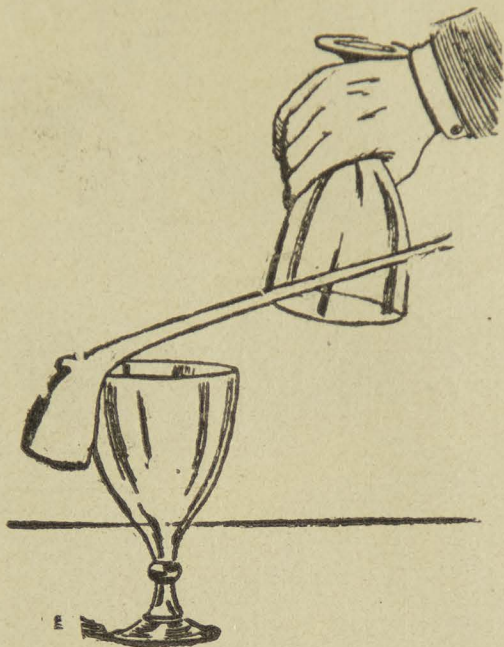


Fig. 104.—La pipa es atraída.

En el capítulo relativo á *Capilaridad* explicamos la manera de preparar el líquido glicérico de Plateau. Con este líquido y un pequeño embudo, ó bien la pipa que nos sirvió para el experimento anterior, hagamos unas grandes burbujas de jabón que dejamos caer suavemente sobre un paño de lana colocado sobre la mesa de experimentos.

En seguida frotamos fuertemente con franela una lámina de ebonita (nos basta un rectángulo de 15 por 8 cent. que se consigue muy barato en las ferreterías) y al acercarla

á las burbujas vemos que éstas se alargan en forma de huevo, son atraídas y vuelven á caer sobre la mesa.

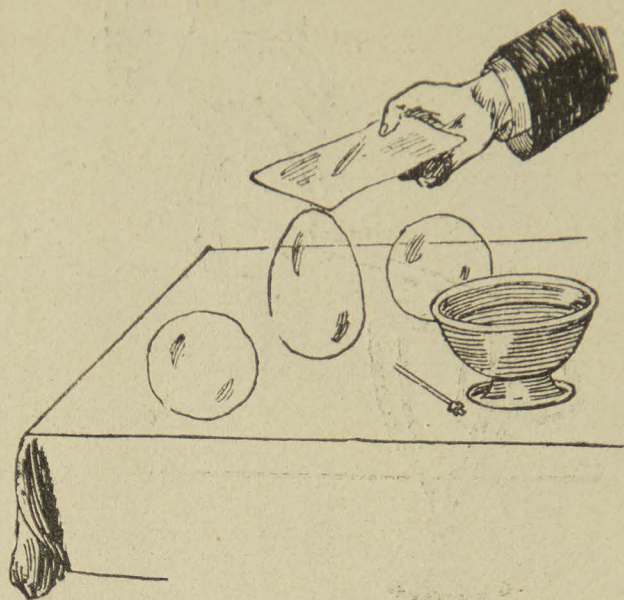


Fig. 105.—Las burbujas de jabón.

Para reconocer si un cuerpo está electrizado nos valemos de aparatos llamados *electroscopios*. El más sencillo es el péndulo eléctrico que consiste en una columna de cristal terminada en la parte superior por una pieza metálica encorvada, que sostiene un hilo de seda terminado en una bolita de médula de saúco.

Nosotros podemos sencillamente construir un péndulo eléctrico de la manera siguiente: En un rectángulo de madera ( $8 \times 5$  cent.) que lleva un pequeño taladro en el centro

.....

fijamos con un poco de lacre un tubo de cristal encorvado en ángulo recto y terminado en punta. En esta punta sostenemos una esferita ó cilindro de *parafina* (excelente aislador) y de aquí suspendemos con una hebra de seda, una esferita de médula de saúco. Si acaso tenemos dificultad en conseguir la médula de saúco, podemos emplear la médula de la planta llamada *gigantón*, muy abundante en San Ángel, Distrito Federal. Un péndulo como el que acabode indica no será muy artístico pero funciona admirablemente. Esto es lo que debemos buscar; aparatos que funcionen bien. Yo he visto, en algunos gabinetes, aparatos de *mucha vista*; pero que á la mera hora no funcionan, por más que hacen los preparadores.

Al acercar al péndulo un cuerpo electrizado, la bolita es primero atraída, y apenas hay contacto, rechazada; pero observamos que si se frota una barra de lacre ó de resina por una sola extremidad, y se acerca al péndulo la extremidad no frotada, la bolita no es atraída ni rechazada, sino que permanece inmóvil. Esto indica que la electricidad no se ha repartido por toda la masa de las barras, ó en otros términos, que el lacre y la resina *no son buenos conductores de la electrici-*

*dad.* En cambio si se frota una barra de hierro, aislada, por una extremidad y se presenta al péndulo por la otra, la bolita es atraída, lo que demuestra que la electricidad se repartió por toda la masa del cuerpo. Los metales son, pues, *buenos conductores de la electricidad.*

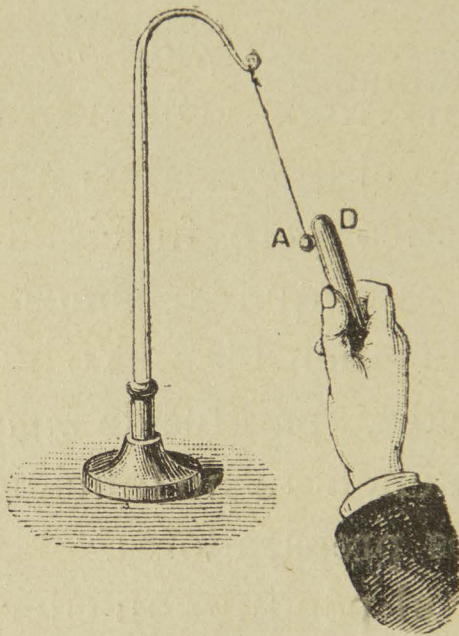


Fig. 106.—La bolita es atraída.

Si después de que la bolita del péndulo ha sido rechazada al hallarse en contacto con una barra de vidrio electrizado, se acerca una barra de resina, se observa una fuerte atracción, y si después de que la bolita ha sido rechazada por la resina, se acerca el vidrio, la bolita es atraída con fuerza. Es decir, que un cuerpo rechazado por el vidrio es

atraído por la resina, y recíprocamente: un cuerpo atraído por el vidrio es rechazado por la resina.

