ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

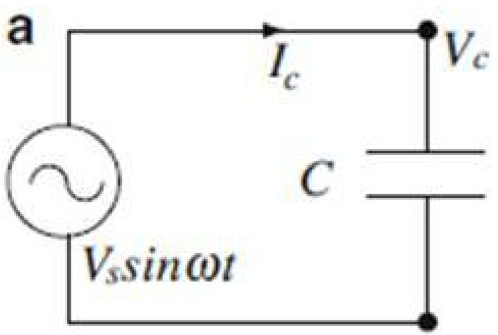
CORRENTE DE DESLOCAMENTO

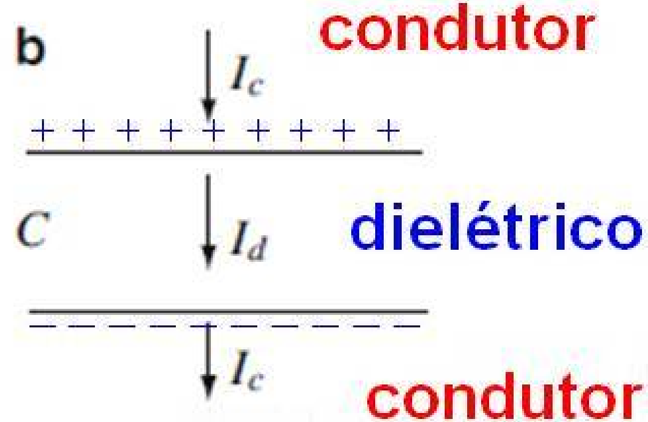
LEI DE FARADAY

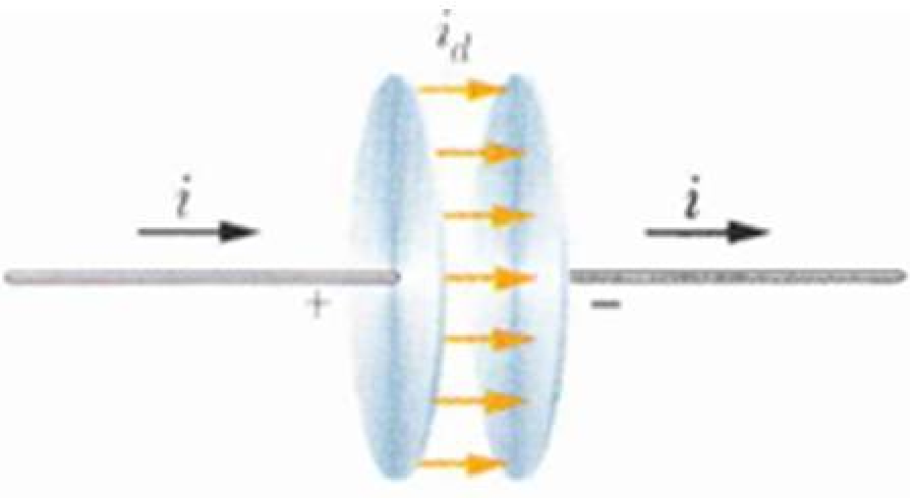
LEI DE AMPÈRE

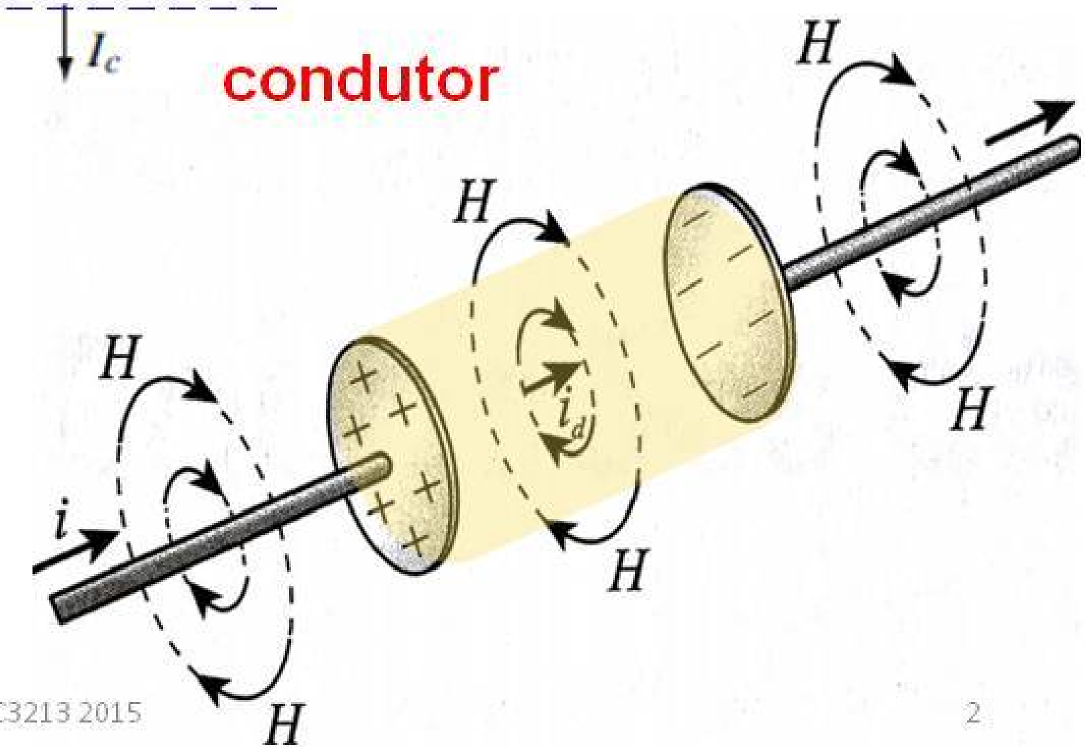
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Corrente de Deslocamento

