

PRODUCCION DE ONDAS ELÉCTRICAS Y APARATOS EMPLEADOS PARA REVELARLAS.

(Tomado de un artículo de M. Gustave Le Bon, en la *Revue Scientifique* de
29 de abril de 1899.)

Sucedió en el año 1888, que el físico Hertz descubrió que, cuando se descarga bruscamente un condensador cuya carga se renueva sin cesar, las chispas enjendran en el éter ambiente una serie de ondulaciones casi análogas a las que produce la caída de un cuerpo pesado en el agua. Él demostró que estas ondas se propagan, se refractan i se polarizan como la luz, i circulan con la misma rapidez. Justificó así una hipótesis célebre de Maxwell i desde estas memorables investigaciones, las ondas eléctricas se consideran por la mayor parte de los físicos, como idénticas a las de la luz i no diferenciándose sino por su longitud de onda. Las mas pequeñas ondas hertzianas que se han podido producir tienen cinco milímetros de largo, mientras que las ondas luminosas mas grandes, estudiadas recientemente, tienen 50 microns. Las últimas son, pues, mil veces mas pequeñas que las primeras. Si se comparase las ondas hertzianas a las del espectro-visible capaz de impresionar el ojo,—la diferencia seria 50 veces mas considerable.

Estas ondas eléctricas difieren enteramente por sus propiedades, de la electricidad tal como la conocíamos i se aproximan mas bien a la luz. Sin el conocimiento de su origen se habria podido creer en la presencia de una nueva energía sin parentesco alguno con la electricidad. Las ondas eléctricas no han conservado casi nada de las propiedades eléctricas. Atraviesan los cuerpos aisladores, no obran

sobre la brújula, no ejercen accion electrolítica i se propagan a lo léjos, sin los soportes materiales necesarios para la trasmision de las corrientes eléctricas.

Se sabe que es sobre la propagacion en línea recta de estas ondas en el espacio, sin soporte material, que está fundado el principio de la telegrafía sin alambre. Para revelar desde léjos su presencia, bastaba encontrar un reactivo análogo a lo que es la oreja para las ondas sonoras, o la placa fotográfica para la luz.

El reactivo de las ondas-eléctricas, empleado por Hertz, consistia simplemente en un alambre encorvado en círculo i terminado en sus estremidades por dos esferitas mui aproximadas. Moviendo en el espacio este receptor vió estallar, al paso de las ondas, pequeñas chispas de induccion que revelaban su presencia. Recibiendo las ondas sobre grandes espejos cilindro-parabólicos metálicos, constató que era en su foco donde se manifestaba la mayor produccion de chispas. Haciéndolas atravesar un prisma de asfalto, reconoció que eran desviadas. Así quedó demostrada su reflexion y su refraccion.

El receptor de Hertz no prometia revelar la existencia de ondas eléctricas a mas de algunos metros de su punto de emision; era, pues, un aparato mui poco sensible, lo cual fué una felicidad. Si Hertz hubiera hecho uso de los aparatos receptores empleados ahora para la telegrafía sin alambre, los fenómenos de la reflexion, de la refraccion i de la polarizacion no habrian podido ser descubiertos sino con la mayor dificultad. Póngase, en efecto, receptores sensibles en el foco de los espejos empleados o detras de los espejos, delante, detras, o al lado de los prismas, las indicaciones son idénticas, como lo veremos bien pronto, esplicando el por qué. Así, ha sucedido mas de una vez en la historia de las ciencias algo semejante: el instrumento grosero ha prestado servicios que no habria podido prestar un instrumento mas delicado.

Con los receptores poco sensibles que empleaba Hertz, los aparatos productores de ondas debian ser mui poderosos, i, por consiguiente, mui voluminosos. Ya no es así hoy dia, Para tener una

fuelle de radiaciones eléctricas que permita a cada uno repetir nuestras esperiencias en las mismas condiciones, nos hemos servido del radiador de Righi en uso hoi dia en la telegrafia sin alambre, i que se encuentra en casa de todos los constructores de instrumentos de física, en Alemania por lo ménos. Se compone, como se sabe, de cuatro esferas metálicas, de las cuales las dos mayores están sumerjidas en aceite de vaselina. Se le acciona por una bobina de 15 a 25 centímetros de chispa. Da ondas de 20 centímetros de largo mas o ménos.

Pero para las esperiencias de clase i de laboratorio ejecutadas a pequeñas distancias, no hai necesidad de esta poderosa fuente de radiaciones.