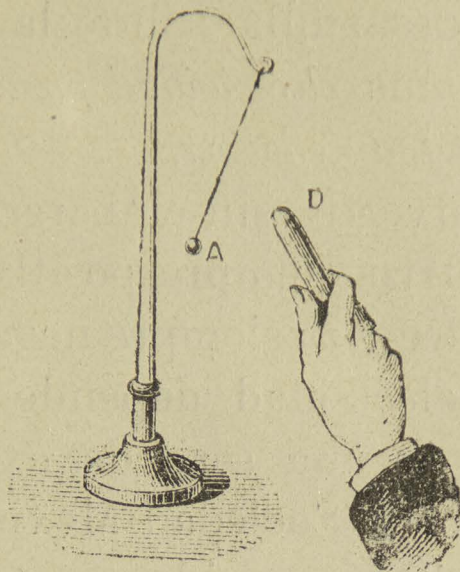


Fig. 107.—La bolita, después del contacto, es rechazada.

Luego la electricidad desarrollada sobre el lacre no es igual á la electricidad desarrollada sobre el vidrio.

Según la teoría de Symmer, todo cuerpo posee simultáneamente las dos electricidades, la del vidrio y la de la resina. Cuando están en cantidades iguales, estas dos electricidades, neutralizándose mutuamente, forman lo que se llama *electricidad natural* ó *fluido neutro*. El frotamiento de dos cuerpos uno contra otro, tiene por efecto separar estas dos electricidades, acumulando la *vítrea* ó del vidrio sobre uno, y la *resinosa*, ó de la resina sobre el otro.

Hay, pues, que reconocer según esta teoría, dos electricidades de naturaleza diferente: una que se desarrolla sobre el vidrio y otra que se desarrolla sobre la resina. La primera se llama *electricidad positiva* y la segunda *electricidad negativa*.

Hay que advertir, sin embargo, que ni el vidrio se electriza siempre positivamente, ni la resina se electriza siempre negativamente. La clase de electricidad depende del cuerpo frotador. Según una serie de experimentos ejecutados en la Sociedad Mexicana "Alejandro Volta" y sugeridos por la señorita Elisa Allande, podemos asentar los siguientes hechos:

Siempre que se frota el vidrio pulimentado con seda ó con lana se electriza *positivamente*; pero si el vidrio se frota con piel de gato se electriza *negativamente*.

Siempre que se frota el lacre con lana ó piel de gato se electriza *negativamente*; pero si se frota con seda, el lacre se electriza *positivamente*.

De los experimentos hechos con el péndulo eléctrico se desprende la siguiente ley:

*Las electricidades del mismo nombre se rechazan, y las de nombre contrario se atraen.*

Podemos hacer un experimento suspen-

diendo de la pieza de parafina del péndulo dos bolitas de médula de saúco, de manera que queden en contacto. Cuando se acerca á las bolitas un cuerpo electrizado las dos bolitas se separan, debido á que están electrizadas con la misma clase de electricidad.

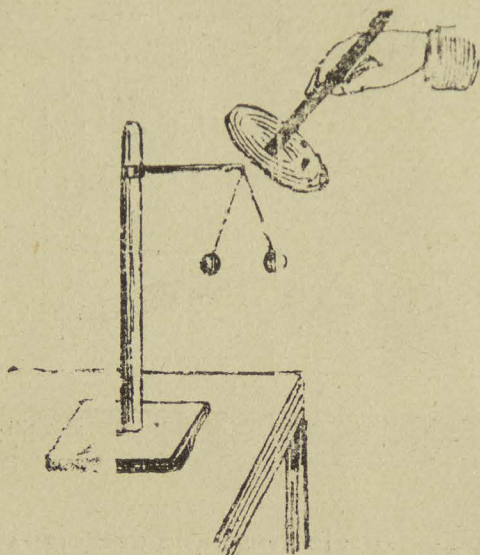


Fig. 108.—Las electricidades del mismo nombre se rechazan.

Hay un aparato mucho más sensible que el péndulo eléctrico, y es el *electroscopio de hojas de oro*. Veamos una manera muy sencilla de construirlo. Sobre el borde de un vaso muy seco apoyamos un alambrito, doblemente encorvado en ángulo recto y apoyamos en él una hojita de oro volador doblada sobre sí misma. Encima del vaso se pone una charolita de metal. En la posición

normal las hojitas están en contacto; pero si acercamos á la charola un cuerpo electrizado, inmediatamente vemos que las hojitas se separan.

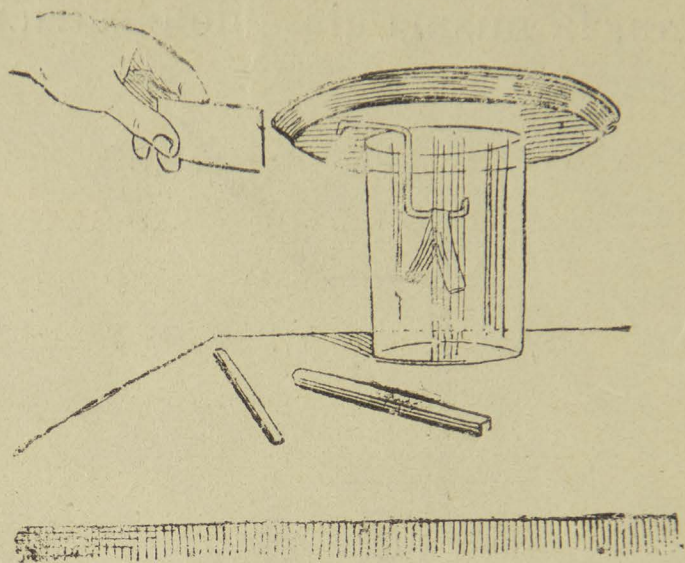


Fig. 109.—Un electroscopio de hojas de oro.

Si el cuerpo estaba, por ejemplo, electrizado negativamente, esta electricidad descompone, por influencia, la neutra de la charola, atrayendo la positiva hacia ella y cargando de negativa á las hojitas de oro.

Para saber la clase de electricidad de que está cargado un cuerpo, se comienza por electrizar el electroscopio con una electricidad conocida; supongamos que sea positiva. Después acercamos el cuerpo cuya electricidad se trata de conocer; si las hojas divergen, la



electricidad del cuerpo será positiva y si caen será negativa.

Cabe el alto honor de haber construído la primera máquina eléctrica á Otto de Guéricke, burgomaestre de Magdeburgo, ya conocido por su invención de la máquina neumática.

Las máquinas que hasta hace pocos años se usaban en los gabinetes eran la de Ramsden y la de Carré, pero ahora está enteramente generalizada la de Wimshurst que es de gran potencia y de uso muy cómodo. (\*)

Pero nosotros nos vamos á conformar para nuestros sencillos experimentos con el electróforo, inventado por el distinguido físico Alejandro Volta.

Se compone de una caja cilíndrica de madera, llena de resina fundida, ó bien de un simple disco de ebonita sobre el que se apoya un disco de latón ó de zinc aislado con un mango de vidrio.

Para producir electricidad con este aparato, se sacude la resina con una piel de gato ó se frota la ebonita con un pedazo de fra-

---

(\*) Véase "Física para los Niños" por Luis G. León.

nela, y en seguida se apoya encima el disco de latón.

