

Trường Điện từ

- Lương Hữu Tuấn
- Tài liệu tham khảo :
 - Trường Điện từ - NN Ảnh & TTT Mỹ
 - BT Trường Điện từ - NN Ảnh & TTT Mỹ

© TS. Lương Hữu Tuấn

1

cuu duong than cong . com

Giữa học kỳ

Câu 1 : Viết (không cần dẫn ra) mô hình toán của trường điện từ ứng với môi trường đẳng hướng. Nêu ý nghĩa của 4 phương trình Maxwell.

Câu 2 : Năng lượng trường điện tĩnh tính theo thế điện và mật độ điện tích. Nhận xét.

Câu 3 : Trong môi trường đồng nhất đẳng hướng tuyến tính có $\epsilon = \text{const}$, $\mu = \text{const}$, $\gamma = 0$ và không có điện tích tự do, tồn tại một trường điện từ biến thiên điều hòa tần số ω với vectơ cường độ trường từ có dạng :

$$\vec{H} = \cos(\alpha x) \cos(\beta y) \sin(\omega t) \vec{i}_z \quad (\text{A/m})$$

- 1) Xác định vectơ cường độ trường điện
- 2) Thiết lập quan hệ giữa α và β .

Câu 4 : Cáp đồng trục bán kính lõi a , bán kính vỏ b , chiều dài L , giữa lõi và vỏ là lớp cách điện có độ dẫn điện $\gamma = k/r^2$ với $k = \text{const}$, r là bán kính hướng trục.

Cho biết lõi có thế U và vỏ được nối đất. Hãy xác định :

- 1) Vectơ cường độ trường điện trong lớp cách điện
- 2) Dòng điện rò qua lớp cách điện
- 3) Điện trở cách điện của cáp

2

Yêu cầu

■ Lý thuyết :

- tổng thể : tính liên tục (lớp + ôn tập)
- phần cơ sở : chặt chẽ
- phần ứng dụng : linh hoạt

■ Bài tập :

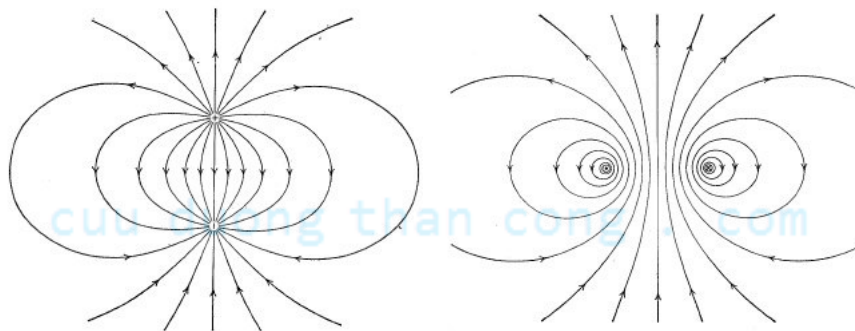
- tổng thể : thời gian (nắm bắt + luyện tập)
- BT cơ bản : chặt chẽ
- BT ứng dụng : công thức cơ bản
- BT tổng hợp : linh hoạt

■ Kiến thức : giải tích vectơ

3

cuu duong than cong . com

Trường điện từ



4

Nội dung chính

© TS. Lương Hữu Tuấn

$$\begin{cases} \text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} & , H_{1t} - H_{2t} = J_s \\ \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & , E_{1t} - E_{2t} = 0 \\ \text{div} \vec{D} = \rho & , D_{1n} - D_{2n} = \sigma \\ \text{div} \vec{B} = 0 & , B_{1n} - B_{2n} = 0 \\ \text{div} \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} & , J_{1n} - J_{2n} = -\frac{\partial \sigma}{\partial t} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \vec{D} = \epsilon \vec{E} \\ \vec{B} = \mu \vec{H} \\ \vec{J} = \gamma \vec{E} \end{cases}$$

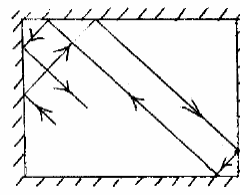
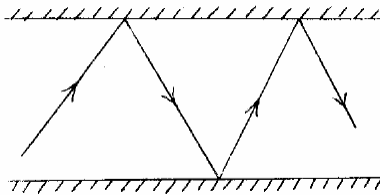
5

cuu duong than cong . com

Trường điện từ

© TS. Lương Hữu Tuấn

- Chương 1 : Khái niệm & ph trình cơ bản của TĐT
- Chương 2 : TĐ tĩnh
- Chương 3 : TĐT dừng
- Chương 4 : TĐT biến thiên
- Chương 5 : Bức xạ điện từ
- Chương 6 : Ống dẫn sóng & hộp cộng hưởng



6

Chương 1 : Khái niệm & pt cơ bản của TĐT

1. Giải tích vectơ
2. Khái niệm cơ bản
3. Đại lượng đặc trưng
4. Định luật cơ bản của trường điện từ
5. Dòng điện dịch - hệ phương trình Maxwell
6. Điều kiện biên
7. Năng lượng điện từ - định lý Poynting