Con los receptores sensibles de que hablaremos mas adelante, la mas modesta fuente de electricidad basta para obrar sobre el receptor. La dificultad no está en llegar a producir ondas eléctricas, sino de llegar a no producirlas, cuando se desee evitarlas. Toda descarga brusca de un cuerpo electrizado, por débil que sea la chispa, produce ondas eléctricas. Se obtienen frotando una barrita de lacre, haciendo funcionar una campanilla eléctrica, ábriendo o cerrando el circuito de una pila. Se puede hacer funcionar a 50 centímetros un receptor sensible con la chispa producida por una simple barrita de ebonita frotada con una piel de gato i tocada en seguida con un objeto metálico de capacidad cualquiera, una llave, una moneda, por ejemplo.

Si se considera que el choque i el frote son fuentes constantes de electricidad i que, en realidad, no se puede caminar o tocar un objeto sin producir electricidad, se vé que nosotros vivimos en medio de radiaciones eléctricas, invisibles, sin duda, para otro ojo que el del físico, pero que, sin embargo, llenan el universo.

Para operar a distancias de 15 o 20 metros puede, a falta de radiador Righi, servir como fuente de ondas eléctricas una máquina de Winhurst del modelo mas chico, o aun una pequeña bobina de induccion que dé uno o dos centímetros de chispá. No hai mas que aproximar los polos de esta última por dos varillas metálicas re-

dondeadas en sus estremidades i no dejando entre ellas mas que un intervalo mui pequeño.

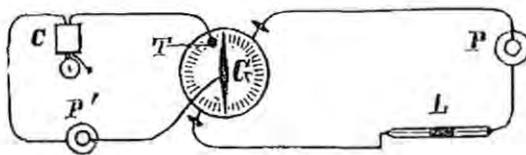
En todos los casos en que se haga uso como fuentes de radiaciones, de bobinas grandes o chicas, es necesario tener cuidado, para dar al aparato su máximo de poder, que la chispa que estalla entre los polos no tenga mas que algunos milímetros; así, por ejemplo, si se hace estallar entre los polos de una gran bobina una chispa de 20 centímetros, ésta última no tiene casi accion sobre los aparatos receptores. Si se aproximan, por el contrario, los polos de manera que la chispa no sea sino de algunos milímetros, la descarga se hace oscilante i obra inmediatamente sobre el receptor. Por otra parte, se vé luego que las descargas de baja frecuencia de la bobina han sido reemplazadas por descargas de alta frecuencia, es decir, de millones de vibraciones por segundo, no solamente por el cambio de color de la chispa, sino aun porque se puede tocar con un dedo un polo de la bobina, sin experimentar dolor miéntras que ántes se habria sentido un choque violento. Las descargas oscilantes de alta frecuencia son, como se sabe, inofensivas para el organismo, miéntras que las de baja frecuencia son, por el contrario, mui dolorosas. (Estas esperiencias pueden reproducirse en un radio que no pase de 100 metros. Nota extractada.)

Habiendo, quedado bien establecido, lo que concierne a la produccion de ondas eléctricas, nos queda que hablar sobre el aparato receptor.

La parte esencial de este receptor es un simple tubo de vidrio que contiene dos varillitas metálicas separadas por 2 o 3 milímetros i entre las cuales se interpone limaduras metálicas. Así constituido este tubo, es aislador, i golpeado por ondas eléctricas enviadas por un radiador, que puede estar colocado a distancias enormes, llega a hacerse conductor i deja pasar la corriente de la pila, en el circuito de la cual se ha intercalado el electro-iman destinado a hacer funcionar un telégrafo Morse ordinario. Un simple choque dado automáticamente por otro electro-iman intercalado en circuito con un *relaj*, lleva al tubo a su estado primitivo i permite una nueva

señal. Los tubos mas sensibles se fabrican con limaduras de una aleacion de oro que contiene 30 por ciento de cobre.

Fué con un aparato análogo (1) que se cambiaron telegramas entre la Francia e Inglaterra—i, sobre todo, el parte de felicitacion mandado por Marconi a Branly.



G—galvanómetro.

C—campanilla.

P i P—pilas.

L—tubo con limaduras, en circuito con el galvanómetro.

T—tope de la aguja del galvanómetro, en circuito con ésta i campanilla.

