

Watson hizo en Inglaterra, en 1748, experimentos muy parecidos, que le dieron el mismo resultado, y hasta un siglo después no se logró determinar numéricamente la velocidad de propagación de la electricidad. Continuó suponiéndola muy grande, pero sin poder asignarle límites. Al describir Biot algunos de los efectos físicos y mecánicos de esa fuerza y de la enorme velocidad que sin duda posee la materia eléctrica para que, sin ninguna masa apreciable en las balanzas más sensibles, pueda imprimir á cuerpos pesados y sólidos tan grandes cantidades de movimiento. Sábese, en efecto, que cuando un cuerpo pone á otro en movimiento chocando con él, la suma de los productos de las masas por las velocidades es la misma antes y después del choque. ¿Qué velocidad no habrá de suponerse en la electricidad para que esta rigurosa ley de la mecánica se observe en los fenómenos que hemos descrito? El diámetro de la Tierra entera sería tal vez demasiado pequeño para hacer perceptible su transmisión.,,

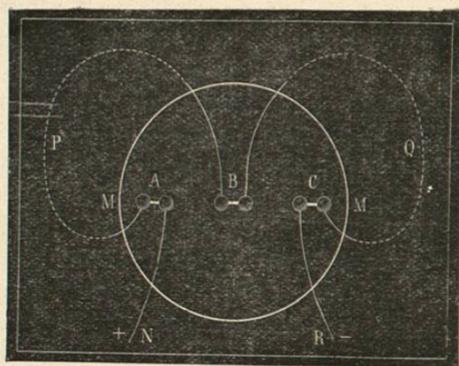


Fig. 275.—Experimento del espejo giratorio de Wheatstone

Los experimentos de Wheatstone en 1834 vinieron á disipar lo que en estas miras teóricas había de obscuro ó aventurado. El método que ideó este físico no es otro sino el del espejo giratorio empleado por Foucault para averiguar la velocidad de la luz. Siendo el principio el mismo en ambos métodos, nos limitaremos á describir sucintamente la disposición adoptada por el inventor para el objeto especial que se proponía.

Supongamos que delante de un espejo M y en una línea paralela al diámetro horizontal que es el eje de rotación del espejo, se ponen seis bolas metálicas separadas en tres grupos ABC. Cada una de las dos bolas de en medio está unida á las extremas con dos alambres de cierta longitud, por ejemplo de 367 metros; la segunda y la quinta comunican por su respectivo hilo con dos armaduras de una botella de Leyden. Al ocurrir la descarga al través de todo este conjunto, brotan tres chispas en ABC. Si la electricidad se propaga con velocidad infinita ó por lo menos bastante grande para recorrer las porciones P y Q' del hilo conductor en un tiempo inapreciable, las chispas serán ó por lo menos parecerán absolutamente simultáneas. Si no es así, veremos cómo se podrá reconocer esta no simultaneidad mediante el espejo, y medir el tiempo transcurrido de una á otra.

Recordemos que la imagen de un punto luminoso reflejada en un espejo que gira alrededor de uno de sus diámetros se desvía describiendo un arco que tiene por centro

un punto del eje de rotación, y que el valor angular de la desviación, es decir del arco en cuestión, es precisamente doble del ángulo de rotación del espejo. Si el punto luminoso es de corta duración, su imagen describirá un arco limitado cuya magnitud dependerá de la velocidad de rotación del espejo. Como la duración de la impresión luminosa es de un décimo de segundo próximamente, se verá á la vez todas estas imágenes sucesivas en forma de rastro luminoso, con tal de que el fenómeno dure menos de un décimo de segundo. Esto es lo que sucede con la chispa eléctrica que, para una velocidad del espejo que equivalga á 800 vueltas por segundo, aparece en forma de banda luminosa. Wheatstone midió la amplitud de esta banda y vió que era de  $24^\circ$ . Así pues, el espejo había girado á su vez un ángulo la mitad menor, es decir, de  $12^\circ$ , ó sea la  $30.^\text{a}$  parte de una circunferencia. Este primer resultado da ya un valor aproximado de la duración de las chispas en las condiciones en que se hacía el experimento, duración que era de  $\frac{1}{30 \times 800}$  ó de la  $24000.^\text{a}$  parte de un segundo ( $0^\text{s},000,042$ ).