© TS. Lương Hữu Tuấn

7

cuu duong than cong . com

1. Giải tích vectơ

1.1. Hệ tọa độ

Xác định vị trí & hướng trong không gian

- Phân loại
 - Tọa độ Descartes (D)
 - Tọa độ trụ (T)
 - Tọa độ cầu (C)
- Yếu tố vi phân

1.2. Toán tử

1.3. Hệ thức thường gặp

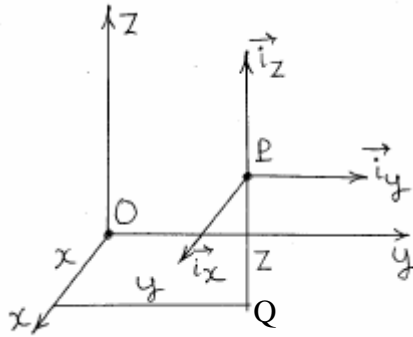
© TS. Lương Hữu Tuấn

8

cuu duong than cong . com

■ Tọa độ Descartes (D)

© TS. Lương Hữu Tuấn



$P(x, y, z)$
 x : hoành độ
 y : tung độ
 z : cao độ

$$\vec{i}_x \times \vec{i}_y = \vec{i}_z$$

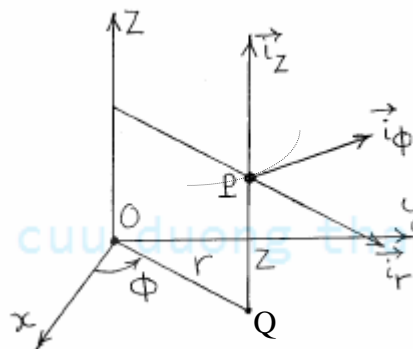
$$\vec{i}_y \times \vec{i}_x = -\vec{i}_z$$

9

cuu duong than cong . com

■ Tọa độ trụ (T)

© TS. Lương Hữu Tuấn



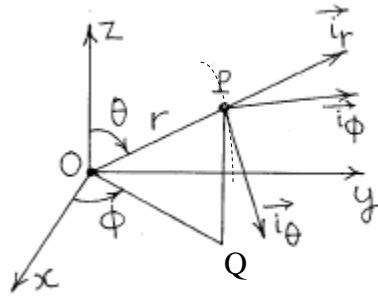
$P(r, \phi, z)$
 r : bk hướng trục
 ϕ : góc phương vị

$$\vec{i}_r \times \vec{i}_\phi = \vec{i}_z$$

10

■ Tọa độ cầu (C)

© TS. Lương Hữu Tuấn



$P(r, \theta, \phi)$
 r : bk hướng tâm
 θ : góc lệch trục

$$\vec{i}_r \times \vec{i}_\theta = \vec{i}_\phi$$

11

cuu duong than cong . com

1. Giải tích vectơ

1.1. Hệ tọa độ

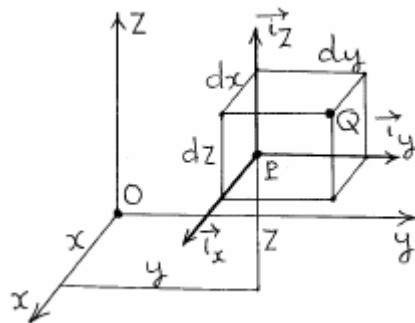
- Phân loại
- Yếu tố vi phân

© TS. Lương Hữu Tuấn

cuu duong than cong . com

12

■ Yếu tố vi phân (1)

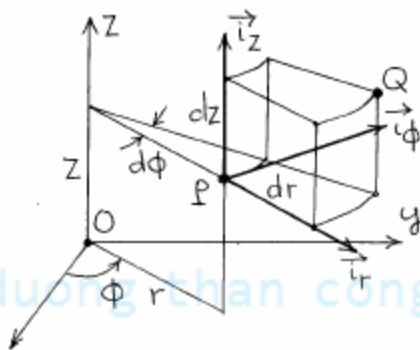


$$d\vec{l} = dx\vec{i}_x + dy\vec{i}_y + dz\vec{i}_z$$

13

cuu duong than cong . com

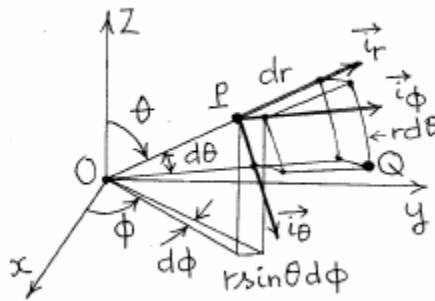
■ Yếu tố vi phân (2)



$$d\vec{l} = dr\vec{i}_r + r d\phi\vec{i}_\phi + dz\vec{i}_z$$

14

■ Yếu tố vi phân (3)



$$d\vec{l} = dr\vec{i}_r + r d\theta\vec{i}_\theta + r \sin \theta d\phi\vec{i}_\phi$$

15

■ Yếu tố vi phân (4)

Tóm lại :

$$d\vec{l} = dx\vec{i}_x + dy\vec{i}_y + dz\vec{i}_z$$

$$d\vec{l} = dr\vec{i}_r + r d\phi\vec{i}_\phi + dz\vec{i}_z$$

$$d\vec{l} = dr\vec{i}_r + r d\theta\vec{i}_\theta + r \sin \theta d\phi\vec{i}_\phi$$