Un cálculo mui sencillo muestra a la vez la maravillosa sensibilidad de los tubos de limaduras i, como nosotros sabemos tan poco utilizar la energía suministrada por un radiador eléctrico, cuando enviamos a 50 kilómetros una radiacion eléctrica ¿qué hacemos sino enviar ondas eléctricas a todos los puntos de una esfera (2) que tiene 50 kilómetros de radio? es decir, mas de 30,000 kilómetros cuadrados de superficie; pero como la superficie utilizable de un tubo no es mas que de algunos centímetros i a lo mas de algunos

(1) Aunque teniendo este aparato a nuestra disposicion, como no es mui portátil, hemos preferido reemplazarlo por un galvanómetro de aguja intercalado en el circuito del tubo de limadura i de la pila. Cuando el tubo de limadura se pone conductor bajo la influencia de las ondas eléctricas, la corriente pasa, la aguja del galvanómetro se desvía i tropieza contra un contacto que cierra el circuito de una campanilla. La accion de la onda eléctrica se percibe, pues, por la oreja. (Véase la figura.)

(2) Admitiendo con M. Poincaré (*La Théorie de Maxwell*, pag. 71), que las vibraciones eléctricas sean siempre polarizadas en su punto de emision, es evidente que la superficie que ellos pueden cubrir, no es ya la de una esfera, sino la de un círculo, es decir, 7,800 kilómetros cuadrados mas o ménos. Esta superficie es inmensamente superior todavía a la del receptor. Las variaciones de intensidad que habíamos observado haciendo pasar las ondas eléctricas al traves de una hondura que se pone alternativamente paralela i perpendicular del eje del radiador indican bien la polarización, pero una polarización mui incompleta.

metros, si se comprende en el receptor el cable metálico intercalado en su circuito, se vé que no se utiliza mas que una parte infinitesimal de la energía disponible. Lo mismo sucedia ántes con las fuentes luminosas, cuando nosotros no sabíamos hacer poner paralelo para conducir a lo léjos los haces luminosos diverjentes que de ellas emanan. Uno de los mas importantes problemas que los electricistas tendrán que resolver i uno talvez cuyas consecuencias serán quizá mas considerables, será descubrir o encontrar el medio de poner paralelo un haz de radiaciones eléctricas de manera que se pueda transmitir en el espacio sin que pierda sensiblemente la intensidad que tenia en su punto de partida. (3)

A pesar de que el descubrimiento de M. Branly de la variacion de la conductibilidad de las limaduras eléctricas, bajo la influencia de las ondas eléctricas, haya pasado desapercibido cuando fué publicado, constituye ciertamente una de las mas notables conquistas de la física moderna, no solamente porque ha hecho posible la telegrafía sin alambres, sino, sobre todo, porque abre horizontes demasiado imprevistos sobre fenómenos que quedan aun misteriosos i sobre los cuales la sagacidad de los físicos tendrá sin duda que ejercerse durante largo tiempo.

Se trata allí, en efecto, de una lei mui jeneral que no tiene nada de especial o comun con las limaduras metálicas. La lei jeneral de que los fragmentos de metales en contacto, aun cuando hayan sido cortados en el mismo bloc, presentan una resistencia estremadamente considerable 30,000 ohms; i que pueden perderla bajo la influencia de ondas eléctricas mui débiles i volverla a tomar por un simple choque. Estas variaciones parecen indicar una prodijosa variabilidad en la agregacion de los átomos bajo la influencia de fuerzas infinitamente pequeñas.

La mayor parte de los conductores discontinuos presentan es-

(3) Lo que hace difícil la solucion de este problema es que, en razon del tamaño de las ondas eléctricas i de los fenómenos de difraccion que son su consecuencia, sería necesario dar a los espejos dimensiones gigantescas. Sin duda se podria hacer uso de ondas eléctricas mui pequeñas; pero entónces la intensidad sería mui débil.

tas variaciones. Por otra parte, nosotros no manejamos sino conductores discontinuos. Un conductor continuo tal como un hilo metálico se hace discontinuo, por el solo hecho de que se está obligado a unirlo por terminales a un pila. I como acabamos de ver que en un conductor discontinuo, la resistencia no es del todo (a lo ménos para un gran número de metales) una cantidad constante dependiente de la seccion i de la longitud del hilo, como lo requiere la lei de Ohm, se sigue que la conductibilidad de ciertos conductores metálicos puede variar en inmensas proporciones, segun la compresion de los hilos en los terminales i segun las circunstancias dentro las cuales se les ha usado. De la misma manera; con una compresion constante, esta resistencia puede aun variar considerablemente, puesto que basta hacer estallar una chispa en la vecindad, para reducir la resistencia del metal. Pues el solo hecho de que se cierre o se abra una corriente produce tales chispas. Un tubo de limaduras de resistencia variable no es sino una exajeracion de estos efectos.

