

Teoría de las cargas estáticas

Posiblemente el primero en realizar una observación científica de ese fenómeno fue el sabio y matemático griego Thales de Mileto, allá por el año 600 A.C., cuando se percató que al frotar el ámbar se adherían a éste partículas del pasto seco, aunque no supo explicar la razón por la cual ocurría ese fenómeno.

No fue hasta 1660 que el médico y físico inglés *William Gilbert*, estudiando el efecto que se producían al frotar el ámbar con un paño, descubrió que el fenómeno de atracción se debía a la interacción que se ejercía entre dos cargas eléctricas estáticas o carente de movimiento de diferentes signos, es decir, una positiva (+) y la otra negativa (-). A ese fenómeno físico Gilbert lo llamó "electricidad", por analogía con "*elektron*", nombre que en griego significa ámbar.

En realidad lo que ocurre es que al frotar con un paño el ámbar, este último se electriza debido a que una parte de los electrones de los átomos que forman sus moléculas pasan a integrarse a los átomos del paño con el cual se frota. De esa forma los átomos del ámbar se convierten en iones positivos (o cationes), con defecto de electrones y los del paño en iones negativos (o aniones), con exceso de electrones.

LAS TEORÍAS DE LAS CARGAS ESTÁTICAS

La teoría del campo de Maxwell

Como resultado de sus investigaciones, Michael Faraday contribuyó a nuestro conocimiento del mundo con aportaciones de la misma importancia que las que hicieron los más aventajados científicos del pasado, como Galileo y Newton. Sus numerosos descubrimientos merecieron la admiración de sus coetáneos, quienes no se percataron plenamente del impacto e importancia de su teoría de campos y demás hallazgos..

James Clerk Maxwell se encargó de clarificar la teoría de Faraday y de descubrir las leyes del campo. Aunque es cierto que su imponente teoría matemática se basaba en las ideas de Faraday, alteró alguno de los rasgos fundamentales de su concepción. La desviación fundamental de Maxwell respecto a Faraday era su concepto de materia y campo como entes totalmente diferentes.

El modelo mecánico del éter

El modelo consistía en suponer que la masa de los remolinos depende de la permeabilidad magnética del medio y que la electricidad está constituida por bolitas que separan unos remolinos magnéticos de otros.

El desplazamiento de las partículas eléctricas da lugar a una corriente eléctrica. Mientras pasa corriente, las partículas se mueven de un remolino a otro. Al desplazarse pueden dar saltos y provocar una pérdida de energía que aparece en forma de calor; pero mientras están girando, no hay rozamiento entre la partícula y el remolino, y no se producen pérdidas de energía. En

principio, parece posible mantener indefinidamente un campo magnético. Por último, supuso que los remolinos magnéticos están dotados de elasticidad.

El modelo mecánico del campo electromagnético de Maxwell es uno de los más imaginativos pero menos verosímiles que nunca se hayan inventado. Es el único modelo del éter que logró unificar la electricidad estática, la corriente eléctrica, los efectos inductivos y el magnetismo, y a partir de él, Maxwell dedujo sus ecuaciones del campo electromagnético y su teoría electromagnética de la luz. La deducción de las ecuaciones es enrevesada y asombrosa.

Maxwell dedujo sus ecuaciones en etapas:

1. La de los remolinos para explicar los efectos puramente magnéticos.
2. La de las bolas eléctricas para deducir las relaciones entre corriente y magnetismo, incluida la inducción.
3. La de la elasticidad de las bolas para explicar los fenómenos de la carga estática.

Cada una de estas etapas fue un paso hacia la coronación de su obra: la teoría electromagnética de la luz.

Maxwell había conseguido expresar la velocidad de las ondas transversales del mecanismo en términos de la capacidad inductiva específica y la permeabilidad magnética del medio. La rigidez estaba relacionada con la capacidad inductiva específica, y la densidad del medio con la permeabilidad magnética; se sabía que el cuadrado de la velocidad de las ondas transversales era la razón entre ambas. Midiendo la capacidad inductiva específica y la permeabilidad magnética de un medio, podía predecirse la velocidad de las ondas de inducción.

