

IV

ESTRATIFICACIONES DE LA LUZ ELÉCTRICA

Si antes de enrarecer el aire se ha introducido en el huevo vapores de muchas substancias, como de alcohol, de fósforo, de esencia de trementina, etc., el haz luminoso toma un aspecto particular que ha sido descubierto casi al mismo tiempo por Ruhmkorff, Grove y Quet. La luz roja aparece interrumpida transversalmente por bandas oscuras, muy juntas, de modo que está formada alternativamente de estratos oscuros y estratos brillantes. A partir del centro del haz, en donde los estratos son rectilíneos, se encorvan en dos sentidos opuestos, de modo que su concavidad mira á cada una de las bolas. A este fenómeno se ha dado el nombre de *estratificación de la luz eléctrica*.

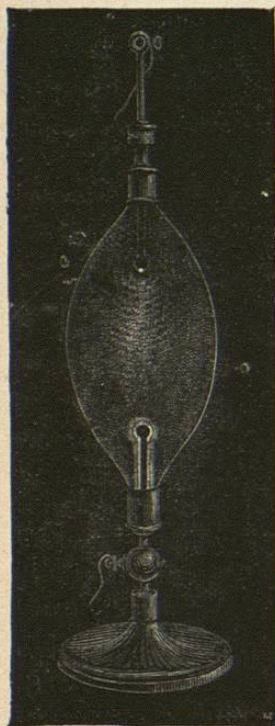


Fig. 267.—Luz estratificada en un gas enrarecido

Posteriormente se ha dado distintas formas á las vasijas que contienen los vapores enrarecidos, propios para producir la luz eléctrica estratificada, siendo de los aparatos principales los conocidos con el nombre de *tubos de Geissler*.

El brillante fenómeno de que nos ocupamos fué observado por vez primera por M. Abria, en 1843. Habiendo operado este físico la descarga de un carrete de inducción en un tubo que contenía aire á dos milímetros de presión, vió un penacho que partía del polo positivo y que no llegaba enteramente al negativo, del cual quedaba separado por un espacio obscuro (la *descarga obscura* de Faraday). Presentaba además en su parte superior, es decir, en la más inmediata á la punta negativa, zonas alternativamente luminosas y oscuras. Grove en Inglaterra y Quet en Francia estudiaron casi simultáneamente hacia 1852 estos estratos, que después han sido objeto de interesantes investigaciones por parte de muchos físicos.

Habiendo observado M. Quet que las bandas brillantes parecían animadas á veces de un movimiento ondulatorio y progresivo, ó giratorio, averiguó que esto no era efecto de una ilusión debida á que el sitio de las zonas brillantes varía de continuo á causa de la discontinuidad de las descargas. En realidad, la luz es completamente discontinua, estratificada, es decir, está formada de fajas brillantes marcadamente separadas por otras oscuras. Para dar al fenómeno todo su brillo, M. Quet mezclaba con el aire del huevo eléctrico, antes de hacer el vacío, algún vapor, como el de esencia de trementina, aceite de nafta, alcohol, sulfuro de carbono, y también fluoruro de silicio. De este modo obtuvo magníficos efectos de luz estratificada con los vapores metálicos, y en especial con el de sodio.

Las luces de los dos polos se estratifican. Acercando entre sí las bolas del recipiente, Quet vió que el polo negativo era el único iluminado, y que el espacio obscuro que separaba los estratos de los dos polos invadía el positivo. Vió también que en el vacío

hecho en el fluoruro de silicio desaparecía la luz morada de este último polo, avivándose al propio tiempo la amarilla del negativo, y que aproximando más los polos, la luz negativa se debilitaba, formándose anillos purpúreos en la bola positiva. M. Warren de la Rue ha comprobado que cualquier cambio de intensidad en la corriente produce á menudo una modificación completa en los colores de las estrías; por ejemplo, en un tubo de hidrógeno pasan del azul cobalto al rosa.

