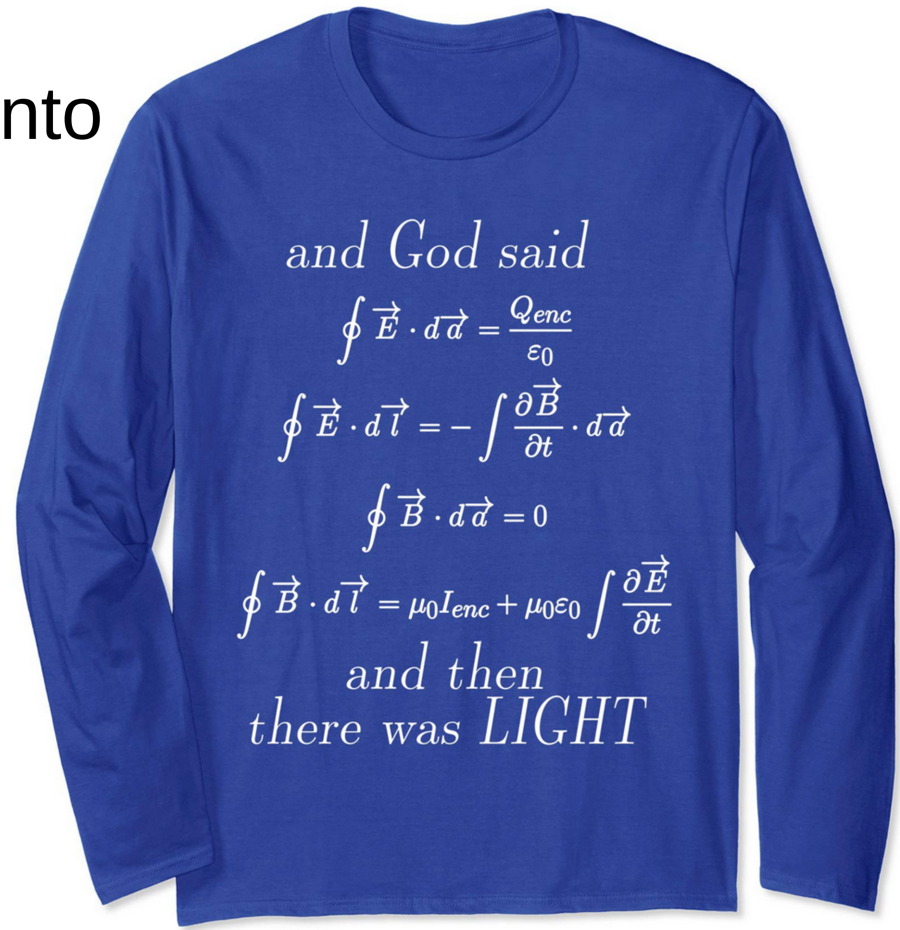
Tema 3.3:
Ecuaciones de Maxwell

- Corriente de desplazamiento
- Ecuaciones de Maxwell
- Implicaciones



”This change in the conception of reality is the most profound and the most fruitful that physics has experienced since the time of Newton”

“I stand not on the shoulders of Newton, but on the shoulders of James Clerk Maxwell”

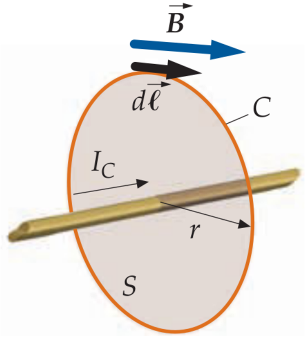
“One scientific epoch ended and another began with James Clerk Maxwell”

Albert Einstein

Ecuaciones Maxwell. Corriente de desplazamiento

Recordamos la **Ley de Ampere**

$$\oint_C B_t \, d\ell = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_C$$