Tổng quát :

$$d\vec{l} = h_1 du_1 \vec{i}_1 + h_2 du_2 \vec{i}_2 + h_3 du_3 \vec{i}_3$$

$$d\vec{S}_1 = \pm h_2 h_3 du_2 du_3 \vec{i}_1, \dots$$

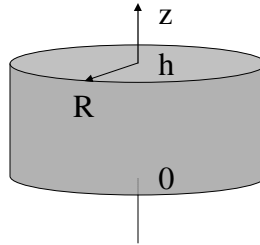
$$dV = h_1 h_2 h_3 du_1 du_2 du_3$$

h_i : hệ số Larmor

	h_1	h_2	h_3
D :	1	1	1
T :	1	r	1
C :	1	r	$r \sin \theta$

16

Ví dụ



$$q = \int_{\text{tru}} \frac{\lambda}{2\pi r} \vec{i}_r \cdot d\vec{S}$$

$$q = \int_0^{2\pi} \int_0^h \frac{\lambda}{2\pi r} \vec{i}_r \cdot r d\phi dz \vec{i}_r$$

$$q = \lambda h$$

17

cuu duong than cong . com

1. Giải tích vectơ

1.1. Hệ tọa độ

1.2. Toán tử

- Gradient
- Divergence
- Rotation
- Laplace
- Nabla

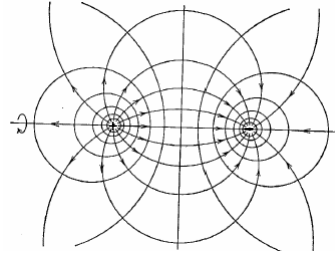
18

cuu duong than cong . com

■ Gradient

© TS. Lương Hữu Tuấn

- **Tính chất :** $\text{grad}\varphi$ là vectơ có
 - độ lớn = tốc độ tăng cực đại
 - hướng là hướng tăng cực đại
- **Ý nghĩa :** *Khuynh hướng tăng cực đại của trường vô hướng.*
- **Đạo hàm có hướng :** $\frac{\partial \varphi}{\partial l} = \text{grad}\varphi \cdot \vec{i}_l$
- **Biểu thức :**



$$\text{grad}\varphi = \frac{1}{h_1} \frac{\partial \varphi}{\partial u_1} \vec{i}_1 + \frac{1}{h_2} \frac{\partial \varphi}{\partial u_2} \vec{i}_2 + \frac{1}{h_3} \frac{\partial \varphi}{\partial u_3} \vec{i}_3$$

$$D : \text{grad}\varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i}_x + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{i}_y + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{i}_z$$

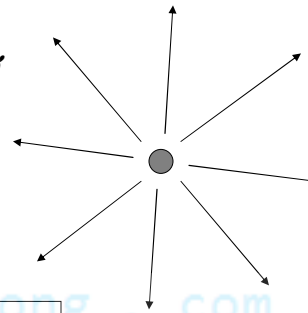
19

cuu duong than cong . com

■ Divergence

© TS. Lương Hữu Tuấn

- **Ý nghĩa :**
Mật độ nguồn của trường vectơ



- **Biểu thức :**

$$\text{div}\vec{A} = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \left[\frac{\partial (h_2 h_3 A_1)}{\partial u_1} + \dots \right]$$

$$D : \text{div}\vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$$

20

cuu duong than cong . com

■ Ví dụ

$$\operatorname{div} \vec{A} = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \left[\frac{\partial(h_2 h_3 A_1)}{\partial u_1} + \dots \right]$$

$$\operatorname{div} \vec{A}?$$

$$D: \vec{A} = A(x) \vec{i}_x \Rightarrow \operatorname{div} \vec{A} = \frac{1}{1} \frac{d}{dx} (1 \cdot A)$$

$$T: \vec{A} = A(r) \vec{i}_r \Rightarrow \operatorname{div} \vec{A} = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r \cdot A)$$

$$C: \vec{A} = A(r) \vec{i}_r \Rightarrow \operatorname{div} \vec{A} = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} (r^2 \cdot A)$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

21

cuu duong than cong . com

■ Rotation

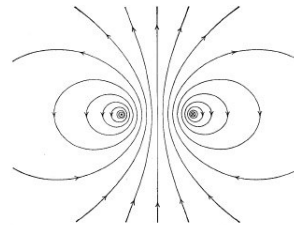
● Ý nghĩa :

Tính chất xoáy của trường vectơ

● Biểu thức :

$$\operatorname{rot} \vec{A} = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \begin{vmatrix} h_1 \vec{i}_1 & h_2 \vec{i}_2 & h_3 \vec{i}_3 \\ \frac{\partial}{\partial u_1} & \frac{\partial}{\partial u_2} & \frac{\partial}{\partial u_3} \\ h_1 A_1 & h_2 A_2 & h_3 A_3 \end{vmatrix}$$

$$D: \operatorname{rot} \vec{A} = \begin{vmatrix} \vec{i}_x & \vec{i}_y & \vec{i}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{vmatrix}$$



