



Maxwell's equations

Electric field

Magnetic field

Maxwell's 2-2 equations

magnetic field

$oh$

$I$

$e$

$$\text{oh} = \chi - \frac{2}{\epsilon} - \frac{D}{\epsilon_0}$$

$$\int \mathbf{v} = \mathbf{e} - \mathbf{h}$$

field field

$$e = \frac{h}{\lambda}$$

$$\frac{e \hbar^2}{2m} = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

$$oh^2 = Z \alpha = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

$$oh^2 = e^2 = \frac{1}{\epsilon_0}$$

# Теорія змінного електромагнітного поля

Семен ЖИЛА

# Рівняння Максвелла для постійного електромагнітного поля



$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} \\ \operatorname{div} \mu_0 \vec{H} = 0 \\ \operatorname{rot} \vec{E} = 0 \\ \operatorname{div} \vec{D} = \rho \end{array} \right.$$

$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$

# Перше рівняння Максвелла для змінного електромагнітного поля



$$\text{rot } \vec{H} = \vec{j} + \vec{j}_{zm} = g \vec{E} + \epsilon_a \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

↑ струм провідності

↑ струм зміщення

У ідеальному середовищі:  $\text{rot } \vec{H} = \epsilon_a \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

$$\text{rot } \vec{H} = \begin{vmatrix} \vec{i}_x & \vec{i}_y & \vec{i}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ H_x & H_y & H_z \end{vmatrix} = \vec{i}_x \left( \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) + \vec{i}_y \left( \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) + \vec{i}_z \left( \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right)$$

# Перше рівняння Максвелла для змінного електромагнітного поля

Electric field



$$\begin{cases} \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} = g E_x + \epsilon_a \frac{\partial E_x}{\partial t} \\ \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} = g E_y + \epsilon_a \frac{\partial E_y}{\partial t} \\ \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = g E_z + \epsilon_a \frac{\partial E_z}{\partial t} \end{cases}$$

$$\int_S \text{rot } \vec{H} d\vec{S} = \int_S \left( \vec{j} dS + \epsilon_a \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) dS = I + I_{zm} = I_{\text{новн.}}$$

# Перше рівняння Максвелла для змінного електромагнітного поля

Electric field



$$\begin{cases} \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} = g E_x + \epsilon_a \frac{\partial E_x}{\partial t} \\ \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} = g E_y + \epsilon_a \frac{\partial E_y}{\partial t} \\ \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = g E_z + \epsilon_a \frac{\partial E_z}{\partial t} \end{cases}$$

$$\int_S \text{rot } \vec{H} d\vec{S} = \int_S \left( \vec{j} ds + \epsilon_a \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) dS = I + I_{zm} = I_{\text{ноб.}}$$

За теоремою Стокса:  $\int_S \text{rot } \vec{H} d\vec{S} = \oint_L \vec{H} d\vec{e}$ , тоді

$$\oint_L \vec{H} d\vec{e} = I + \frac{\partial \Phi_E}{\partial t}$$

,  $\Phi_E$  - потік вектора електричної індукції

# Друге рівняння Максвелла для змінного електромагнітного поля

Electric field

Electric field

$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$   
 $\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$   
 $\nabla \cdot \vec{B} = 0$   
 $\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$



$$EPC = - \frac{\partial \varphi_H}{\partial t}, \quad \varphi_H = \int_S \mu_0 \vec{H} \cdot d\vec{S}$$

$$EPC = \oint_L \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$

$$\text{rot } \vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = -\mu_0 \frac{\partial H_x}{\partial t} \\ \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -\mu_0 \frac{\partial H_y}{\partial t} \\ \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -\mu_0 \frac{\partial H_z}{\partial t} \end{cases}$$

# Повні системи рівнянь Максвелла



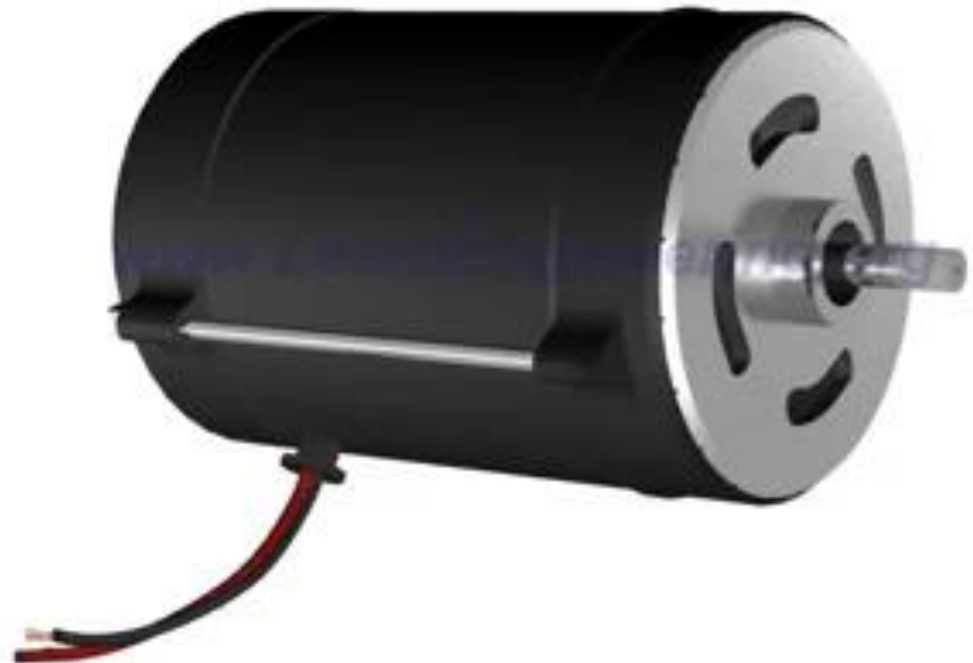
В диференціальній формі

В інтегральній формі

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{rot } \vec{H} = \vec{j} + \epsilon_a \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \\ \text{rot } \vec{E} = -\mu_a \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \\ \text{div } \epsilon_a \vec{E} = \rho \\ \text{div } \mu_a \vec{H} = 0 \end{array} \right. \quad j = gE$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint_L \vec{H} d\vec{l} = I + \frac{\partial \varphi_E}{\partial t} \\ \oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\frac{\partial \varphi_H}{\partial t} \\ \int_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_{i=1}^N q_i \\ \int_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \end{array} \right.$$

