

zan; luego por los pinceles colectores que ya hemos descrito, y desde éstos va al circuito exterior para utilizarla según el destino que se dé á la máquina. Ésta tiene aplicación á muchos objetos, en una porción de industrias; es notable por la sencillez de su construcción, por la cantidad de electricidad que suministra y que se calcula en el 85 ó 90 por 100 del trabajo consumido por el árbol motor, por la reducción de su peso comparado con su potencia, y como consecuencia, por lo módico de su precio.

Hoy día están en uso otras muchas máquinas dinamo-eléctricas construídas con arreglo á los mismos principios que la de Gramme. Haremos mención de algunas, reservándonos el tratar de las más importantes para cuando describamos las múltiples aplicaciones del electro-magnetismo.

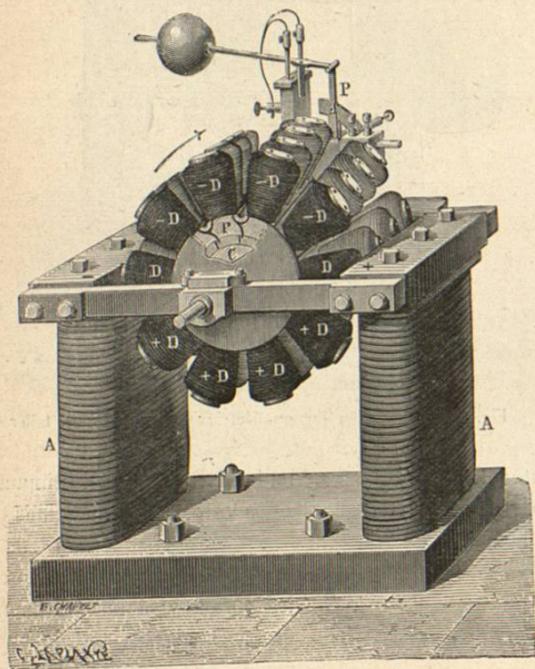


Fig. 255.—Máquina dinamo-eléctrica Lontin

La máquina de Brush es un anillo Gramme, cuyos carretes en número de ocho ó doce solamente y separados por un intervalo bastante largo, están unidos dos á dos y giran entre los polos de dos electro-ímanes de herradura, de forma oblonga y dispuestos de modo que sus polos de igual nombre giran uno enfrente de otro. De esta disposición resulta que las corrientes inducidas son inversas en las dos mitades del anillo envueltas lateralmente por estos polos, lo cual requiere el empleo de un conmutador y cuatro frotadores.

La figura 255 representa la máquina dinamo-eléctrica de Lontin. Entre los brazos AA de un electro-ímán común que descansa en una pieza de hierro gira un rodillo del mismo metal, llamado por el inventor *piñón magnético*. En este rodillo están alineados en el sentido de las generatrices del cilindro, ú oblicuamente á modo de hélice, varios dientes de hierro, cada uno de los cuales, rodeado de alambres de cobre aislados, forma un carrete ó hélice. Todos estos carretes DDD, en número de 40, reunidos entre sí como los del anillo Gramme, están enlazados con un colector que recoge las corrientes inducidas en las dos mitades del cilindro inducido. Esta máquina se usa principalmente como excitadora de la división de luz inventada también por M. Lontin y que describiremos en el capítulo consagrado al alumbrado eléctrico.

La máquina Hefner-Altenneck (fig. 254), así llamada del nombre de su inventor, ingeniero de la casa Siemens de Berlín, difiere de la de Gramme por su armadura cilíndrica y por el modo de estar enrollados los hilos del carrete inducido, que no cubren más que la parte exterior del cilindro metálico que reemplaza al anillo; los brazos de los electro-ímanes son placas de hierro más anchas que largas, y sus armaduras envuelven por arriba y por abajo el carrete inducido. Los colectores son los de la máquina Gramme.