© TS. Lương Hữu Tuấn

22

■ Ví dụ

$$C: \vec{A} = r \sin \theta \vec{i}_\phi$$

$$\begin{aligned} \text{rot} \vec{A} &= \frac{1}{r^2 \sin \theta} \begin{vmatrix} \vec{i}_r & r\vec{i}_\theta & r^2 \sin \theta \vec{i}_\phi \\ \frac{\partial}{\partial r} & \frac{\partial}{\partial \theta} & \frac{\partial}{\partial \phi} \\ 0 & 0 & r^2 \sin^2 \theta \end{vmatrix} \\ &= \begin{cases} \frac{1}{r^2 \sin \theta} (2r^2 \sin \theta \cos \theta - 0) \\ \frac{1}{r^2 \sin \theta} r(2r \sin^2 \theta - 0) \\ 0 \end{cases} \\ \text{rot} \vec{A} &= 2(\cos \theta \vec{i}_r - \sin \theta \vec{i}_\theta) \end{aligned}$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

23

cuu duong than cong . com

■ Laplace

● Vô hướng :

$$\Delta \varphi = \text{div}(\text{grad} \varphi)$$

$$\Delta \varphi = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \left[\frac{\partial}{\partial u_1} \left(\frac{h_2 h_3}{h_1} \frac{\partial \varphi}{\partial u_1} \right) + \dots \right]$$

● Vectơ :

$$\Delta \vec{A} = \text{grad}(\text{div} \vec{A}) - \text{rot}(\text{rot} \vec{A})$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

24

cuu duong than cong . com

■ Nabla (hình thức)

$$D : \vec{\nabla} = \nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i}_x + \frac{\partial}{\partial y} \vec{i}_y + \frac{\partial}{\partial z} \vec{i}_z$$

$$\text{grad} \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i}_x + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{i}_y + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{i}_z \equiv \nabla \varphi$$

$$\text{div} \vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z} \equiv \nabla \vec{A}$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{i}_1 & \vec{i}_2 & \vec{i}_3 \\ A_1 & A_2 & A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \end{vmatrix} \Rightarrow \text{rot} \vec{A} = \begin{vmatrix} \vec{i}_x & \vec{i}_y & \vec{i}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{vmatrix} \equiv \nabla \times \vec{A}$$

- grad : vô hướng → vectơ
- div : vectơ → vô hướng
- rot : vectơ → vectơ
- Laplace : vô hướng → vô hướng
- vectơ → vectơ

25

cuu duong than cong . com

■ Tóm lại

$$\text{grad} \varphi = \frac{1}{h_1} \frac{\partial \varphi}{\partial u_1} \vec{i}_1 + \frac{1}{h_2} \frac{\partial \varphi}{\partial u_2} \vec{i}_2 + \frac{1}{h_3} \frac{\partial \varphi}{\partial u_3} \vec{i}_3$$

$$\text{div} \vec{A} = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \left[\frac{\partial (h_2 h_3 A_1)}{\partial u_1} + \dots \right]$$

$$\text{rot} \vec{A} = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \begin{vmatrix} h_1 \vec{i}_1 & h_2 \vec{i}_2 & h_3 \vec{i}_3 \\ \frac{\partial}{\partial u_1} & \frac{\partial}{\partial u_2} & \frac{\partial}{\partial u_3} \\ h_1 A_1 & h_2 A_2 & h_3 A_3 \end{vmatrix}$$

26

cuu duong than cong . com

■ Nhắc lại

$$d\vec{l} = h_1 du_1 \vec{i}_1 + h_2 du_2 \vec{i}_2 + h_3 du_3 \vec{i}_3$$

$$d\vec{S}_1 = \pm h_2 h_3 du_2 du_3 \vec{i}_1, \dots$$

$$dV = h_1 h_2 h_3 du_1 du_2 du_3$$

	h_1	h_2	h_3
D :	1	1	1
T :	1	r	1
C :	1	r	r sin θ

$$\text{grad } \varphi = \frac{1}{h_1} \frac{\partial \varphi}{\partial u_1} \vec{i}_1 + \dots$$

$$\text{div } \vec{A} = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \left[\frac{\partial (h_2 h_3 A_1)}{\partial u_1} + \dots \right]$$

$$\text{rot } \vec{A} = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \begin{vmatrix} h_1 \vec{i}_1 & h_2 \vec{i}_2 & h_3 \vec{i}_3 \\ \frac{\partial}{\partial u_1} & \frac{\partial}{\partial u_2} & \frac{\partial}{\partial u_3} \\ h_1 A_1 & h_2 A_2 & h_3 A_3 \end{vmatrix}$$

$$\Delta \varphi = \text{div}(\text{grad } \varphi)$$

$$\Delta \vec{A} = \text{grad}(\text{div } \vec{A}) - \text{rot}(\text{rot } \vec{A})$$

