



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Phát biểu luận điểm thứ nhất

Phương trình Maxwell-Faraday



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Phát biểu luận điểm thứ nhất

Mọi từ trường biến thiên theo thời gian đều xuất
hiện điện trường xoáy.



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Phát biểu luận điểm thứ nhất

Phương trình Maxwell-Faraday

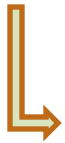


Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell



Phương trình Maxwell-Faraday

Xét một mạch dẫn kín (C) đặt trong từ trường biến thiên. Sức điện động cảm ứng có thể xác định bằng hai cách sau:

$$\varepsilon_c = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S}$$

$$\varepsilon_c = \oint_{(C)} \vec{E} d\vec{l}$$

$$\oint_{(C)} \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

Phương trình
Maxwell-Faraday
dạng tích phân



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell



Phương trình Maxwell-Faraday

Có thể viết phương trình Maxwell-Faraday dạng vi phân dựa vào định lý Stokes như sau:

$$\oint_{(C)} \vec{E} d\vec{l} = \int_S \text{rot} \vec{E} d\vec{S} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

Theo định lý Stokes



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



Phương trình Maxwell-Faraday
dạng vi phân



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Phát biểu luận điểm thứ hai

Biểu thức của mật độ dòng điện dịch

Phương trình Maxwell-Ampere



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Phát biểu luận điểm thứ hai

Biểu thức của mật độ dòng điện dịch

Phương trình Maxwell-Ampere



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Phát biểu luận điểm thứ hai

Mọi điện trường biến thiên theo thời gian đều xuất hiện một từ trường biến thiên



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Phát biểu luận điểm thứ hai

Biểu thức của mật độ dòng điện dịch

Phương trình Maxwell-Ampere



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Biểu thức của mật độ dòng điện dịch

Xét hai bản tụ điện có diện tích S và có tích điện tích mặt trên bề mặt bản tụ. Theo định lý Gauss ta có:

$$\begin{aligned} \oint_{(S)} \vec{D} d\vec{S} &= Q \\ \oint_{(S)} D dS &= \oint_{(S)} \sigma dS \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \frac{dD}{dt} = \frac{d\sigma}{dt} \quad \leftarrow \sigma = \frac{Q}{S}$$
$$\Rightarrow \frac{dD}{dt} = \frac{1}{S} \frac{dQ}{dt} = \frac{i_{dich}}{S} = j_{dich}$$
$$\Rightarrow \vec{j}_{dich} = \frac{d\vec{D}}{dt} \quad - \text{mật độ dòng điện dịch}$$

$\Rightarrow D = \sigma$



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Phát biểu luận điểm thứ hai

Biểu thức của mật độ dòng điện dịch

Phương trình Maxwell-Ampere



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Phương trình Maxwell-Ampere

Theo như phần trên thì dòng điện toàn phần phải bao gồm dòng điện dẫn và dòng điện dịch. Như vậy định luật Ampere theo điều chỉnh của Maxwell sẽ như sau:

$$\oint_{(l)} \vec{H} d\vec{l} = I_{total} = \oint_{(S)} \vec{j}_{total} d\vec{S}$$

$$\text{mà } \vec{j}_{total} = \vec{j}_{dan} + \vec{j}_{dich}$$

$$\text{và } \vec{j}_{dan} = \gamma \vec{E}; \quad \vec{j}_{dich} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \oint_{(l)} \vec{H} d\vec{l} = \oint_{(S)} \left(\vec{j}_{dan} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S} \quad \text{- Phương trình Maxwell-Ampere dạng tích phân}$$



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Phương trình Maxwell-Ampere

Có thể viết phương trình Maxwell-Faraday dạng vi phân dựa vào định lý Stokes như sau:

$$\oint_{(l)} \vec{H} d\vec{l} = \oint_{(S)} \text{rot} \vec{H} \cdot d\vec{S} = \oint_{(S)} \left(\vec{j}_{dan} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