La máquina de Brush es

CAPÍTULO XI

LA LUZ ELÉCTRICA

I

LA CHISPA ELÉCTRICA

Más de una vez hemos tenido ocasión de consignar que las descargas eléctricas producen luz con mucha frecuencia. Los primeros observadores se ocuparon de las chispas eléctricas que brotan de los cuerpos electrizados al acercar un dedo á su superficie; Otto de Guericke, el doctor Wall, Dufay y Hauksbee iniciaron el estudio de este interesante modo de manifestarse la fuerza eléctrica; Franklin vió cómo se escapaba el fluido de una punta metálica en forma de fulgor ó de penacho; hizo más: descubrió lo

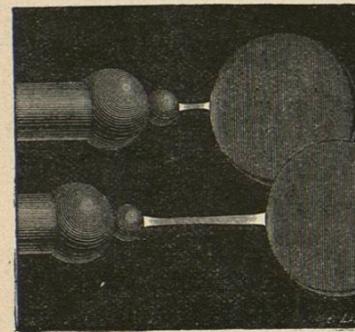


Fig. 256.—Chispa rectilínea

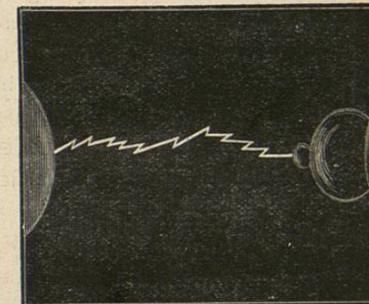


Fig. 257.—Chispa angulosa

que Gray y Wall habían presentado solamente: la identidad de la débil chispa y de la decrepitación seca que la acompaña con los grandiosos fenómenos del relámpago, el rayo y el trueno. Posteriormente, utilizandó Davy la corriente de una pila enérgica, demostró cómo se podía hacer brotar entre dos conos de carbón puestos en los polos la más intensa de las luces artificiales, el arco voltaico.

Todos los efectos luminosos de las descargas eléctricas ofrecen sumo interés; sus variadas apariencias, el estudio de las condiciones en que tienen efecto, son tan dignos de tenerse en cuenta desde un punto de vista puramente científico, como lo son desde el práctico las numerosas aplicaciones de que la luz eléctrica empieza á ser objeto de algunos años á esta parte. Ya hemos descrito algunos de estos efectos con motivo de los curiosos experimentos que se hacen en las cátedras con las máquinas eléctricas, condensadores, etc. Ahora que conocemos ya los más poderosos aparatos productores de corrientes, ha llegado el momento de completar lo que teníamos que decir acerca de la luz eléctrica.

Volvamos al punto de partida, á la *chispa*, que, según hemos visto, brota siempre que dos cuerpos cargados de electricidades opuestas y á bastante tensión se hallan

contiguos, habiendo entre ambos un intervalo no conductor, un medio resistente. Hallándose contrariada por la resistencia del medio no conductor la tendencia que tienen las electricidades contrarias á reunirse para combinarse y reconstituir electricidad neutra, resulta de aquí transformación de fuerzas vivas, transformación de la electricidad en calor y en luz, y por tanto la chispa con todas sus apariencias.

Estas varias apariencias son las que vamos á estudiar ahora, distinguiendo ante todo la *chispa* propiamente dicha del *penacho*, del *fulgor* y de la *descarga oscura*, según la clasificación de Faraday.

La *chispa* es esa línea luminosa, ese rastro de fuego que brota entre el conductor electrizado y el disco que se acerca á él y que, conforme hemos visto, debe estar en comunicación con el suelo. Si es corta, ó si la distancia explosiva es escasa, la chispa tiene una forma rectilínea, siendo muy brillante, de resplandor uniforme y de igual anchura en toda su extensión. Esta anchura y este resplandor dependen de la cantidad de electricidad emanada ó de la capacidad eléctrica del conductor. Si la distancia aumenta, la chispa se alarga, siendo al principio rectilínea (fig. 256), pero se adelgaza y parece más ancha y luminosa en sus extremos que en medio.

