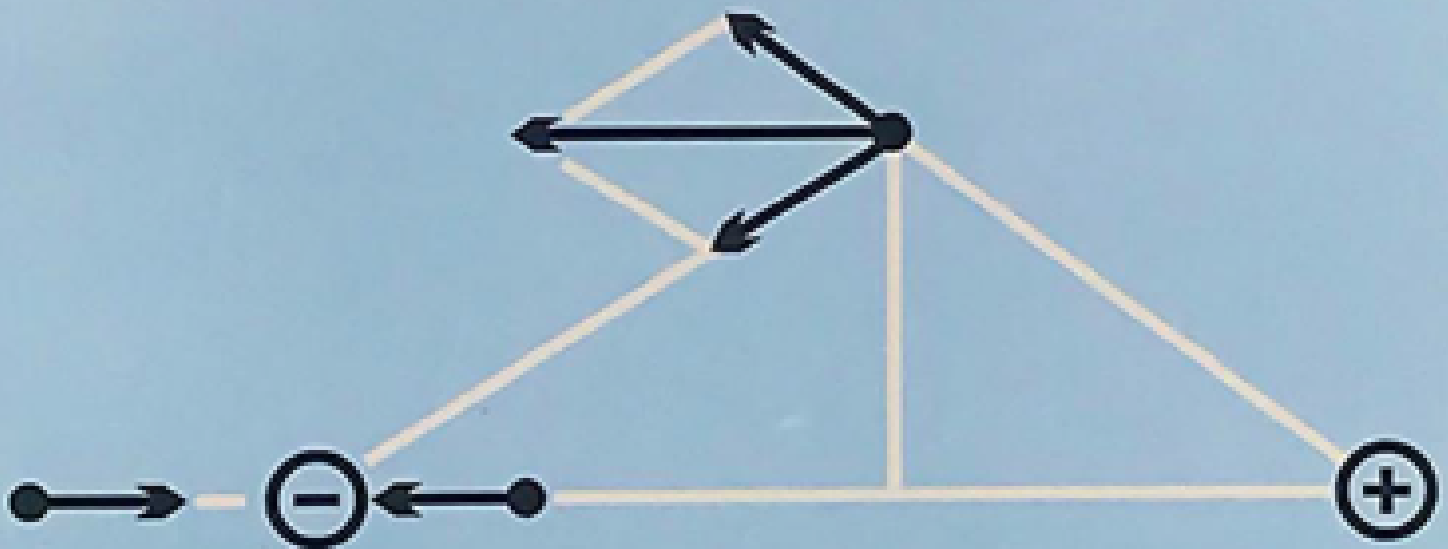


LƯƠNG DUYÊN BÌNH (Chủ biên) - NGUYỄN HỮU HỒ
LÊ VĂN NGHĨA - NGUYỄN QUANG SÍNH

BÀI TẬP

VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG

Tập hai : ĐIỆN - DAO ĐỘNG - SÓNG



2010 | PDF | 157 Pages
buihuuhanh@gmail.com



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

LƯƠNG DUYÊN BÌNH (*Chủ biên*)

Bài tập

VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG

Tập hai : ĐIỆN – DAO ĐỘNG - SÓNG

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

TÓM TẮT CÔNG THỨC VÀ ĐẦU BÀI TẬP

A. ĐIỆN HỌC

Chương 1 : TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN

Tóm tắt công thức

1. *Lực tương tác Culông* giữa hai điện tích điểm q_1, q_2 đặt cách nhau một khoảng r :

$$F = q_1 q_2 / 4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2, \quad (1-1)$$

với $\epsilon_0 = 8,86.10^{-12} \text{C}^2/\text{Nm}^2$ là hằng số điện (còn gọi là hằng số điện môi tuyệt đối của chân không), ϵ là hằng số điện môi tương đối của môi trường.

2. *Vectơ cường độ điện trường* :

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \quad (1-2)$$

với \vec{F} là lực điện trường tác dụng lên điện tích q .

Cường độ điện trường gây bởi một điện tích điểm q tại một điểm cách nó một khoảng r :

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2} \quad (1-3)$$

3. *Vectơ cảm ứng điện (điện cảm)*

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}. \quad (1-4)$$

4. Cường độ điện trường gây bởi một sợi dây thẳng dài vô hạn mang điện đều tại một điểm cách dây một khoảng r :

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon r}, \quad (1-5)$$

với λ là mật độ điện dài của dây.

5. Cường độ điện trường gây bởi một mặt phẳng mang điện đều :

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}, \quad (1-6)$$

với σ là mật độ điện mặt.

6. Định lí Oxtơgratxki – Gaox : thông lượng cảm ứng điện gửi qua một mặt kín (S) bất kì

$$\Phi_0 = \int_{(S)} \vec{D} d\vec{S} = \sum_{i=1}^n q_i \quad (1-7)$$

với $\sum_{i=1}^n q_i$ là tổng đại số các điện tích có trong mặt kín.

7. Công của lực tĩnh điện khi dịch chuyển điện tích điểm q_0 từ điểm A đến điểm B trong điện trường :

$$A = q_0(V_A - V_B), \quad (1-8)$$

với V_A và V_B là điện thế tại điểm A và điểm B trong điện trường.

8. Tính chất thế của trường tĩnh điện :

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = 0. \quad (1-9)$$

9. Hiệu điện thế giữa hai điểm A và B :

$$V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} d\vec{l}. \quad (1-10)$$

10. Liên hệ giữa cường độ điện trường và điện thế.

$$E = -\frac{\partial V}{\partial s} \text{ hay } \vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}V} \quad (1-11)$$

Trong trường hợp điện trường đều (thí dụ như điện trường giữa hai mặt phẳng song song vô hạn mang điện đều, trái dấu)

$$E = U/d, \quad (1-12)$$

với $U = V_1 - V_2$ là hiệu điện thế, d là khoảng cách giữa hai mặt đẳng thế tương ứng.