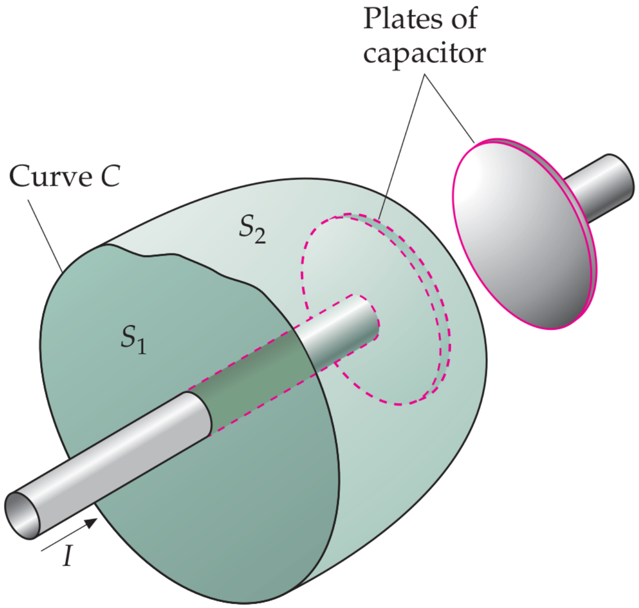
Válida cuando la I_c **es estacionaria** (no varía con el tiempo)y **continua** (no hay acumulación de carga)

¿Y si I_c **varía con el tiempo o existe acumulación de carga**?
Para tener ecuaciones válidas universalmente hay que considerar todas las posibilidades

Maxwell introdujo la **corriente de desplazamiento**

$$I_d = \epsilon_0 \frac{d\phi_e}{dt}$$

ϕ_e Es el flujo eléctrico a través de la superficie



Ecuaciones Maxwell. Ley de Ampere Generalizada

Maxwell demostró la **Ley de Ampere Generalizada**

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0(I + I_d) = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_e}{dt}$$

($I + I_d$) es la corriente generalizada.

INTERPRETACIÓN

En S = S_1+ S_2 (superficie cerrada) entra una corriente neta *I* aumentando la carga

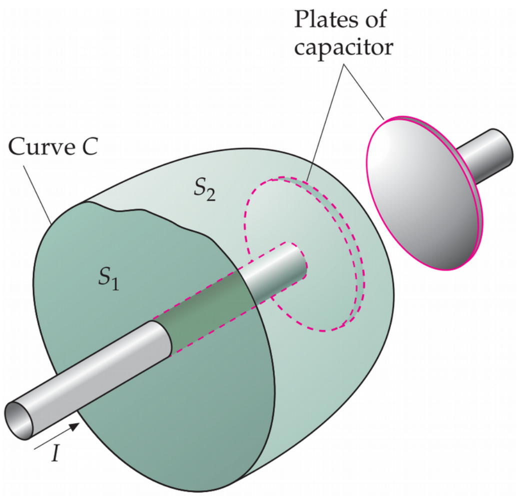
$$I = \frac{dQ_{\text{inside}}}{dt}$$

El flujo eléctrico que sale del volumen encerrado por S

$$\phi_{\text{e net}} = \oint_S E_n\, dA = \frac{1}{\epsilon_0} Q_{\text{inside}}$$

Derivando con respecto al tiempo

$$\frac{dQ_{\text{inside}}}{dt} = \epsilon_0 \frac{d\phi_{\text{e net}}}{dt} = I_d$$



El aumento de carga por unidad de tiempo es proporcional al aumento del flujo neto que sale del volumen por unidad de tiempo: es lo que se llama corriente de desplazamiento I_d