Si la distancia explosiva sigue aumentando y excede, por ejemplo, de 6 ó 8 centímetros, la chispa presenta las más de las veces una forma irregular, ora constituida por trazos rectilíneos continuos y angulosos (fig. 257), ora por ramificaciones sinuosas serpeantes, que indican que la resistencia experimentada por el flujo eléctrico á su paso de un conductor á otro está distribuida con mucha desigualdad.

El color de la luz de las chispas es blanco plateado en el aire atmosférico y á una presión normal, viéndose en sus extremos una ligera tinta purpúrea, color que varía con la presión y también con la naturaleza de los gases en que se produce; en breve presentaremos ejemplos de estas modificaciones.

II

EL PENACHO ELÉCTRICO

A medida que se aumenta la distancia á que se efectúa la descarga, la chispa adquiere una apariencia más complicada; el trazo de fuego se ramifica más y más, debilitándose en el extremo más distante del conductor y acabando por transformarse en un *penacho*. Por lo común consiste éste en un rastro brillante, del cual parten numerosos filetes divergentes de color amoratado, y acompañado de un zumbido semejante al de un chorro de vapor. La figura 258 representa un penacho luminoso observado por Van Marum. Entre el platillo y el penacho hay unas veces un espacio obscuro, y otras una masa de luz mucho más compacta, que teniendo su base en el borde del disco va á reunirse con el extremo del penacho. Aquí suponemos que el conductor está cargado de electricidad positiva, en cuyo caso el disco electrizado por influencia lo está á su vez de electricidad negativa. Si sucediese lo contrario, el penacho de anchas ramificaciones se escaparía del disco, y el estrecho, del conductor. Faraday, que ha estudiado las formas de los penachos positivos y negativos, ha demostrado que esta diferencia consiste en la desigual tensión de las dos electricidades cuando ocurre la descarga. La electricidad negativa requiere, para que ésta se verifique, una tensión mucho menor que la positiva.

Se puede producir la luz eléctrica en diferentes medios, en el aire y en los demás

gases, y hasta en los líquidos malos conductores; sus apariencias, es decir, su forma y su color cambian según sean estos medios, y cuando la descarga ocurre en un gas, varían con la presión ó con el grado de enrarecimiento de dicho gas.

Hemos dicho que la chispa tiene un color blanco brillante en el aire á la presión ordinaria. Según Van Marum, que ha hecho muchos experimentos sobre este asunto, su color es azulado teñido de púrpura en el nitrógeno, muy blanco en el oxígeno, rojo-