La interpretación operativa

La interpretación "operativa" se basa en dos postulados: las magnitudes electromagnéticas se consideraban fundamentales, y el campo es una realidad independiente. La materia y el campo se consideran como entes distintos e interpenetrantes.

En su obra "A Dynamical Theory of Electromagnetic Field", se limitó a usar las fórmulas de la mecánica analítica con el fin de establecer las ecuaciones del campo y deducir de ellas las consecuencias relativas a la teoría de la luz. A partir de que toda energía es de tipo mecánico, consideró como potencial la energía de los fenómenos electrostáticos y como cinética la de las modificaciones magnéticas y las corrientes. Logró así, describir las relaciones entre las magnitudes del campo electromagnético inspirándose en las ecuaciones de Lagrange relativos a los movimientos de un "sistema con ligaduras".

Las ecuaciones formuladas por Maxwell en dicha obra son:

A. Ecuación de la corriente total: $\vec{T} = \vec{j} + \frac{d\vec{D}}{dt}$.

- B. Ecuación de la fuerza magnética: $\mu \vec{H} = \text{rot } \vec{A}$.
- C. Ecuación de la corriente eléctrica : $\text{rot } \vec{H} = 4 \pi \vec{j}$.
- D. Ecuación de la fuerza electromotriz: $\vec{E} = \vec{v} \times \mu \vec{H} - \frac{d\vec{A}}{dt} - \text{grad}\Psi$.
- E. Ecuación de la elasticidad eléctrica: $\vec{E} = k\vec{D}$.
- F. Ecuación de la resistencia eléctrica: $\vec{E} = -r\vec{j}$.
- G. Ecuación de la electricidad libre: $\rho + \text{div}\vec{D} = 0$.
- H. Ecuación de continuidad: $\frac{d\rho}{dt} + \text{div}\vec{j} = 0$.

Maxwell había demostrado a partir de dichas ecuaciones que las ondas electromagnéticas se propagan a la velocidad de la luz, y que dicha velocidad depende de la permeabilidad magnética y de la constante dieléctrica del medio. Demostró también, que la onda magnética debe ser transversal. Así pues, había conseguido obtener los mismos resultados que daba el modelo mecánico, sólo que utilizando únicamente sus ecuaciones.

A partir de dichas ecuaciones, dedujo nuevas propiedades de las ondas electromagnéticas.

1. Estableció la relación entre la conductividad y la transparencia. Cuanto más conductor es un material, más absorbe la luz, y así, explicaba que los conductores sean opacos, y los medios transparentes buenos aislantes.

2. Calculó la energía de los componentes eléctricos y magnéticos de las ondas electromagnéticas, y descubrió que la mitad de esta energía era eléctrica y la otra mitad magnética.

3. En el caso de un rayo de luz polarizado en un plano, la onda eléctrica se propaga junto a la magnética dispuestas perpendicularmente entre sí. Señaló también que la resultante de la tensión electromagnética sobre un cuerpo irradiado con luz es una presión.

La concepción del campo electromagnético de Maxwell se puede resumir en la siguiente cita

"La teoría que propongo puede, por consiguiente, llamarse teoría del campo electromagnético por que trata del espacio en las proximidades de los cuerpos eléctricos y magnéticos, y puede llamarse teoría dinámica por que supone que en dicho espacio hay una materia en movimiento que produce los efectos electromagnéticos observados."

El descubrimiento de las ondas electromagnéticas

Los experimentos de Hertz constituyeron la primera y decisiva victoria de la teoría de campos y de la derrota de la idea newtoniana de la acción instantánea y a distancia. Estos experimentos tienen una dimensión social por haber hecho posible el desarrollo de la comunicación a nivel de masas por medio de la radio y de la televisión.

Faraday había intentado encontrar un experimento que demostrara la velocidad finita de las perturbaciones y que constituyera, por tanto, una prueba crucial de su teoría de campos. El proyecto inicial de Hertz consistía en demostrar que la variación de la polarización de las sustancias dieléctricas produce un campo magnético.

