

por una varilla metálica, comunicando las internas separadamente con los dos polos B y C. Con tal adición, se necesita un poco más de tiempo para producir las descargas eléctricas entre los dos polos; pero en vez de resultar en forma de pequeñas chispas ó penachos casi continuos, se efectúan por chispas mucho más fuertes y menos frecuentes.

La máquina de Holtz es un aparato muy poderoso, pero delicado y bastante sensible á la influencia de la humedad atmosférica. A igualdad de dimensiones, y con la misma velocidad de rotación, proporciona de veinte á treinta veces más electricidad que una máquina de Ramsden. Pero si funciona bien estando el tiempo seco y frío, á veces cuesta trabajo hacerla marchar satisfactoriamente si está húmedo, durante los días ca-

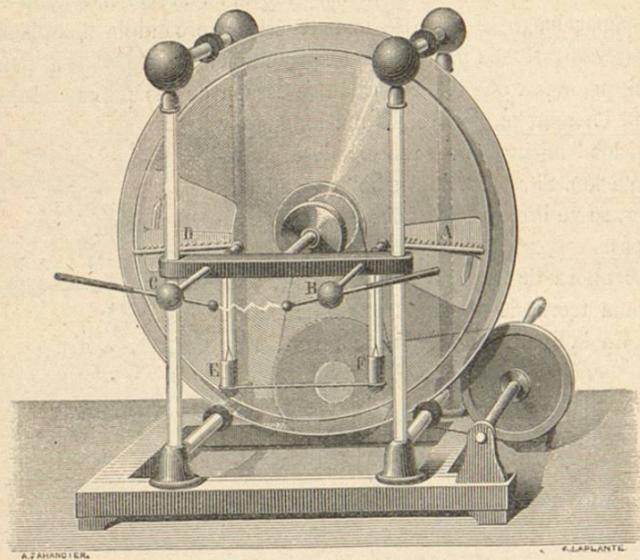


Fig. 101.—Otra máquina eléctrica de Holtz

lurosos del verano ó en una atmósfera cargada de vapor de agua á causa de la presencia de muchas personas. Se pueden obviar estos inconvenientes calentando y secando el aire de la habitación en que está la máquina, ó mejor aún, poniéndola sobre una mesa debajo de la cual haya un brasero encendido y cuya tabla tenga algunos agujeros por los cuales sale el aire caliente rodeando las distintas partes de la máquina.

Constrúyense máquinas de Holtz dobles, es decir, formadas de cuatro discos, dos fijos y otros dos móviles, pero montados en un mismo eje. Los peines de los conductores están en ellas encorvados en forma de mandíbulas que presentan sus puntas ante las armaduras de papel. Las máquinas dobles suministran más electricidad y dan chispas más largas que las que brotan de las máquinas sencillas; pero sobre todo tienen la ventaja de conservar más tiempo su carga; en una atmósfera seca, permanecen electrizadas muchas horas y funcionan de nuevo cuando se vuelve á girar los discos, sin que sea necesario electrizarlos otra vez.

La figura 102 representa una nueva disposición dada por M. Holtz á su máquina. Los discos de vidrio, de igual diámetro, están colocados horizontalmente y ambos son móviles; pero, aunque tienen el mismo eje, giran en sentidos contrarios. En esta máquina se han suprimido los discos fijos y las armaduras de papel, pero tiene cuatro pei-

nes conductores que comunican dos á dos por medio de varillas metálicas. Dos peines en los extremos del mismo diámetro están sobre el disco superior, y otros dos debajo del inferior, formando su dirección ángulo recto con la de los primeros. Los conductores, aislados por pies de cristal ó de ebonita y reunidos como se acaba de decir, forman