Ecuaciones Maxwell. Ley de Ampere Generalizada

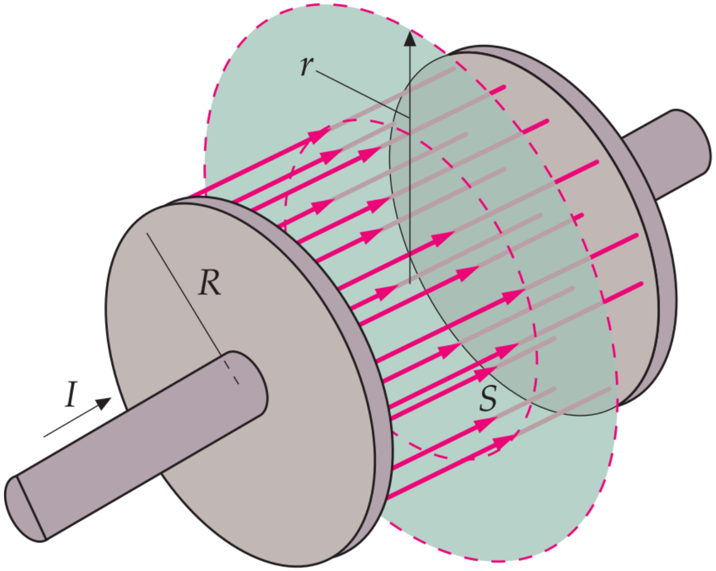
EJEMPLO: (Tipler 30.1 p1032) Cálculo de corriente de desplazamiento

Un condensador de placas paralelas está formado por placas circulares muy cercanas de radio R. En la placa positiva está entrando carga, mientras que está saliendo de la placa negativa a un ritmo $I = dQ/dt = 2{,}5$ A. Calcular la corriente de desplazamiento entre las placas (figura 30.2) calculando directamente la variación temporal de flujo de $\vec{E}$ a través de la superficie S.

NOTA: el campo eléctrico en la superficie de un conductor es

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q/A}{\epsilon_0}$$

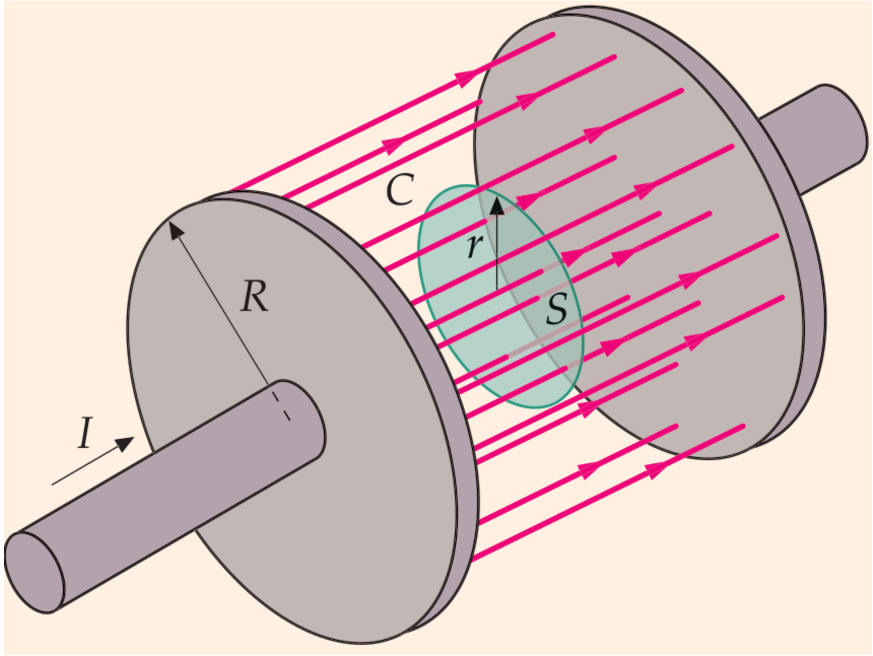
Donde σ = Q/A es la densidad superficial de carga



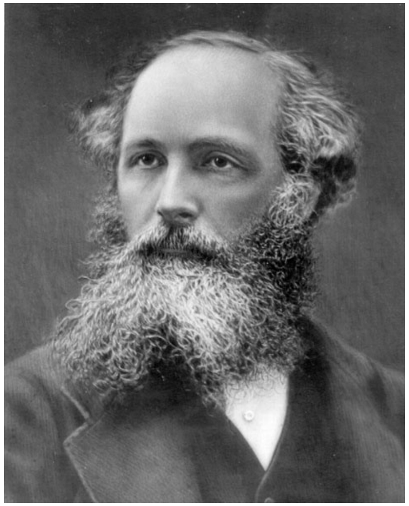
Ecuaciones Maxwell. Ley de Ampere Generalizada

