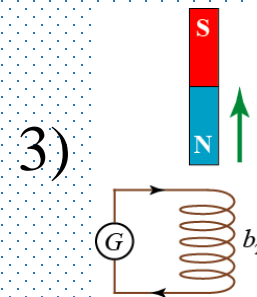
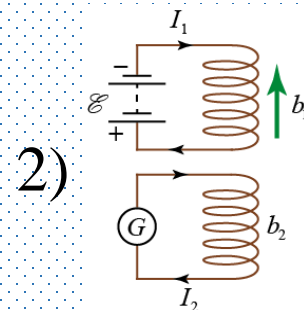
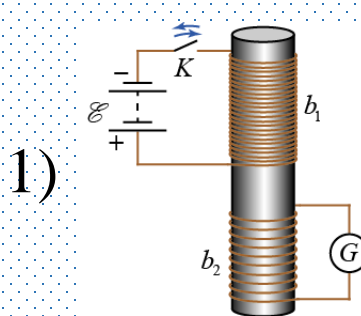


Tema 12. Câmpul electromagnetic

Fenomenul inducției electromagnetice

Experiențele lui Faraday

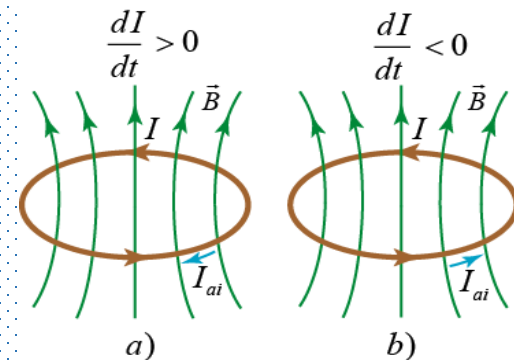


Legea fundamentală a inducției electromagnetice (Legea lui Faraday)

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

Fenomenul de autoinducție

constă în: apariția în orice contur conductor închis parcurs de curent a unei *t.e.m.* de inducție datorită variației curentului în acest contur.



$$\mathcal{E}_{ai} = - \frac{d\Psi_{ai}}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

$$[L] = 1 \frac{\text{Wb}}{\text{A}} \equiv 1 \text{H}$$

$$\Psi_{ai} = LI$$

Tema 12. Câmpul electromagnetic

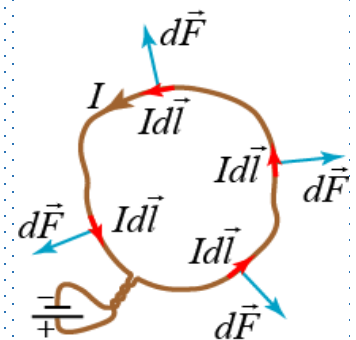
Inductanța solenoidului

$$\Psi_{ai} = N\Phi_m = NBS = \mu_0 NnIS = \frac{\mu_0 NnISl}{l} = \mu_0 n^2 VI \rightarrow L = \mu_0 n^2 V$$

$$\delta L = \mathcal{E}_{ai} Idt = -Id\Psi_{ai}$$

$$E_p = L_{I \rightarrow 0} = \int_I^0 \mathcal{E}_{ai} Idt = -\int_I^0 L \frac{dI}{dt} Idt = -L \int_I^0 IdI = -L \left. \frac{I^2}{2} \right|_I^0 = \frac{LI^2}{2}$$

$$\rightarrow E_p = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Psi_{ai} I}{2} = \frac{\Psi_{ai}^2}{2L}$$



Energia potențială de interacțiune a părților componente ale solenoidului

$$E_p = \frac{LI^2}{2} = \frac{1}{2} \mu \mu_0 n^2 V \frac{B^2}{\mu^2 \mu_0^2 n^2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} V$$

Energia câmpului magnetic

Densitatea de energie a câmpului magnetic

$$W_m = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Psi_{ai} I}{2} = \frac{\Psi_{ai}^2}{2I} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} V$$

$$w_m = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{\vec{B}\vec{H}}{2} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}$$

Tema 12. Câmpul electromagnetic

Prima ecuație a lui Maxwell

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E}_i &= \oint_{(\mathcal{L})} (\vec{E} d\vec{l}) \\ \mathcal{E}_i &= -\frac{\partial \Phi_m}{\partial t} \\ \Phi_m &= \int_{(S)} (\vec{B} d\vec{S}) \end{aligned} \right\}$$



$$\oint_{(\mathcal{L})} (\vec{E} d\vec{l}) = - \int_{(S)} \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S} \right)$$

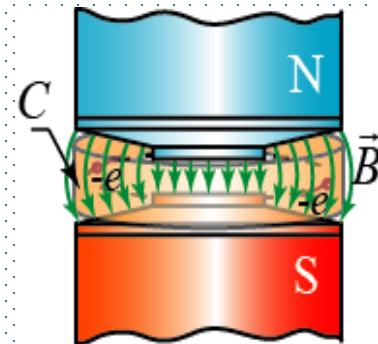
Teorema lui Stokes

$$\oint_{(\mathcal{L})} (\vec{E} d\vec{l}) = \int_{(S)} \text{rot } \vec{E} d\vec{S}$$



$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Orice câmp magnetic variabil induce în spațiul înconjurător un câmp electric turbionar, care **nu depinde de prezența sau de absența materialelor conductoare în acest câmp.**



Betatronul este un accelerator inductiv de electroni.

Fluxul de electroni accelerați într-un betatron capătă energii cinetice de zeci sau chiar și sute de megaelectronvolți.