La resina al ser golpeada con la piel de gato se electrizó negativamente, esta electricidad descompone la electricidad neutra del disco metálico atrayendo la positiva á su cara inferior y rechazando la negativa á la superior. Si después tocamos con el dedo la cara superior del disco, la electricidad negativa se pierde por el suelo, y al levantar el disco estará cargado de electricidad positiva. Comprobamos la carga eléctrica del platillo acercando el dedo y viendo que salta una chispa.

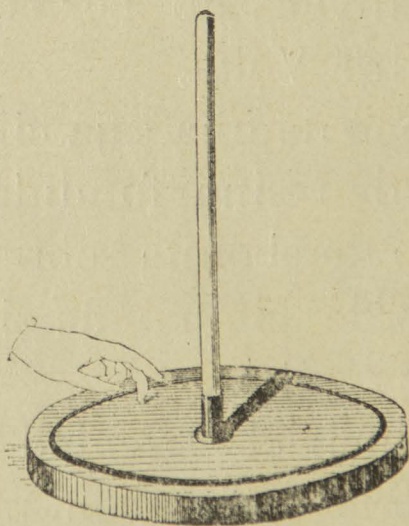


Fig. 110.—El electróforo.

Volviendo á poner el platillo sobre la resina y tocando otra vez con el dedo, se cargará de nuevo y es posible repetir muchas

veces el experimento sin necesidad de volver á frotar la resina, sobre todo cuando el aire está seco.

El Sr. Pierre von Musschenbroek, físico holandés, originario de la ciudad de Leyden, queriendo ver si podía electrizar el agua, empleó una botella llena de agua hasta la mitad y tapada con un corcho atravesado por un clavo. Musschenbroek acercó la cabeza del clavo á una máquina eléctrica, saltaron varias chispas y cuando el físico holandés acercó su mano á la cabeza del clavo para destapar la botella, sintió una conmoción, que, no tanto por lo fuerte cuanto por lo inesperada, le fué muy desagradable. Se asegura que Musschenbroek escribió al físico Reaumur, diciéndole que no repetiría el experimento *ni por todo el reino de Francia*.

La botella de Leyden, tal como ahora se ve en los gabinetes, y que nosotros podemos construir fácilmente, se compone de una botella de cristal llena de hojitas de oro volador y forrada exteriormente con papel de estaño. El tapón de la botella está lacrado y atravesado por una varilla metálica en forma de gancho.

Este aparato es de muy fácil construcción. Si una persona tiene la botella de Leyden

por la armadura exterior y acerca la interior á una máquina eléctrica que dé, por ejemplo, electricidad *positiva*, la armadura interior de la botella se cargará también de electricidad positiva. Entonces esta electricidad positiva descompone, *á través del vidrio*, el estado neutro de la armadura exterior, atrayendo la electricidad *negativa* contra el vidrio y haciendo que la electricidad positiva se pierda por el cuerpo del experimentador que comunica con el suelo.

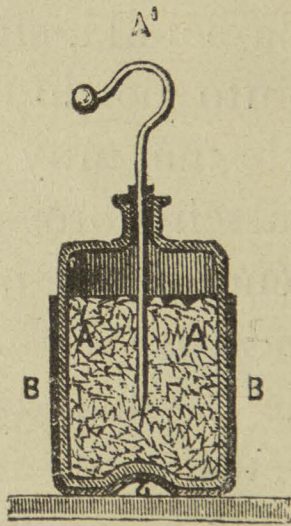


Fig. III.—Botella de Leyden.

De esta manera se van acumulando las dos electricidades de nombre contrario en las paredes del vidrio de la botella, y la carga será tanto mayor cuanto más grande sea la superficie de la botella.

Para descargar la botella se toca con un

arco de metal, llamado *excitador*, la armadura exterior, después se acerca la otra extremidad del excitador á la armadura interior de la botella y entonces salta una chispa brillante y ruidosa. Si la persona que tiene la botella por la armadura exterior toca con la otra mano la armadura interior, experimenta una conmoción tanto más fuerte cuanto mayor sea la botella y mayor la carga que ésta haya recibido.

Con ayuda del electróforo es posible cargar una pequeña botella de Leyden haciendo saltar varias chispas sobre el gancho. Con diez chispas basta para experimentar una pequeña conmoción. El excitador podemos construirlo con un arco de alambre de cobre, cuyos extremos están replegados sobre sí mismos.

El experimento de Galvani, tal como se repite anualmente en los gabinetes, consiste en dividir á una rana á la altura de los nervios lumbares, en seguida se le despoja de la piel, y después, haciendo uso de un compás, una de cuyas ramas es de cobre y la otra de zinc, se toca con el cobre los nervios lumbares, y al tocar con el zinc el muslo del animal se observa en aquellos restos unas vivas contracciones.

Este experimento, verificado por primera vez en el año de 1780, sirvió de base á Ale-

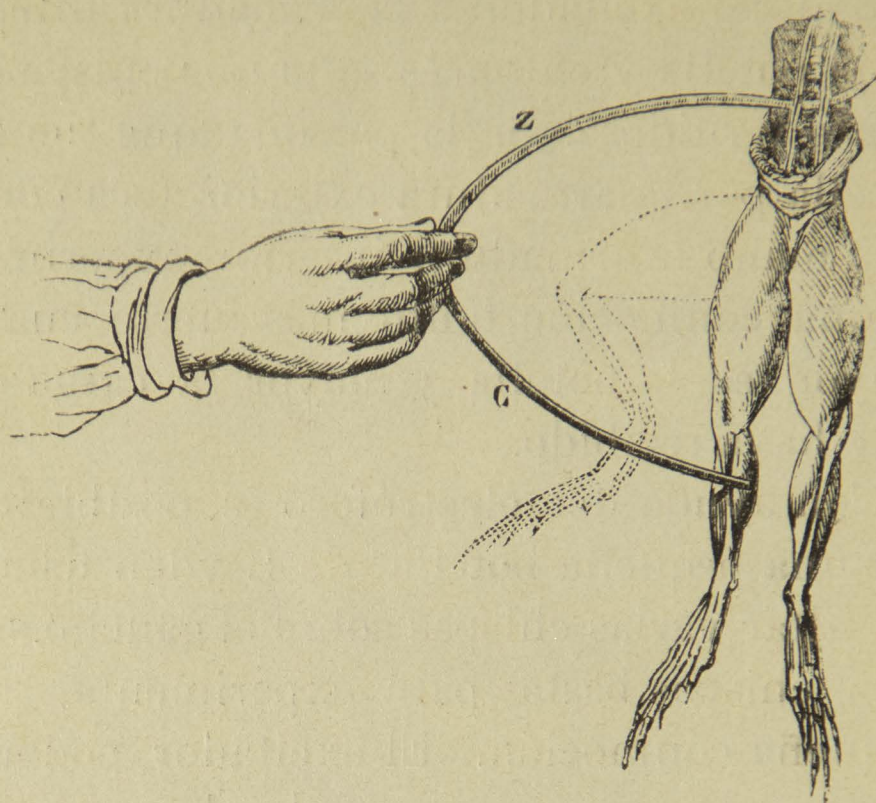


Fig. 112.—Experimento de Galvani.

jandro Volta para la construcción de su pila.