Định lý Stokes

Định luật Maxwell-Ampere

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

- Phương trình Maxwell-Ampere dạng vi phân



Ví dụ: mật độ dòng điện

Điện trường trong một tụ điện phẳng có dạng $E = E_0 \sin(\omega t)$ với E_0 , tần số f , khoảng cách giữa hai bản d , điện dung của tụ điện C là các đại lượng đã biết. Tìm:

1. Giá trị cực đại của dòng điện dịch.
2. Độ dẫn điện. Biết giá trị cực đại của dòng điện dịch bằng một nửa giá trị cực đại dòng điện dẫn.

$$\begin{aligned} i_{dich} &= \vec{j}_{dich} \vec{S} \longrightarrow S = \frac{Cd}{\epsilon_0 \epsilon} \\ \vec{j}_{dich} &= \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\ \vec{D} &= \epsilon_0 \epsilon \vec{E} \\ i_{dichmax} &= 2CdE_0\pi f \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \vec{j}_{dan} &= \gamma \vec{E} \\ \Rightarrow \gamma &= \frac{\vec{j}_{dan}}{\vec{E}} \\ i_{dichmax} &= 0.5 i_{danmax} \\ \Rightarrow \vec{j}_{dichmax} \vec{S} &= 0.5 \vec{j}_{danmax} \vec{S} \\ \Rightarrow \vec{j}_{danmax} &= 2 \vec{j}_{dichmax} \end{aligned}$$



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Trường điện từ

Hệ phương trình Maxwell



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Trường điện từ

Hệ phương trình Maxwell



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Trường điện từ

Từ hai luận điểm nêu trên của Maxwell có thể đưa ra kết luận là từ trường biến thiên làm xuất hiện điện trường biến thiên VÀ điện trường biến thiên thì sinh ra từ trường biến thiên. Do đó mà trường điện E và trường từ B lan truyền trong không gian dưới dạng sóng, gọi là sóng điện từ.

Trường điện từ có mang năng lượng.



Trường điện từ

Sóng trường điện từ

Xét môi trường truyền sóng trong chân không hoặc điện môi. $Q=0$

→ $Q = \rho.V \Rightarrow \rho = 0$. Độ dẫn điện $\gamma = 0$.

$$\begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \text{div} \vec{D} = \rho \\ \text{div} \vec{B} = 0 \\ \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \text{rot} \vec{H} = \gamma \vec{E} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{div} \vec{D} = 0 \\ \text{div} \vec{B} = 0 \\ \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \text{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{array} \end{array}$$
$$\begin{array}{l} \text{rot.rot} \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \text{rot} \vec{B} \\ \text{rot.rot} \vec{E} = \nabla.\text{div} \vec{E} - \nabla^2 \vec{E} = -\nabla^2 \vec{E} \\ \text{rot} \vec{B} = \mu\mu_0.\text{rot} \vec{H} = \mu\mu_0 \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \epsilon_0\mu\mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{array}$$

Đặt $v^2 = \frac{1}{\epsilon_0\mu\mu_0}$

Phương trình truyền sóng cho **điện trường**

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

Phương trình truyền sóng cho **từ trường**

$$\nabla^2 \vec{B} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0$$



Trường điện từ

Xét vận tốc truyền sóng

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} 4\pi \cdot 10^{-7}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{9 \cdot 10^{16}}}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = c$$

Vậy

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$

Trong đó c là vận tốc ánh sáng trong chân không. Như vậy ánh sáng cũng có tính chất điện từ.

Đặt $n = \sqrt{\epsilon \mu}$, n gọi là chiết suất tuyệt đối của môi trường. Do $n > 1$ nên vận tốc truyền sóng điện từ trong môi trường khác chân không có:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{n} < c$$



Trường điện từ

Sóng điện từ đơn sắc phẳng

Sóng điện từ được gọi là đơn sắc phẳng nếu thỏa mãn các điều kiện sau.