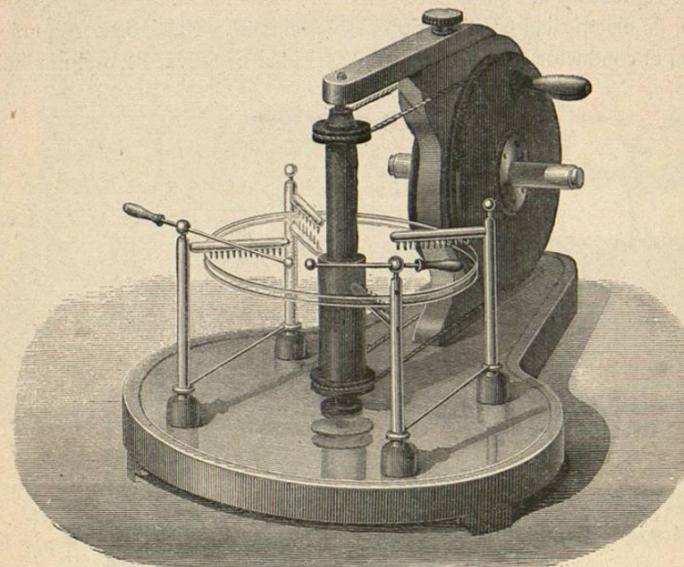


Fig. 102.—Máquina de Holtz de dos rotaciones

dos sistemas que se puede reunir ó separar como se quiera mediante un excitador de bolas, lo mismo que en las máquinas comunes de Holtz. Para que funcione ésta, se reúnen los conductores y se da vueltas á uno de los discos. Acérquese la placa de ebonita electrizada á uno de los peines y al poco rato el zumbido que se nota indica que el aparato ha entrado en acción.

Se quita la placa; se separan las bolas del excitador y se obtiene un chorro continuo de chispas. La teoría es, poco más ó menos, la misma que la de la primera máquina de Holtz.

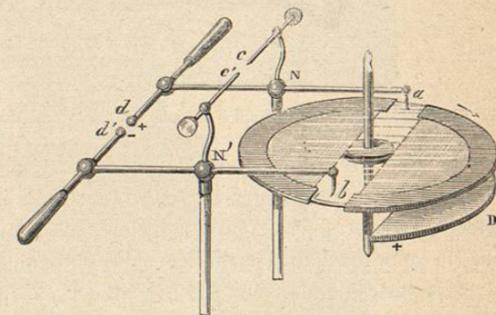


Fig. 103.—Máquina de Tœpler

La máquina de Tœpler está representada en su forma más sencilla en la figura 103. Como se ve, consiste en un disco de vidrio E que, mediante un sistema de cuerdas y poleas, gira alrededor de un eje vertical. En su cara inferior hay pegadas dos hojas de estaño en forma de segmentos que se repliegan sobre la cara superior en dos bandas C D separadas por un espacio diametral. Dos conductores N N', puestos sobre pies aisladores, van á parar á los dos extremos de este espacio, á cierta altura sobre él, y las bolas en que terminan están provistas de dos muelles flexibles a b encorvados en opuestos sentidos. Debajo del disco de vidrio móvil hay un conductor aislado D', de forma

y dimensiones iguales á las de los segmentos, que, estando fijo, hace las veces de conductor. Suponiendo que se le carga de electricidad positiva, electrizará por influencia el segmento D y el conductor Na que forman un solo y mismo conductor mientras el muelle *a* descansa en la banda de estaño; en este momento de la rotación un poco anterior al que representa la figura, D se carga de electricidad negativa, y N, en el extremo opuesto, de electricidad positiva. Soltando el muelle *a*, el sector D comunica por el muelle *b* con el conductor N' y le lleva su electricidad negativa. Pero el movimiento de