En un principio no se habían observado los fenómenos de estratificación más que en las descargas producidas con corrientes de inducción, pero Van der Villingen los obtuvo con la botella de Leyden, sólo que era preciso interponer una resistencia conveniente en el trayecto de la corriente, por ejemplo una cuerda mojada. Quet y Seguin obtuvieron el mismo resultado debilitando la carga de la botella; y cubriendo la superficie exterior de un tubo de Geissler con un papel de estaño, transformándolo así

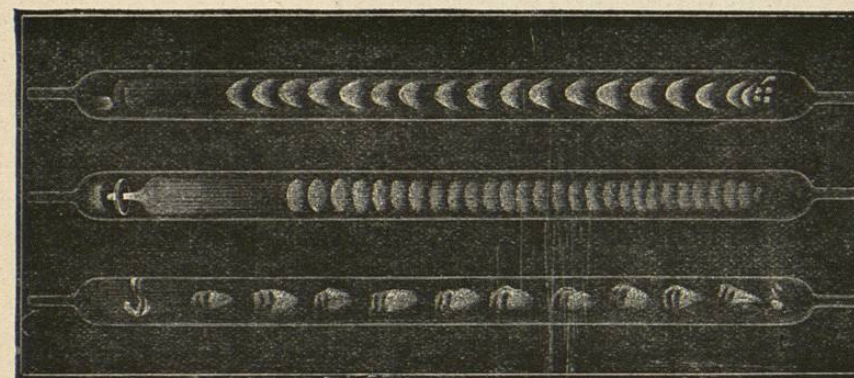


Fig. 268.—Estrías observadas por Warren de la Rue en los tubos de gases enrarecidos

en condensador, y haciéndolo comunicar con el suelo, produjeron en el tubo una verdadera oleada de luz estratificada, mediante la descarga de una máquina de disco de vidrio. Finalmente, valiéndose Gassiot de una pila de agua de 3,520 elementos aislados, ó de una de 400 elementos Grove, obtuvo estratificaciones en un tubo de ácido carbónico enrarecido.

Se han formulado varias hipótesis para explicar el fenómeno de las estratificaciones. Grove considera las chispas de un carrete de inducción como si estuviesen formadas de una sucesión rápida de descargas parciales, y las estratificaciones como el resultado de una especie de interferencia entre estas descargas sucesivas y contrarias, estableciendo así una analogía entre estos fenómenos y las bandas de interferencia de las ondas luminosas ó sonoras. Pero, según lo hace observar M. Mascart, "no es fácil concebir cómo pueden resultar interferencias entre dos sistemas de descargas no simultáneas, sino alternadas, y si estas dos corrientes intervienen en el fenómeno, el mecanismo de la producción de los estratos no debe tener ninguna analogía con las interferencias de la luz y del sonido."

Otros físicos, como Gauguin y Reitlinger, suponen que las estrías son efecto de acciones químicas, combustión, combinaciones y descomposiciones simultáneas. Para de la Rive "el fenómeno consiste en contracciones y dilataciones alternativas de los medios gaseosos, producidos por la serie de descargas más ó menos discordantes que forman el chorro eléctrico." De este modo las estratificaciones serán un fenómeno análogo al de las ondas sonoras. Esta hipótesis es algo parecida á la de Grove y también á la de

Gassiot. "¿No podrían ser las bandas negras, dice éste último, nodos de ondulaciones engendradas por impulsos semejantes procedentes de descargas positivas y negativas? Las estratificaciones luminosas que obtenemos en el circuito cerrado del hilo secundario de un carrete de inducción y en el de una pila voltaica, ¿no serán la imagen de las pulsaciones que pasan á lo largo del hilo del carrete en el primer caso, y al través de la pila en el segundo, pulsaciones producidas probablemente por la acción de la descarga en toda la extensión de los hilos?,"

Mencionemos por último la explicación que Quet y Seguin dan del fenómeno, explicación basada en el modo de propagación de la electricidad, cuya propagación no se efectúa en virtud de un movimiento de transporte de fluido, sino, en concepto de dichos