Numerosas son las pilas que se han construído después de la de Volta, y entre otras citaré las de Daniell, Bunsen, Marie Davy, Grenet, Leclanchè, Edison y Radiguet. Para los experimentos que van á seguir emplearemos una pila de Leclanchè, que se usa tanto para las instalaciones de timbres eléctricos; pero si ni aun ésta podemos conseguir, emplearemos una *pila seca* que se consigue

por *cincuenta centavos* en las casas que venden aparatos eléctricos. Estas pilas secas son de muy fácil manejo y no requieren ninguna preparación; siempre están listas para ser usadas.



Fig. 113.—El célebre físico Alejandro Volta.

Comencemos por un experimento clásico, de grandísima importancia y trascendencia.

En el año de 1820, el físico Cristian Oersted, profesor de la Universidad de Copenhague, descubrió que cuando una corriente eléctrica pasa por un alambre situado en el plano de una aguja magnética y cerca de ella,

la aguja tiende á ponerse en cruz con la dirección de la corriente. El sentido de la desviación es dada, en todos los casos, por la siguiente regla de Ampere:

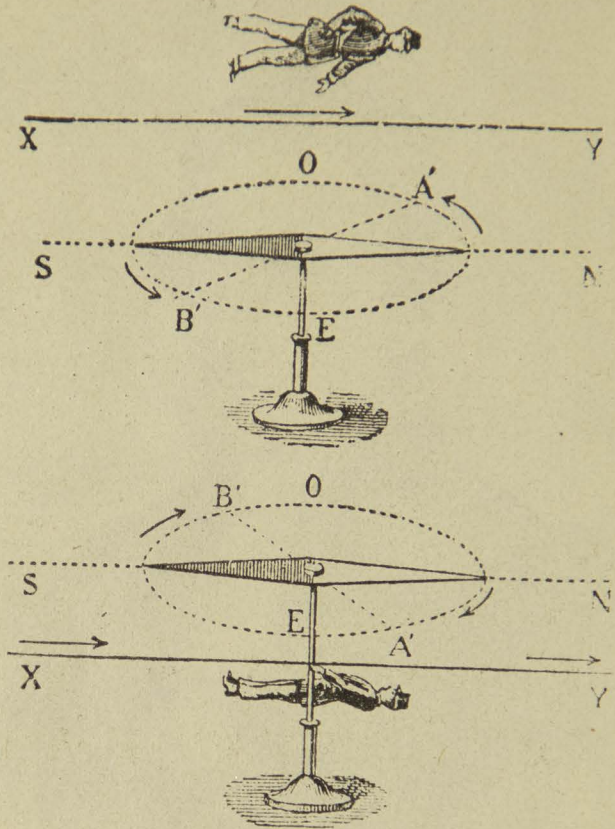


Fig. 114.—Experimento de Oersted.

*El polo de la aguja imanada, que ve al norte, se desvía siempre hacia la izquierda de la corriente.*

Para definir la izquierda de la corriente, supongamos, como hacía Ampere, á un observador acostado sobre el hilo conductor, de tal manera que la corriente le entre por los pies y le salga por la cabeza, debiendo, ade-



más, estar viendo siempre la aguja; la izquierda del observador será la izquierda de la corriente. Así, por ejemplo, supongamos una corriente X Y que camine de Sur á Norte por encima de una aguja imanada; el polo Sur se desviará hacia el Oeste ó sea hacia la izquierda del hombre y se colocará en la dirección A' B'.

Si la corriente pasa por debajo, también de Sur á Norte, el polo Sur de la aguja se desviará hacia el E., ó sea hacia la izquierda del hombre.

Si no obrara la acción de la tierra, la aguja imanada se pondría exactamente en *cruz* con la dirección de la corriente, cualquiera que fuera la intensidad de ésta; pero la tierra tiende á volver á la aguja á la dirección Norte-Sur.

Recomiendo de una manera especial á los Sres. Profesores, la cuidadosa verificación de este experimento, que, como de costumbre, vamos á preparar con muy cortos elementos. Si carecemos de aguja magnética, frotamos una aguja de acero con uno de los polos de un imán en forma de herradura y atravesamos con esta aguja un tapón de corcho, en seguida atravesamos el tapón con un fistol, en dirección perpendicular á la de la aguja,

y apoyamos la punta de la aguja en una de las cavidades de un dedal que ponemos encima de la mesa. Con objeto de bajar el centro de gravedad, y que el sistema pueda quedar en equilibrio, se clavan dos cortaplumas

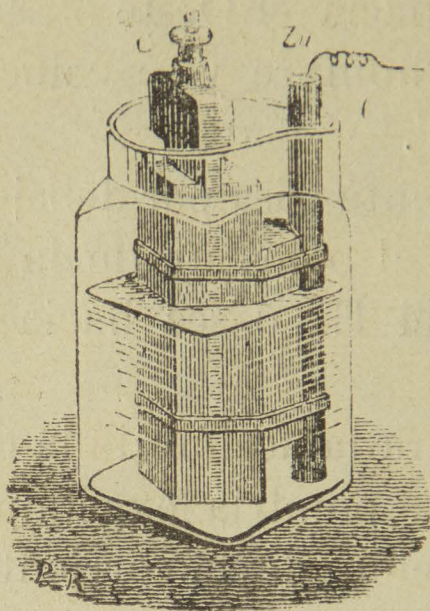


Fig. 115.—La pila de Leclanché.

ó dos pequeños tenedores, á derecha é izquierda del corcho; después de algunas oscilaciones, la aguja se orienta en la dirección Norte-Sur. A derecha é izquierda de este aparato colocamos dos copas grandes boca abajo y sostenemos en ellas un alambre aislado, de tal manera que quede paralelo á la dirección de la aguja. Nos vamos á servir de una pila de Leclanché.

La pila de Leclanché se compone de un vaso de cristal con una solución concentrada

de clorhidrato de amoníaco. El polo negativo lo forma una barra de zinc amalgamado, y el polo positivo está formado por un prisma de carbón de retorta que se sumerge en un vaso poroso lleno con un mezcla de bióxido de manganeso y coke.

Una de las extremidades del alambre la comunicamos con el polo positivo (carbón) de la pila de Leclanché, y el otro extremo lo tenemos con la mano. Con un gis marcamos sobre la mesa N y S, E y W (Norte, Sur, Este y Oeste) y pintamos una flecha indicando la dirección en que el alambre fijo en las copas va á ser atravesado por la corriente. Después hacemos que uno de los alumnos ponga sobre el alambre un muñequito de porcelana, de tal modo, que esté con sus ojos frente á la aguja y que la corriente le entre por los pies y le salga por la cabeza. No hay que olvidar que en el circuito exterior la corriente va siempre del *polo positivo* al *polo negativo* (+ á —).