1. Sóng điện từ là sóng ngang chỉ phụ thuộc vào một tọa độ.
2. Cả điện trường và từ trường đều vuông góc với phương truyền sóng và tạo thành tam diện thuận như sau:

$$\vec{E} \times \vec{H} = \text{phương truyền sóng}$$

3. Điện trường và từ trường dao động cùng pha, và trị số thỏa mãn phương trình:

$$\sqrt{\epsilon_0} |\vec{E}| = \sqrt{\mu \mu_0} |\vec{H}|$$



Ví dụ 1

Cho biểu thức cảm ứng ứng từ của sóng điện từ đơn sắc phẳng:

$$B = 3.10^{-8} \cos(100\pi t - 10^{-6} \pi x) (\text{T})$$

t đo bằng giây, x đo bằng m. Tìm biểu thức cường độ điện trường E của sóng điện từ đó.

$$\sqrt{\epsilon_0} |\vec{E}| = \sqrt{\mu\mu_0} |\vec{H}|$$

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

$$\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} = 3.10^8 \text{ m/s} = c$$

$$\Rightarrow E = 9 \cos(100\pi t - 10^{-6} \pi x) (\text{V/m})$$



Ví dụ 2

Vector cường độ điện trường của một trường điện từ có dạng:

$$\vec{E}(z, t) = 15 \cos(6\pi t - 4\pi \cdot 10^{-8} z) \vec{e}_x \text{ (T)}$$

t đo bằng giây, z đo bằng m. Tìm vector cường độ từ trường của sóng điện từ đó.

$$\begin{aligned} \text{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \Rightarrow d\vec{B} = -\text{rot} \vec{E} \cdot dt \\ &\Rightarrow \vec{B} = -\int \text{rot} \vec{E} \cdot dt \end{aligned}$$

$$\text{rot} \vec{E} = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & 0 & 0 \end{vmatrix}$$



Ví dụ 2

$$\text{rot}\vec{E} = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & 0 & 0 \end{vmatrix} = \vec{e}_x \cdot 0 - \vec{e}_y \left(0 - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right) + \vec{e}_z \cdot 0 = \frac{\partial E_x}{\partial z} \vec{e}_y$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \vec{B} &= - \int \frac{\partial E_x}{\partial z} \cdot dt \cdot \vec{e}_y \\ &= - \int (-)(-4\pi \cdot 10^{-8}) 15 \sin(6\pi t - 4\pi \cdot 10^{-8} z) \cdot dt \cdot \vec{e}_y \end{aligned}$$

$$= -4\pi \cdot 10^{-8} \cdot 15 \cdot \frac{1}{6\pi} (-) \cos(6\pi t - 4\pi \cdot 10^{-8} z) \vec{e}_y$$

$$\Rightarrow \vec{H} = \frac{10^{-7}}{\mu\mu_0} \cos(6\pi t - 4\pi \cdot 10^{-8} z) \vec{e}_y$$