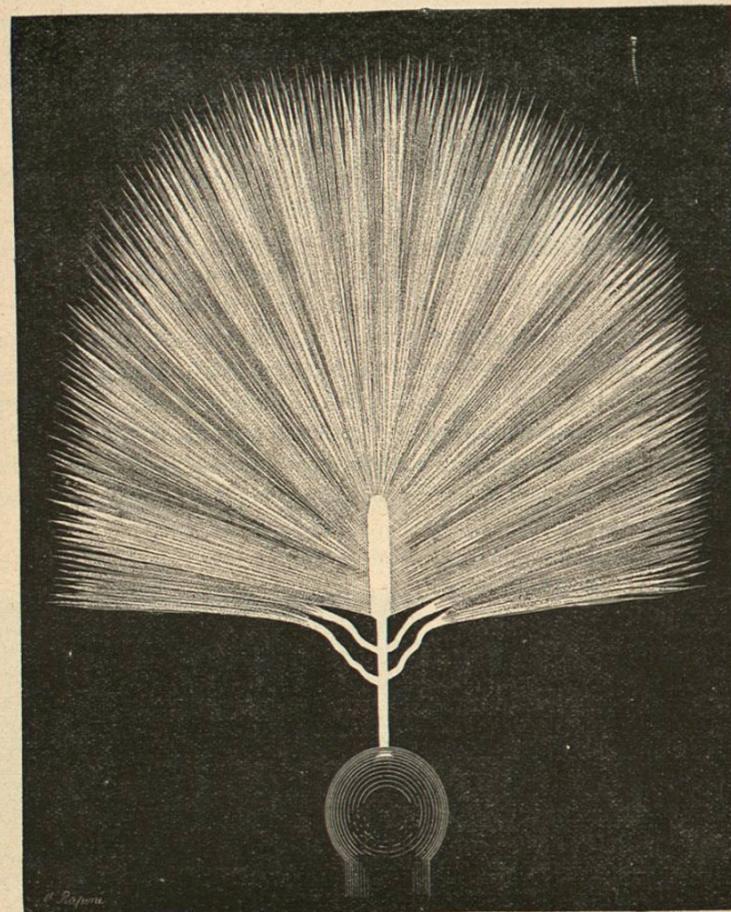


Fig. 258.—Penacho eléctrico

morado en el hidrógeno, verdoso en el ácido carbónico, verde rojizo en el gas hidrógeno carbonado, y blanco en el ácido clorhídrico.

El tronco de los penachos luminosos positivos tiene en el aire, á la presión ordinaria, un color violeta teñido de púrpura, al paso que sus ramificaciones son más blancas, lo cual tal vez consiste en que la luz está menos condensada en ellas. En los otros gases varía el color de los penachos, como lo han hecho ver los experimentos de Faraday; así por ejemplo, en el hidrógeno y en el gas del alumbrado es ligeramente verdoso; en el oxígeno, blanco como el aire, pero mucho menos bello; en el nitrógeno enrarecido es, por el contrario, magnífico; en el óxido de carbono y en el ácido carbónico

el penacho es corto, verdoso en el primer gas y ligeramente purpúreo en el segundo.

Para observar y comparar más fácilmente los colores de la luz eléctrica en varios gases, se puede emplear una serie de tubos dispuestos como los de la figura 260. Estos tubos *a a'*, llenos previamente de los gases en cuestión, están cruzados por hilos de platino que los unen eléctricamente por su parte exterior, dejando entre sí, en el interior del tubo, un pequeño espacio. Por una parte se empalma el hilo a una bola aislada *d*, y por otra, en *b*, se le lleva a tierra.

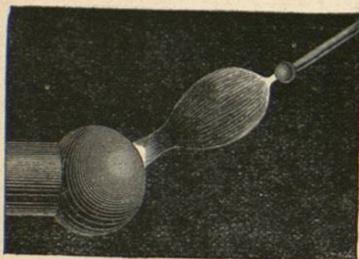


Fig. 259.—Penachos positivo y negativo

Para observar y comparar más fácilmente los colores de la luz eléctrica en varios gases, se puede emplear una serie de tubos dispuestos como los de la figura 260. Estos tubos *a a'*, llenos previamente de los gases en cuestión, están cruzados por hilos de platino que los unen eléctricamente por su parte exterior, dejando entre sí, en el interior del tubo, un pequeño espacio. Por una parte se empalma el hilo a una bola aislada *d*, y por otra, en *b*, se le lleva a tierra. Apenas se acerca la bola a la máquina eléctrica, brota la chispa simultáneamente en el interior de todos los tubos, y se puede observar de una sola ojeada el color de los rastros de fuego en los diferentes gases.

Cuando se hace uso de las máquinas de electricidad estática, se pueden observar estas distintas formas de la luz eléctrica, chispa, fulgor ó penacho; pero con el carrete de inducción se las produce simultáneamente. Para efectuar el experimento, se emplea un carrete bastante poderoso para dar chispas de 20 centímetros de longitud. Empálmase el electrodo positivo a una varilla del excitador, terminada en punta, y el negativo a la otra varilla que tiene en su extremo un disco metálico de 15 centímetros de diámetro. A una distancia conveniente se ve un fulgor alrededor de la punta positiva; el rastro de fuego brota con sus sinuosidades ó ramificaciones entre la punta y el disco, y por último, un penacho débilmente luminoso en forma de cono envuelve la chispa y cubre gran parte del disco.

Si se acercan los polos, el penacho se comprime, la chispa aumenta en brillo y en grosor, y acaba por dividirse en muchas ramas. En una distancia que no llegue a 2 centímetros, el trazo de fuego es sencillo y está rodeado de una aureola más extensa y brillante, como si los numerosos rastros luminosos se hubieran reunido y condensado en uno solo, constituyendo lo que se llama una *chispa compuesta* (fig. 261).