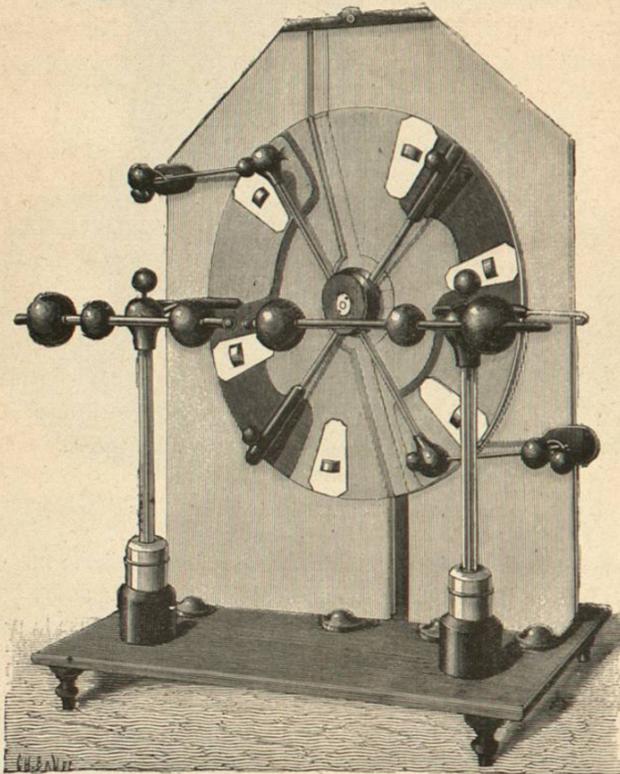


Fig. 104.—Máquina de Tœpler con placa poligona fija. Modelo de la Exposición de Electricidad

rotación conduce entonces al segundo sector C al puesto del primero y hace que se electrice á su vez por influencia. Así se reproduce indefinidamente el mismo efecto, y la electricidad recogida en los conductores va aumentando en progresión geométrica hasta un valor máximo, á partir del cual resultarían descargas en forma de chispas entre las varias partes de la máquina. Las puntas *c* y *c'* que se pueden acercar á beneplácito mediante unos tornillos, ó también las dos bolas *d* y *d'* de un excitador con mangos de ebonita, obvian el inconveniente de que acabamos de hablar, recogiendo el exceso de electricidad á medida que se produce.

En la Exposición internacional de Electricidad había modelos de la máquina de Tœpler distintos del que acabamos de describir. La figura 104 reproduce uno de ellos, y en la 105 se ve otra máquina del mismo físico, formada por la reunión de veinte discos, en vez de los dos que constituyen la máquina sencilla. Aquélla tiene por objeto aumentar en la misma proporción la producción y el consumo de electricidad.

En la máquina de Tœpler representada en la fig. 104 se advierte á poca diferencia la disposición general de la de Holtz. En ella el disco fijo consiste en una placa de vi-

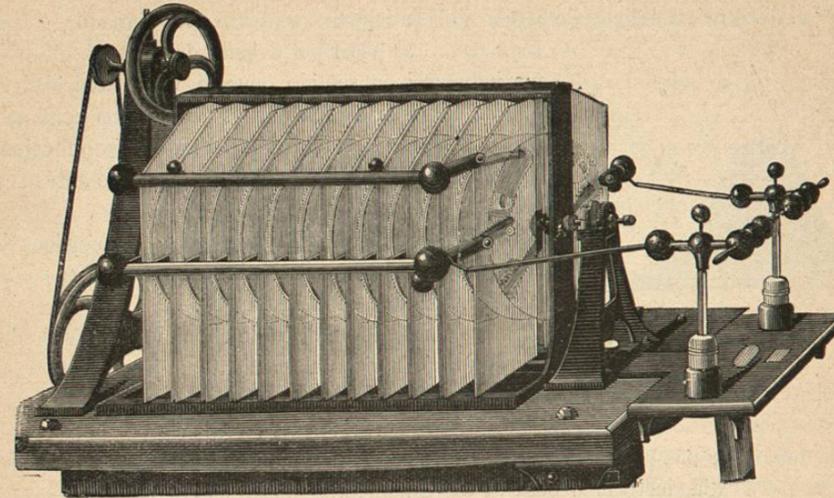


Fig. 105.—Máquina de Tœpler, de veinte discos

drio de forma poligonal, dividida en dos partes por un espacio diametral. Esta placa lleva en su parte posterior dos hojas de estaño que hacen las veces de inductores. De-