Fig. 269.—Estratificación de la chispa de inducción en el polvo de carbón

físicos, por el movimiento de las descomposiciones y recomposiciones sucesivas. El ejemplo del fenómeno de los tubos chispeantes les sirve de término de comparación. Cuando la electricidad llega á los conductores metálicos del huevo eléctrico, la columna de gas enrarecido se divide en capas sucesivas, haciendo unas las veces de las laminillas metálicas en un tubo chispeante, y otras las de las láminas de aire en que estallan las chispas de dichos tubos. En las primeras capas, los dos fluidos eléctricos desarrollados en ellas por influencia tienden á dirigirse, uno al lado de la bola positiva, y otro al lado opuesto. Las moléculas movibles del gas reciben así movimientos contrarios que enrarecen dichas capas y condensan las otras. Estas últimas, que separan las electricidades opuestas, se calientan é iluminan cuando sobreviene la descarga, al paso que las capas enrarecidas, y por consiguiente más conductoras, permanecen oscuras. Quet y Seguin han logrado explicar con esta teoría todas las circunstancias que presenta la estratificación de la luz eléctrica. Pero, por otra parte, han podido imitar este fenómeno de varios modos: por ejemplo, después de espolvorear con carbón el espacio contiguo á los hilos de descarga, han hecho pasar por el aire la chispa de inducción y visto que ésta se estratificaba transversalmente, adquiriendo considerable longitud y asemejándose á un largo rosario de cuentas luminosas. Prodióse también este efecto en una llama fuliginosa y hasta en la parte oscura de la de una bujía. En la punta de una llama de esencia de trementina reemplazan á los puntos brillantes pequeñas llamas muy claras y distintas.

V

EL ARCO VOLTAICO

Las pilas son generatrices de electricidad á baja tensión, no siendo por tanto de extrañar que, al separar los reóforos de una pila en acción, no brote chispa alguna, ó si acaso muy débil, á la cual se da el nombre de *chispa de rotura*. Pero si se hace uso de una pila muy enérgica, compuesta de muchos elementos, y si en vez de cerrar el circuito poniendo los hilos en contacto, se deja un pequeño espacio entre sus extremos, saltan chispas muy seguidas, que llegan á formar una luz continua si en los cabos de los hilos hay dos conos de carbón. Esta luz *continua* es lo que se llama *arco voltaico*

co (1). Davy obtuvo con una pila de 2,000 pares, cada uno de los cuales tenía 4 decímetros cuadrados de superficie, una luz deslumbradora que brotaba sin interrupción entre las dos puntas de carbón. Este intervalo no era en un principio más que de medio milímetro; mas, después de producida la luz, pudo separar los carbones hasta 11 centímetros. Entonces vió dicho físico un fenómeno bellissimo. La luz eléctrica se extendía entre los dos electrodos en forma de arco convexo en su parte superior, y de brillo tan intenso, que apenas lo podía soportar la vista. La longitud del arco es mayor en el vacío que en el aire. Posteriormente se ha hecho más fácil la producción del arco voltaico gracias á los aparatos de inducción que hemos descrito en el capítulo anterior, y también á la sustitución del carbón calcinado, como lo usaba Davy, por el de retorta (2).

El arco desarrolla un calor sumamente intenso: los metales se funden en él como la cera en la llama de una lámpara. Despretz ha fundido y volatilizado los cuerpos más refractarios, primero con una pila de 600 elementos, y luego con los aparatos de inducción. Los óxidos de zinc y de hierro, la cal, la magnesia y la alúmina quedaron reducidos á glóbulos; el grafito volatilizado depositó en los electrodos un polvillo que, examinado con el microscopio, se vió que estaba formado de diminutos cristales de forma octaédrica, y con el cual se pudo bruñir diamantes, de donde se ha sacado la consecuencia de que el grafito, que, así como el diamante, es carbono puro, se había cristalizado por efecto del calor intenso del arco y transformado en pequeñísimos diamantes.