27

cuu duong than cong . com

1. Giải tích vectơ

1.1. Hệ tọa độ

1.2. Toán tử

1.3. Hệ thức thường gặp

■ Đại số vectơ

■ Định lý tích phân

■ Hệ thức khác

28

cuu duong than cong . com

■ Đại số vectơ

$$\vec{A} = A_1\vec{i}_1 + A_2\vec{i}_2 + A_3\vec{i}_3$$

$$\vec{B} = B_1\vec{i}_1 + B_2\vec{i}_2 + B_3\vec{i}_3$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_1B_1 + A_2B_2 + A_3B_3$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{i}_1 & \vec{i}_2 & \vec{i}_3 \\ A_1 & A_2 & A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \end{vmatrix}$$

$$\vec{A}(\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{C}(\vec{A} \times \vec{B}) = \vec{B}(\vec{C} \times \vec{A})$$

$$\frac{d}{dx}(\vec{A} \times \vec{B}) = \vec{A} \times \frac{d\vec{B}}{dx} + \frac{d\vec{A}}{dx} \times \vec{B}$$

29

cuu duong than cong . com

■ Định lý tích phân

● Định lý Divergence :

$$\int_V \text{div} \vec{A} dV = \oint_S \vec{A} d\vec{S} \quad (\text{Thông lượng})$$

Qui ước : vectơ pháp tuyến hướng ra

● Định lý Stokes :

$$\int_S \text{rot} \vec{A} d\vec{S} = \oint_C \vec{A} d\vec{l} \quad (\text{Lưu số})$$

Qui ước : qui tắc vặn nút chai

30

■ Hệ thức khác

$$\nabla(fg) = f\nabla g + g\nabla f$$

$$\nabla \times (f\vec{A}) = \nabla f \times \vec{A} + f\nabla \times \vec{A}$$

$$\nabla(f\vec{A}) = f\nabla\vec{A} + \vec{A}\cdot\nabla f$$

$$\nabla(\vec{A} \times \vec{B}) = \vec{B}(\nabla \times \vec{A}) - \vec{A}(\nabla \times \vec{B})$$

$$\nabla(\nabla \times \vec{A}) = \text{div}(\text{rot}\vec{A}) = 0$$

$$\nabla \times (\nabla f) = \text{rot}(\text{grad}f) = 0$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

31

cuu duong than cong . com

Chương 1 : Khái niệm & pt cơ bản của TĐT

1. Giải tích vectơ

2. Khái niệm cơ bản

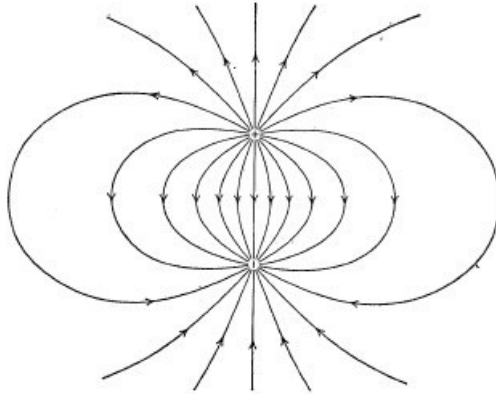
- Trường điện từ
- Mô hình

© TS. Lương Hữu Tuấn

32

cuu duong than cong . com

■ Trường điện từ



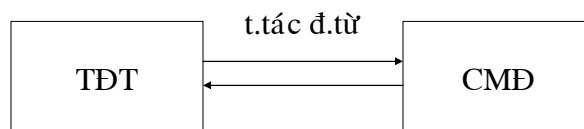
- Trường điện từ là một dạng vật chất
- Tính tương đối
- Ứng dụng

33

cuu duong than cong . com

■ Mô hình

Mô hình vật lý : hệ tương tác TĐT - Chất mang điện



Mô hình toán :

- hệ phương trình Maxwell
- các điều kiện biên
- các phương trình liên hệ

*Hệ phương trình Maxwell là hệ pt đạo hàm
riêng mô tả đầy đủ các hiện tượng
điện từ*

Phạm vi : hệ liên tục

34

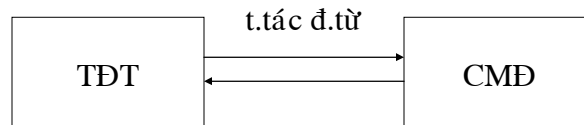
© TS. Lương Hữu Tuấn

© TS. Lương Hữu Tuấn

cuu duong than cong . com

Chương 1 : Khái niệm & pt cơ bản của TĐT

1. Giải tích vectơ
2. Khái niệm cơ bản
3. Đại lượng đặc trưng



- 3.1. cho TĐT
- 3.2. cho môi trường chất
- 3.3. cho tương tác

35

cuu duong than cong . com

3.1. Đại lượng đặc trưng cho TĐT

Lực tương tác : $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$

- Vectơ cường độ trường điện : $\vec{E} (V/m)$
- Vectơ cảm ứng từ : $\vec{B} (T)$

36

cuu duong than cong . com

3.2. Đại lượng đặc trưng cho chất mang điện

■ Điện tích : q (C)

■ Mật độ điện tích :

● khối : $\rho = dq/dV$ (C/m³)

● mặt : $\sigma = dq/dS$ (C/m²)