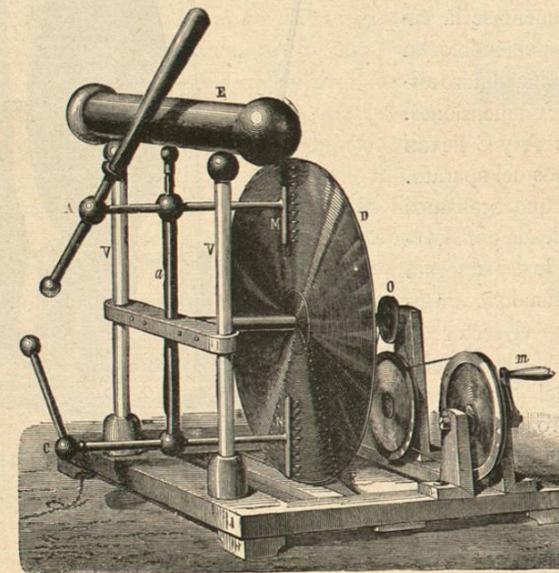


Fig. 106.—Electróforo giratorio de Bertsch

lante hay un disco de vidrio móvil que tiene en su contorno hojas de estaño cortadas en forma de sectores y provista cada una de ellas de una pequeña prominencia metálica. Los peines de los conductores tienen una de sus puntas en forma de penacho que

toca las prominencias de los sectores de estaño siempre que el movimiento de rotación conduce al diámetro horizontal del disco. Estos sectores están sometidos á la influencia de las armaduras metálicas adaptadas al otro lado de la placa fija de vidrio. Si se hace girar el disco móvil después de cargar de electricidades contrarias las armaduras fijas

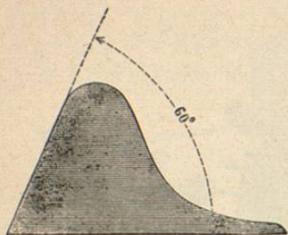


Fig. 107.—Sector de ebonita de la máquina de Bertsch

cada sector, al pasar por delante de éstas, se electriza por influencia en sentido opuesto, y la electricidad que se carga se escapa por los peines á los conductores. El resto de la explicación del modo cómo funciona la máquina es idéntico al del primer aparato antes descrito. Digamos también algo acerca de las máquinas de los señores Bertsch y Carré, la primera de las cuales está representada en la figura 106. Compónese de un disco de ebonita que gira alrededor de un eje horizontal, mediante un juego de cuerdas y poleas á las que se da vueltas con un manubrio. Delante de la parte inferior de este disco se pone un sector de la misma substancia previamente electrizado por la frotación de la mano ó de una piel de gato. La influencia del sector electriza al disco, que recibe por un peine N la electricidad positiva del conductor C puesto en comunicación con el suelo. La mitad superior del disco D actúa por influencia sobre el conductor A por medio del peine M, resultando así dicho conductor cargado de electricidad positiva. Auméntase la capacidad de éste poniéndolo en comunicación con un cilindro aislado E de mayores dimensiones. Los conductores A y C llevan el nombre de polos del aparato.

La máquina que acabamos de describir fué ideada por M. Piche, y M. Bertsch le dió su forma actual, perfeccionándola. Fácilmente se ve que el sector de caucho endurecido desempeña en ella el papel del disco de resina del electróforo, al paso que la parte del disco de ebonita inmediata á él hace las veces del platillo conductor. El peine inferior saca una chispa, del propio modo que el operador la saca también con el dedo del platillo conductor. Por esta analogía se ha dado al aparato de Bertsch el nombre de *electróforo giratorio*.

La máquina Carré (fig. 108) sólo difiere de la anterior en la sustitución del sector de caucho por un disco PP, puesto á su vez en movimiento y que gira lentamente entre dos almohadillas C. De esto resulta que el cuerpo inductor, en lugar de perder gradual-

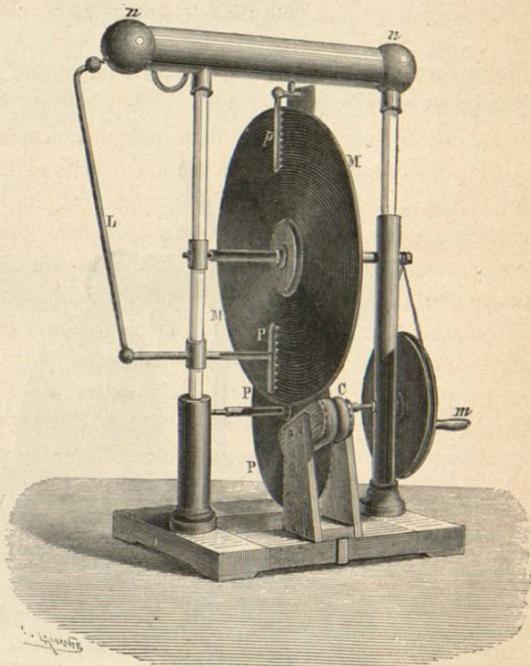


Fig. 108.—Máquina eléctrica de Carré

mente su electricidad, como sucede con el sector de la máquina Bertsch, permanece electrizado durante la operación y no cesa de estarlo desde el punto en que se pone la máquina en marcha. Gracias á una combinación de poleas de dimensiones convenientes, el mismo manubrio pone en movimiento el disco grande y el inferior, haciendo que el primero gire rápidamente y el segundo muy despacio sobre sus ejes respectivos.