Acabamos de ver que, para producir el arco luminoso, se deben colocar las puntas de carbón muy cerca una de otra; mas, tan luego como la corriente ha vencido la resistencia del aire interpuesto y producido la luz, se pueden separar los conos: operando Davy en el aire enrarecido, ha hecho brotar con su poderosa pila de 2,000 pares una luz de 18 centímetros de longitud. La intensidad luminosa del arco voltaico es tan grande que apenas se puede soportar su brillo. Según los experimentos comparativos hechos por Fizeau y Foucault, esta intensidad es casi cincuenta veces la de la luz Drummond, es decir, de la vivísima luz que resulta dirigiendo una corriente inflamada de gas oxihidrógeno sobre un pedazo de cal: la luz solar es únicamente tres veces más intensa que la del arco voltaico. Los referidos físicos operaban con una pila Bunsen de 92 elementos, dispuestos en dos series. Por supuesto que aquí sólo tratamos del brillo intrínseco. Cuando nos ocupemos de las aplicaciones de la luz eléctrica al alumbrado, veremos cuál es el poder lumínico del arco voltaico.

La longitud del arco depende del número de elementos de la pila y de su disposición. Habiendo empleado Despretz pilas de 50, 100, 200 y 600 pares, la longitud del arco fué creciendo primeramente en la proporción de 1 á 4; pero esta proporción no continuó; el arco dado por 200 pares apenas era triple que el de 100, y el de 600 era solamente de siete á ocho veces más largo.

(1) La denominación de *arco voltaico* reconoce por causa el que en un principio se ponían los carbones en línea horizontal, y el movimiento ascendente de las capas de aire caldeadas encorbaba la línea luminosa que brotaba entre los electrodos; y aun cuando dicha línea no se encorva si se ponen los carbones verticalmente, se ha seguido usando la denominación primitiva por más que no la justifique ya la apariencia del fenómeno.

(2) Davy usaba barritas de carbón vegetal apagadas en agua ó en azogue. Foucault introdujo el uso del carbón de las retortas de gas, que es más denso, más homogéneo y más resistente: le cortaba en barras prismáticas de 2 ó 3 milímetros de lado. Después se ha procurado purificar este carbón, y también reemplazarle con varias combinaciones ó mezclas. Más adelante hablaremos de las substancias adoptadas por los inventores de los varios sistemas de alumbrado eléctrico.

Estudiando este interesante fenómeno se ha reconocido que la corriente eléctrica que pasa sin interrupción entre los dos conos, arrastra de uno á otro partículas de carbón muy tenues, y con más abundancia del polo positivo al negativo, de suerte que los carbones no se gastan por igual, aumentando por consiguiente el negativo á expensas del otro. La figura 270 representa dos conos vistos en proyección y ampliados. He aquí cómo se expresaba M. Le Roux en una conferencia sobre la aplicación de la electricidad á los faros:

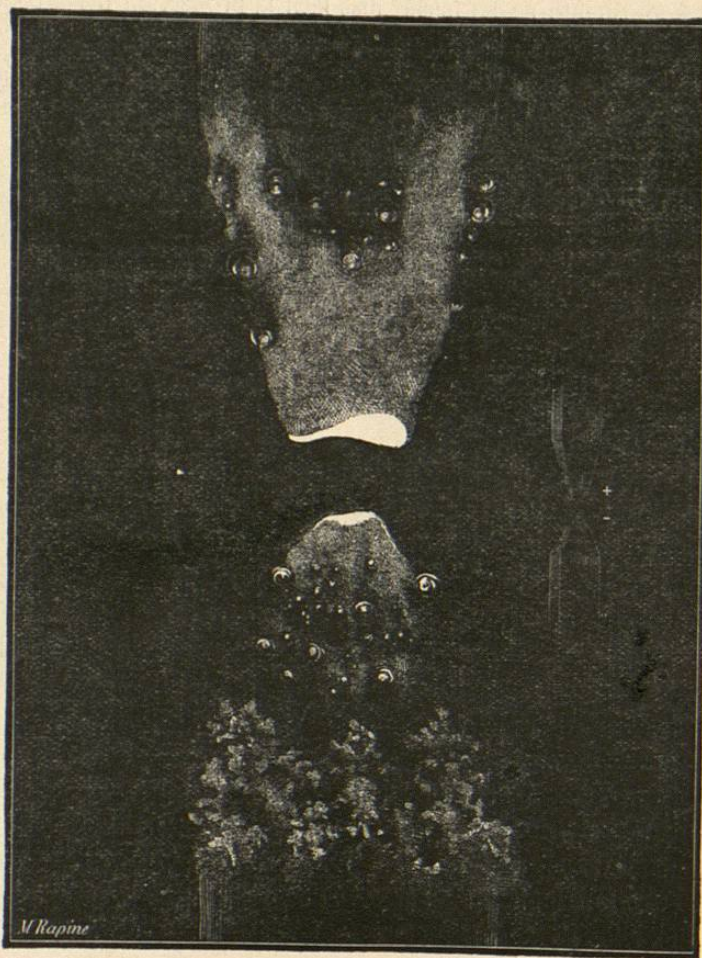


Fig. 270.— Arco voltaico. Conos de carbón

“Para examinar directamente lo que ocurre en el arco voltaico, sería preciso tomar grandes precauciones á fin de preservar el órgano de la vista de la considerable intensidad de la luz; pero esta misma intensidad servirá para que mi auditorio pueda contemplar los menores detalles de la superficie de los carbones. Basta interponer entre ellos y esta pantalla una lente de foco adecuado, con lo cual se verá la imagen de los carbones agrandada un centenar de veces y se podrá juzgar sin esfuerzo del conjunto del fenómeno. Aquí tenemos unos carbones entre los cuales pasa la corriente continua de una pila de Bunsen; veis que uno de ellos aumenta á costa del otro; el que se desgasta más es el positivo, ó sea el que comunica con el carbón de la pila; es menos agudo que el otro porque pierde materia al paso que el negativo la gana. Cambiemos ahora la dirección de la corriente; ya estáis viendo que el carbón más agudo se desputa

mientras que el otro se adelgaza; además, de vez en cuando se desprenden algunas partículas más gruesas, atraviesan el espacio en forma de pequeñas masas incandescentes é indican el sentido del transporte. Mirad esos globulitos que parecen hervir en varios puntos de la superficie de los carbones; son glóbulos de sílice derretida; observad que no aparecen allí donde la temperatura es más elevada y que se volatilizan antes de llegar á ellos el desgaste de los carbones. Reparad en esa vena impura, en la cual se ve una considerable cantidad de esos glóbulos de sílice; el brillo del arco se debilita, y si se sopla ligeramente entre los carbones, la corriente de aire inclina la llama y nos muestra su desarrollo. Aquí tenéis una parte de los carbones en que su pureza parece no dejar nada que desear. Ved cuán tranquilo está el arco, qué regular es su marcha y cuán iguales sus superficies. Mirad cómo contrasta la suave luz azulada del arco con el blanco deslumbrador de ciertas partes de los carbones; el arco forma una especie de cono truncado, dilatado en su parte media y cuyas dos bases están sobre los carbones; estas dos bases son las partes más luminosas y las de temperatura más elevada, yendo á chocar en ellas las moléculas transportadas por la corriente.,

Este transporte de partículas de un polo á otro en el arco explica en qué consiste que después de hacer brotar la luz manteniendo al principio muy próximos los carbones, se les pueda separar luego progresivamente. Dichas partículas forman á modo de una serie de conductores discontinuos, entre los cuales estalla la chispa; el arco está constituido por la reunión de todas las luces parciales que resultan de estas descargas.

Hemos dicho que la longitud del arco depende del número de elementos de la pila; pero también depende de la naturaleza de los electrodos. Los cuerpos más fusibles y dotados de menor tenacidad son los que producen los arcos más largos. Según Grove, los metales pueden clasificarse por este concepto en el orden siguiente, empezando por los que dan los arcos de mayor longitud y brillo: *potasio, sodio, zinc, mercurio, hierro, estaño, plomo, antimonio, bismuto, cobre, plata, oro y platino.*