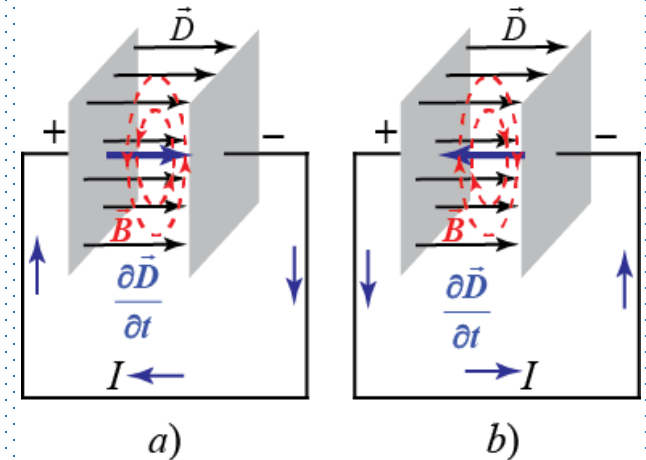
Tema 12. Câmpul electromagnetic

Curentul de deplasare. A doua ecuație a lui Maxwell

A doua ecuație a lui Maxwell este legea curentului total

$$\oint_{(\mathcal{L})} (\vec{H} d\vec{l}) = I_c \quad \text{sub formă integrală}$$

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{j}_c \quad \text{sub formă diferențială}$$



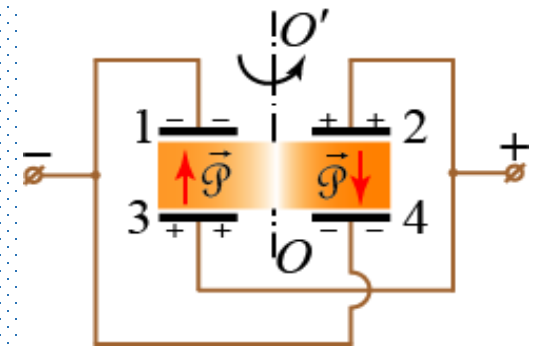
Pentru curentul alternativ.

$$I_{\text{depl.}} = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} \int_S \sigma dS = \int_S \frac{\partial \sigma}{\partial t} dS = \int_S \frac{\partial D}{\partial t} dS = \int_S \vec{j}_{\text{depl.}} d\vec{S}$$

$$\vec{j}_{\text{depl.}} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{\mathcal{P}}$$

$$\vec{j}_{\text{depl.}} = \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{\mathcal{P}}}{\partial t}$$



Experiența Eichenwald

Tema 12. Câmpul electromagnetic

Curentul total $I = I_{c.} + I_{depl.} = I_{c.} + \int_S \vec{j}_{depl.} d\vec{S}$

Densitatea curentului total $\vec{j} = \vec{j}_{c.} + \vec{j}_{depl.} = \vec{j}_{c.} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

A doua ecuație Maxwell sub formă integrală

$$\oint_{(\mathcal{L})} (\vec{H} d\vec{l}) = I_{c.} + I_{depl.}$$

sau

$$\oint_{(\mathcal{L})} (\vec{H} d\vec{l}) = \int_{(S)} \left(\vec{j}_{c.} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

A doua ecuație a lui Maxwell sub formă diferențială

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{j}_{c.} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Câmpurile electrice variabile sunt surse de câmpuri magnetice, la fel cum în conformitate cu legea inducției electromagnetice, câmpurile magnetice variabile induc câmpuri electrice.

Tema 12. Câmpul electromagnetic

Ecuatiile a treia și a patra ale lui Maxwell

$$\oint_{(S)} (\vec{D} d\vec{S}) = \int_{(V)} \rho dV \qquad \operatorname{div} \vec{D} = \rho$$

Fluxul vectorului inducției electrice \vec{D} printr-o suprafață arbitrară închisă S ce nu se mișcă și nu se deformează, trasată imaginar în câmpul electromagnetic, este egal cu suma algebrică a sarcinilor libere q aflate în interiorul acestei suprafețe.

$$\oint_{(S)} (\vec{B} d\vec{S}) = 0 \qquad \operatorname{div} \vec{B} = 0$$

Fluxul vectorului inducției magnetice \vec{B} printr-o suprafață arbitrară închisă S ce nu se mișcă și nu se deformează, trasată imaginar în câmpul electromagnetic, este egal cu zero.

Tema 12. Câmpul electromagnetic

Sistemul de ecuații Maxwell. Ecuații de material

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint_{(\mathcal{L})} (\vec{E} d\vec{l}) = - \int_{(S)} \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \right), \\ \oint_{(\mathcal{L})} (\vec{H} d\vec{l}) = \int_{(S)} \left(\vec{j}_c + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}, \\ \oint_{(S)} (\vec{D} d\vec{S}) = \int_{(V)} \rho dV, \\ \oint_{(S)} (\vec{B} d\vec{S}) = 0, \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \\ \text{rot } \vec{H} = \vec{j}_c + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \\ \text{div } \vec{D} = \rho, \\ \text{div } \vec{B} = 0. \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}, \\ \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}, \\ \vec{j} = \sigma \vec{E}, \end{array} \right.$$

Sursele câmpului electric sunt sarcinile electrice și/sau câmpurile magnetice variabile. Sursele câmpurilor magnetice sunt sarcinile electrice în mișcare (curenții electrici) și/sau câmpurile electrice variabile.