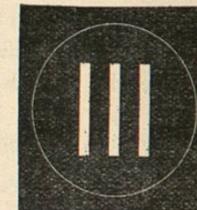


Fig. 276.—Aspecto de las bandas luminosas en la hipótesis de una velocidad infinita.

Veamos ahora cómo pudo medir Wheatstone la velocidad de propagación del fluido eléctrico. Hemos dicho que brotan tres chispas en el momento de la descarga entre las bolas de cada grupo, por lo cual se ven reflejadas tres bandas luminosas en el espejo giratorio; siendo las tres de la misma longitud, marcan así la igualdad de duración de cada una de ellas. Pero no empiezan todas en el mismo instante, pues si fuera así, las tres deberían ocupar en el espejo posiciones idénticas relativamente al eje, y los extremos de las tres líneas paralelas tendrían la misma altura, como en la figura 276. En vez de esto, la de en medio parece situada más alta ó más baja que las de los extremos, según que el espejo gire en un sentido ó en el otro (fig. 277). ¿Qué se debe deducir de esto? Que la chispa que brota entre las dos bolas medias se retrasa siempre relativamente

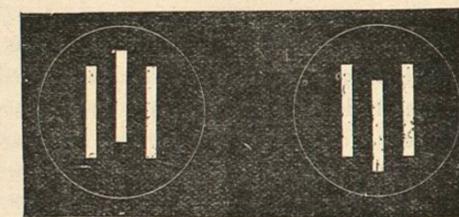


Fig. 277.—Imagen de las chispas en el espejo giratorio

á las otras dos, y que este retraso tiene sin duda por causa el tiempo que la electricidad invierte en recorrer cada uno de los hilos de 367 metros que enlazan los grupos de bolas entre dos soluciones de continuidad sucesivas.

Luego la velocidad de la electricidad no es infinita. Para medirla, faltaba valuar la cantidad angular á que se encontraba la banda luminosa media sobre ó debajo de cada una de las otras dos. Wheatstone vió que la chispa correspondiente á ella se retrasaba siempre casi medio grado con respecto á las otras, correspondiendo á un movimiento de rotación del espejo de un cuarto de grado, ó á la  $1440.^\text{a}$  parte de la circunferencia. Como el espejo efectuaba 800 vueltas por segundo, la electricidad recorrió el trayecto de 367 metros en una fracción de segundo marcada por el denominador  $1440 \times 800 = 1.152,000$ .

Así pues, la velocidad de propagación es de  $367 \times 1.152,000$  metros ó sea unos 423,000 kilómetros por segundo.

La exacta posición de simetría de las dos bandas extremas, sea cualquiera el sentido de rotación del espejo, prueba también dos cosas: la primera, que la electricidad no se propaga en una sola dirección, sino en dos sentidos á la vez, y la segunda, que la velocidad de su propagación es independiente de la dirección de la corriente.

Ya hemos dicho que Wheatstone hizo sus experimentos en 1834; pero habiendo adquirido desde entonces un gran desarrollo la telegrafía eléctrica, se ha podido medir la velocidad del fluido utilizando los largos alambres aislados que enlazan las estaciones entre las cuales se transmiten los telegramas. En el cuadro siguiente resumimos las cifras obtenidas por varios físicos.

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LA ELECTRICIDAD

OBSERVADORES	KILÓMETROS RECORRIDOS EN UN SEGUNDO	NATURALEZA DEL CONDUCTOR Y OBSERVACIONES
Wheatstone. . . . .	423,000	Alambre de cobre Descarga de una botella de Leyden.
Fizeau y Gounelle. . . . .	100,000	— de hierro Telégrafo de París á Amiéns y Rouén.
Fizeau y Gounelle. . . . .	180,000	— de hierro — — — —
O'Mitchell. . . . .	45,600	— de hierro Telégrafo de Cincinatti á Pittsburg.
Wálker. . . . .	30,000	— de hierro Telégrafo de Filadelfia á Cambridge.
Observatorios de Greenwich y de Edimburgo. . . . .	12,200	— de cobre Telégrafo aéreo.
Observatorios de Greenwich y de Bruselas. . . . .	4,300	— de cobre Cable submarino.
Faraday. . . . .	1,200	— de cobre Hilo subterráneo.
Felici. . . . .	260,000	— de cobre Descarga de una botella de Leyden.
Gould. . . . .	25,600	— de hierro Telégrafo de San Luis á Washington.