M. Cazin, de quien tomamos estos detalles, ha mostrado que se puede analizar ó descomponer una chispa simple en apariencia. Véase cómo describe el experimento mediante el cual se prueba que esta línea de fuego á veces está formada en realidad de líneas brillantes que se suceden á centenares en un espacio de tiempo que no excede de un centésimo de segundo.

“Tenemos un ejemplo, dice, de esta clase de chispa, llamada *compuesta*, en la descarga del carrete de Ruhmkorff, cuyos polos están unidos por hilos metálicos, por una parte con las armaduras de una botella de Leyden, y por otra con dos bolas metálicas entre las cuales brota la chispa y cuya distancia no llega á un milímetro. Una lente convergente recibe los rayos luminosos partidos de la chispa y los dirige en haz paralelo al

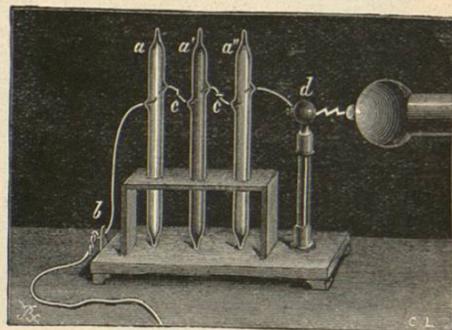


Fig. 260.—Colores de la luz eléctrica en varios gases

borde de un disco de cartón que gira rápidamente alrededor de su centro (*fenakistiscopio*). El aparato está instalado en una cámara oscura, y se mira con un anteojo por la abertura del diafragma.

„Cuando estalla una chispa *simple* en el foco luminoso, no se ve en el anteojo más que una hendidura del disco giratorio; pero cuando es *compuesta*, se divisa la hendidura móvil, que pasa por detrás de la abertura, en las diferentes posiciones que ocupa en el momento en que brotan los filetes luminosos que componen la chispa. Entonces se ven muchos rasgos brillantes cuyo número es el de las chispas simples que brotan mientras una hendidura del disco giratorio atraviesa el campo del anteojo. Cuando el número de filetes luminosos es considerable, no se los puede contar del modo que dejamos indicado; pero entonces se hace pasar la hendidura por delante del diafragma por espacio de un tiempo inferior á la duración de la chispa total, y se aumenta la rapidez del disco hasta que se divisá en el anteojo un corto número de trazos brillantes, equidistantes, pudiéndose tener la seguridad de que los filetes luminosos se suceden á espacios de tiempos iguales y siendo posible calcular el número de dichos filetes.

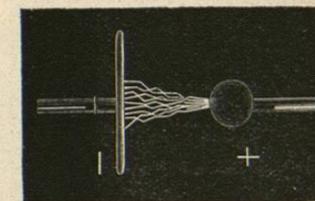


Fig. 261.—Chispa compuesta

“Con un disco de 180 ranuras, que daba 33 vueltas por segundo, se han contado en un experimento de esta clase 6 trazos brillantes, equidistantes. Dedúcese de aquí que se sucedían 6 trazos luminosos en un espacio de tiempo igual á la fracción de segundo $\frac{1}{33 \times 180}$. Por otra parte, resultaba que la duración total de la chispa compuesta era de 0'015. Cuantas veces está contenida la fracción precedente en este número, otras tantas se repiten sucesivamente los 6 filetes luminosos en la chispa, lo cual da un total de 537 chispas simples en la compuesta que se observaba.,,

III

LA LUZ ELÉCTRICA EN LOS GASES ENRARECIDOS

Hasta ahora sólo hemos tratado de la luz producida por la descarga eléctrica en el aire, ó en cualquier otro gas, á la presión ordinaria. Los fenómenos luminosos que vamos á estudiar ahora son los que ocurren en el vacío ó en los medios gaseosos más ó menos enrarecidos.