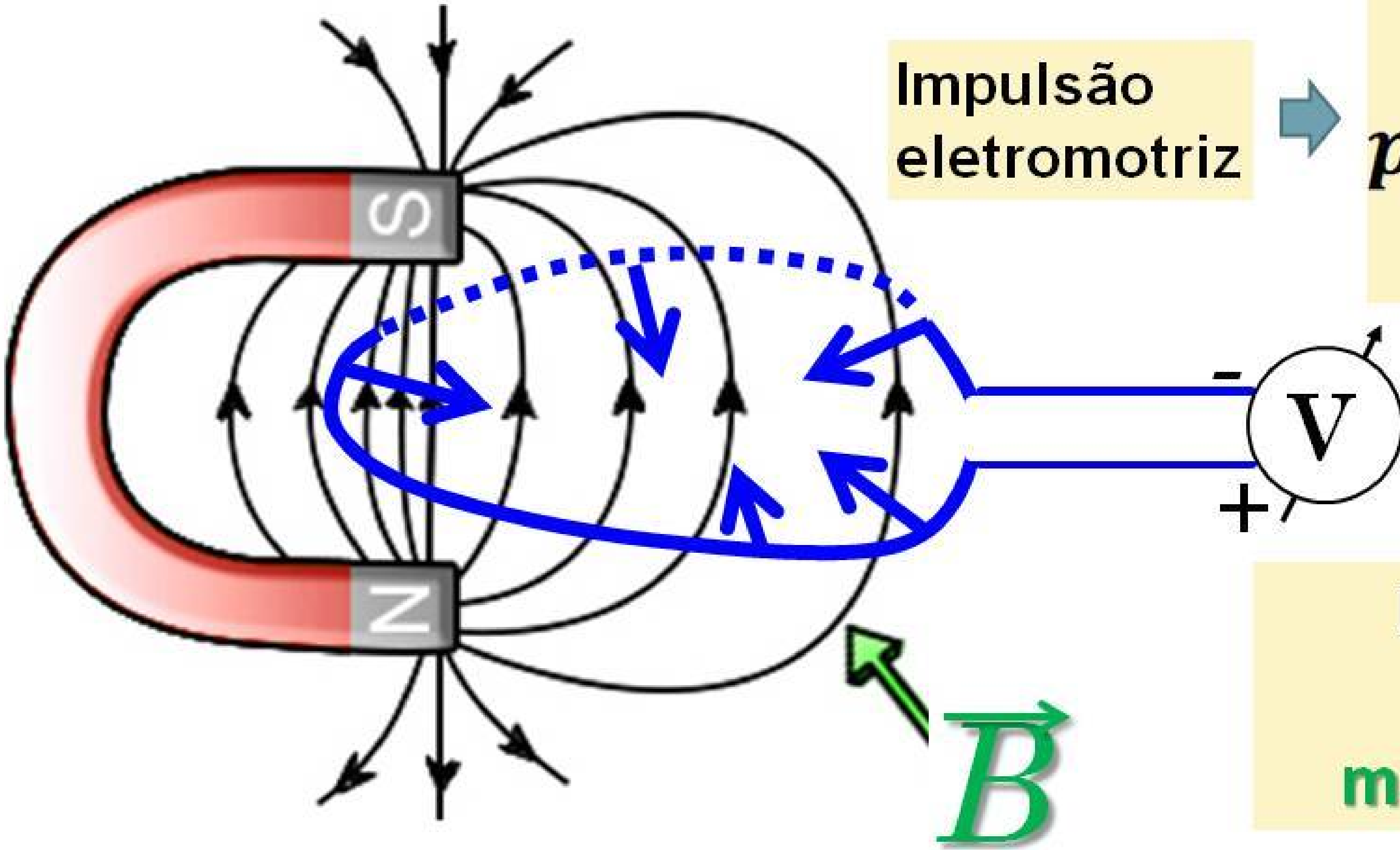








Vetor B - Densidade de Fluxo Magnético
Indução Magnética



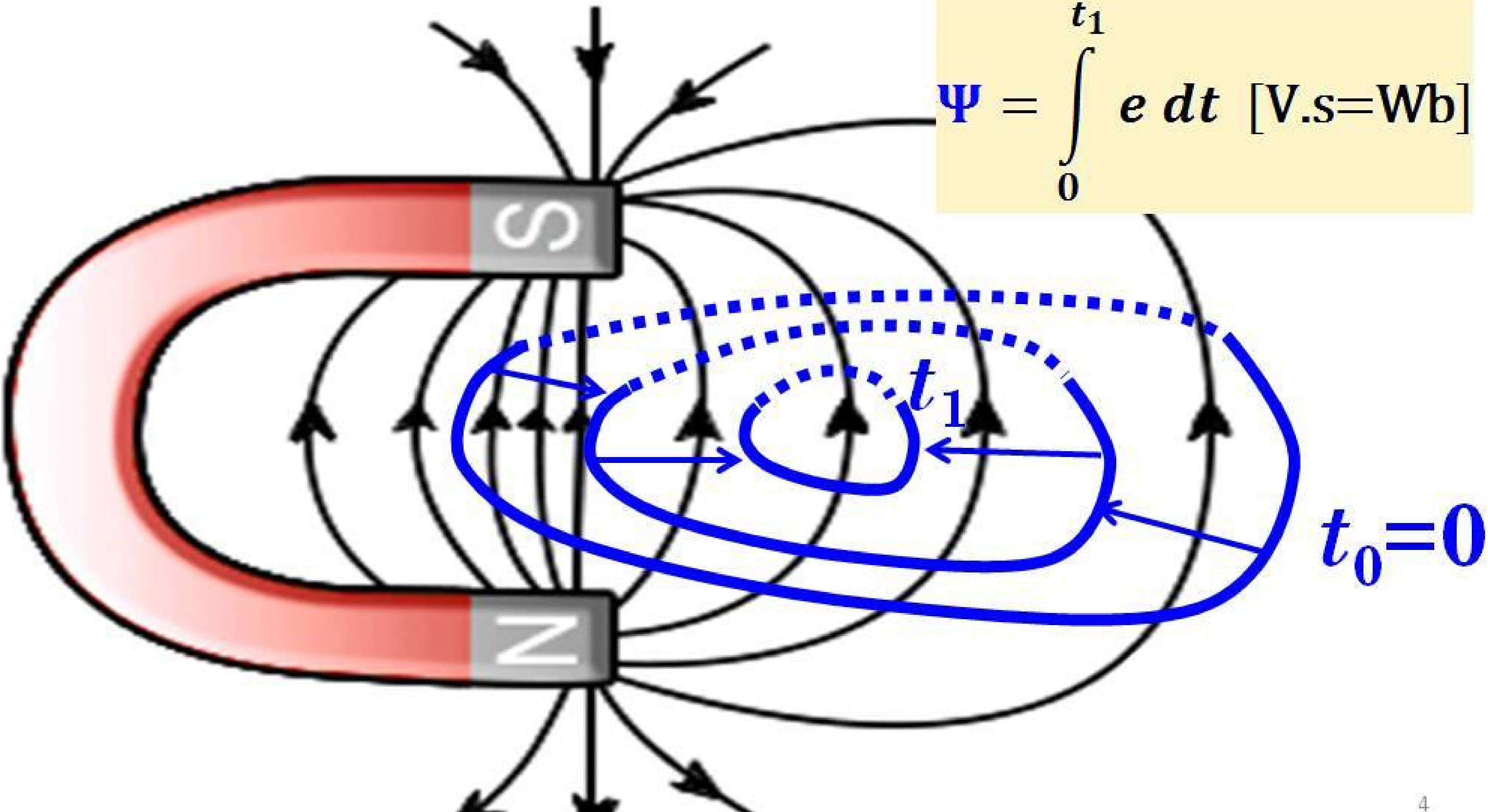
Impulsão eletromotriz

$$p = \int_0^{t_1} e\, dt$$

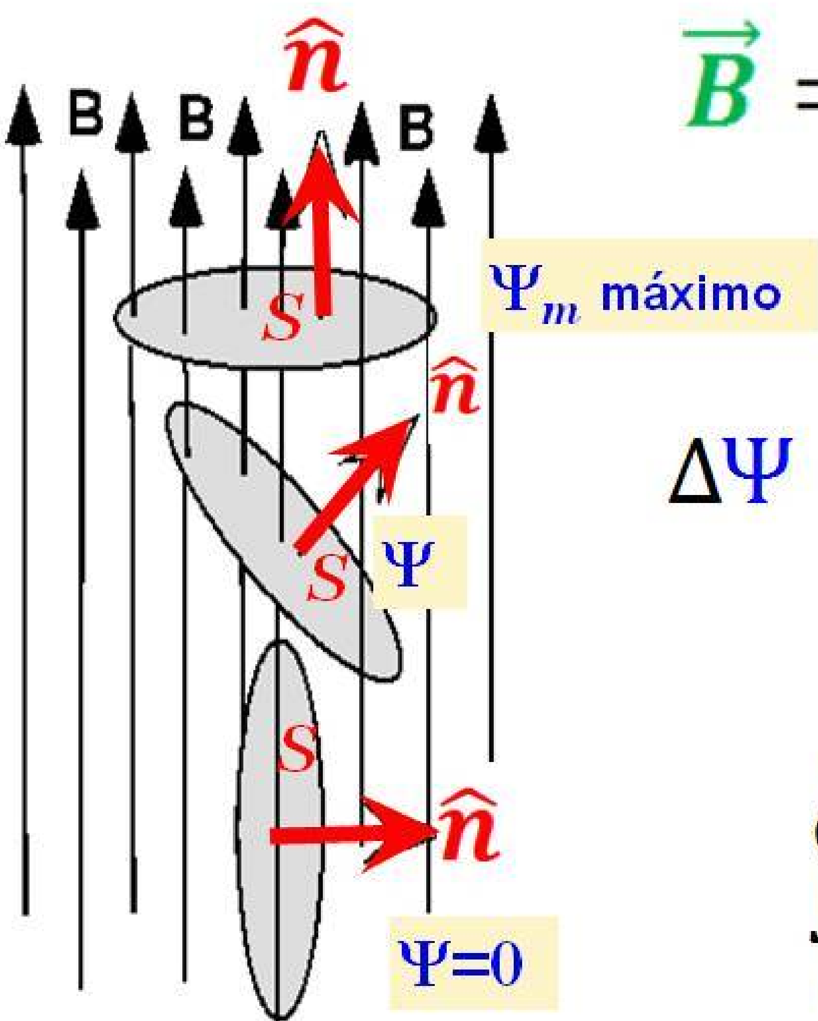
Mede o **fluxo magnético**

Fluxo Magnético Ψ

$$\Psi = \int_{0}^{t_1} e\,dt \quad [\text{V.}s\text{=Wb}]$$



Fluxo Magnético Ψ



$$\vec{B} = \hat{n} \lim_{\Delta S \to 0} \frac{\Delta \Psi_m}{\Delta S} \quad [\mathrm{Wb/m^2 = T}]$$

$$\Delta \Psi = \vec{B} \cdot \overrightarrow{\Delta S} \quad \Rightarrow \quad \Psi = \iint_S \vec{B} \cdot \overrightarrow{dS}$$