El Sr. Profesor cierra el circuito, apoyando el alambre sobre el terminal del polo negativo de la pila, é inmediatamente se ve que el polo austral de la aguja se desvía hacia la izquierda del muñequito ó sea hacia la izquierda de la corriente,

El Sr. Profesor puede valerse de un timbre eléctrico para explicar á los alumnos un *electro-imán*; pero en todo caso, hará que los educandos construyan un tosco electro-imán de la manera siguiente:

En un carrete de madera (de los que se usan para coser en máquina) se enrolla varias veces un alambre de cobre aislado con seda, y en el hueco del carrete se introduce un clavo de fierro.

Este clavo no atrae á la marmaja; pero si se hace pasar por el alambre la corriente de una pila, el clavo se imana y atrae á la marmaja.

Cuando se interrumpe la corriente, el clavo deja de estar imanado.

El Sr. Profesor no descuidará explicar á sus alumnos las numerosas aplicaciones de los electro-imanés, y dedicará algunas clases, una vez terminado el curso, á hablar de las corrientes de inducción, del carrete de Rumhkorff, del telégrafo, del teléfono, de la telegrafía y telefonía sin alambres, de los rayos X, de los rayos N, de las sustancias radio-activas, y de todos los portentosos descubrimientos de la Física.

Todo esto, por supuesto, adecuado á la edad é inteligencia de los niños. La cuestión es

que no desconozcan en lo absoluto los progresos de la ciencia física.

Si los Sres. Profesores han logrado, á fin del curso, verificar todos los experimentos indicados en este libro, deben darse por satisfechos: la labor ha sido buena. Pero por ningún motivo deben descuidar la parte experimental, y si el Profesor adquiere gusto por la experimentación, se le ocurrirán nuevos experimentos que comunicar á sus alumnos y sentirá la noble satisfacción del que trabaja por el bien de los demás.

---

## CONCLUSION.

---

Este libro no está únicamente destinado para los Señores Profesores que no cuentan con elementos para la experimentación. Puede también servir para los que sí tienen una buena colección de aparatos; en este caso los experimentos sencillos servirán para estimular á los alumnos á repetir en sus casas lo que han visto hacer en la Escuela.

Siendo, indudablemente, mucho mayor el número de escuelas en la República Mexi-

cana, que no cuentan con elementos de experimentación, considero que este libro puede servir para que muchos Señores Profesores que nunca han hecho experimentos, emprendan la labor de hacerlos.

Un profesor de Ciencias Físicas tiene que ser un experimentador; esto es forzoso, y si no es experimentador, tiene que ser un mal profesor, dígase lo que se diga.

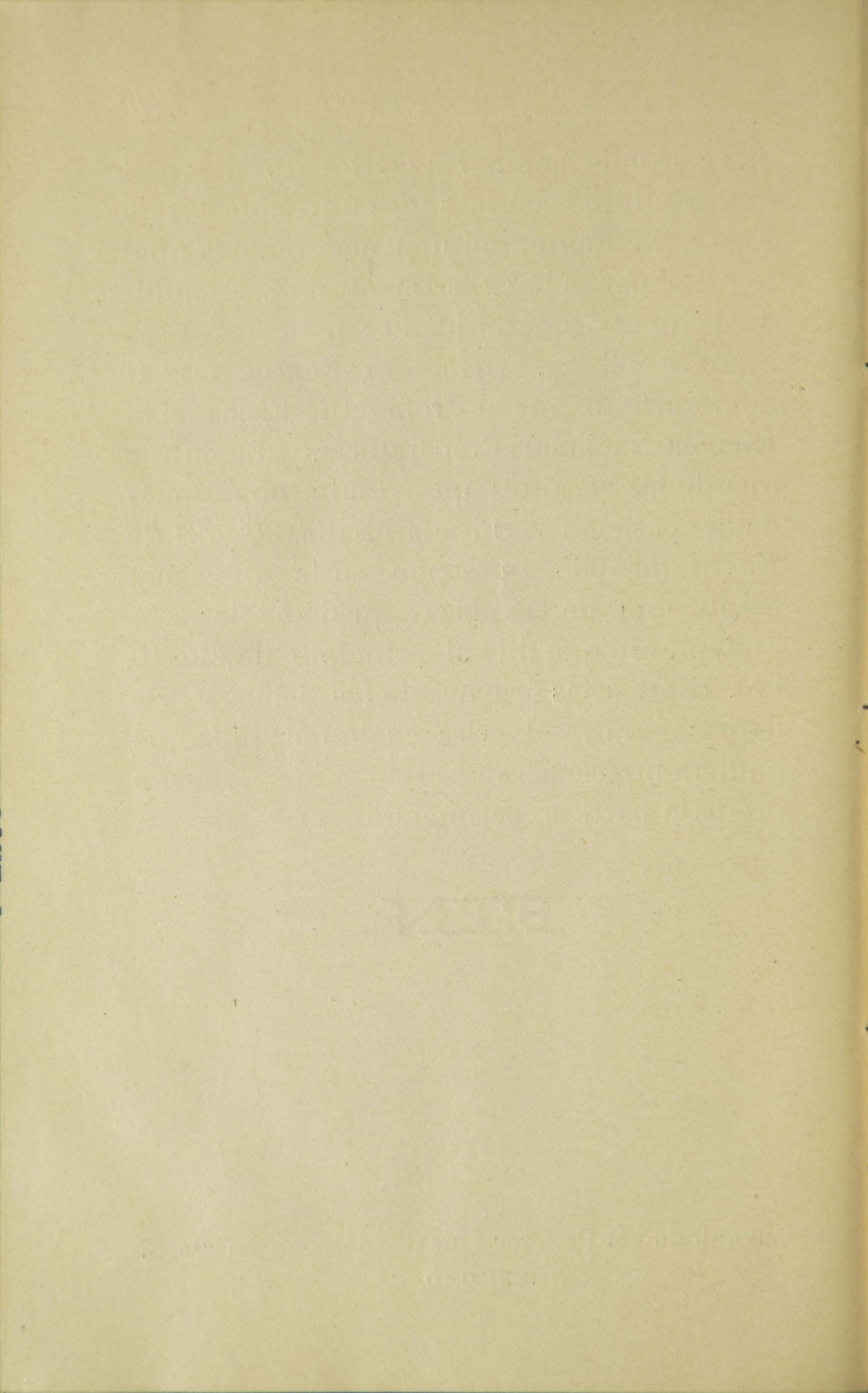
Hay personas que se titulan "profesores de Física" y que jamás han manejado un aparato. Esto es absurdo. Para darse cuenta de un fenómeno, no basta leer la descripción en un libro; hay que presenciarlo en todos sus detalles y darse cuenta de los pormenores de la experimentación.