VI

ACCIÓN DEL MAGNETISMO SOBRE LA LUZ ELÉCTRICA

Un experimento interesante, ya descrito, nos ha mostrado la influencia del imán sobre la luz del arco voltaico; siendo diamagnéticas las partículas incandescentes del arco, están sujetas á la acción repulsiva del imán. Se puede obtener un efecto análogo operando sobre chispas de inducción, por ejemplo sobre las que produce el carrete de Ruhmkorff. En la figura 271 se ve como se prepara este experimento. Tan luego como el electro-imán está en acción, la chispa que se ha hecho brotar entre sus dos polos toma la forma de una capa luminosa semicircular, de la cual radia una porción de líneas de fuego. Esta capa dirige su parte cóncava á un polo y la convexa al otro; pero se invierte si se cambia el sentido de la corriente del carrete de inducción, sucediendo lo propio si se modifica la de la que anima al electro-imán, y por consiguiente el orden de sus polos.

Plücker, Gassiot y de la Rive han hecho interesantes estudios sobre la influencia de los imanes en el aspecto que adquieren las diferentes clases de luces eléctricas. La figura 272 reproduce una de las modificaciones que sufre la luz del polo negativo de un tubo de Geissler cuando se le coloca entre los polos de un electro-imán. El fulgor morado que llena el tubo alrededor del electrodo negativo se transforma en una capa

delgada y plana al recibir el electro-imán la corriente que lo anima. La forma y la posición del espacio obscuro que separa esta luz de las estratificaciones del polo positivo cambian según que el negativo esté á la derecha ó á la izquierda de la línea de los po-

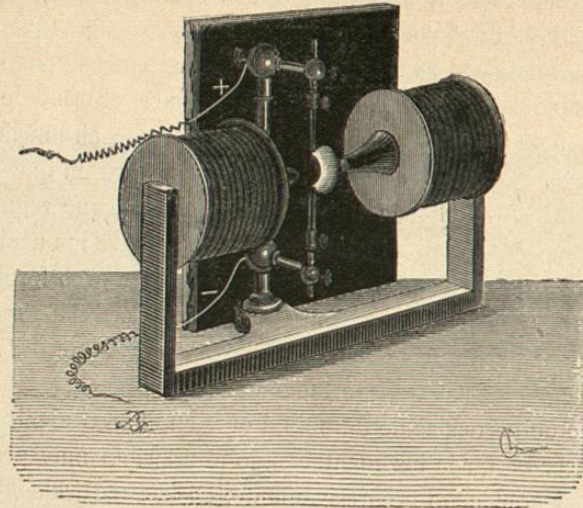


Fig. 271.—Acción de un imán sobre la chispa de chispa

los del electro-imán, ó que la dirección del tubo sea perpendicular ó paralela á esta línea.

Plúcker había observado, al hacer estos experimentos, que la acción magnética ocasionaba mudanzas en el color de la luz de los tubos. Treves ha estudiado este último fenómeno, empleando tubos de Geissler cuya parte media era capilar. Ponía esta parte

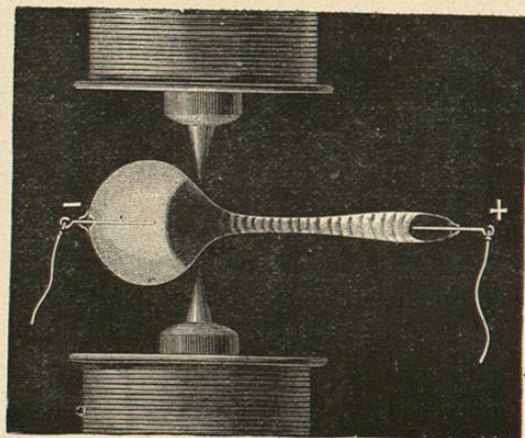


Fig. 272.—Acción de un imán sobre la luz eléctrica

entre las armaduras cónicas de un electro-imán, en dirección perpendicular á la línea de los polos, y apenas pasaba la corriente y animaba el electro-imán, cambiaba el color de la luz del tubo; siendo estos cambios característicos de la naturaleza de los gases enrarecidos. Si el tubo contenía hidrógeno, en cuyo caso la luz es morada en los polos y encarnada en la parte capilar, este último color desaparecía, reemplazándolo una luz blanca. El oxígeno produce un efecto totalmente contrario; la luz blanca pasa al encarnado; en el nitrógeno pasa del azul claro al obscuro, y en el ácido carbónico del blanco

al azul. En un tubo de fluoruro de silicio los extremos son verdosos, y la parte capilar azulada, á la cual hace el magnetismo azul-morada. En un tubo de bromo, pasa del morado al azul, y en uno de cloro, del blanco azulado al azul obscuro.