$$\oiint_\Sigma \vec{B} \cdot \overrightarrow{dS} = \mathbf{0}$$

Σ → Sup. Fechada

Densidade de Fluxo Magnético

$$\oiint_{\Sigma} \vec{B} \cdot \overrightarrow{dS} = 0$$

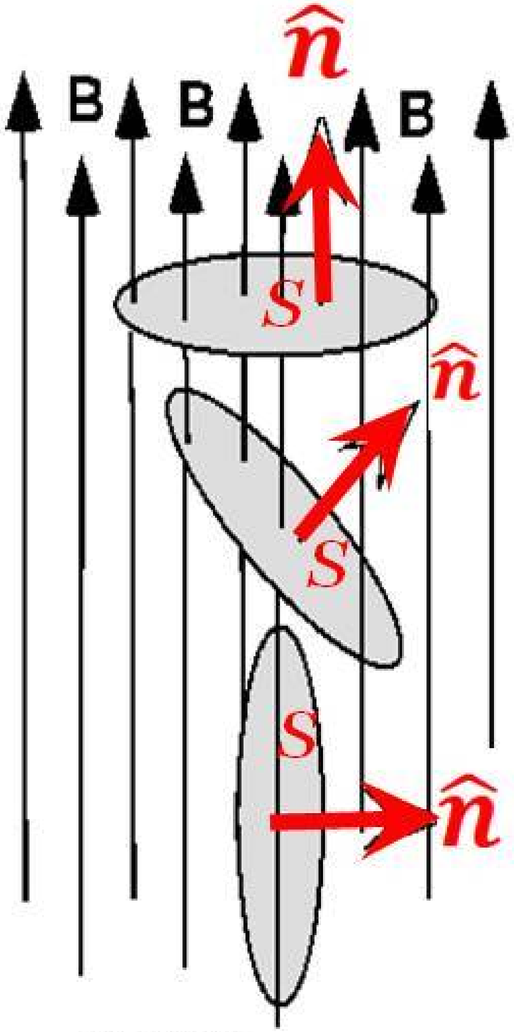
$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

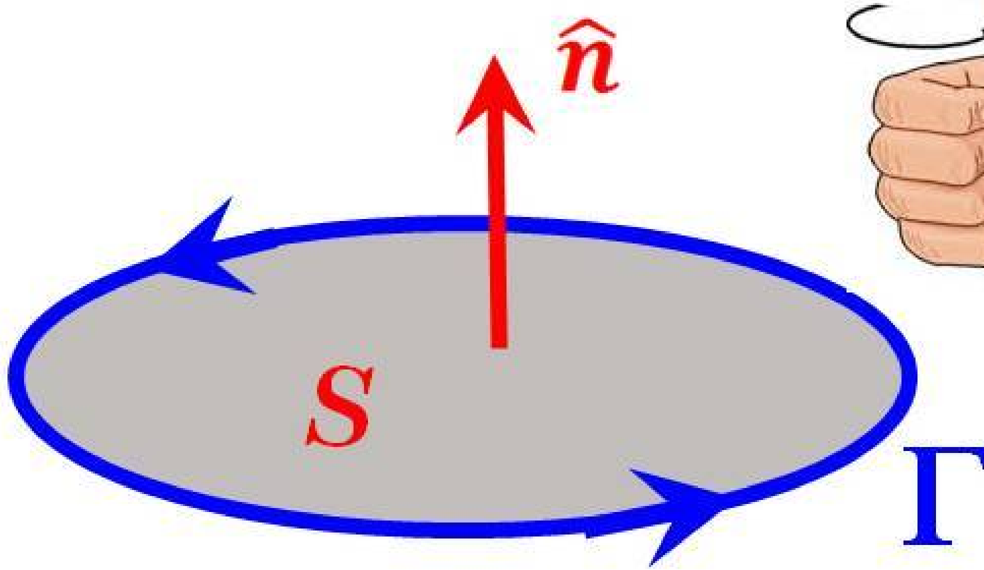
B: Campo "solenoidal"

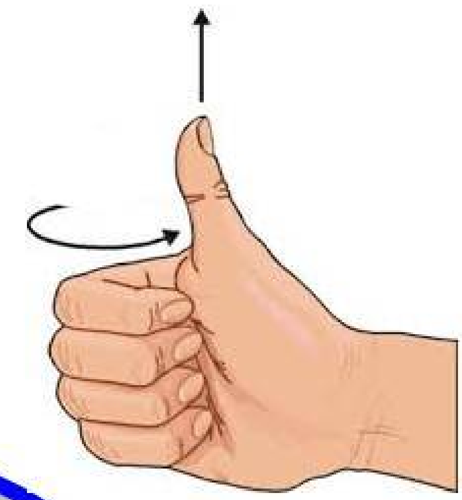
Não existem na natureza fontes ou vertedeouros de B