Cuando el inteligente y respetable Sr. Profesor Ingeniero D. Francisco Echeagaray, daba la clase de Física en el Instituto de su dirección, se proveyó de una buena colección de aparatos que él personalmente manejaba, y cuando fué llamado para sustituir al Sr. Ingeniero D. Manuel Ramírez, por espacio de tres años, en la clase de Física de la Escuela Nacional Preparatoria, pasaba horas enteras en el gabinete estudiando los aparatos y penetrándose bien de su manejo. Esto hace un profesor concienzudo y honrado.

Sirva esto de ejemplo á ciertos “profesores” que creen que con leer dos ó tres obritas de Física, ya dominaron una materia, cuya base principal es la experimentación. Es indudable que la superioridad tuvo en cuenta los méritos del Sr. Ingeniero Echeagaray, al nombrarlo de nuevo Profesor de Física en la Escuela Nacional Preparatoria, para cubrir una de las vacantes que resultaron después de la oposición verificada los días 30 y 31 de Enero de 1905, oposición en la que solamente una de las plazas quedó cubierta.

Repito lo que dije al principio de este libro. Estoy á las órdenes de los Señores Profesores, para resolverles cualquier duda que pudiera ofrecérseles respecto á los pormenores de la parte experimental.

**FIN.**





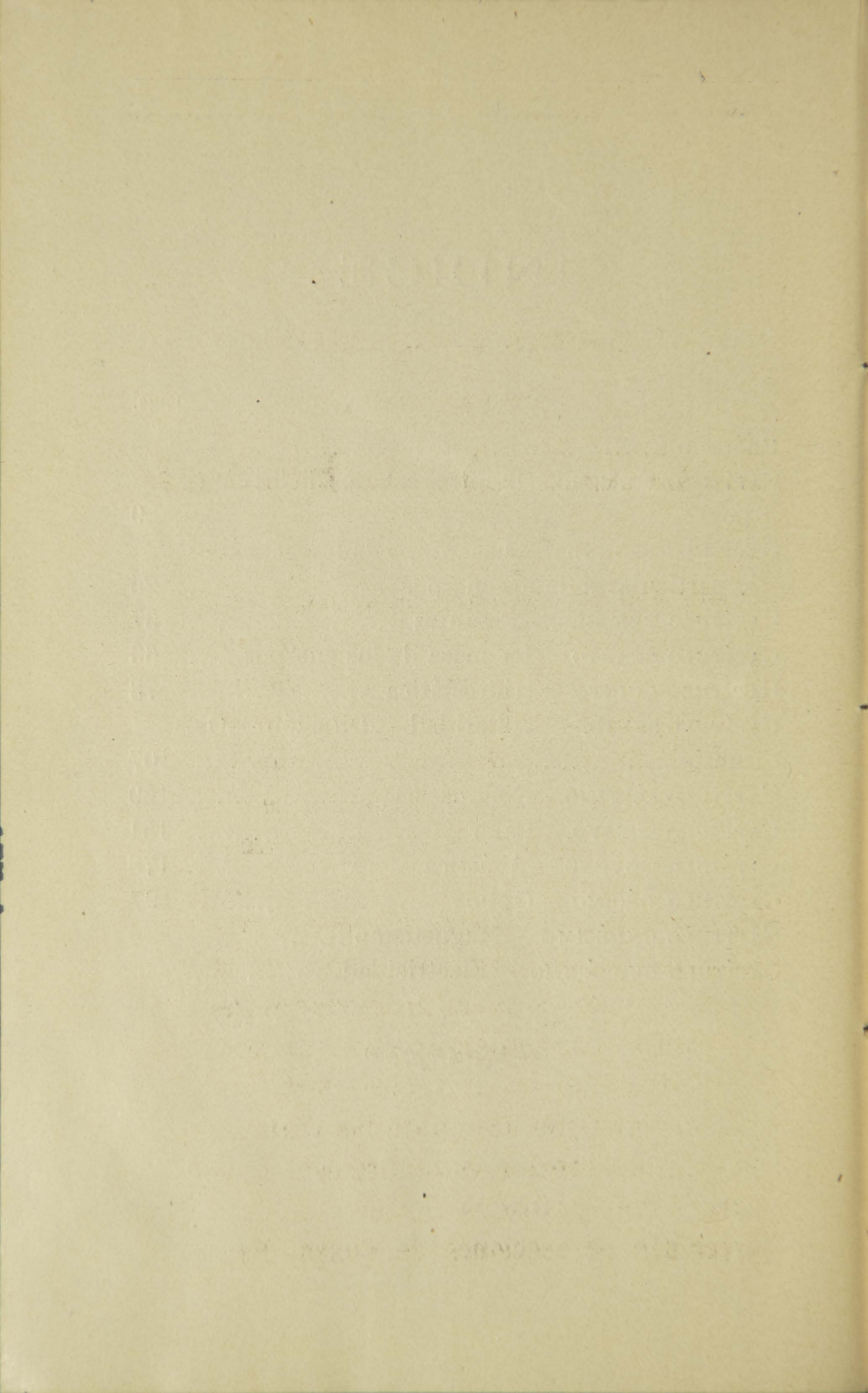
---

# INDICE

---

	Pags.
PRÓLOGO .....	5
CAPÍTULO PRIMERO.—Los tres estados de los cuerpos.....	9
CAPÍTULO SEGUNDO.—Las propiedades generales y particulares de los cuerpos .....	25
CAPÍTULO TERCERO.—Pesantez.....	37
CAPÍTULO CUARTO.—La masa de los cuerpos.....	63
CAPÍTULO QUINTO.—Hidrostática.....	78
CAPÍTULO SEXTO.—Capilaridad.—Difusión.—Osmosis.....	107
CAPÍTULO SÉPTIMO.—Neumática. ....	129
CAPÍTULO OCTAVO.—Calor.....	151
CAPÍTULO NOVENO.—Acústica.....	178
CAPÍTULO DÉCIMO.—Optica.....	197
CAPÍTULO UNDÉCIMO.—Magnetismo.....	
CAPÍTULO DUODÉCIMO.—Electricidad.....	





---

## OBRAS PUBLICADAS

POR EL PROF.

# LUIS G. LEON

---

**Primer año de Lecciones de Cosas.** Obra escrita conforme al programa marcado por la Ley. Trae nociones científicas propias para los niños de corta edad. Se ocupa del cuerpo humano, de los estados de los cuerpos, de los útiles del escolar, de algunos animales, etc., etc. Precio .....\$ 0.40

**Segundo año de Lecciones de Cosas.** Obra escrita conforme al programa de la Ley. Se ocupa de las propiedades generales y particulares de los cuerpos, nociones de los animales vertebrados y nociones acerca de las plantas. Como la anterior, esta obra está ilustrada con grabados. Precios..... 0.40

**Tercer año de Lecciones de Cosas.** Pro-

grama de la Ley. Se ocupa de las fuerzas, de las propiedades de los cuerpos, de los principales fenómenos del calor, de la luz y de la electricidad. Trae nociones acerca de los insectos y de la flor. Edición cuidadosamente impresa en París é ilustrada con grabados. Precio.....\$ 0.40

**Cuarto año de Lecciones de Cosas.** Pro-

grama de la Ley. Esta obra empieza dando á los niños claras nociones de Química. La parte de cuerpos simples y compuestos está explicada de un modo nuevo y atrayente que permanece grabada fácilmente en la mente de los niños. Explica este libro las principales manipulaciones relativas al oxígeno, al hidrógeno, cloro, iodo, anhídrido carbónico, etc., etc., con sus principales propiedades y aplicaciones. Después se ocupa de las principales funciones, tales como la digestión, la circulación, la respiración, la asimilación, y termina con algunas reglas de higiene. Obra ilustrada con grabados.