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

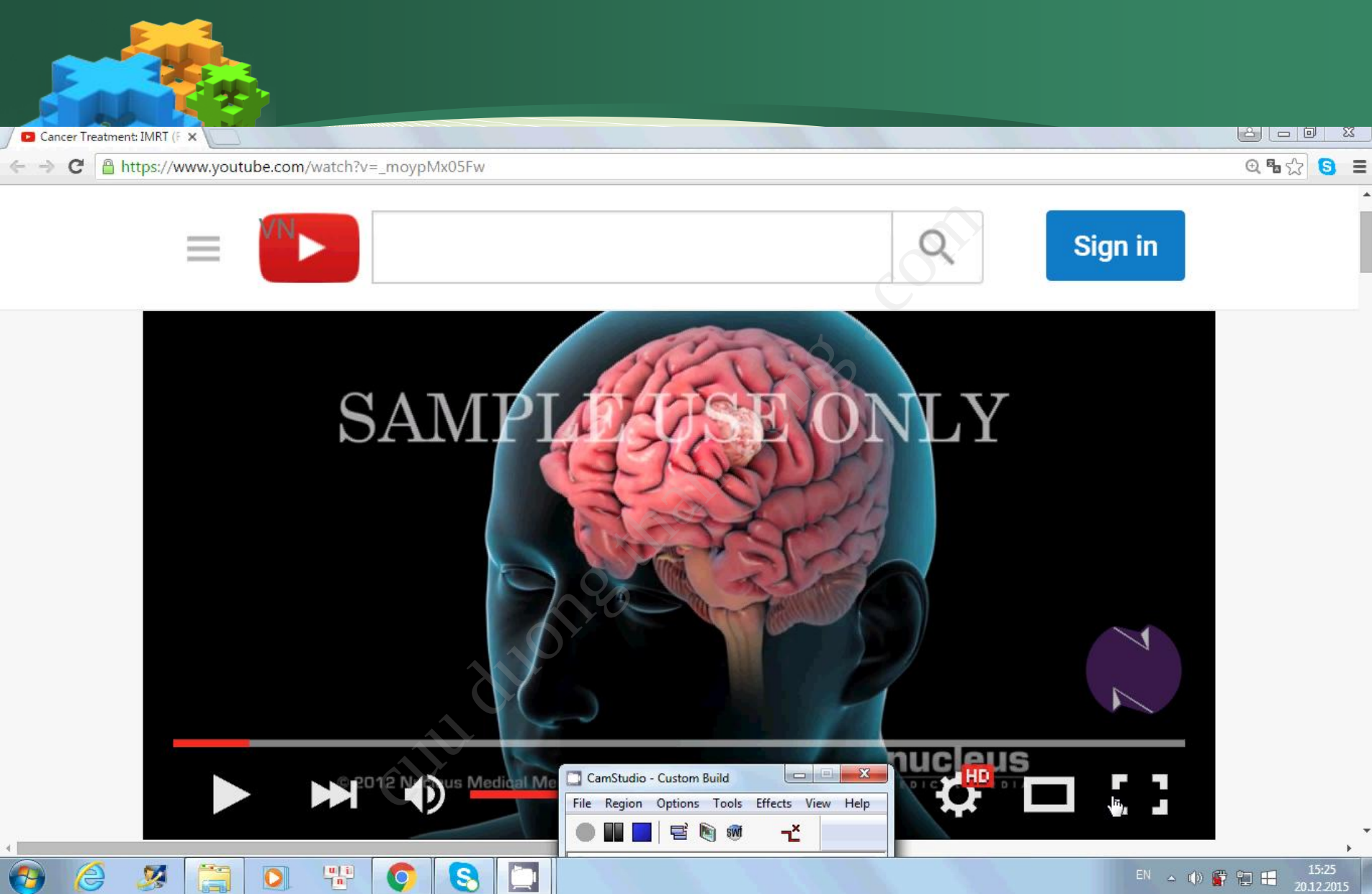
Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Năng lượng trường điện từ W

$$W = W_e + W_m = \int_V \frac{\vec{E} \cdot \vec{D}}{2} dV + \int_V \frac{\vec{B} \cdot \vec{H}}{2} dV$$
$$= \int_V \left(\frac{\vec{E} \cdot \vec{D}}{2} + \frac{\vec{B} \cdot \vec{H}}{2} \right) dV = \int_V w dV$$

$$w = w_e + w_m = \frac{\vec{E} \cdot \vec{D}}{2} + \frac{\vec{B} \cdot \vec{H}}{2} \quad - \text{Mật độ năng lượng trường điện từ}$$





Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Công suất trường điện từ P

$$P = \int_S \vec{E} \times \vec{H} \cdot d\vec{S} = \int_S \vec{\Pi} \cdot d\vec{S}$$

$$\vec{\Pi} = \vec{E} \times \vec{H} \quad - \text{Mật độ công suất trường điện từ}$$