Linhas de B são sempre fechadas

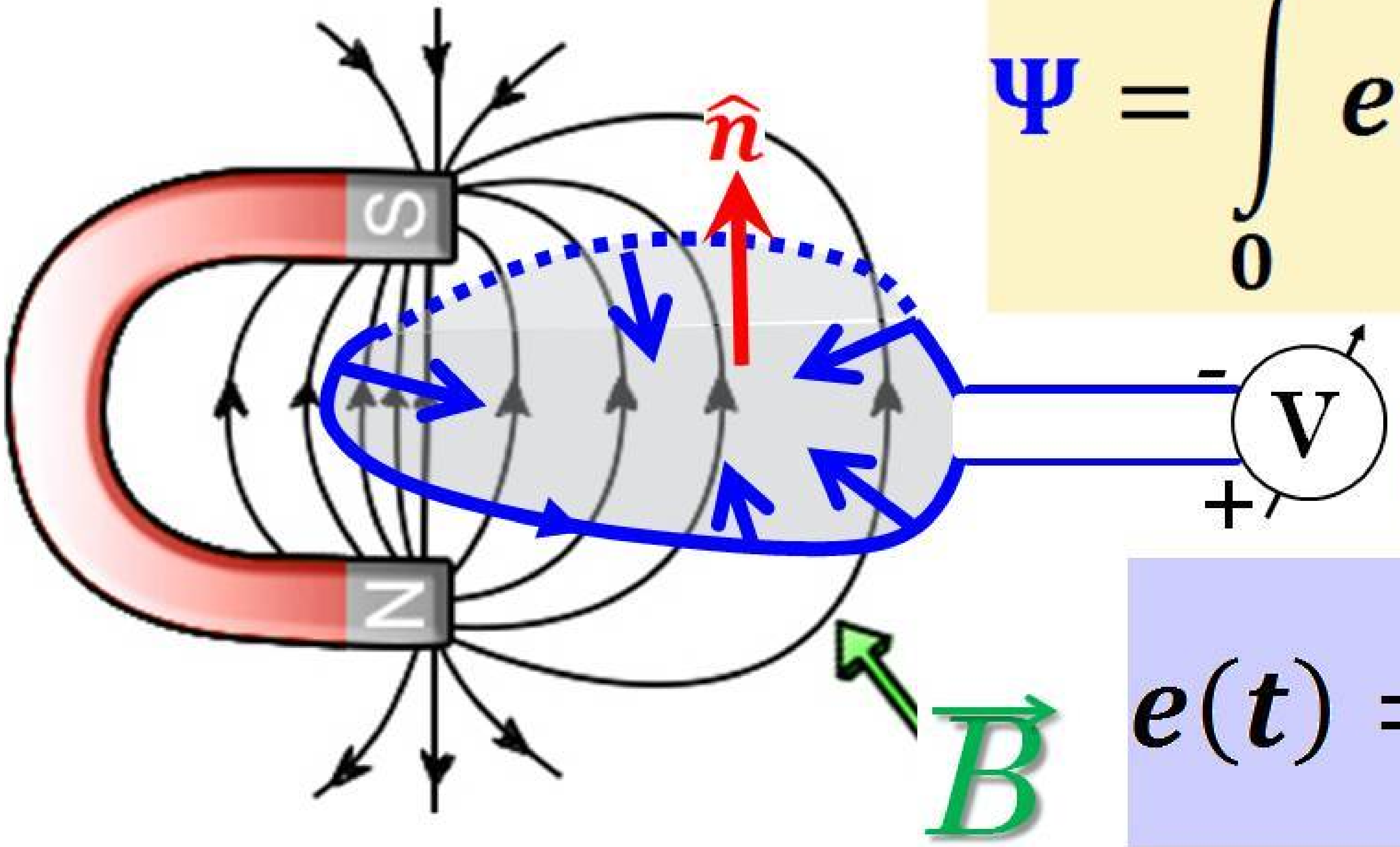
Fluxo Magnético Ψ







Lei de Faraday-Neumann – 1ª. Eq. Maxwell



$$\Psi = \int_0^t e(t')\,dt'$$

Em t, Ψ=0

$$e(t) = -\frac{d\Psi}{dt}$$

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Lei de Faraday-Neumann – 1ª. Eq. Maxwell

$$e(t) = -\frac{d\Psi}{dt}$$

→ Indicação do Voltímetro

$$e(t) = \oint_{\Gamma} \vec{E} \cdot \overrightarrow{dl}$$

$$\oint_{\Gamma} \vec{E} \cdot \overrightarrow{dl} = -\frac{d}{dt} \iint_{S} \vec{B} \cdot \overrightarrow{dS}$$

1ª. Eq. Maxwell
Forma
Integral

Lei de Faraday-Neumann – 1ª. Eq. Maxwell

$$\oint_{\Gamma} \vec{E} \cdot \overrightarrow{dl}$$

Teorema de Stokes

$$\oint_{\Gamma} \vec{E} \cdot \overrightarrow{dl} = \iint_{S} \nabla \times \vec{E} \cdot \overrightarrow{dS}$$

$$\iint_{S} \nabla \times \vec{E} \cdot \overrightarrow{dS} = -\iint_{S} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \overrightarrow{dS}$$