Precio..... 0.40

**Aritmética para los niños.** Primer año,

- Obra que explica las operaciones fundamentales de la Aritmética con ayuda de palitos, fichas, animalitos, etc. Los profesores que han empleado este libro le han encontrado muy útil para el rápido aprendizaje de los niños. Obra ilustrada con grabados. Precio .....\$ 0.40
- Cajitas con palitos, fichas, etc., para los ejercicios de Aritmética..... 1.50
- Geografía física para alumnos de 2º año.** Estudia la orientación, los principales términos de la Geografía física: río, lago, laguna, cabo, promontorio, la brújula y la manera de hacer con pocas líneas el plano del salón de la Escuela. Obra ilustrada con grabados. Precio ..... 0.40
- Moral para 3er. y 4º año.** Cuadernitos que contienen cuentos relativos á los puntos señalados en el programa de la Ley. Precio de cada cuadernito... 0.15
- Los Vertebrados.** Apuntes para los niños de 2º año. Precio..... 0.15
- Física y Meteorología.** Tratado escrito para los alumnos de primer año de Instrucción Primaria Superior. Es un compendio muy completo de los

- asunto: fundamentales de la Física y Meteorología. Obra profusamente ilustrada con grabados. Esta obra está al tanto de todos los descubrimientos modernos. Precio.....\$ 0.40
- Química.** Tratado elemental para alumnos del primer año de Instrucción Primaria Superior. Ilustrada con grabados. Precio..... 0.40
- Mineralogía y Botánica.** Programa de la Ley. En este libro están explicados los experimentos de germinación, verificados por el autor en el año de 1901. Obra ilustrada con grabados. Precio..... 0.40
- Fisiología é Higiene.** Programa de la Ley. Principales funciones de la vida. Utilidad de la Higiene. Estudio de la luz, del alumbrado artificial. Estudio del aire, polvos y gérmenes que contiene. Estudio del agua y de los vestidos, etc., etc. Obra ilustrada con grabados. Precio..... 0.50
- Zoología.** Programa de la Ley. Estudia los principales seres del reino animal, según la moderna clasificación. Trae nociones de sericicultura y termina con algunas anécdotas del rei-

- no animal. Obra ilustrada con grabados. Precio..... 0.40
- Higiene y Medicina.** Programa de la Ley. La salud y las enfermedades, medios para evitar éstas; la habitación y la ciudad; las enfermedades contagiosas; el aislamiento y la desinfección. Obra ilustrada con grabados. Precio. 0.40
- Cosmografía.** El tratado elemental más moderno que se ha escrito. La circunstancia de ser el autor el Secretario General de la Sociedad Astronómica de México, lo pone en aptitud de conocer inmediatamente todos los descubrimientos verificados en el mundo astronómico. Obra ilustrada con grabados y escrita conforme al programa de la Ley. Precio... 0.40
- Geografía** para los alumnos del primer año de Instrucción Primaria Superior. Trata de los océanos y los continentes, de las mareas, de las corrientes marinas, de los vientos periódicos, y de las principales divisiones del globo. Precio..... 0.40
- Geología.** Programa de la Ley. El globo terrestre. Edades de la Tierra. Las rocas y los minerales, los fósiles,

- ación de las aguas, etc., etc. Precio..... 0.40
- Física para los niños.** Esta obra también está escrita para los alumnos de primer año de Instrucción Primaria Superior. Bonita edición hecha en París, ilustrada con numerosos grabados. Precio..... 0.40
- Química para los niños.** Obra escrita para los alumnos de primer año de Instrucción Primaria Superior. Edición impresa en París, ilustrada con grabados. Esta obra ha merecido elogios del distinguido químico D. Andrés Almaraz, profesor de la materia en el Colegio Militar y en la Escuela N. Preparatoria. Precio..... 0.40
- Historia Natural para los niños.** Obra complemento de las anteriores. Profusamente ilustrada con grabados. Precio..... 0.40
- La atmósfera.** Tratado completo de Meteorología. Esta obra fué escrita para servir de texto en la Escuela Normal para Profesoras. Precio..... 1.00
- Análisis de sales.** Obra adoptada como texto en el Seminario Conciliar de México. Precio..... 0.40