Cuando se hace el vacío en un tubo que tenga en su parte superior un embudo con mercurio sostenido por una rodaja de madera cortada en sentido perpendicular á sus fibras, la presión precipita al líquido al través de los poros de la madera, y da lugar al fenómeno conocido en las cátedras con el nombre de *lluvia de mercurio*. Las gotitas brillantes del metal líquido se electrizan en su caída rozando unas con otras, y se ve un resplandor bastante vivo si se opera en la obscuridad. Hacía mucho tiempo que se había observado la producción de tales resplandores en el vacío barométrico, cuando se desnivela bruscamente el mercurio, hasta que Hauksbee hizo muchos y muy curiosos experimentos sobre los efectos de luz originados en tubos ó globos de cristal en cuyo interior se ha hecho el vacío. El interior de estos aparatos se llenaba de un hermoso fulgor purpúreo, ya haciendo frotar en el vacío dos cuerpos como el vidrio y la lana, ó

ya dando vueltas al globo con rapidez y apoyando la mano en su superficie exterior. Esta luz era sin duda efecto de la electricidad desarrollada.

Más adelante Cavendish y luego Davy hicieron experimentos sobre el desarrollo de la luz eléctrica en el vacío barométrico y sobre la influencia que la temperatura ejerce en la vivacidad de esta luz. El aparato de la figura 262 consiste en un tubo curvo, que

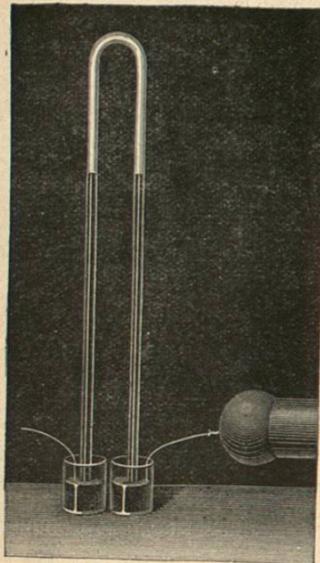


Fig. 262.—Fulgor eléctrico en el vacío barométrico

contiene una columna de mercurio en cada brazo, penetrando éstos en dos cubetas aisladas. Se pone el mercurio de una de éstas en comunicación con tierra por medio de un alambre y el otro con el conductor de una máquina eléctrica. Tan luego como ésta funciona y la electricidad pasa de una cubeta á otra por el espacio vacío entre ambas columnas, se ve un débil fulgor en este espacio. Davy calentó el mercurio y vió que el fulgor adquiría más brillo y cierto tinte verdoso, que pasó al azul, luego al púrpura, á causa de la introducción de algunas burbujas de aire. Davy creyó poder deducir de estos experimentos que el escaso resplandor observado en el vacío barométrico á la temperatura ordinaria dependía del vapor del mercurio, por cuanto la luz era más intensa á mayor temperatura, es decir, cuanto más vapor se producía.

Pero estos experimentos no resolvían la cuestión de saber si la luz eléctrica se produce en el vacío absoluto. El físico inglés Gassiot, que ha hecho interesantes experimentos sobre la luz eléctrica en los gases enrarecidos, ha demostrado que, en un vacío suficiente, la descarga eléctrica no produce luz. Véase, según M. Cazin, cómo ha reproducido Alvergnyat en París el experimento de Gassiot:

“Se sueldan dos hilos de platino á los extremos de un tubo de vidrio poco fusible, dejando entre ellos un intervalo de uno ó dos milímetros. Este tubo está provisto de otro tubito lateral que va también soldado al conducto de una máquina neumática de mercurio (fig. 263). Una vez hecho el vacío, se calienta al rojo oscuro el tubo de vidrio y se hace funcionar muchas veces la máquina neumática, para expulsar todo vestigio de aire ó de vapor adherido á las paredes interiores del tubo y á los hilos de platino. Si después de una hora de manipulación se adaptan á los hilos de platino los conductores de un carrete de inducción, no se ve ya brotar chispa alguna entre aquéllos. Sepárase entonces el tubo de la máquina neumática, adelgazando al soplete el tubo lateral, y el aparato, herméticamente cerrado por la fusión de la parte adelgazada, sirve para repetir indefinidamente el experimento.”