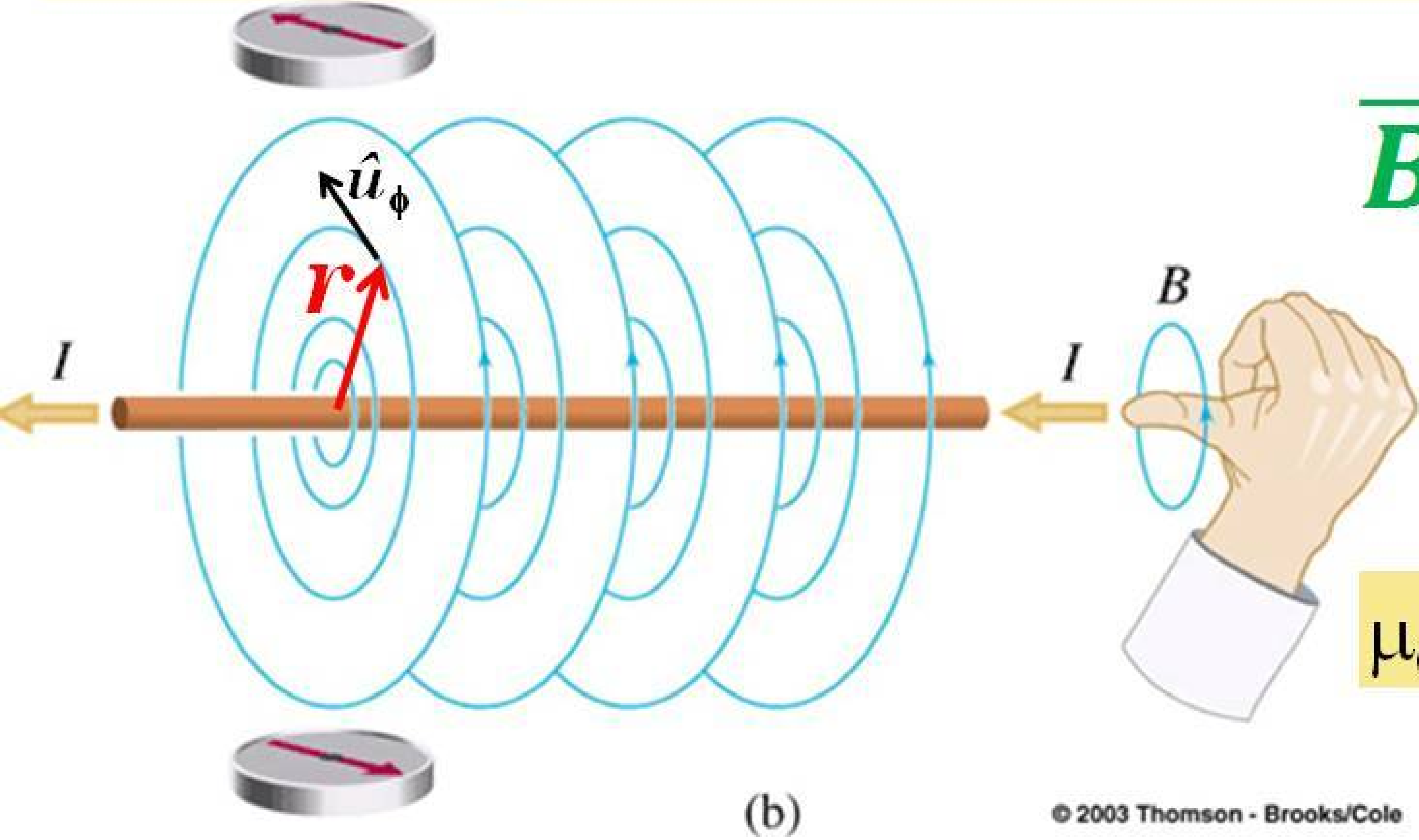
$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

1ª. Eq. Maxwell
Forma
Diferencial

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Vetor H – Intensidade de Campo Magnético

Oersted: Agulha de bússola deflexiona próximo à I



$$\vec{B} = k\frac{I}{r}\hat{u}_\phi$$

$$k = \mu_0/2\pi$$

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

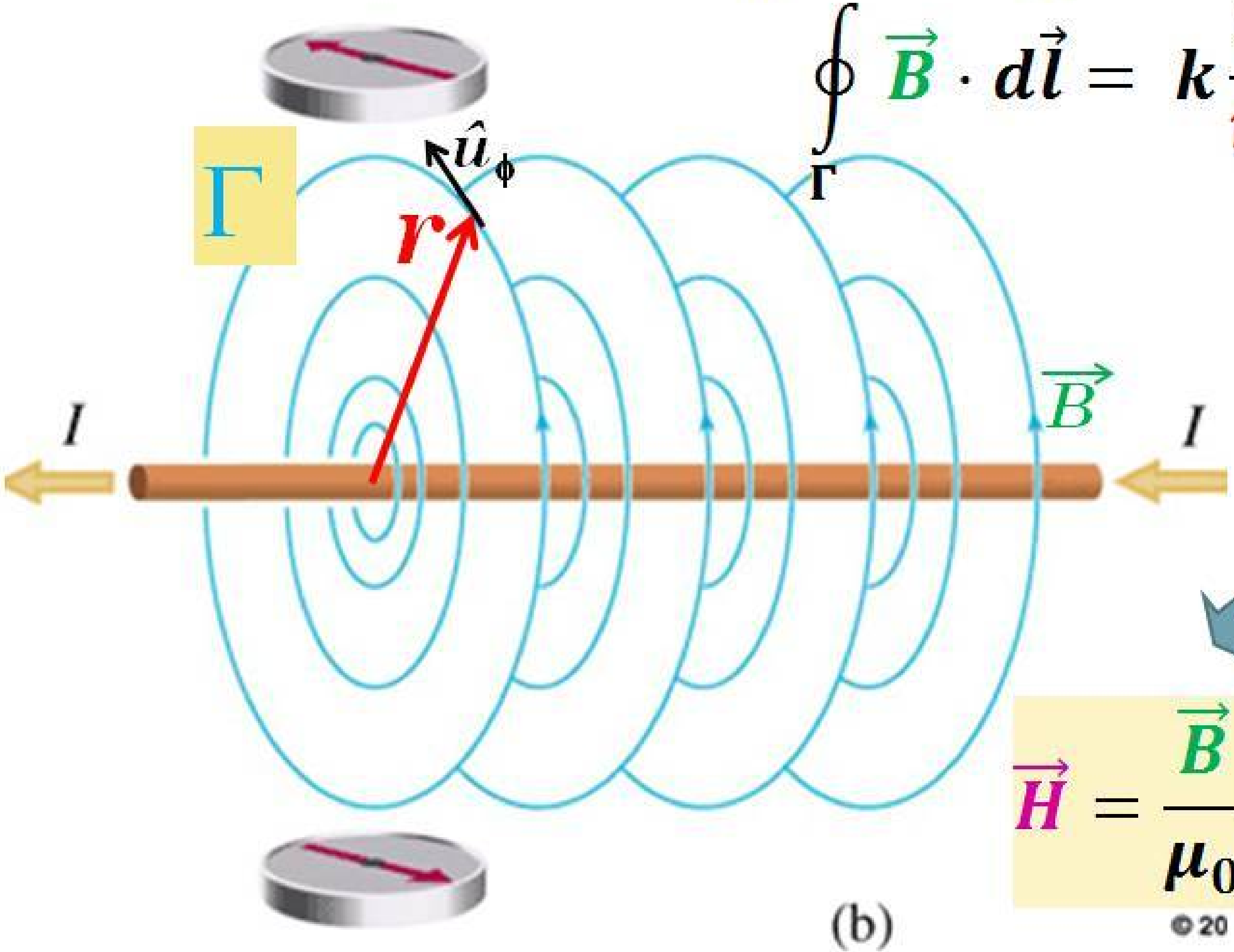
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Campo Magnético H