¿Cuál es la causa de la influencia del magnetismo sobre la luz de las corrientes de inducción, y en general sobre la luz eléctrica? Este es un punto que todavía no se ha dilucidado. Todo lo que podemos decir se reduce á que la luz de los gases enrarecidos es un verdadero conductor, y que la corriente que la atraviesa está sujeta como las otras á la acción de las corrientes y de los imanes próximos, con arreglo á las leyes descubiertas por Ampère. De la Rive ha aclarado este punto con varios experimentos, entre los cuales haremos mención de la rotación de la chispa por un imán. El aparato representado en la figura 273 es el de que se valió el ilustre físico. Se compone de un huevo eléctrico, en cuyo interior penetra en parte un cilindro de hierro dulce AB con su superficie lateral cubierta de una espesa capa de goma laca, estando la otra parte fuera del huevo y metida en un carrete E. Cuando se ha enrarecido convenientemente el aire del huevo eléctrico mezclado con una pequeña cantidad de éter, se hace pasar á él por los alambres RR' la corriente de un carrete de inducción. Entre el extremo C del cilindro de hierro y el anillo de cobre que rodea su extremo inferior dentro del huevo y que comunica con el tubo del que parte el alambre R, brota un arco luminoso. Este arco está formado de una ó varias líneas luminosas curvas que empiezan á girar alrededor del cilindro así que el carrete recibe la corriente de la pila PP', es decir, tan luego como el electro-imán entra en acción. El sentido de la rotación obedece á las leyes de Ampère, y varía cuando se hace variar el de la descarga de inducción ó se invierten los polos del imán.

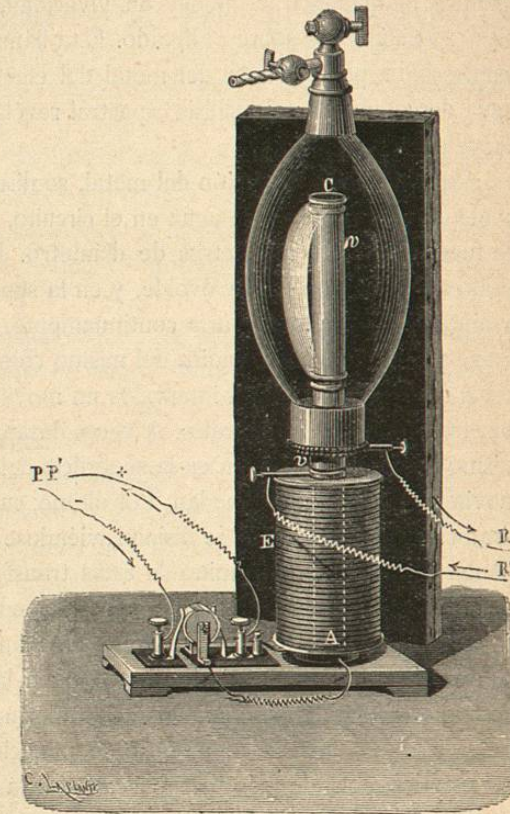


Fig. 273.—Rotación del arco voltaico por efecto de un imán

VII

FENÓMENOS LUMINOSOS DE LAS CORRIENTES SECUNDARIAS

Vamos á completar cuanto teníamos que decir acerca de los efectos luminosos de la electricidad con la descripción de algunos fenómenos descubiertos por medio de corrientes de alta tensión, y empleando al efecto las baterías secundarias y la máquina reostática. Tomaremos los elementos necesarios para esta descripción de M. Planté, inventor de dichos aparatos.