Se puede ilustrar lo que precede por una esperiencia mui curiosa, varias veces repetida delante de mí por M. Branly. Se forma una columna metálica de 30 a 40 centímetros de altura por la superposicion de una serie de discos pulidos, de la dimension de una moneda de 5 francos. Estos metales pueden ser, fierro, bismuto, aluminio, etc. Se mide su resistencia al pasaje de una corriente eléctrica; ella es siempre considerable. Se hace estallar una pequeña chispa en las vecindades de la columna, la resistencia se hace casi nula; se da un choque sobre la parte superior de la columna, la resistencia reaparece, pero jeneralmente mui diferente de lo que era al principio (4).

Estas variaciones de resistencia son aun exajeradas, si la columna, en lugar de ser hecha de discos de un mismo metal, es compuesta de discos de metales diferentes. Con una columna de discos alternados de plomo i aluminio, basta cualquier choque para llevar la resistencia a cerca de 30,000 ohms, i ondas eléctricas mui débiles envia-

(4) Siguiendo el mismo camino M. Branly acaba de realizar con bolitos de acero bien pulidos (3 a 5 milímetros de diámetro) i superpuestos en columna vertical, aparatos tan sensibles a las ondas eléctricas, como los tubos con limaduras,

das a distancia con un radiador bastan para reducir esa enorme resistencia a 3 ohms.

Esta variabilidad de la resistencia no se observa en todos los metales en contacto, especialmente en el cobre, i ha sido una felicidad que así sea. La lei de Ohm, $I = \frac{E}{R}$, implica naturalmente el conocimiento de R . Pero si los físicos que la han establecido se hubieran servido de alambres de fierro en vez de alambres de cobre, ella no habria podido ser encontrada.

Habrian constatado, en efecto, sirviéndose de un aparato de medida cualquiera, un puente de Wheastone, por ejemplo, que la resistencia varía constantemente en grandes proporciones para una longitud dada de alambre i que las variaciones de compresion de los terminales (bornes) no esplicaban este fenómeno. Aun cuando hubieran constatado la influencia de una chispa que estalla en la vecindad—el abrir o cerrar la corriente de la pila empleada en las esperiencias, produce siempre tales chispas,—no habrian podido deducir ninguna medida, puesto que los efectos de estas chispas varían mucho de una esperiencia a la otra. La conclusion final habria sido, sin duda, que un alambre de dimensiones variables puede, en circunstancias aparentemente idénticas, dejar pasar (écouler) cantidades mui variables de electricidad, lo que es precisamente lo contrario de la lei de Ohm. Esta lei, que es la base de todos nuestros conocimientos en electricidad, no habria sido encontrada, sin duda, sino mucho mas tarde i por medios mui complicados.

La propiedad del cobre parece poderse comunicar a los cuerpos vecinos, como si poseyera una atmósfera metálica (5). Tomemos una columna de discos de cobre, metal de conductibilidad invariable. La resistencia de esta columna será de una cantidad (*grandeur*)

(5) Por este camino tan complicado se llega a la nocion de atmósfera de los metales, de la que me ocuparé cuando esponga mas tarde el detalle de mis investigaciones sobre las radiaciones emitidas por las láminas metálicas, una de cuyas caras está batida por la luz. Éste fué el orijen de mis esperiencias sobre la luz negra. La influencia de la luz ordinaria sobre los metales es probablemente mui afín de la que se ejerce por las ondas eléctricas.

constante que dependerá de la altura de los discos i de su diámetro i obedeciendo, por consiguiente, a la lei de Ohm. Tomemos una segunda columna de discos de aluminio, metal de conductibilidad variable, su resistencia variará en proporciones considerables segun las condiciones—choque, envío de ondas eléctricas, que hemos ya enumerado. Intercalemos ahora los discos de las dos columnas de manera que un disco de cobre siga a uno de aluminio.—El cobre comunica sus propiedades al aluminio i la columna obra como si fuera únicamente de cobre. Su resistencia ha llegado a ser invariable; obedece ahora a la lei de Ohm.

Habiendo descrito en lo que precede los aparatos destinados a la produccion de ondas eléctricas i los destinados a revelar su presencia, tenemos ahora todo lo necesario para estudiar la opacidad i transparencia de los diversos cuerpos por las radiaciones eléctricas.

Traducido por C. AGUIRRE.

(Continuará).