$$\oint_\Gamma \vec{B}\cdot d\vec{l} = k\frac{I}{r}2\pi r = k2\pi I = \mu_0 I$$

$$\oint_\Gamma \vec{B}\cdot d\vec{l} = = \mu_0 I$$

$$\oint_\Gamma \frac{\vec{B}}{\mu_0}\cdot d\vec{l} = = I$$



$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0}$$

$$\oint_\Gamma \vec{H}\cdot d\vec{l} = = I$$

Lei de Ampère – 2ª. Eq. Maxwell

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{l} = = I$$

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{l} = = \oiint_{S} \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

Forma Integral

Teorema de Stokes

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot \overrightarrow{dl} = \iint_{S} \nabla \times \vec{H} \cdot \overrightarrow{dS}$$

$$\iint_{S} \nabla \times \vec{H} \cdot \overrightarrow{dS} = \iint_{S} \vec{J} \cdot \overrightarrow{dS}$$

$$\nabla \times \overrightarrow{H} = \vec{J}$$

Forma Diferencial

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

2ª. Eq. Maxwell

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \Rightarrow \nabla \cdot \left(\nabla \times \vec{H} \right) = 0$$

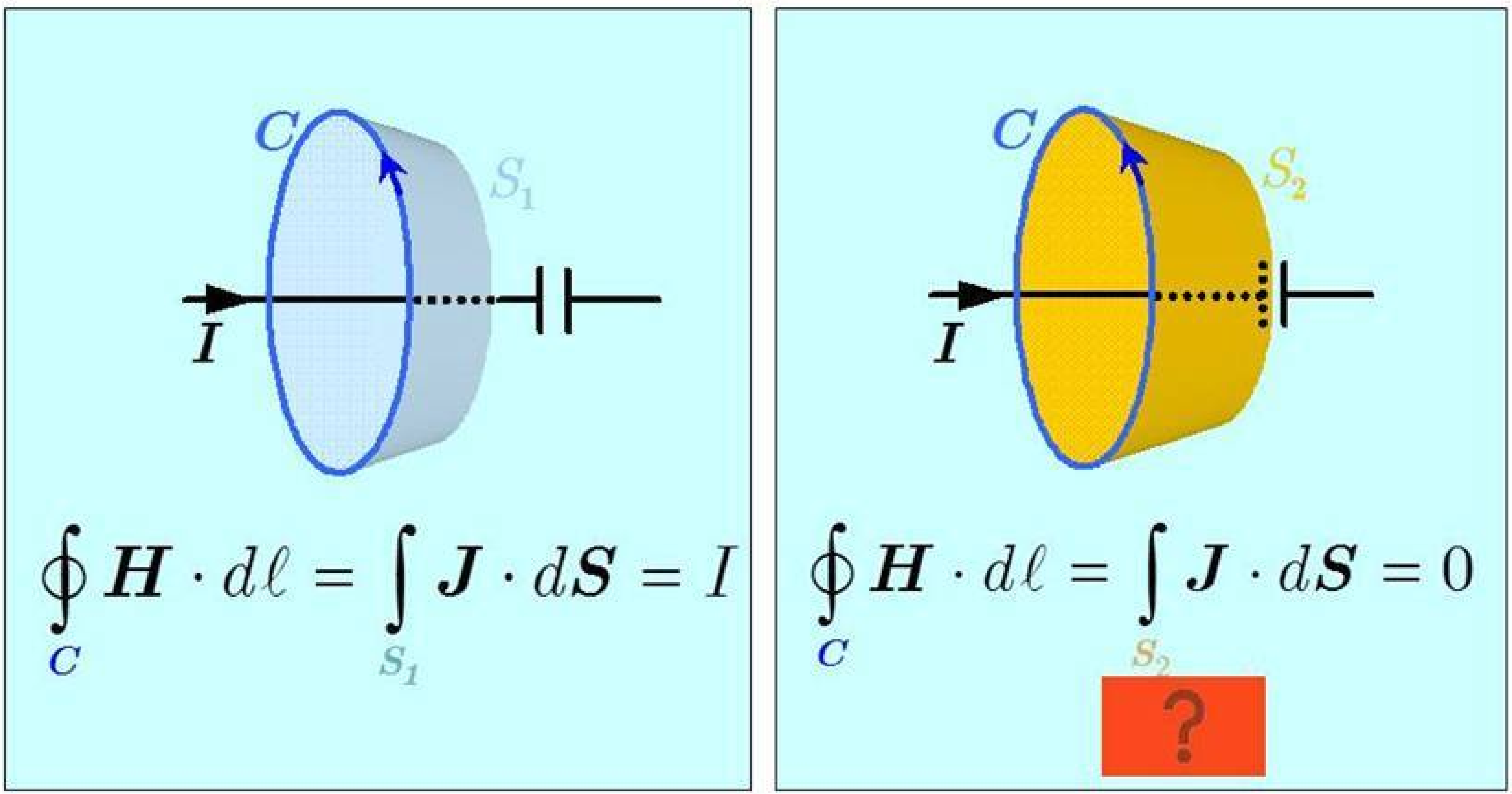
$$\Downarrow$$

$$\nabla \cdot \vec{J} = 0 \quad ??$$

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{l} = = \oiint_{S} \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