● dài : $\lambda = dq/dl$ (C/m)

$$dq = \rho dV + \sigma dS + \lambda dl$$

■ Vectơ mật độ dòng điện : $\vec{J}$ (A/m²)

$$I = \int_S \vec{J} d\vec{S} = \pm \frac{dq}{dt}$$

37

cuu duong than cong . com

3.3. Đại lượng đặc trưng cho tương tác

■ Phân cực điện trong điện môi

■ Phân cực từ trong từ môi

■ Tiêu tán công suất trong vật dẫn

cuu duong than cong . com

38

■ Phân cực điện trong điện môi

- Định nghĩa :

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

$\vec{D}$: vectơ cảm ứng điện (C/m²)

$\vec{P}$: vectơ phân cực điện (C/m²)

$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} 10^{-9}$: hằng số điện (F/m)

- Môi trường đẳng hướng

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E} = \epsilon_0 \begin{bmatrix} \chi_e & 0 & 0 \\ 0 & \chi_e & 0 \\ 0 & 0 & \chi_e \end{bmatrix} \vec{E}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 (1 + \chi_e) \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} \Rightarrow \vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

χ_e : độ cảm điện

ϵ_r : độ thẩm điện tương đối

ϵ : độ thẩm điện (F/m) $\rightarrow \epsilon(E, x, y, z)$

- Môi trường đẳng hướng, tuyến tính, đồng nhất : $\epsilon = \text{const}$

39

© TS. Lương Hữu Tuấn

cuu duong than cong . com

■ Phân cực từ trong từ môi

- Định nghĩa :

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} - \vec{M}$$

$\vec{H}$: vectơ cường độ trường từ (A/m)

$\vec{M}$: vectơ phân cực từ (A/m)

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$: hằng số từ (H/m)

- Môi trường đẳng hướng :

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}$$

$\chi_m > 0, \chi_m < 0$: thuận từ, nghịch từ

$$\vec{B} = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \Rightarrow \vec{B} = \mu \vec{H}$$

χ_m : độ cảm từ

μ_r : độ thẩm từ tương đối

μ : độ thẩm từ (H/m)

- Môi trường đẳng hướng, tuyến tính, đồng nhất : $\mu = \text{const}$

40

© TS. Lương Hữu Tuấn

cuu duong than cong . com

■ Tiêu tán công suất trong vật dẫn

- Mật độ công suất tiêu tán p_J : $p_J = \vec{J} \cdot \vec{E} \text{ (W/m}^3\text{)}$
- Công suất tiêu tán P_J : $P_J = \int_V \vec{J} \cdot \vec{E} dV \text{ (W)}$
- Định luật Ohm :

$$\vec{J} = \gamma \vec{E}$$

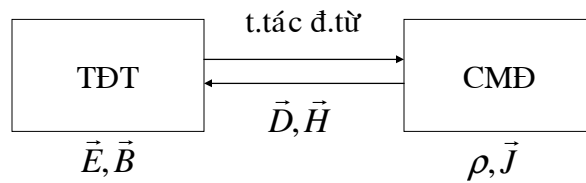
γ : độ dẫn điện ($1/\Omega m$)

© TS. Lương Hữu Tuấn

41

cuu duong than cong . com

■ Ôn tập



$$\begin{cases} \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \\ \vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} - \vec{M} \\ \vec{J} = \gamma \vec{E} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \vec{D} = \epsilon \vec{E} \\ \vec{B} = \mu \vec{H} \\ \vec{J} = \gamma \vec{E} \end{cases}$$

$$p_J = \vec{J} \cdot \vec{E} = \gamma E^2$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

42

cuu duong than cong . com

Chương 1 : Khái niệm & pt cơ bản của TĐT

1. Giải tích vectơ
2. Khái niệm cơ bản
3. Đại lượng đặc trưng
4. Định luật cơ bản của TĐT
 - 4.1. Định luật bảo toàn điện tích
 - 4.2. Định luật Gauss về điện
 - 4.3. Định luật Gauss về từ
 - 4.4. Định luật Ampère
 - 4.5. Định luật cảm ứng điện từ Faraday

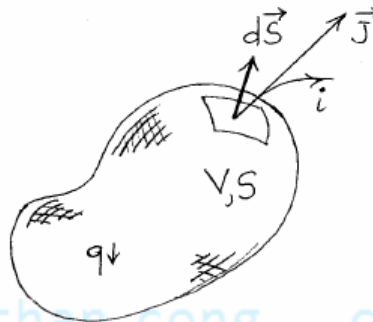
© TS. Lương Hữu Tuấn

43

cuu duong than cong . com

4.1. Định luật bảo toàn điện tích

■ Phát biểu :



■ Dẫn xuất :

$$\dots \quad i = -dq/dt$$

$$\dots \quad \int_V \text{div} \vec{J} dV = - \int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV, \forall V$$

$$\boxed{\text{div} \vec{J} = -\partial \rho / \partial t} \quad (\text{ph. trình liên tục})$$

■ Kết luận :

© TS. Lương Hữu Tuấn

44

4.2. Định luật Gauss về điện

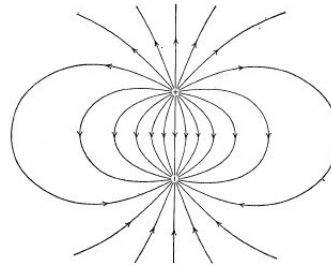
$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = q \quad (\text{dạng tích phân})$$