11. Điện thế gây bởi một điện tích điểm q tại một điểm cách nó một khoảng r :

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}. \quad (1-13)$$

12. Hiệu điện thế giữa hai mặt cầu đồng tâm mang điện đều, bằng nhau, trái dấu :

$$V_1 - V_2 = \frac{Q(R_2 - R_1)}{4\pi\epsilon_0\epsilon R_1 R_2}, \quad (1-14)$$

với R_1 là bán kính của mặt cầu trong, R_2 là bán kính của mặt cầu ngoài, Q là độ lớn điện tích trên mỗi mặt cầu.

13. Hiệu điện thế giữa hai mặt trụ đồng trục dài vô hạn mang điện đều bằng nhau và trái dấu :

$$V_1 - V_2 = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \ln \frac{R_2}{R_1} \quad (1-15)$$

với R_1 là bán kính mặt trong, R_2 là bán kính mặt ngoài, λ là mật độ điện dài trên mặt trụ.

Bài tập ví dụ 1

Hai quả cầu giống nhau được treo ở đầu hai sợi dây có độ dài $l = 10\text{cm}$ đặt trong chân không. Hai sợi dây này cùng buộc vào một điểm O ở đầu trên (hình 1-1). Mỗi quả cầu mang một điện tích q bằng nhau và có khối lượng $0,1\text{g}$. Do lực đẩy giữa hai quả cầu, hai sợi dây treo tạo nên một góc $2\alpha = 10^\circ 14'$. Hãy tính trị số của điện tích q . Cho biết gia tốc trọng trường $g = 10\text{m/s}^2$.

Bài giải :

$$l = 10\text{cm} = 0,1\text{m},$$
$$m = 0,1\text{g} = 10^{-4}\text{kg},$$

Cho

$$2\alpha = 10^{\circ}14',$$

Hỏi : q ?

$$q_1 = q_2 = q.$$

Xét các lực tác dụng lên quả cầu. Các lực này bao gồm

- Lực đẩy Culông \vec{F} ,
- Lực hút của Trái Đất lên quả cầu (trọng lực) \vec{P} ,
- Lực căng của dây \vec{T} .

Vì quả cầu nằm cân bằng, nên tổng hợp lực tác dụng lên nó phải triệt tiêu (hình 1-1) :

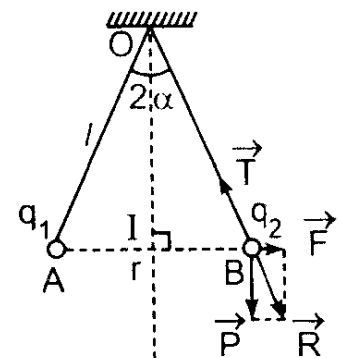
$$\vec{F} + \vec{P} + \vec{T} = 0.$$

Đặt $\vec{R} = \vec{F} + \vec{P}$ thì

$$\vec{R} + \vec{T} = 0 \text{ hay } \vec{R} = -\vec{T}.$$

Như vậy lực \vec{R} trực đối với \vec{T} (cùng phương, ngược chiều).

Từ hình 1-1 ta thấy góc giữa \vec{P} và \vec{R} bằng α , do đó



Hình 1-1

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F}{P} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2 P},$$

(vì hai quả cầu treo trong chân không nên $\epsilon = 1$) nhưng $P = mg$;
 $r = 2l/\sin\alpha$ (khoảng cách giữa hai quả cầu) do đó :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 mg 4l^2 \sin^2 \alpha}.$$

$$\text{Rút ra : } q = \pm 2l \sin\alpha \sqrt{4\pi\epsilon_0 mg \operatorname{tg} \alpha} =$$

$$= \pm 2.0,1. \sin 5^{\circ}7' \sqrt{4.3,14.8,86.10^{-12}.10^{-4}.10 \operatorname{tg} 5^{\circ}7'} =$$
$$= \pm 18.10^{-8} \text{C}.$$

Bài tập ví dụ 2

Một vòng tròn làm bằng một dây dẫn mảnh bán kính $R = 5\text{cm}$ mang điện tích $q = 5.10^{-8}\text{C}$ và được phân bố đều trên dây (hình 1-2)

1. Hãy xác định cường độ điện trường tại : a) Tâm vòng dây. b) Một điểm nằm trên trục của vòng dây cách tâm một đoạn $h = 10\text{cm}$.

2. Tại điểm nào trên trục của vòng dây, cường độ điện trường có trị số cực đại ? Tính trị số cực đại đó.

Bài giải :

$$R = 5\text{cm} = 5 \cdot 10^{-2}\text{m},$$

$$\vec{E}_0,$$

$$\text{Cho } q = 5 \cdot 10^{-8}\text{C},$$

$$\text{Hỏi } \vec{E}_M,$$

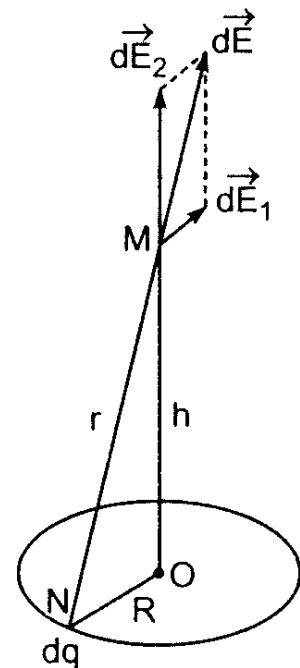
$$h = 10\text{cm} = 0,1\text{m}.$$

$$\vec{E}_{\text{max}}.$$

1. Cường độ điện trường do vòng dây gây ra tại một điểm nào đó bằng tổng các cường độ điện trường $d\vec{E}$ do các phần tử điện tích dq nằm trên vòng dây gây ra.

a) Tại tâm O vì tính chất đối xứng nên các vectơ $d\vec{E}$ khử lẫn nhau. Do đó cường độ điện trường tại tâm O bằng không. $E_0 = 0$.

b) Muốn tính cường độ điện trường do vòng dây gây ra tại điểm M nằm trên trục của vòng dây trước hết phải tính cường độ điện trường $d\vec{E}$ do một phần tử điện tích dq gây ra tại M.