EJEMPLO: (Tipler 30.2 p1032) Cálculo de ***B*** producido por la corriente de desplazamiento

Las placas circulares del ejemplo 30.1 tienen un radio de $R = 3{,}0$ cm. Hallar el campo magnético B en un punto entre las placas a una distancia $r = 2{,}0$ cm del eje de las mismas cuando la corriente que está entrando en la placa positiva vale 2,5 A.



Ecuaciones de Maxwell. James Clerk Maxwell 1831-1879



$$\oint_S E_n \, dA = \frac{1}{\epsilon_0} Q_{\text{inside}}$$

Ley de Gauss para el campo eléctrico

$$\oint_S B_n \, dA = 0$$

Ley de Gauss para el campo magnético

$$\oint_C \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{d}{dt}\int_S B_n \, dA = -\int_S \frac{\partial B_n}{\partial t} \, dA$$

Ley de Faraday

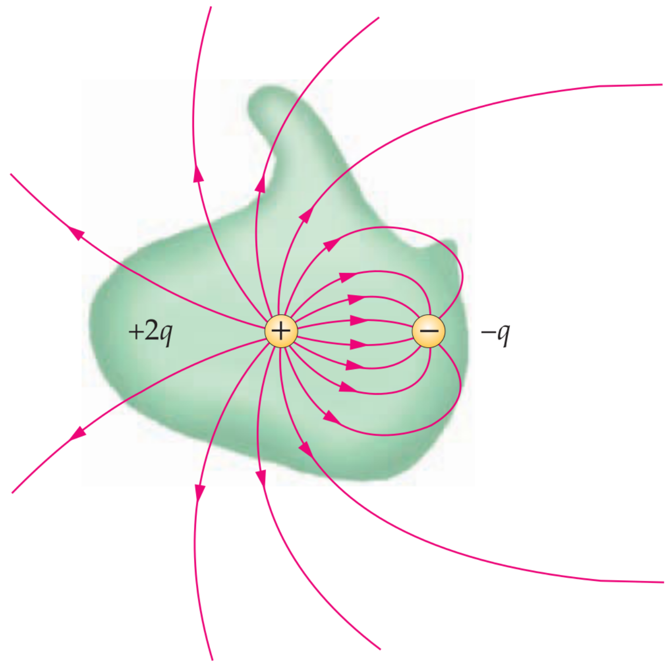
$$\oint_C \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 (I + I_d)$$ con $$I_d = \epsilon_0 \int_S \frac{\partial E_n}{\partial t} \, dA$$