Las chispas obtenidas en una máquina Carré, con un disco inferior de 38 centímetros de diámetro que sirva de inductor á otro disco de 49, llegan á 20 de longitud. Este aparato, que tiene la ventaja de funcionar bien en cualquier tiempo, adolece sin embargo del inconveniente de que la influencia de los agentes atmosféricos altera con facilidad el disco grande de ebonita, pero se le puede remediar bruñendo de vez en cuando las superficies con papel esmerilado, operación que hace desaparecer la tenue capa de ebonita estropeada.

IV

EXPERIMENTOS HECHOS CON LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

En las cátedras de física se hace una serie de curiosos experimentos con las máquinas eléctricas cuya descripción se acaba de leer. Nuestro objeto, al mencionar aquí algunos de los más interesantes, no consiste tanto en estudiar los efectos de la electricidad, de los cuales deberemos ocuparnos en breve de un modo más completo, como en familiarizarnos con las explicaciones de los fenómenos generales expuestos en los capítulos anteriores.

De uno de los conductores de la máquina eléctrica se suspende una regla metálica mediante una varilla, también de metal. De dicha regla penden asimismo tres timbres, el de en medio de una hebra de seda, y los de los extremos de dos cadenas de latón, comunicando aquél con el suelo por medio de otra cadena. Finalmente, entre los timbres cuelgan de hebras de seda dos esferitas de cobre (fig. 109). Tan luego como la máquina funciona, la electricidad del conductor pasa á los timbres extremos, los cuales atraen las esferas de cobre y las repelen después del contacto. El timbre del centro, que se halla en estado natural ó neutro, sometido á la influencia de las esferas electrizadas, se carga de electricidad contraria á la de éstas y las atrae hasta que lo tocan, después de lo cual vuelve á su estado neutro, lo propio que las esferas. Los timbres extremos vuelven entonces á atraerlas, y de esta suerte se repite indefinidamente el fenómeno. De aquí resulta una serie de choques sucesivos y por lo tanto de sonidos, que se reproducen mientras el conductor de la máquina está cargado. Esta es la causa de que se dé el nombre de *campanario eléctrico* al aparato, que sirve también para indicar si el cuerpo del que se le suspende está ó no electrizado.

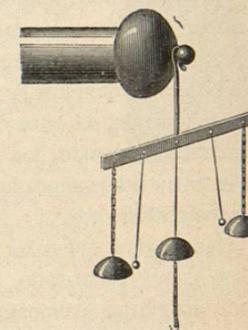


Fig. 109.—Campanario eléctrico

El célebre físico Volta ideó un aparato con objeto de explicar, mediante el fenómeno á que da origen, el movimiento de los granizos durante las tormentas. Consiste (fig. 110) en una campana ó fanal de vidrio situada sobre un platillo de cobre puesto en comunicación con el suelo. Una varilla metálica atraviesa la campana, estando en con-

tacto por su extremo exterior con el conductor de una máquina eléctrica y sosteniendo por el otro extremo, esto es, por el que penetra en la campana, un platillo de metal. En el fondo de ésta hay unas cuantas bolitas de médula de saúco. Ahora bien, tan luego como la máquina está cargada, la electricidad pasa al platillo y atrae las bolitas