Hình 1-2

Trên hình 1-2 ta thấy $d\vec{E}$ có thể phân tích thành hai thành phần $d\vec{E}_1$ và $d\vec{E}_2$. Vì tính chất

đối xứng nên tổng các thành phần $d\vec{E}_1$ bằng không. Như vậy :

$$\vec{E}_M = \int_{\text{vg}} d\vec{E}_2,$$

và vì các vectơ $d\vec{E}_2$ cùng phương chiều nên :

$$E_M = \int_{\text{vg}} dE_2.$$

Theo hình vẽ $dE_2 = dE \cos \alpha$ (α là góc giữa $d\vec{E}$ và \vec{OM}). Điện trường gây bởi dq tại M bằng :

$$dE = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

r là khoảng cách từ dq đến M : $r = \sqrt{R^2 + h^2}$.

Vậy
$$dE_2 = \frac{hdq}{4\pi\epsilon_0 r^2 r}, \text{ (với } \cos \alpha = \frac{h}{r} \text{).}$$

$$dE_2 = \frac{dq \cdot h}{4\pi\epsilon_0} (R^2 + h^2)^{-3/2},$$

và
$$E_M = \int_{vg} dE_2 = \int_{vg} \frac{dq \cdot h}{4\pi\epsilon_0} (R^2 + h^2)^{-3/2},$$

hay
$$E_M = \frac{qh}{4\pi\epsilon_0} (R^2 + h^2)^{-3/2}.$$

Thay số vào biểu thức trên ta tìm được : $E_M = 1,6 \cdot 10^4 \text{ V/m}$.

Nếu cho $h = 0$ ta tìm lại được giá trị $E_0 = 0$.

2. Muốn tìm trị số cực đại của cường độ điện trường ta lấy đạo hàm bậc nhất của E theo h rồi cho đạo hàm ấy triệt tiêu :

$$\frac{dE}{dh} = \frac{q[(R^2 + h^2)^{3/2} - 3h^2(R^2 + h^2)^{1/2}]}{4\pi\epsilon_0(R^2 + h^2)^3} = 0.$$

Từ đó rút ra :

$$h = h_0 = \frac{R}{\sqrt{2}} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{2}} = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}.$$

Khi $h < h_0$ thì $\frac{dE}{dh} > 0$; $h > h_0$ thì $\frac{dE}{dh} < 0$.

Vậy tại điểm $h_0 = \frac{R}{\sqrt{2}}$ cường độ điện trường có trị số cực đại.

Trị số đó bằng : $E_{\max} = \frac{2q}{4\pi\epsilon_0 3\sqrt{3}R^2}.$

Thay số vào ta được : $E_{\max} = 7,06 \cdot 10^4 \text{ V/m}$.

Bài tập ví dụ 3

Một electron có năng lượng eU_0 , chuyển động trong khoảng không gian giữa hai mặt trụ đồng trục bán kính R_1, R_2 .

Biết phương vận tốc của electron lúc đầu vuông góc với mặt phẳng chứa trục hai hình trụ.

Hỏi với một hiệu điện thế U giữa hai mặt trụ là bao nhiêu thì electron có thể chuyển động đều theo một quỹ đạo tròn (hình 1-3)?

Bài giải : Cho U_0, R_1, R_2 . Hỏi U ?

Ta gọi bán kính quỹ đạo chuyển động của electron là r (khoảng cách từ electron đến trục). Cường độ điện trường tại vị trí của electron sẽ là :

$$E = \frac{2\lambda}{4\pi\epsilon_0 r}, \quad (\text{coi } \epsilon = 1),$$

λ là mật độ điện dài trên mặt trụ.

Muốn cho electron chuyển động đều theo một quỹ đạo tròn thì lực điện từ tác dụng lên electron phải là lực hướng tâm

$$\frac{2\lambda e}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{mv^2}{r}, \quad (1)$$

Mặt khác biết năng lượng của electron bằng động năng của nó :

$$eU_0 = \frac{mv^2}{2}. \quad (2)$$

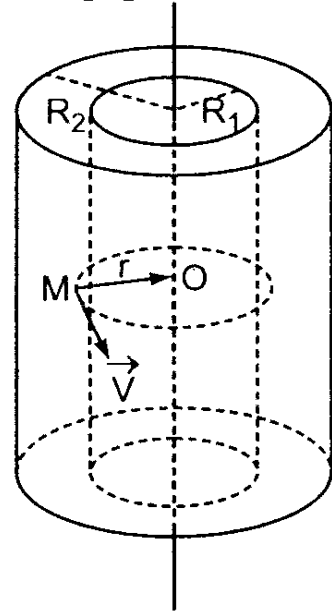
Từ (1) và (2) ta rút ra :

$$\lambda = 4\pi\epsilon_0 U_0. \quad (3)$$

Hiệu điện thế giữa hai mặt trụ làm cho electron chuyển động trên quỹ đạo tròn là U cho bởi :

$$U = \int_{R_1}^{R_2} E dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} 2\lambda \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} 2\lambda \ln \frac{R_2}{R_1}. \quad (4)$$

Thay trị số của λ từ biểu thức (3) vào ta có :



Hình 1-3

$$U = 2U_0 \ln \frac{R_2}{R_1}.$$

Bài tập tự giải

1-1. Tìm lực hút giữa hạt nhân và êlectrôn trong nguyên tử hiđrô. Biết rằng bán kính nguyên tử hiđrô là $0,5 \cdot 10^{-8} \text{cm}$, điện tích của êlectrôn $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$.

1-2. Lực đẩy tĩnh điện giữa hai prôtôn sẽ lớn hơn lực hấp dẫn giữa chúng bao nhiêu lần, cho biết điện tích của prôtôn là $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$, khối lượng của nó bằng $1,67 \cdot 10^{-27} \text{kg}$.