Ví dụ: Công suất

Coi rằng máy bức xạ sóng vô tuyến là chất điểm và sự hấp thụ năng lượng bởi môi trường là không đáng kể. Khi tăng khoảng cách trong liên lạc vô tuyến với tàu vũ trụ lên 4 lần thì công suất của máy phát cần phải tăng lên bao nhiêu lần?

$$P = \int_S \vec{\Pi} \cdot d\vec{S} = \Pi S$$

$$P_1 = \Pi S_1 = \Pi 4\pi r^2$$

$$P_2 = \Pi S_2 = \Pi 4\pi (4r)^2$$

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = \Pi 4\pi r^2 \\ P_2 = \Pi 4\pi (4r)^2 \end{array} \right\} \frac{P_2}{P_1} = \frac{\Pi 4\pi (4r)^2}{\Pi 4\pi r^2} = 16$$



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Trường điện từ

Hệ phương trình Maxwell



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Hệ phương trình Maxwell

Là hệ gồm 04 phương trình đặt trưng trường điện từ. Các phương trình lần lượt là:

1. Định lý Gauss cho điện trường
2. Định lý Gauss cho từ trường
3. Định luật Maxwell-Faraday
4. Định luật Maxwell-Ampere

Hệ phương trình Maxwell có thể viết ở 02 dạng:

- a. Tích phân
- b. vi phân



Trường điện từ

Luận điểm thứ nhất:
Điện trường xoáy

Luận điểm thứ hai:
Dòng điện dịch

Trường điện từ và hệ
phương trình Maxwell

Hệ phương trình Maxwell dạng:

Tích phân

$$\oint_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = Q$$

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

$$\oint_{(C)} \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

$$\oint_{(l)} \vec{H} d\vec{l} = \oint_{(S)} \left(\gamma \vec{E} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

1. Gauss cho điện

2. Gauss cho từ

3. Maxwell-Faraday

4. Maxwell-Ampere

Vi phân

$$\text{div} \vec{D} = \rho$$

$$\text{div} \vec{B} = 0$$

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

$$\text{rot} \vec{H} = \gamma \vec{E} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$



Tổng kết chương 1

Năng lượng từ

$$W = W_e + W_m = \int_V \left(\frac{\vec{E} \cdot \vec{D}}{2} + \frac{\vec{B} \cdot \vec{H}}{2} \right) dV = \int_V w dV$$

Công suất từ

$$P = \int_S \vec{E} \times \vec{H} \cdot d\vec{S} = \int_S \vec{\Pi} \cdot d\vec{S}$$

Mật độ dòng điện
toàn phần

$$\vec{j}_{total} = \vec{j}_{dan} + \vec{j}_{dich} \quad \text{trong đó} \quad \vec{j}_{dan} = \gamma \vec{E}; \quad \vec{j}_{dich} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Mật độ

Tích phân

Hệ phương trình Maxwell dạng:

Vi phân

$$\oint_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = Q$$

1. Gauss cho điện

$$\text{div} \vec{D} = \rho$$

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

2. Gauss cho từ

$$\text{div} \vec{B} = 0$$

$$\oint_{(C)} \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

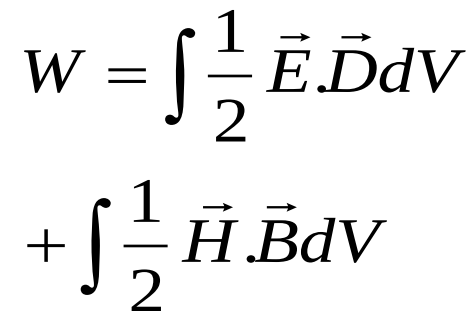
3. Maxwell-Faraday

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

$$\oint_{(l)} \vec{H} d\vec{l} = \oint_{(S)} \left(\vec{j}_{dan} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

4. Maxwell-Ampere

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


$$\sqrt{\mathcal{E}_0} \left| \vec{E} \right| = \sqrt{\mu \mu_0} \left| \vec{H} \right|$$