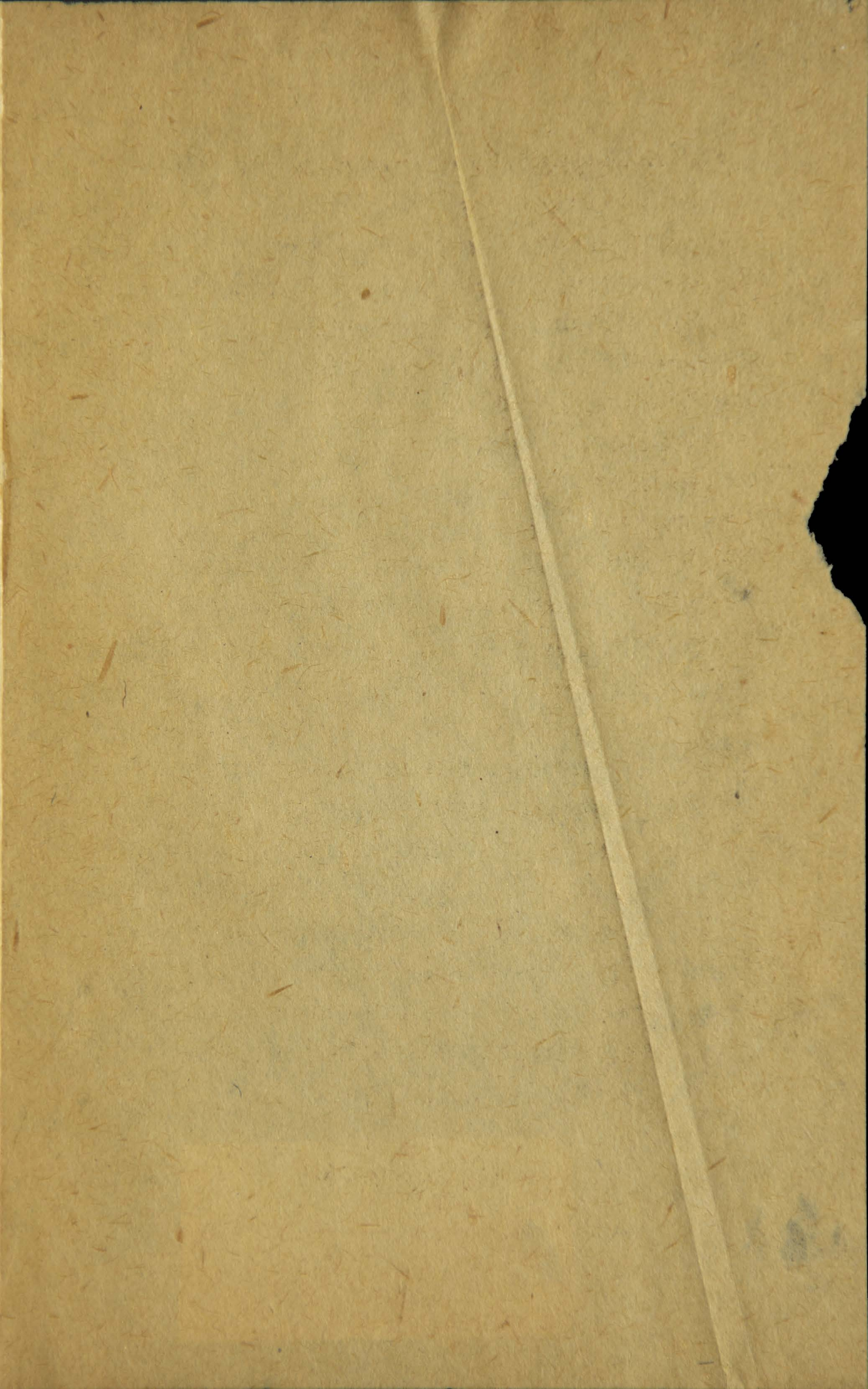
- Album de nubes.** Contiene fotografías de los principales tipos de nubes é indica la manera de obtener las fotografías de esos hermosos meteoros. Precio..... 1.50
- Agenda de Física y Química.** Preciosa ayuda de memoria para el estudiante. Contiene interesantes tablas. Precio..... 0.25
- Agenda de Química Orgánica.** Complemento del anterior. Precio..... 0.25
- Los Fenómenos del aire.** Obra moderna de Meteorología. Muy útil para los encargados de estaciones meteorológicas ó para las personas afectas al estudio de los fenómenos atmosféricos. Profusamente ilustrada con grabados. Precio..... 2.50
- Física popular.** Tratado moderno de Física, escrito para servir de texto en la Escuela Normal para Profesoras. Precio..... 2.50
- Química popular.** Obra escrita para servir de texto en la Escuela Normal para Profesoras. Adoptada como texto en el Seminario Conciliar de México. Ilustrada con numerosos grabados. Precio..... 1.00

<b>La cría de los Canarios.</b> Obra muy útil para los amantes de estos pájaros. Precio.....	0.25
<b>Cien experimentos de Electricidad y Magnetismo.</b> Todos estos experimentos son muy fáciles y pueden ser repetidos con pequeños elementos. Precio.....	0.60
<b>Cien experimentos de Optica.</b> Precio.....	0.60
<b>Ciento veinte experimentos de Física.</b> Complemento de los anteriores. Precio...	0.65
<b>Cajita para repetir los experimentos anteriores.</b> .....	16.00
<b>La telegrafía sin alambres.</b> Este libro condensa todo lo que hasta ahora se conoce del notable invento de Marconi. Precio.....	0.35
<b>El aire líquido.</b> Da una idea muy completa de la liquefacción de los gases, con sus aplicaciones industriales. Precio.....	0.35
<b>El fonógrafo y sus aplicaciones.</b> Estando ya tan generalizado el fonógrafo, es muy importante todo lo relativo á la invención y perfeccionamiento de este aparato. Precio... ..	0.40
<b>El aire, el agua y las plantas,</b> con un apéndice acerca de los insectos. Obra premiada en el concurso de Coyocán. Precio.....	0.40

- Curiosidades del Cielo.** Interesante obra para los aficionados á las bellezas del firmamento. Precio ..... 0.80
- Astronomía Popular.** Es la descripción de todo el cielo en forma de conversaciones en una hacienda donde había reunidas personas amantes do la Astronomía. Obra ilustrada con grabados. Precio ..... 1.00
- Maravillas del Cielo.** Obra de carácter popular como las anteriores. Ilustrada con grabados. Precio..... 1.00
- Constelaciones Boreales.** Descripción del cielo boreal. Precio..... 0.60
- Constelaciones Zodiacales.** Descripción del zodiaco. Precio..... 0.60
- Constelaciones Australes.** Descripción del cielo austral. Precio..... 0.60
- La Luna.** Descripción sencilla é instructiva de nuestro satélite. Precio..... 0.80
- Ya tengo telescopio, ¿qué debo observar?** Muchas personas son poseedoras de un telescopio, pero no saben qué deben observar en las distintas noches del año. Este libro es una excelente ayuda para el observador aficionado. Precio..... 0.80
- Observaciones astronómicas con un peque-**

no telescopio. Obra ilustrada con numerosos grabados. Precio.....	1.00
<b>Anuario astronómico para 1903.....</b>	<b>1.25</b>
<b>Anuario astronómico para 1904.....</b>	<b>1.25</b>
<b>Anuario astronómiso para 1905.....</b>	<b>1.25</b>
<b>Anuario astronómico para 1906.....</b>	<b>1.25</b>
<b>Los planetrs en 1905.....</b>	<b>0.80</b>
<b>Los planetes en 1906.....</b>	<b>0.80</b>
<b>Los planetas en 1907.....</b>	<b>0.80</b>
<b>Atlas astronómico de bolsa, 1ª parte.....</b>	<b>0.50</b>
<b>Atlas astronómico de bolsa, 2ª parte.....</b>	<b>0.50</b>
<b>Catálogo de Nebulosas y Masas Estelares.</b>	<b>0.80</b>
<b>Planisferio celeste móvil, construído para la latitud de México. Cualquiera persona, aun sin tener conocimientos de Astronomía, puede saber qué estrellas estarán visibles en determinada noche; la hora de salida, la hora del paso por el meridiano, y la hora de la puesta de las principales estrellas. Este planisferio es un auxiliar indispensable del aficionado. Precio del ejemplar con su cartilla explicativa....</b>	<b>2.00</b>





QC21.2 L4.4



122693


UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL  
AREA DE SERVICIOS DE BIBLIOTECA  
Y DE APOYO ACADEMICO

FECHA DE DEVOLUCION

*El lector se obliga a devolver este material antes del  
vencimiento del préstamo señalado por el último sello.*

LIBRERIA DE CH. BOURET.

---

 Próximamente publicaremos

“Química sin Laboratorio  
para la Escuela Primaria,”  
por Luis G. León.

---