1-3. Hai quả cầu đặt trong chân không có cùng bán kính và cùng khối lượng được treo ở hai đầu sợi dây sao cho mặt ngoài của chúng tiếp xúc nhau. Sau khi truyền cho các quả cầu một điện tích $q_0 = 4 \cdot 10^{-7} \text{C}$, chúng đẩy nhau và góc giữa hai sợi dây bây giờ bằng 60° . Tính khối lượng của các quả cầu nếu khoảng cách từ điểm treo đến tâm quả cầu bằng $l = 20 \text{cm}$.

1-4. Tìm khối lượng riêng của chất làm quả cầu trong bài 1-3. Biết rằng khi nhúng các quả cầu này vào dầu hoả, góc giữa hai sợi dây bây giờ chỉ bằng 54° ($\varepsilon = 2$ đối với dầu hoả).

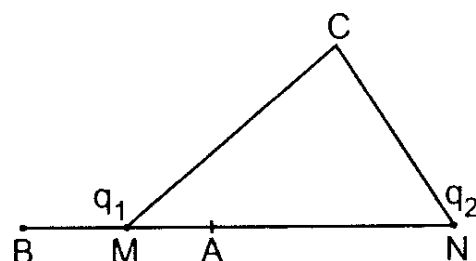
1-5. Hai quả cầu mang điện có bán kính và khối lượng bằng nhau được treo ở hai đầu sợi dây có chiều dài bằng nhau. Người ta nhúng chúng vào một chất điện môi (dầu) có khối lượng riêng ρ_1 và hằng số điện môi $\varepsilon^{(*)}$. Hỏi khối lượng riêng của quả cầu (ρ) phải bằng bao nhiêu để góc giữa các sợi dây trong không khí và trong chất điện môi là như nhau.

1-6. Một êlectrôn điện tích e , khối lượng m chuyển động đều trên một quỹ đạo tròn bán kính r quanh hạt nhân nguyên tử hiđrô. Xác định vận tốc chuyển động của êlectrôn trên quỹ đạo. Cho $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$, $m = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{g}$, khoảng cách trung bình từ êlectrôn đến hạt nhân là $r = 10^{-8} \text{cm}$.

(*) Trong các bài tập phần này nếu không xác định rõ môi trường thì khi tính toán có thể coi các điện tích được đặt trong chân không.

1-7. Tại các đỉnh A, B, C của một hình tam giác người ta lần lượt đặt các điện tích điểm : $q_1 = 3.10^{-8}C$; $q_2 = 5.10^{-8}C$; $q_3 = -10.10^{-8}C$. Xác định lực tác dụng tổng hợp lên điện tích đặt tại A. Cho biết $AC = 3cm$, $AB = 4cm$, $BC = 5cm$. Các điện tích đều được đặt trong không khí.

1-8. Có hai điện tích bằng nhau và trái dấu. Chứng minh rằng tại mọi điểm cách đều hai điện tích đó, phương của lực tác dụng lên điện tích thử q_0 song song với đường thẳng nối hai điện tích đó.



Hình 1-4

1-9. Tìm lực tác dụng lên một điện tích điểm $q = (5/3).10^{-9}C$ đặt ở tâm nửa vòng xuyến bán kính $r_0 = 5cm$ tích điện đều với điện tích $Q = 3.10^{-7}C$ (đặt trong chân không).

1-10. Có hai điện tích điểm $q_1 = 8.10^{-8}C$ và $q_2 = -3.10^{-8}C$ đặt cách nhau một khoảng $d = 10cm$ trong không khí (hình 1-4).

Tính : 1. Cường độ điện trường gây bởi các điện tích đó tại các điểm A, B, C. Cho biết : $MN = d = 10cm$, $MA = 4cm$, $MB = 5cm$, $MC = 9cm$, $NC = 7cm$.

2. Lực tác dụng lên điện tích $q = -5.10^{-10}C$ đặt tại C.

1-11. Cho hai điện tích q và $2q$ đặt cách nhau $10cm$. Hỏi tại điểm nào trên đường nối hai điện tích ấy điện trường triệt tiêu.

1-12. Xác định cường độ điện trường ở tâm một lục giác đều cạnh a , biết rằng ở sáu đỉnh của nó có đặt :

- 1) 6 điện tích bằng nhau và cùng dấu ;
- 2) 3 điện tích âm và 3 điện tích dương về trị số đều bằng nhau.

1-13. Trên hình 1-5 AA' là một mặt phẳng vô hạn tích điện đều với mật độ điện mặt $\sigma = 4.10^{-9}C/cm^2$ và B là một quả cầu tích điện cùng dấu với điện tích trên mặt phẳng. Khối lượng của quả cầu

bằng $m = 1\text{g}$, điện tích của nó bằng $q = 10^{-9}\text{C}$. Hỏi sợi dây treo quả cầu lệch đi một góc bằng bao nhiêu so với phương thẳng đứng.

1–14. Một đĩa tròn bán kính $a = 8\text{cm}$ tích điện đều với mật độ điện mặt $\sigma = 10^{-3}\text{C/m}^2$.

1. Xác định cường độ điện trường tại một điểm trên trục của đĩa và cách tâm đĩa một đoạn $b = 6\text{cm}$.

2. Chứng minh rằng nếu $b \rightarrow 0$ thì biểu thức thu được sẽ chuyển thành biểu thức tính cường độ điện trường gây bởi một mặt phẳng vô hạn mang điện đều.

3. Chứng minh rằng nếu $b \gg a$ thì biểu thức thu được chuyển thành biểu thức tính cường độ điện trường gây bởi một điện tích điểm.

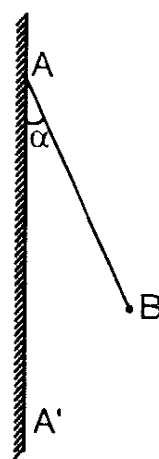
1–15. Một mặt hình bán cầu tích điện đều, mật độ điện mặt $\sigma = 10^{-9}\text{C/m}^2$. Xác định cường độ điện trường tại tâm O của bán cầu.