■ Phát biểu :

■ Dẫn xuất :

$$\dots \int_V \text{div} \vec{D} dV = \int_V \rho dV, \forall V$$

$$\boxed{\text{div} \vec{D} = \rho} \quad (\text{dạng vi phân})$$



■ Nhận xét :

- Đường sức điện là những đường hở
- Trường điện có nguồn là các điện tích

45

cuu duong than cong . com

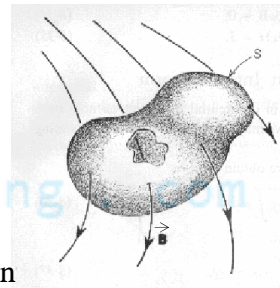
4.3. Định luật Gauss về từ

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \quad (\text{dạng tích phân})$$

■ Phát biểu :

■ Dẫn xuất : tương tự

$$\boxed{\text{div} \vec{B} = 0} \quad (\text{dạng vi phân})$$



■ Nhận xét :

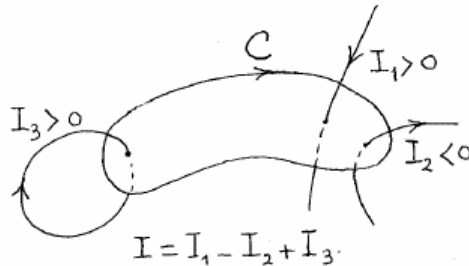
- Đường sức từ là những đường kín
- Trường từ không có nguồn “từ tích”

46

4.4. Định luật Ampère

$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = I \quad (\text{dạng tích phân})$$

■ Phát biểu :



■ Dẫn xuất :

$$\dots \int_S \text{rot} \vec{H} d\vec{S} = \int_S \vec{J} d\vec{S}, \forall S$$

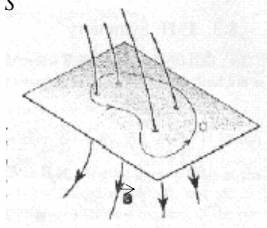
$$\boxed{\text{rot} \vec{H} = \vec{J}} \quad (\text{dạng vi phân})$$

47

cuu duong than cong . com

4.5. Định luật cảm ứng điện từ Faraday

$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S} \quad (\text{dạng tích phân})$$



■ Phát biểu :

■ Dẫn xuất :

$$\dots \int_S \text{rot} \vec{E} d\vec{S} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}, \forall S$$

$$\boxed{\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}} \quad (\text{dạng vi phân})$$

48

© TS. Lương Hữu Tuấn

cuu duong than cong . com

Chương 1 : Khái niệm & pt cơ bản của TĐT

© TS. Lương Hữu Tuấn

1. Giải tích vectơ
2. Khái niệm cơ bản
3. Đại lượng đặc trưng
4. Định luật cơ bản của TĐT
5. Dòng điện dịch - hệ phương trình Maxwell
 - 5.1. Dòng điện dịch
 - 5.2. Hệ phương trình Maxwell

49

cuu duong than cong . com

5.1. Dòng điện dịch

© TS. Lương Hữu Tuấn

- định luật Ampère chỉ đúng với dòng điện không đổi
...
ρ không đổi theo thời gian : dòng điện không đổi
- khái quát hóa định luật Ampère bằng dòng điện dịch

$$\dots \quad \text{div}(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) = 0$$

$$\text{div}(\text{rot} \vec{H}) = 0 \quad (\text{gtvt})$$

Ta có thể đ. nghĩa : $\boxed{\text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}}$ (Ampère - Maxwell)

$\vec{J}$: vectơ mđ dòng điện dẫn

$\vec{J}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$: vectơ mđ dòng điện dịch

$\vec{J}_{tp} = \vec{J} + \vec{J}_d$: vectơ mđ dòng điện toàn phần

50

5.2. Hệ phương trình Maxwell (1)

- Đóng góp của Maxwell :
 - sáng tạo ra dòng điện dịch
 - khái quát hóa định luật Faraday
- Hệ phương trình Maxwell :

$$\begin{cases} \text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \partial \vec{D} / \partial t & (I) \\ \text{rot} \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t & (II) \\ \text{div} \vec{D} = \rho & (III) \\ \text{div} \vec{B} = 0 & (IV) \end{cases}$$

51

cuu duong than cong . com

5.2. Hệ phương trình Maxwell (2)

- Ý nghĩa của hệ phương trình Maxwell :
 - Ý nghĩa chung :
 - + sóng điện từ
 - + liên hệ chặt chẽ giữa TD & TT
 - Ý nghĩa riêng :
 - + phương trình I
 - + phương trình II
 - + phương trình III
 - + phương trình IV
- Hệ phương trình liên hệ :