Para estudiar los efectos luminosos que produce la descarga eléctrica en los medios gaseosos enrarecidos, se hace uso del aparato representado en la figura 264, al cual se

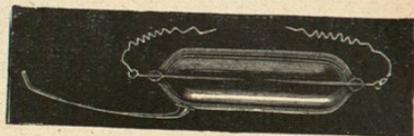


Fig. 263.—Carencia de chispa en el vacío. Tubo de Alvergnyat

da el nombre de *huevo eléctrico*. Este aparato tiene, como se ve, dos varillas metálicas, cada una de ellas terminada en una bola y que comunican con las guarniciones, metálicas también, del *huevo*, pudiéndose acercar ó separar como se quiera. Se puede desprender el huevo de su pie y atornillarlo á la máquina neumática, enrareciendo el aire contenido en él, haciendo el vacío, é introduciendo luego un gas á cualquier presión.

En el aire á la presión ordinaria, la chispa brota entre las dos bolas, parecida á la que hemos descrito al empezar. Mas, á medida que se enrarece el aire, la luz cambia de aspecto; sale en forma de haz ramificado de la bola positiva; á una presión de 60 milí-

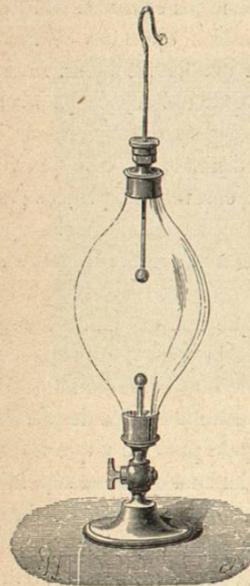


Fig. 264.—Huevo eléctrico

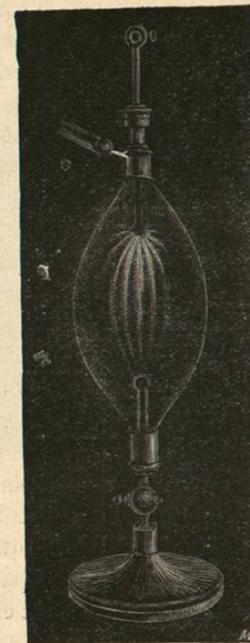


Fig. 265.—Luz eléctrica en el aire enrarecido. Bandas púrpúreas

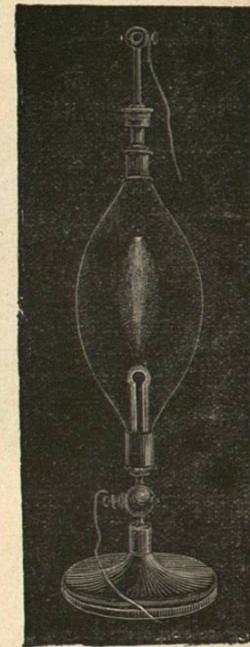


Fig. 266.—Chorro luminoso en el aire enrarecido. Descarga de las corrientes de inducción.

metros, presenta la apariencia que se ve en la figura 265, componiéndose de cierto número de fajas luminosas de color de púrpura, de las cuales unas divergen lateralmente, otras se acercan á la bola negativa, la cual está rodeada á su vez de una densa capa de luz morada. Cuando la presión se reduce á algunos milímetros, las fajas se reúnen á modo de haz luminoso y fusiforme.

Veamos ahora lo que sucede cuando se sustituye la electricidad de las máquinas eléctricas ordinarias por las corrientes de inducción.

Enrarezcamos el aire contenido en el huevo eléctrico á 2 ó 3 milímetros de presión, y pongamos las bolas interiores en comunicación con los polos de un carrete de Ruhmkorff. Al punto veremos brotar de la bola positiva un magnífico haz luminoso, de hermoso color encarnado, mientras que la bola y la varilla negativas aparecerán rodeadas de una capa de luz púrpura azulada. Si se cambia la dirección de la corriente con el conmutador, las dos luces cambiarán también de posición, el haz partirá entonces de la bola inferior, y la aureola morada rodeará á la superior.