Ley de Ampere

Ecuaciones de Maxwell

$$\oint_S E_n \, dA = \frac{1}{\epsilon_0} Q_{\text{inside}}$$

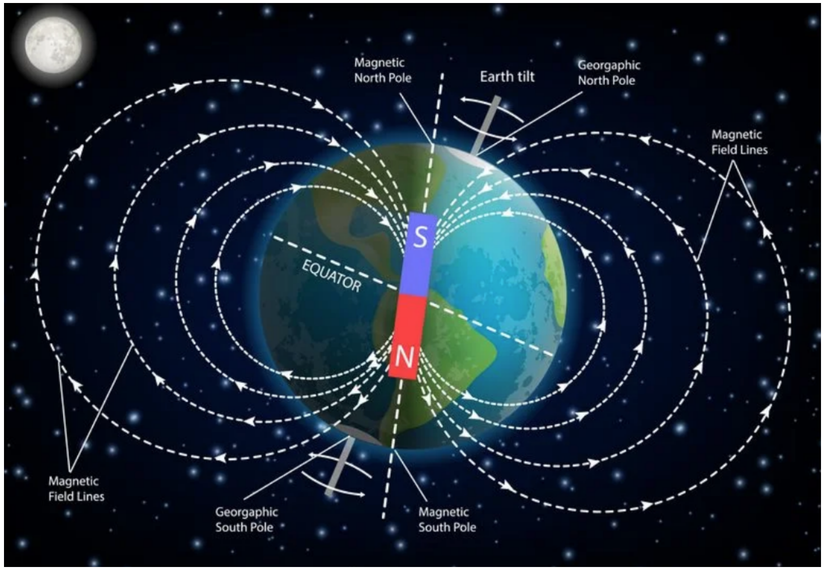
Ley de Gauss para el campo eléctrico



Ecuaciones de Maxwell

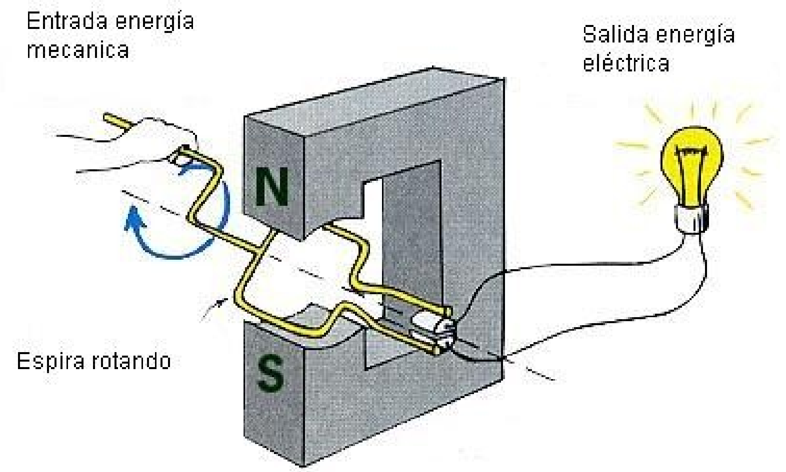
$$\oint_S B_{\mathrm{n}} \, dA = 0$$

Ley de Gauss para el campo magnético



Ecuaciones de Maxwell

Generador eléctrico:
Generación de electricidad en centrales térmicas, nucleares, hidroeléctricas y eólicas, generadores y la dinamo la bici