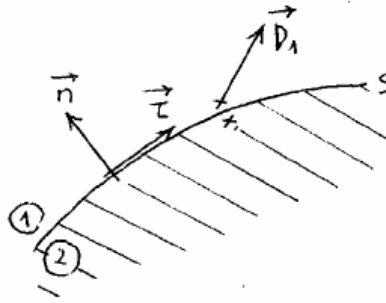
$$\begin{cases} \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \\ \vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \\ \vec{J} = \gamma \vec{E} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \vec{D} = \epsilon \vec{E} \\ \vec{B} = \mu \vec{H} \\ \vec{J} = \gamma \vec{E} \end{cases}$$

52

Chương 1 : Khái niệm & pt cơ bản của TĐT

1. Giải tích vectơ
2. Khái niệm cơ bản
3. Đại lượng đặc trưng
4. Định luật cơ bản của TĐT
5. Dòng điện dịch - hệ pt Maxwell
6. Điều kiện biên



53

6. Điều kiện biên (tự đọc)

ĐKB xác định ràng buộc giữa các đại lượng đặc trưng trên mặt phân cách giữa 2 môi trường khác nhau

Qui ước : $\vec{n} : 2 \rightarrow 1$

■ ĐKB đối với thành phần pháp tuyến

$$\vec{n}(\vec{D}_1 - \vec{D}_2) = \sigma$$

$$\vec{n}(\vec{B}_1 - \vec{B}_2) = 0$$

$$\vec{n}(\vec{J}_1 - \vec{J}_2) = -\frac{\partial \sigma}{\partial t}$$

$$D_{1n} - D_{2n} = \sigma$$

$$B_{1n} - B_{2n} = 0$$

$$J_{1n} - J_{2n} = -\frac{\partial \sigma}{\partial t}$$

■ ĐKB đối với thành phần tiếp tuyến

$$\vec{n} \times (\vec{H}_1 - \vec{H}_2) = \vec{J}_s \quad (*)$$

$$\vec{n} \times (\vec{E}_1 - \vec{E}_2) = 0$$

$$H_{1t} - H_{2t} = J_s$$

$$E_{1t} - E_{2t} = 0$$

54

Chương 1 : Khái niệm & pt cơ bản của TĐT

1. Giải tích vectơ
2. Khái niệm cơ bản
3. Đại lượng đặc trưng
4. Định luật cơ bản của TĐT
5. Dòng điện dịch - hệ pt Maxwell
6. Điều kiện biên
7. Năng lượng điện từ - định lý Poynting
 - 7.1. Định lý Poynting
 - 7.2. Mật độ năng lượng

© TS. Lương Hữu Tuấn

55

cuu duong than cong . com

7.1. Định lý Poynting

- Định nghĩa : vectơ Poynting $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (W/m^2)$
- Định lý Poynting :

$$\begin{aligned} P_S &= -\oint_S \vec{E} \times \vec{H} d\vec{S} \\ \dots P_S &= \int_V \vec{E} \vec{J} dV + \int_V (\vec{E} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{H} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}) dV \\ \dots P_S &= \int_V \vec{E} \vec{J} dV + \frac{d}{dt} \int_V \frac{1}{2} (\vec{E} \vec{D} + \vec{H} \vec{B}) dV \quad (hvt) \end{aligned}$$

$$W = \frac{1}{2} \int_V (\vec{E} \vec{D} + \vec{H} \vec{B}) dV$$

$$P_S = P_J + \frac{dW}{dt} \quad (\text{đlý Poynting})$$

- Đlbt&chnl : công suất dt gửi vào V qua S kín được dùng để
 - tiêu tán công suất dưới dạng nhiệt
 - thay đổi năng lượng điện từ tích lũy trong V
- Kết luận :

© TS. Lương Hữu Tuấn

56

7.2. Mật độ năng lượng

- Năng lượng :

$$W_e = \frac{1}{2} \int_V \vec{E} \vec{D} dV \quad (J)$$

$$W_m = \frac{1}{2} \int_V \vec{B} \vec{H} dV \quad (J)$$

- Mật độ năng lượng :

$$w_e = \frac{1}{2} \vec{E} \vec{D} = \frac{1}{2} \epsilon E^2 \quad (J/m^3)$$

$$w_m = \frac{1}{2} \vec{B} \vec{H} = \frac{1}{2} \mu H^2 \quad (J/m^3)$$

© TS. Lương Hữu Tuấn

57

Tóm tắt chương 1

1. Giải tích vectơ
2. Khái niệm cơ bản
3. Đại lượng đặc trưng
4. Định luật cơ bản của TĐT
5. Dòng điện dịch - hệ phương trình Maxwell
6. Điều kiện biên
7. Năng lượng điện từ - định lý Poynting

© TS. Lương Hữu Tuấn

58

Nội dung chính

© TS. Lương Hữu Tuấn

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} & , H_{1t} - H_{2t} = J_s \\ \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & , E_{1t} - E_{2t} = 0 \\ \text{div} \vec{D} = \rho & , D_{1n} - D_{2n} = \sigma \\ \text{div} \vec{B} = 0 & , B_{1n} - B_{2n} = 0 \\ \text{div} \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} & , J_{1n} - J_{2n} = -\frac{\partial \sigma}{\partial t} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{D} = \epsilon \vec{E} \\ \vec{B} = \mu \vec{H} \\ \vec{J} = \gamma \vec{E} \end{array} \right.$$

59

cuu duong than cong . com

cuu duong than cong . com