Según la teoría de Maxwell, una variación de la polarización de un material dieléctrico, tiene, al igual que una corriente de conducción, efectos magnéticos. Para ello, tenía que crear un campo eléctrico alterno que pudiera polarizar y despolarizar rápidamente un bloque de material dieléctrico.

Modificando y perfeccionando el diseño de los distintos dispositivos experimentales, llegó al descubrimiento de las ondas electromagnéticas. También descubrió, que si dos conductores están iluminados por luz ultravioleta, para que salte una chispa entre ellos basta con una diferencia de potencial mucho menor. Posteriormente, otros científicos descubrieron que solamente era efectiva la luz que incidía sobre el polo negativo. El denominado efecto fotoeléctrico recibió la explicación adecuada con la teoría cuántica de la luz de Einstein.

Hertz pensó que sería posible producir interferencias con dos ondas electromagnéticas, y como los fenómenos de interferencia están íntimamente ligados a los fenómenos ondulatorios quedaría así demostrada la existencia de las ondas electromagnéticas. Produjo ondas estacionarias en el aire, colocando una lámina de metal en la pared opuesta al aparato. La onda reflejada interfería con la incidente dando lugar a una onda estacionaria. Consiguió, más tarde, producir ondas electromagnéticas de longitud de onda mucho más corta, reduciendo la capacidad del vibrador. Dirigiendo estas ondas mediante espejos parabólicos (que dan lugar a ondas planas) y reflejándolas en varios espejos, logró demostrar que cumplían la ley de la reflexión.

Hertz calcula la forma de las ondas que salen de su oscilador, a partir de las ecuaciones de Maxwell para un espacio vacío en el que no intervienen cargas ni corrientes, tal es prácticamente el espacio que rodea al oscilador. Escribe las ecuaciones de forma simétrica relacionando directamente las variaciones temporales y espaciales de los campos eléctrico y magnético. Llamado **H** al campo magnético y **E** al eléctrico, las ecuaciones se escriben:

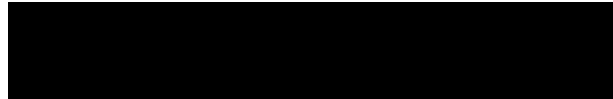
$$\frac{1}{c} \frac{d\vec{H}}{dt} = \nabla \times \vec{E} \quad \frac{1}{c} \frac{d\vec{E}}{dt} = -\nabla \times \vec{H}$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = 0 \quad \nabla \cdot \vec{E} = 0$$

Una quinta ecuación básica expresa la energía electromagnética U contenida en cierto volumen V:

$$U = \frac{1}{8\pi} \int_V (E^2 + H^2) dv$$

Resuelve las ecuaciones anteriores para el espacio que rodea su oscilador respecto a cuyo eje el problema tiene simetría de revolución. Obtiene como resultado la ecuación de las líneas de fuerza del campo eléctrico en el plano meridiano que pasa por el eje.



El oscilador ha sido idealizado como un dipolo que consta de dos partículas de carga +e y -e, que oscilan a lo largo de ese eje manteniéndose simétricas respecto del centro y alcanzando amplitudes +l y -l. La frecuencia de las oscilaciones (en la práctica centenares de megahertz) está expresada por $2\pi w$, y el número de ondas k por el cociente w/c . Cada línea de fuerza viene fijada por el valor de un parámetro Q, y se expresa en coordenadas polares, la distancia al centro del oscilador r, y el ángulo azimutal φ respecto del eje del oscilador.

La teoría de los electrones de Lorentz

Uno de los problemas más importantes que quedaban pendientes era la electrodinámica de los cuerpos en movimiento ya que atañe directamente a la naturaleza y existencia del éter.

Lorentz aplicó la teoría de Maxwell, ampliada por Heaviside, a hipotéticos corpúsculos cargados, que no recibieron el nombre de electrones hasta después de su descubrimiento por J. J. Thomson en 1897 colocando a la teoría de Lorentz en el centro de interés de toda investigación posterior.

Las ecuaciones de Lorentz tienen una forma especialmente sencilla.