

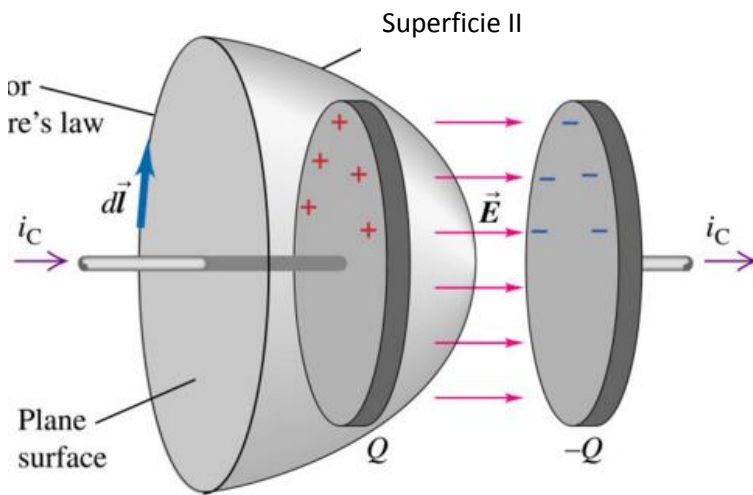
Ley de Ampère-Maxwell.

Como ya se ha mencionado, J. C. Maxwell fue el encargado de revisar todo el conocimiento que existía en su época (Siglo XIX) sobre electromagnetismo, y armar con él un cuerpo teórico coherente. En ese marco, descubre que la ley de Ampère, tal como la estudiamos, se restringe a corrientes constantes en el tiempo, que circulan en circuitos materiales cerrados. Si se quiere aplicar en situaciones en las que la corriente varía con el tiempo, por ejemplo, aparecen inconsistencias. La intención de Maxwell fue ampliar ese marco de validez, haciendo para ello algunas correcciones al enunciado de la ley.

Veamos un ejemplo problemático y cómo fue resuelto por Maxwell:

La figura representa segmento de un circuito, con un conductor y un capacitor de placas paralelas. También se representa un anillo amperiano (circunferencia cerrada).

La idea es la siguiente: si la ley de Ampère es válida, la circulación de campo magnético debe arrojar el mismo valor,



$C_B = \mu_0 I$, para cualquier superficie que consideremos, delimitada por este anillo.

En la figura se representan una superficie plana (I) y una superficie curva (II), ambas delimitadas por C.

Cuando el capacitor ya está cargado, el proceso de carga se detiene, y no circula corriente por el cable, por lo tanto, la circulación sobre C será nula, ($I = 0$ sobre la superficie I y la II)

El problema aparece si estudiamos el proceso de carga del capacitor. En ese proceso:

*Circula corriente por el conductor de la figura \Rightarrow siguiendo la ley de Ampère, $C_B = \mu_0 I$

(si estudiamos la cara plana delimitada por C).

*Si tomamos la cara curva, la superficie entra en el capacitor donde, por supuesto no circula corriente eléctrica (el capacitor almacena carga en sus armaduras). Entonces, si aplicamos la Ley de Ampère,

$$C_B = 0$$

Aparece una contradicción, pues la circulación de campo magnético arroja valores contradictorios, dependiendo de la superficie que se considere. La teoría parece inconsistente. ¿cómo supera Maxwell esta contradicción?

Hasta ahora, al analizar un circuito con capacitores, consideramos que la intensidad "se corta en una placa y luego continúa en la otra placa", admitiendo una discontinuidad. Sabemos además que entre las placas del capacitor existe un campo eléctrico (son dos placas paralelas cargadas). Cuando el capacitor está cargado, ese campo es constante. Pero durante el proceso de carga, existe un campo eléctrico variable entre las placas (al cargarse, aumenta σ y por lo tanto aumenta el módulo del campo eléctrico entre ellas).

Maxwell supone que un campo eléctrico variable se comporta como una corriente eléctrica, a la que llama corriente de desplazamiento. Esa corriente sería la que atraviesa la superficie curva, para calcular la circulación sobre C .

Observen que ampliamos nuestro concepto de corriente eléctrica, Ahora conocemos:

- Corriente de conducción (portadores de carga eléctrica en movimiento)
- Corriente de desplazamiento (campos eléctricos variables).

Ambos generan campos magnéticos.

¿cómo se define formalmente esta nueva corriente?

Sabemos que una intensidad de corriente se define como $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$

Precisamos una expresión para la carga eléctrica encerrada dentro de la superficie II y usaremos la ley de Gauss

$$\phi_E = \frac{q_{neta}}{\epsilon_0} \text{ por lo que } q_{neta} = \phi_E \cdot \epsilon_0$$

Sustituyendo:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad I = \frac{\Delta \phi_E \cdot \epsilon_0}{\Delta t} \quad \text{o bien: } \boxed{I = \epsilon_0 \cdot \frac{\Delta \phi_E}{\Delta t}} \quad (\text{corriente de desplazamiento})$$

La ley se reformula y queda:

$$\boxed{C_B = \mu_0 (I_C + I_D)} \quad \text{Ley de Ampère-Maxwell,}$$

Donde C_B es la circulación de campo magnético

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m/A}$$

I_C es la corriente eléctrica que circula en el conductor

I_D es la corriente de desplazamiento (E variable)

Note que esto es mucho más que un truco matemático para enmendar una ley.

Estamos afirmando que el campo eléctrico variable se comporta como una corriente, y la corriente de desplazamiento se relaciona directamente con la variación de flujo eléctrico, es decir: **un flujo eléctrico variable genera un campo magnético.**

Fuentes de campo magnético:

Corrientes eléctricas

Campos eléctricos variables