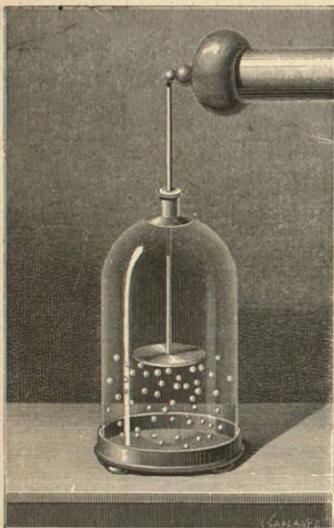


Fig. 110.—Granizo eléctrico

que se electrizan por influencia y acuden á ponerse en contacto con él; pero en seguida son repelidas y caen en el fondo de la campana, donde se descargan de su electricidad, volviendo al estado neutro. Estos movimientos de vaivén prosiguen así mientras el conductor está cargado. Conócese este fenómeno con el nombre de *granizo eléctrico*. A veces se reemplazan las esferillas de saúco con figuritas de la misma substancia, y se da á este experimento el nombre de *danza de los muñecos*.

La *regadera eléctrica* (fig. 111) sirve para demostrar la repulsión que experimentan entre sí las moléculas líquidas electrizadas. Consiste en un vaso metálico con tres agujeros provistos de tubos capilares, por los cuales sale el agua gota á gota cuando no está electrizado. Si se suspende este aparato, por el gancho que lleva, del conductor de una máquina eléctrica y se pone ésta en acción, el agua empieza á salir de un modo continuo, en forma de hilillos líquidos ó de cho-

rros divergentes de tenues gotas, que parecen luminosas en la obscuridad. Como el consumo de agua no aumenta, el fenómeno sólo reconoce por causa la división de las moléculas líquidas que resultan de su repulsión mutua, bajo la influencia de la electricidad que les comunica la máquina.

Como se ve, en estos cuatro experimentos sólo se pone en juego, de un modo más ó menos entretenido, los fenómenos de atracción y repulsión eléctricas. Estudiemos ahora los efectos de la descarga eléctrica entre los cuerpos conductores.

Hemos visto que si un cuerpo aislador, una barra de vidrio por ejemplo, está electrizado, al acercar el dedo á una de sus puntas brota una chispa, acompañada de un ruido leve y seco; pero el vidrio continúa electrizado en los puntos que no han sido tocados, lo cual se explica por la no conductibilidad del cuerpo empleado. Si se sustituye el cuerpo aislador con un conductor, como el de una máquina cargada, el efecto producido es mucho más enérgico y la descarga más completa. Por lo demás, los fenómenos que se observan entonces dependen del modo cómo se efectúa la descarga, es decir, de la naturaleza del medio interpuesto entre el conductor electrizado y el cuerpo sometido á la influencia.

Si se acerca el dedo ó cualquier otra parte del cuerpo al conductor de una máquina, brota una chispa y se siente una conmoción tanto más fuerte cuanto mayor es la carga. El electroscopio de cuadrante, puesto en el conductor, baja entonces á cero, indicando así que la máquina está descargada. Pero cuando se da vuelta al disco sin parar, las chispas se suceden casi sin intermisión; el ruido forma á modo de chisporroteo



Fig. 111.—Regadera eléctrica

y se siente un cosquilleo sin sacudida brusca. Si la mano no está muy cerca del conductor, la tensión de las dos electricidades, la de la máquina y la desarrollada en el cuerpo por influencia, es más fuerte, y cuando basta para vencer la resistencia que la mayor distancia opone á su recomposición, se ve brotar una chispa más larga y la sacudida recorre todo el brazo. Si antes de girar el disco de la máquina se hace que una persona se suba en un taburete aislador ó con pies de vidrio, y esta persona pone la mano en el conductor, resultará electrizada al mismo tiempo que éste, pues entonces su cuerpo forma, por decirlo así, parte de él. Otra persona no aislada podrá sacar chispas, y ambas recibirán á la vez la sacudida que suscita la descarga.

Los efectos luminosos producidos por el desprendimiento de la electricidad merecen estudio especial y detallado. Nos ocuparemos de ellos más adelante, cuando hayamos pasado revista á los varios modos de producción de la electricidad; pero podemos describir desde luego algunos experimentos en que la chispa engendra juegos de luz muy singulares.