1–16. Một thanh kim loại mảnh mang điện tích $q = 2 \cdot 10^{-7}\text{C}$. Xác định cường độ điện trường tại một điểm nằm cách hai đầu thanh $R = 300\text{cm}$ và cách trung điểm của thanh $R_0 = 10\text{cm}$. Coi như điện tích được phân bố đều trên thanh.

1–17. Một mặt phẳng tích điện đều với mật độ σ . Tại khoảng giữa của mặt có một lỗ hổng bán kính a nhỏ so với kích thước của mặt. Tính cường độ điện trường tại một điểm nằm trên đường thẳng vuông góc với mặt phẳng và đi qua tâm lỗ hổng, cách tâm đó một đoạn b .

1–18. Một hạt bụi mang một điện tích $q_2 = -1,7 \cdot 10^{-16}\text{C}$ ở cách một dây dẫn thẳng một khoảng $0,4\text{cm}$ và ở gần đường trung trục của dây dẫn ấy. Đoạn dây dẫn này dài 150cm , mang điện tích $q_1 = 2 \cdot 10^{-7}\text{C}$. Xác định lực tác dụng lên hạt bụi. Giả thiết rằng q_1 được phân bố đều trên sợi dây và sự có mặt của q_2 không ảnh hưởng gì tới sự phân bố đó.

1–19. Trong điện trường của một mặt phẳng vô hạn tích điện tích đều có đặt hai thanh tích điện như nhau. Hỏi lực



Hình 1-5

tác dụng của điện trường lên hai thanh đó có như nhau không nếu một thanh nằm song song với mặt phẳng còn thanh kia nằm thẳng góc với mặt phẳng.

1-20. Một mặt phẳng vô hạn mang điện đều có mật độ điện tích mặt $\sigma = 2 \cdot 10^{-9} \text{C/cm}^2$. Hỏi lực điện trường của mặt phẳng đó tác dụng lên một đơn vị dài của một sợi dây dài vô hạn mang điện đều. Cho biết mật độ điện dài của dây $\lambda = 3 \cdot 10^{-8} \text{C/cm}$.

1-21. Xác định vị trí của những điểm ở gần hai điện tích điểm q_1 và q_2 tại đó điện trường bằng không trong hai trường hợp sau đây : 1) q_1, q_2 cùng dấu ; 2) q_1, q_2 khác dấu. Cho biết khoảng cách giữa q_1, q_2 là l .

1-22. Giữa hai dây dẫn hình trụ song song cách nhau một khoảng $l = 15 \text{cm}$ người ta đặt một hiệu điện thế $U = 1500 \text{V}$. Bán kính tiết diện mỗi dây là $r = 0,1 \text{cm}$. Hãy xác định cường độ điện trường tại trung điểm của khoảng cách giữa hai sợi dây biết rằng các dây dẫn đặt trong không khí.

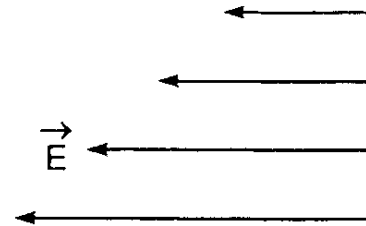
1-23. Cho hai điện tích điểm $q_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{C}$, $q_2 = -10^{-6} \text{C}$ đặt cách nhau 10cm . Tính công của lực tĩnh điện khi điện tích q_2 dịch chuyển trên đường thẳng nối hai điện tích đó xa thêm một đoạn 90cm .

1-24. Tính công cần thiết để dịch chuyển một điện tích $q = (1/3) \cdot 10^{-7} \text{C}$ từ một điểm M cách quả cầu tích điện bán kính $r = 1 \text{cm}$ một khoảng $R = 10 \text{cm}$ ra xa vô cực. Biết quả cầu có mật độ điện mặt $\sigma = 10^{11} \text{C/cm}^2$.

1-25. Một vòng dây tròn bán kính 4cm tích điện đều với điện tích $Q = (1/9) \cdot 10^{-8} \text{C}$. Tính điện thế tại : 1) Tâm vòng dây. 2) Một điểm M trên trục vòng dây, cách tâm của vòng dây một đoạn $h = 3 \text{cm}$.

1-26. Một điện tích điểm $q = (2/3) \cdot 10^{-9} \text{C}$ nằm cách một sợi dây dài tích điện đều một khoảng $r_1 = 4 \text{cm}$; dưới tác dụng của điện trường do sợi dây gây ra, điện tích dịch chuyển theo hướng đường sức điện trường đến khoảng cách $r_2 = 2 \text{cm}$, khi đó lực điện trường thực hiện một công $A = 50 \cdot 10^{-7} \text{J}$. Tính mật độ điện dài của dây.

1-27. Trong chân không liệu có thể có một trường tĩnh điện mà phương của các vectơ cường độ điện trường trong cả khoảng không gian có điện trường thì không đổi nhưng giá trị lại thay đổi, ví dụ như thay đổi theo phương thẳng góc với các vectơ điện trường (hình 1-6) được không ?



Hình 1-6

1-28. Tính điện thế gây ra bởi một quả cầu dẫn điện mang điện tích q bằng cách coi điện thế tại một điểm A nào đó bằng tổng các điện thế do từng điện tích điểm gây ra, trong các trường hợp sau đây :

- Tại một điểm nằm trên quả cầu.
- Tại một điểm nằm trong quả cầu.
- Tại một điểm nằm ngoài quả cầu cách bề mặt của nó một đoạn bằng a .

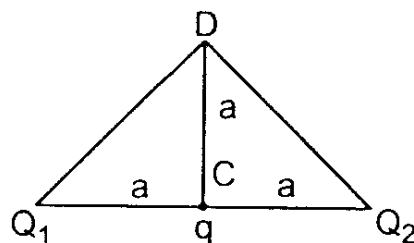
1-29. Tính điện thế tại một điểm trên trục của một đĩa tròn mang điện tích đều và cách tâm đĩa một khoảng h . Đĩa có bán kính R mật độ điện mặt σ .