Estas cifras presentan diferencias considerables que dependen de muchas causas. En primer lugar hay que tener en cuenta la diferencia de los métodos y los errores de las observaciones inherentes á ellos por decirlo así, pero que distan mucho de explicar las divergencias que resultan. A decir verdad, la velocidad de propagación de la electricidad no es susceptible, como la de la luz, de una sola definición, ó más bien, varía con las condiciones del experimento, la naturaleza del circuito conductor, la tensión eléctrica de la generatriz, etc. Faraday había sospechado, en vista de los experimentos de Wheatstone, que darían distintos resultados si se ponían los extremos de los hilos en comunicación inmediata con grandes superficies metálicas aisladas, que hicieran las veces de condensadores, previsión que se ha visto realizada en los hilos telegráficos subterráneos, así como en los cables submarinos cuya cubierta aisladora de gutapercha sumergida en el agua del mar forma con el alambre á modo de un condensador. De aquí resulta un aumento considerable en la capacidad eléctrica de los hilos y el correspondiente retraso en la velocidad de propagación de la corriente.

## CAPÍTULO XII

## LOS METEOROS ELÉCTRICOS

## I

## IDENTIDAD DEL RAYO Y DE LOS FENÓMENOS ELÉCTRICOS

Los fenómenos de electricidad que hasta ahora hemos tenido ocasión de describir son, casi sin excepción, fenómenos producidos por medios artificiales, y gracias á los procedimientos discurridos por los físicos se han podido hacer patentes á nuestra vista sus efectos tan variados y á veces tan poderosos. La mera observación ha sido casi nula en su descubrimiento, y la ciencia de la Electricidad, así como la del Magnetismo (que hoy día se refunde en la primera), es, en cuanto se refiere á los fenómenos en cuestión, una ciencia experimental, ó hablando con más exactitud, una ciencia de observación exclusivamente experimental. Ninguno de los hechos que la constituyen podía ofrecerse espontáneamente al estudio del docto, y esto explica sin duda por qué el Magnetismo y la Electricidad han sido las últimas ramas de la Física que se han constituido, y por qué han transcurrido largos siglos sin que el objeto mismo de estas ciencias se haya ofrecido de por sí á la curiosidad investigadora de los observadores. Las dos solas circunstancias de la atracción del hierro por el imán natural y de los cuerpos leves por el ámbar frotado han sido los modestos puntos de partida de cada una de dichas ciencias, que el genio de Ampère ha acabado por refundir en una sola.

Debemos sin embargo confesar que si lo que acabamos de decir fuese rigurosamente exacto, constituiría una singular excepción en la historia de las ciencias físicas y naturales. Pero no es así. En realidad, la Naturaleza ha venido indicando al hombre, desde el origen de los tiempos, de una manera ostensible y con fenómenos grandiosos, la materia de una ciencia nueva. Desde la antigüedad más remota eran ya conocidas y observadas las auroras polares, aunque relativamente raras en las zonas templadas, allí donde la civilización creciente había permitido al ser humano, filósofo ya y hombre de ciencia, especular sobre los fenómenos de que era testigo. El rayo, los relámpagos, el fragor del trueno y otros fenómenos semejantes no podían dejar de ser objeto de investigaciones científicas. Pero el rayo, lo propio que la aurora polar, siguió siendo un enigma hasta la época, no muy distante de la nuestra, en que las atracciones y repulsiones eléctricas se mostraron acompañadas de ciertos efectos luminosos, en los primeros y modestos experimentos de los Otto de Guericke, Wall y Gray, y en los que, merced á una feliz y arriesgada prueba de Benjamín Franklin, quedó demostrada la identidad del rayo y de la electricidad.

La memoria en que el ilustre físico americano compara los efectos del rayo con los de la electricidad, data del mes de noviembre de 1749; esto es, la había escrito dos años y medio antes de hacer sus experimentos sobre las nubes tempestuosas, y también antes que el físico francés Dalibard hiciera los suyos, puesto que unos y otros se efectuaron en mayo de 1752. Franklin reconoció en esta época el poder de las puntas; y