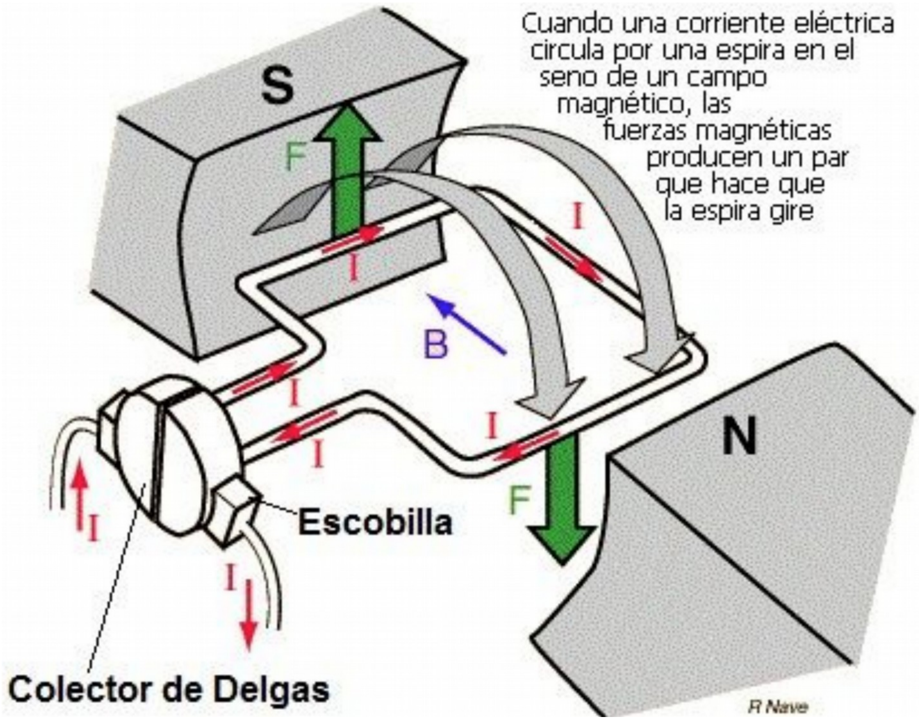


$$\oint_C \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\boldsymbol{\ell}} = -\frac{d}{dt}\int_S B_\mathrm{n}\, dA = -\int_S \frac{\partial B_\mathrm{n}}{\partial t}\, dA$$

Ley de Faraday

Ecuaciones de Maxwell

Motor eléctrico:
El paso de la corriente por la espira genera un campo magnético que interacciona con el del imán generando un torque que hace que se mueva la espira



$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 (I + I_\mathrm{d})$$ con $$I_\mathrm{d} = \epsilon_0 \int_S \frac{\partial E_\mathrm{n}}{\partial t} dA$$

Ley de Ampere

Ecuaciones Maxwell. IMPLICACIONES

- Las ecuaciones de Maxwell desempeñan en el electromagnetismo clásico un papel análogo a las leyes de Newton en le mecánica clásica
- Considerablemente más complejas que las de Newton
- Pueden resolverse todos los problemas de electromagnetismo clásico con ellas
- Hacen posible el **funcionamiento de los computadores**
- Maxwell demostró que las ecuaciones podían combinarse para originar una **ecuación de ondas** para los vectores de campo eléctrico y magnético ***E*** y ***B.***

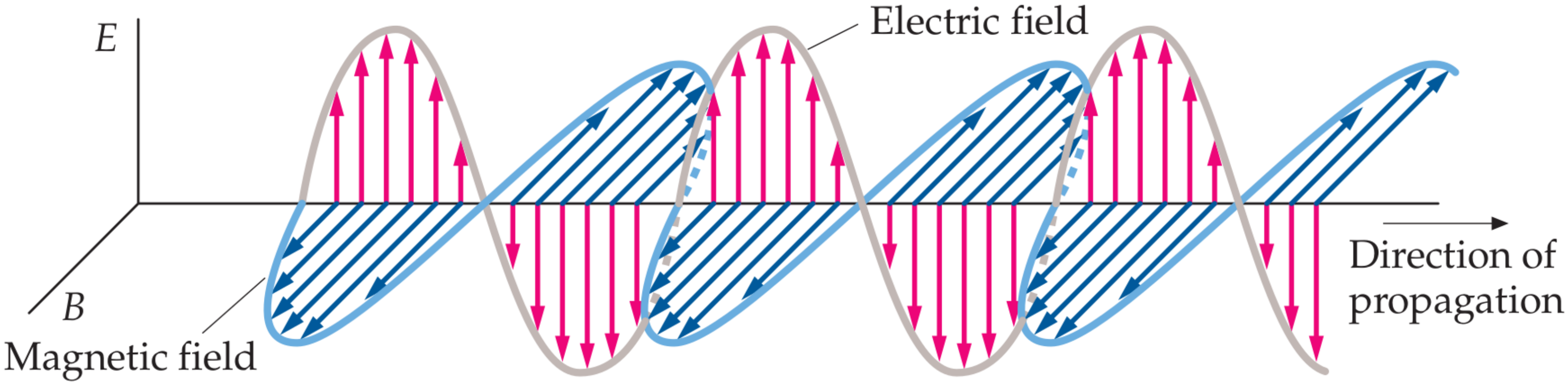
Ecuaciones Maxwell. Ondas electromagnéticas

- Maxwell demostró que las ecuaciones podían combinarse para originar una **ecuación de ondas** para los vectores de campo eléctrico y magnético ***E*** y ***B:***

Las **ondas electromagnéticas** que están originadas por cargas eléctricas y se mueven con velocidad

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

$$E = cB$$ En módulo



Ecuaciones Maxwell. Espectro electromagnético