1-30. Khoảng cách giữa hai bản của một tụ điện là $d = 5\text{cm}$, cường độ điện trường giữa hai bản không đổi và bằng $6 \cdot 10^4 \text{V/m}$. Một electron bay dọc theo đường sức của điện trường từ bản này sang bản kia của tụ điện với vận tốc ban đầu của electron bằng không. Tìm vận tốc của electron khi nó bay tới bản thứ hai của tụ điện. Giả thiết bỏ qua ảnh hưởng của trọng trường.

1-31. Cho hai mặt phẳng song song vô hạn mang điện đều, mật độ bằng nhau và trái dấu, đặt cách nhau 5mm . Cường độ điện trường giữa chúng là 10^4V/m . Tính hiệu điện thế giữa hai mặt phẳng đó và mật độ điện mặt của chúng.

1-32. Tại hai đỉnh C, D của một hình chữ nhật ABCD (có các cạnh $AB = 4\text{m}$, $BC = 3\text{m}$) người ta đặt hai điện tích điểm $q_1 = -3 \cdot 10^{-8} \text{C}$ (tại C), $q_2 = 3 \cdot 10^{-8} \text{C}$ (tại D). Tính hiệu điện thế giữa A và B.

1-33. Tính công của lực điện trường khi chuyển dịch điện tích $q = 10^{-9}\text{C}$ từ điểm C đến D nếu $a = 6\text{cm}$, $Q_1 = (10/3) \cdot 10^{-9}\text{C}$, $Q_2 = -2 \cdot 10^{-9}\text{C}$ (hình 1-7).



Hình 1-7

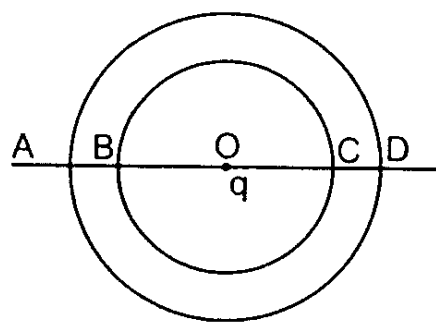
1-34. Giữa hai mặt phẳng song song vô hạn mang điện đều mật độ bằng nhau nhưng trái dấu, cách nhau một khoảng $d = 1\text{cm}$

đặt nằm ngang, có một hạt mang điện khối lượng $m = 5 \cdot 10^{-14}\text{kg}$. Khi không có điện trường, do sức cản của không khí, hạt rơi với vận tốc không đổi v_1 . Khi giữa hai mặt phẳng này có hiệu điện thế $U = 600\text{V}$ thì hạt rơi chậm đi với vận tốc $v_2 = \frac{v_1}{2}$. Tìm điện tích của hạt.

1-35. Có một điện tích điểm q đặt tại tâm O của hai đường tròn đồng tâm bán kính r và R . Qua tâm O ta vẽ một đường thẳng cắt hai đường tròn tại các điểm A, B, C, D (hình 1-8).

1. Tính công của lực điện trường khi dịch chuyển một điện tích q_0 từ B đến C và từ A đến D.

2. So sánh công của lực tĩnh điện khi dịch chuyển điện tích q_0 từ A đến C và từ C đến D.



Hình 1-8

1-36. Một hạt bụi rơi từ một vị trí cách đều hai bản của một tụ điện phẳng. Tụ điện được đặt thẳng đứng. Do sức cản của không khí, vận tốc của hạt bụi không đổi và bằng $v_1 = 2\text{cm/s}$. Hỏi trong thời gian bao lâu, sau khi đặt một hiệu điện thế $U = 300\text{V}$ vào hai bản của tụ điện, thì hạt bụi đập vào một trong hai bản đó. Cho biết khoảng cách giữa hai bản là $d = 2\text{cm}$, khối lượng hạt bụi $m = 2 \cdot 10^{-9}\text{g}$, điện tích của hạt bụi $q = 6,5 \cdot 10^{-17}\text{C}$.

1–37. Cho hai mặt trụ đồng trục mang điện đều bằng nhau và trái dấu có bán kính lần lượt là 3cm và 10cm, hiệu điện thế giữa chúng là 50V. Tính mật độ điện dài trên mỗi mặt trụ và cường độ điện trường tại điểm ở khoảng cách bằng trung bình cộng của hai bán kính.

1–38. Cho một quả cầu tích điện đều với mật độ điện khối ρ , bán kính a . Tính hiệu điện thế giữa hai điểm cách tâm lần lượt là $a/2$ và a .

1–39. Người ta đặt một hiệu điện thế $U = 450V$ giữa hai hình trụ dài đồng trục bằng kim loại mỏng bán kính $r_1 = 3cm$, $r_2 = 10cm$. Tính :

1. Điện tích trên một đơn vị dài của hình trụ.
2. Mật độ điện mặt trên mỗi hình trụ.
3. Cường độ điện trường ở gần sát mặt hình trụ trong, ở trung điểm của khoảng cách giữa hai hình trụ và ở gần sát mặt hình trụ ngoài.

Chương 2 : VẬT DẪN – TỤ ĐIỆN

Tóm tắt công thức

- 1. Liên hệ giữa điện thế và điện tích của một vật dẫn :**

$$Q = CV, \quad (2-1)$$

trong đó C là điện dung của vật dẫn.

- 2. Điện dung của một quả cầu bằng kim loại (cô lập)**

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R, \quad (2-2)$$

R là bán kính của quả cầu.

- 3. Điện dung của tụ điện phẳng :**

$$C = \frac{\epsilon_0\epsilon S}{d}, \quad (2-3)$$

trong đó S là diện tích một bản tụ điện, d là khoảng cách giữa hai bản.