Pégase á la superficie de un tubo pequeños rombos de hojas de estaño, poniéndolos unos tras otros de modo que formen una curva en forma de hélice, pero con cortos intervalos entre sí. Los dos extremos de la hélice y del tubo son otros tantos casquillos metálicos, uno de los cuales se engancha al conductor de la máquina eléctrica, al paso que el otro comunica con el suelo por medio de una cadenilla. No bien se carga la máquina, hay descomposición por influencia de la electricidad neutra del primer rombo de estaño, luego del segundo por el primero, y así sucesivamente en toda la serie. La escasa distancia que media entre unos y otros da lugar á descargas simultáneas; brotan chispas á la vez en todo el contorno del tubo y el fenómeno dura mientras se da vueltas al disco (fig. 112). Tal es el experimento del *tubo chispeante*.

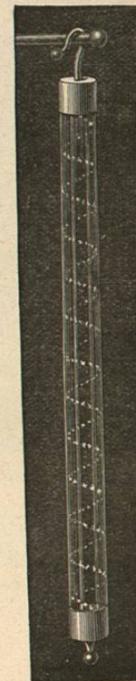


Fig. 112.—Tubo chispeante

Análogos efectos de luz se obtienen con un globo de vidrio á cuya superficie se hayan pegado pequeños rombos de estaño formando dibujos variados, lo cual forma el *globo chispeante* (fig. 113).

Si á una placa rectangular de vidrio se pegan tiras de estaño formando una serie no interrumpida de líneas paralelas, se podrá grabar sobre este fondo un dibujo cualquiera por medio de un punzón. De cada solución de continuidad brotará una chispa, tan luego como se pongan en comunicación los dos extremos de la serie, uno con el conductor de la máquina y otro con el suelo, y se verá la figura trazada sobre el vidrio formada por líneas luminosas. Tal es el *cuadro chispeante* (fig. 114).

El *cuadro mágico* no difiere del anterior sino por la colocación irregular de las partículas de metal entre las cuales brota la luz eléctrica: échanse al azar limaduras de hierro sobre la superficie del vidrio previamente engomada. Apenas se pone el cuadro en comunicación por un lado con la máquina y por otro con el suelo, saltan chispas que trazan líneas irregulares y serpeantes, cuya disposición y figura cambian á cada momento.

En los experimentos que acabamos de describir, la descarga se efectúa entre dos cuerpos cargados de electricidades contrarias, separados entre sí por un medio aislador, como el aire, el vidrio, etc. Dase el nombre de *descarga disruptiva* á la recomposi-

ción de las dos electricidades, porque va acompañada de un movimiento violento de las moléculas del cuerpo aislador, como lo prueba el experimento siguiente.

Llénanse de cierta cantidad de agua dos tubos comunicantes de diámetro desigual,

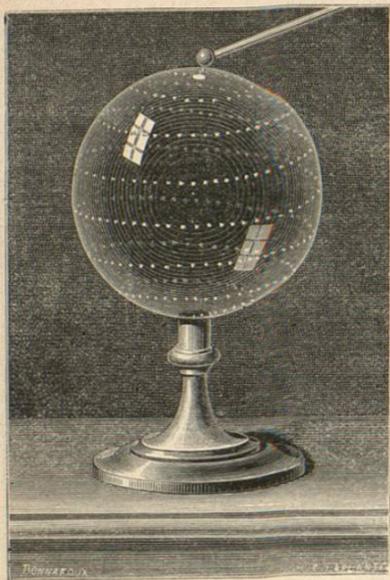


Fig. 113.—Globo chispeante

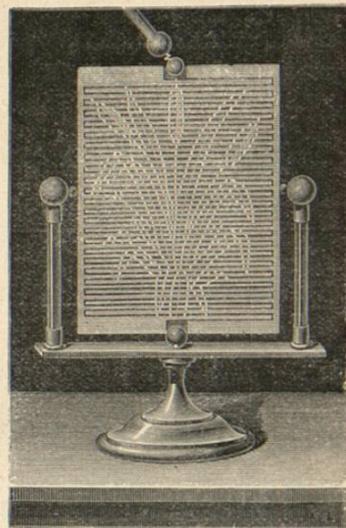


Fig. 114.—Cuadro chispeante

el mayor de los cuales está completamente cerrado, y el menor abierto por arriba (figura 115). Van fijas al primero dos varillas metálicas terminadas en bolas, una en la base inferior y otra en la superior, comunicando la primera con el suelo y la segunda con el