2ª. Eq. Maxwell – Ex.: Corrente no Capacitor



2ª. Eq. Maxwell – Ex.: Corrente no Capacitor

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{l} = = \iint_{S_1} \vec{J} \cdot \vec{ds} = I_c$$

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{l} = = \iint_{S_2} \vec{J} \cdot \vec{ds} = I_D$$

$$\left.\right\} I_C = I_D = I$$

Fonte de H – Densidade TOTAL de Corrente

$$\nabla \cdot \vec{J} + \frac{\partial \rho_V}{\partial t} = 0 \quad \Rightarrow \quad \nabla \cdot \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) = 0$$

$$\vec{J}_D = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad [\mathrm{A/m^2}]$$

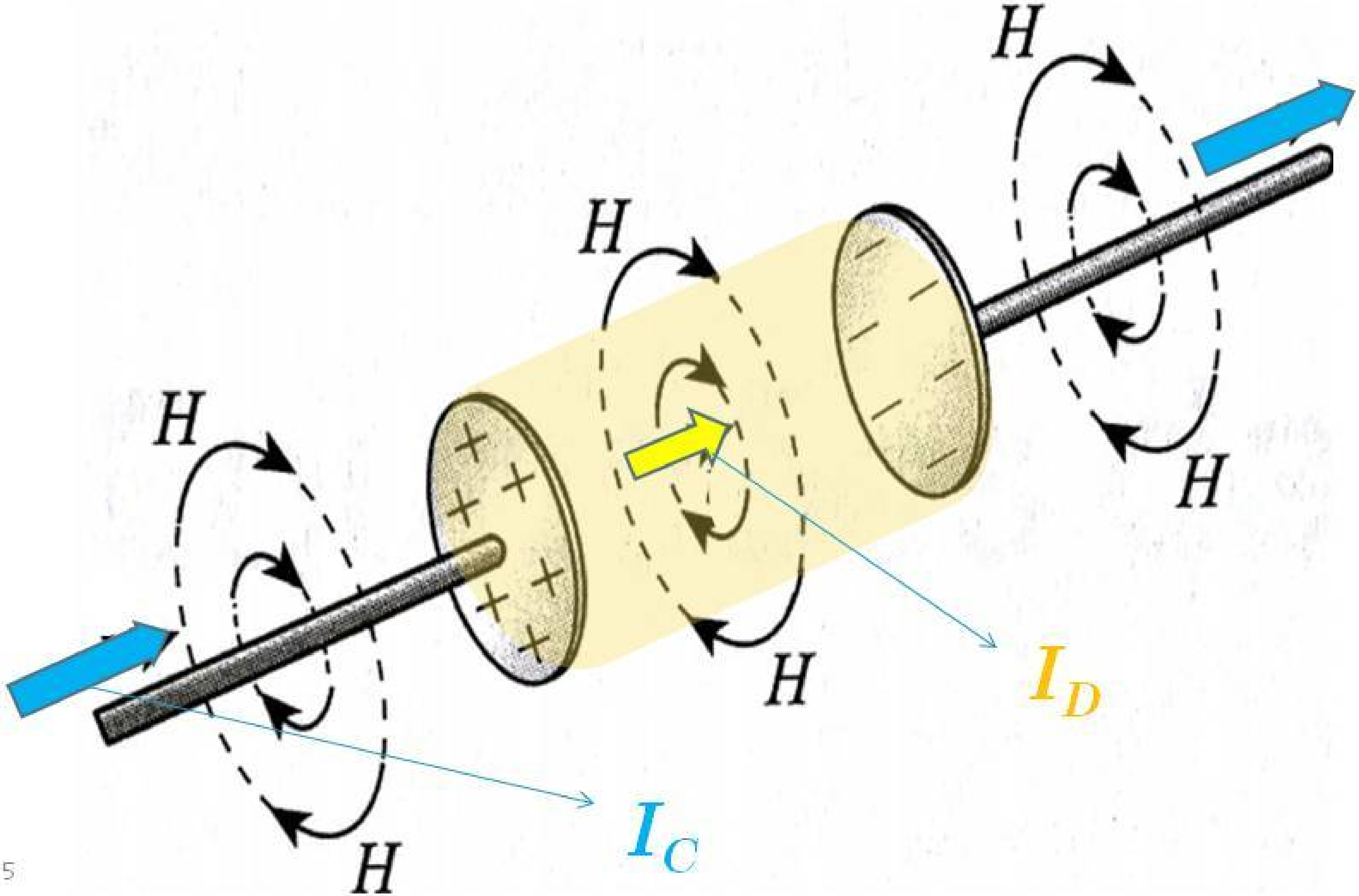
$$\vec{J} + \vec{J}_D = \vec{C}$$

- $\vec{J}$: Dens. Corrente de Condução
- $\vec{J}_D$: Dens. Corrente de Deslocamento
- $\vec{C}$: Dens. TOTAL de Corrente

$$\nabla \cdot \vec{C} = 0$$

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Corrente e Campo H no Capacitor



Lei de Ampère - 2ª. Eq. Maxwell

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Forma Diferencial

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{l} = = \iint_{S} \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot \overrightarrow{dS}$$

Forma Integral