4. Điện dung của tụ điện cầu :

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon R_1 R_2}{(R_2 - R_1)}, \quad (2-4)$$

với R_1 là bán kính mặt cầu trong, R_2 là bán kính mặt cầu ngoài.

5. Điện dung của tụ điện trụ :

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\ln(R_2/R_1)}, \quad (2-5)$$

với l là chiều cao của hình trụ, R_1 là bán kính tiết diện mặt trụ trong, R_2 là bán kính tiết diện mặt trụ ngoài.

6. Điện dung C của một bộ tụ điện ghép song song

$$C = \sum_{i=1}^n C_i ; \quad (2-6)$$

ghép nối tiếp :

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (2-7)$$

7. Năng lượng vật dẫn (cô lập) :

$$W = \frac{QV}{2} = \frac{CV^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}. \quad (2-8)$$

8. Năng lượng của tụ điện :

$$W = \frac{QU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}. \quad (2-9)$$

Năng lượng của tụ điện phẳng :

$$W = \frac{\epsilon_0\epsilon S U^2}{2d} = \frac{\epsilon_0\epsilon E^2 Sd}{2} = \frac{\sigma^2 Sd}{2\epsilon_0\epsilon}. \quad (2-10)$$

9. Mật độ năng lượng điện trường :

$$W = \frac{\epsilon_0\epsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2}. \quad (2-11)$$

Bài tập ví dụ 1

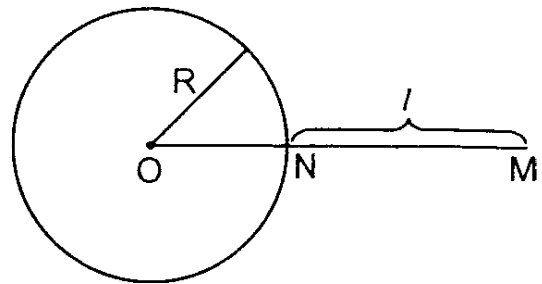
Một quả cầu kim loại đặt trong chân không có bán kính bằng 50cm, mang một điện tích $q = 5.10^{-5}C$. Xác định cường độ điện trường và điện thế tại một điểm : 1) Nằm cách mặt quả cầu 100cm ; 2) Nằm sát mặt quả cầu ; 3) Ở tâm quả cầu.

Bài giải

$$\text{Cho } \begin{cases} q = 5.10^{-5}C \\ R = 50cm = 5.10^{-1}m \\ l = 100cm = 1m \end{cases}$$

$$\text{Hỏi } \begin{cases} 1) E_M, V_M ? \\ 2) E_N, V_N ? \\ 3) E_O, V_O ? \end{cases}$$

1. Cường độ điện trường và điện thế do một quả cầu kim loại mang điện gây ra tại một điểm nằm ngoài quả cầu bằng cường độ điện trường và điện thế gây bởi một điện tích điểm có điện tích bằng điện tích của quả cầu đặt tại tâm của nó.



Hình 2-1

Gọi r là khoảng cách từ tâm O của quả cầu đến điểm M mà ta xét, thì :

$$E_M = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{1}{4\pi \cdot 8,86.10^{-12}} \cdot \frac{5.10^{-5}}{(50 + 100)^2 \cdot 10^{-4}} = 2.10^5 V/m,$$

$$V_M = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{1}{4\pi \cdot 8,86.10^{-12}} \cdot \frac{5.10^{-5}}{(50 + 100) \cdot 10^{-2}} = 3.10^5 V.$$

2. Cường độ điện trường ngay trên mặt quả cầu thì không xác định được, nhưng tại một điểm nằm sát mặt quả cầu vẫn được tính gần đúng theo công thức trên :

$$E_N = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{5.10^{-5}}{(50)^2 \cdot 10^{-4}} = 1,8.10^6 V/m,$$

$$V_N = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{5.10^{-5}}{5.10^{-2}} = 9.10^5 V.$$

3. Cường độ điện trường tại tâm quả cầu bằng không vì quả cầu kim loại cân bằng điện ($E_0 = 0$).

Điện thế tại tâm quả cầu bằng điện thế tại một điểm trên mặt quả cầu vì quả cầu kim loại là một vật đẳng thế. Do đó : $V_0 = 9.10^5 \text{ V}$.

Bài tập ví dụ 2

Một quả cầu nhỏ mang một điện tích $q = \frac{5}{3}.10^{-7} \text{ C}$ đặt cách một tấm kim loại phẳng một khoảng $a = 3 \text{ cm}$. Tấm kim loại này được nối với đất. Hãy tính lực tác dụng lên quả cầu.

Bài giải

$$\text{Cho } \begin{cases} q = \frac{5}{3}.10^{-7} \text{ C} \\ a = 3 \text{ cm} = 3.10^{-2} \text{ m.} \end{cases}$$

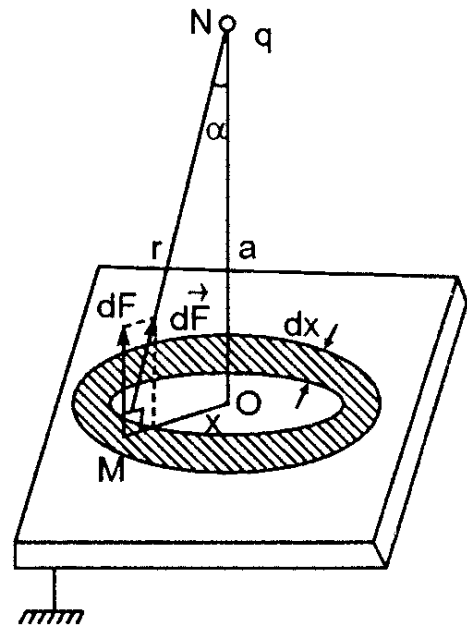
Hỏi : F ?