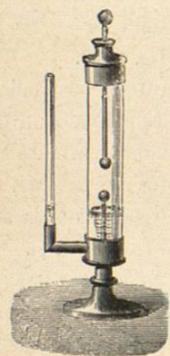


Fig. 115.—Termómetro de Kinnersley

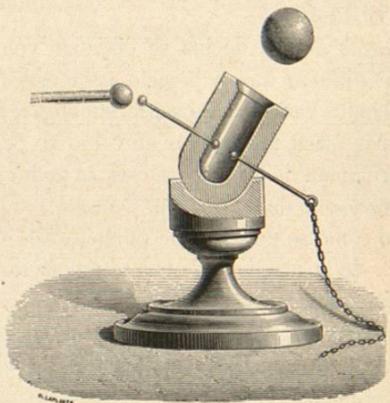


Fig. 116.—Mortero eléctrico

conductor de una máquina eléctrica. Tan luego como brota la chispa, el agua sube bruscamente en el tubo abierto, y si aquella es muy fuerte, el agua salta fuera del tubo. Esta sacudida tiene por causa la conmoción violenta de las moléculas del aire y la expansión originada por una elevación de temperatura; pero no esta última causa sola,

como en un principio lo creyó Kinnersley, inventor del experimento. Lo que prueba que el aire ha sido dilatado por el calor es que el líquido no recobra inmediatamente su nivel en el tubo menor. A este aparato se le ha dado el nombre de *termómetro de Kinnersley*.

La expansión brusca de que acabamos de hablar ha dado origen al experimento del *mortero eléctrico* (fig. 116), fácil de comprender dado lo que precede. En el momento en que la chispa brota, sale disparada la bala, y el efecto es aún más marcado, si antes de operar se han echado en el fondo del mortero unas cuantas gotas de éter que el calor reduce espontáneamente á vapor.

También se puede hacer brotar la chispa á través del agua.

Para ello, las dos varillas conductoras que comunican, una con la máquina en *m* y otra con el suelo en *t* (fig. 117), están cubiertas de una capa de gutapercha que las aísla del agua y sólo tienen desnudos sus extremos puestos casi en contacto en el fondo de una vasija. Apenas sobreviene la descarga, salta la chispa, el agua sube, y la sacudida es á veces bastante fuerte para romper la vasija.

Limitémonos por ahora á estos experimentos; aquellos de nuestros lectores que posean aparatos á propósito podrán hacerlos fácilmente. No tardaremos en completar la descripción de los efectos mecánicos ó físicos de la electricidad, agregándoles la de los químicos, que no tienen menor importancia.

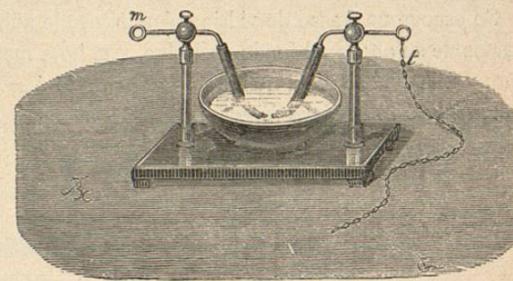


Fig. 117.—Descarga eléctrica en un líquido

CAPÍTULO V

LA BOTELLA DE LEYDEN.—LOS CONDENSADORES

I

EXPERIMENTOS DE CUNEUS Y MUSCHENBROEK.—DESCUBRIMIENTO DE LA BOTELLA DE LEYDEN

Cuneus, discípulo de Muschenbroek, célebre físico del pasado siglo, trató cierto día de electrizar el agua contenida en una botella de ancho gollete. Con tal objeto cogió la botella con una mano, después de introducir en el líquido una varilla metálica suspendida del conductor de una máquina eléctrica, y cuando creyó que el agua estaba suficientemente cargada de electricidad, quiso, sin dejar de sostener la botella con la mano, quitar con la otra el alambre puesto en contacto con el conductor. Al punto sintió una conmoción cuya violencia le sorprendió en alto grado. Muschenbroek repitió el experimento de Cuneus; pero la sacudida que experimentó en brazos, hombros y pecho fué tal que le dejó sin aliento, causándole un espanto tan grande que al noticiar á Reaumur aquel hecho, enteramente nuevo entre los fenómenos eléctricos á la sazón