# Повні системи рівнянь Максвелла





# Повні системи рівнянь Максвелла

Maxwell's equations

Electric field



Special Thanks  
Sajith K V

[www.LearnEngineering.org](http://www.LearnEngineering.org)

# Повні системи рівнянь Максвелла

Maxwell's equations

Electric field



# Повні системи рівнянь Максвелла

Maxwell's equations

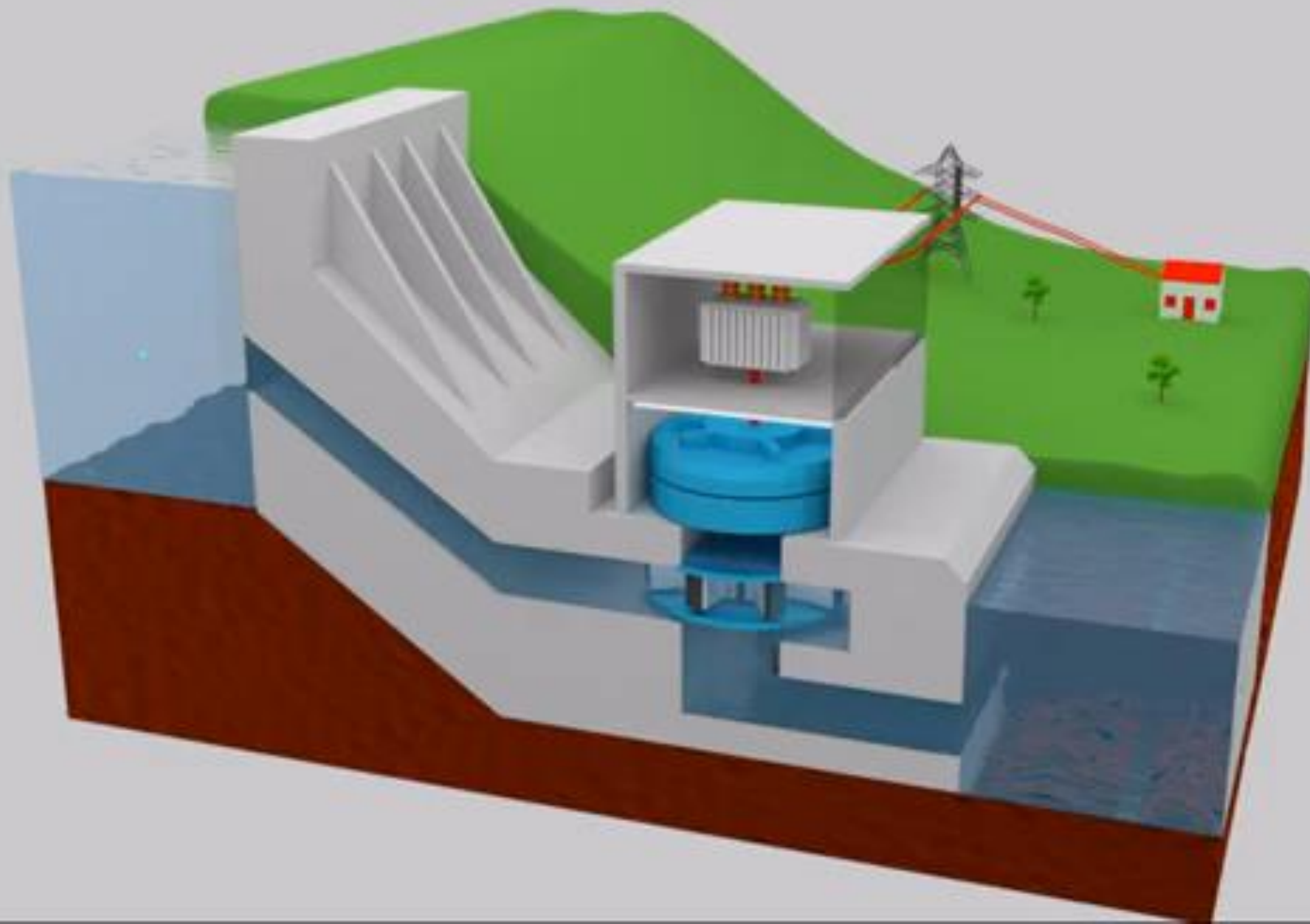
Electric field



# Повні системи рівнянь Максвелла

Maxwell's equations

Electric field



# Повні системи рівнянь Максвелла

Maxwell's equations

Electric field





1. Які математичні вирази входять до систем рівнянь Максвелла в диференціальній та інтегральній формах?
2. Чи достатньо наведеної у лекції системи рівнянь Максвелла в диференціальній або інтегральній формах для повного опису електромагнітних полів та їх хвильового характеру?
3. Які рівняння описують взаємозв'язок між змінними магнітними та електричними полями?



**Дякую за увагу!**