Do hiện tượng hưởng ứng tĩnh điện, trên mặt tấm kim loại sẽ xuất hiện các điện tích hưởng ứng. Điện tích hưởng ứng trên mặt kim loại chịu tác dụng của lực tĩnh điện \vec{F} . Dễ dàng nhận thấy theo định luật Niuton thứ 3 lực tác dụng lên quả cầu về cường độ sẽ bằng lực tác dụng lên tấm kim loại mang điện do hưởng ứng.

Xét một điểm M nằm bên trong và sát mặt tấm kim loại. Điện tích hưởng ứng tại M chịu tác dụng của lực tĩnh điện \vec{dF} . Vì tính chất đối xứng nên chỉ cần chú ý tới thành phần lực vuông góc với mặt tấm kim loại (dF).

Để tính dF ta chia tấm kim loại ra thành các phần tử hình vành khăn có bán kính x , bề rộng dx , diện tích dS . Gọi dQ là điện tích hưởng ứng trên diện tích dS , ta có :

$$dF = E_q dQ,$$



Hình 2-2

trong đó : E_q là điện trường do quả cầu mang điện tích q gây ra trên mặt tấm kim loại.

$$E_q = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

dQ là điện tích hưởng ứng trên dS với mật độ điện mặt σ
 $dQ = \sigma dS = 2\pi\sigma x dx$.

$$\begin{aligned} \text{Vậy} \quad dF &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot 2\pi\sigma x dx = \\ &= \frac{1}{2\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \sigma x dx = \frac{q\sigma x dx}{2\epsilon_0(a^2 + x^2)}. \end{aligned}$$

Mặt khác do tính chất của vật dẫn cân bằng điện, điện trường bên trong vật dẫn bằng 0 nên :

$$\vec{E} = \vec{E}_q + \vec{E}_{\text{mặt}} = 0,$$

vì chỉ cần chú ý tới thành phần vuông góc với mặt tấm kim loại nên ta sẽ có :

$$E_q \cos\alpha - E_{\text{mặt}} = 0, \text{ với } \cos\alpha = \frac{a}{r},$$

$$\text{hay} \quad \frac{qa}{4\pi\epsilon_0 r^2 r} - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = 0;$$

$$\text{từ đó rút ra} \quad \sigma = \frac{qa}{2\pi r^3}.$$

$$\text{Vậy} \quad dF = \frac{q^2 a x dx}{2\epsilon_0 2\pi(a^2 + x^2)^{5/2}},$$

$$\text{và} \quad F = \int_0^\infty \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2 a x dx}{(a^2 + x^2)^{5/2}} \quad \text{suy ra} \quad F = \frac{1}{12\epsilon_0} \frac{q^2}{a^2},$$

thay số vào ta được $F = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ N}$.

Bài tập ví dụ 3

Cho một tụ điện phẳng giữa hai bản là không khí, diện tích S của mỗi bản bằng 1 m^2 , khoảng cách d giữa hai bản bằng $1,5\text{ mm}$.

1. Tìm điện dung của tụ điện.
2. Tìm mật độ điện mặt σ trên mỗi bản khi tụ điện được mắc vào một nguồn điện có hiệu điện thế không đổi $U = 300V$.
3. Cũng các câu hỏi trên khi ta lấp đầy khoảng không gian giữa hai bản tụ điện bằng một lớp thủy tinh có hằng số điện môi $\epsilon = 6$.

Bài giải :

$$\text{Cho } \begin{cases} S = 1\text{m}^2 \\ d = 1,5\text{mm} = 1,5 \cdot 10^{-3}\text{m}, \\ V_1 - V_2 = U = 300V. \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{Hỏi} \\ C ? \\ \sigma ? \end{matrix}$$

1. Để tìm điện dung C ta áp dụng công thức :

$$C = \epsilon_0 \epsilon S / d \text{ (đối với không khí } \epsilon = 1),$$

$$C = 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 1 / 1,5 \cdot 10^{-3} = 5,9 \cdot 10^{-9} \text{F}.$$

2. Gọi E là cường độ điện trường giữa hai bản của tụ điện phẳng, σ là mật độ điện mặt trên các bản, ta có :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon},$$

từ đó rút ra $\sigma = \epsilon_0 \epsilon E = \epsilon_0 E$, nhưng $E = U / d$,

$$\text{nên } \sigma = \epsilon_0 U / d = 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 300 / 1,5 \cdot 10^{-3} = 1,77 \cdot 10^{-6} \text{C/m}^2.$$

3. Dựa vào công thức $C = \epsilon C_0$ ta thấy điện dung của tụ điện trong trường hợp này sẽ tăng lên ϵ lần. Vậy ta có :

$$C = 6 \cdot 5,9 \cdot 10^{-9} \text{F} = 35,4 \cdot 10^{-9} \text{F}.$$

Đối với mật độ điện mặt σ , ta có nhận xét là trong trường hợp này, hiệu điện thế U giữa hai bản không đổi cho nên nếu C tăng ϵ lần thì điện tích $Q = CU$ cũng sẽ tăng ϵ lần, do đó mật độ điện mặt σ cũng tăng lên ϵ lần : $\sigma = 6 \cdot 1,77 \cdot 10^{-6} \text{C/m}^2 = 10,62 \cdot 10^{-6} \text{C/m}^2 = 1,06 \cdot 10^{-5} \text{C/m}^2$.

Bài tập ví dụ 4

Có một điện tích $q = 4,5 \cdot 10^{-9} \text{C}$ đặt ở giữa hai bản của một tụ điện phẳng có điện dung $C = 1,78 \cdot 10^{-11} \text{F}$. Điện tích đó chịu tác dụng của một lực bằng $F = 9,81 \cdot 10^{-5} \text{N}$.

Diện tích của mỗi bản bằng $S = 100\text{cm}^2$. Giữa hai bản tụ điện người ta đổ đầy chất parafin ($\epsilon = 2$). Xác định :

1. Hiệu điện thế giữa hai bản.
2. Điện tích của tụ điện.
3. Mật độ năng lượng và năng lượng điện trường giữa hai bản tụ điện.
4. Lực tương tác giữa hai bản.

Bài giải :

$$\text{Cho } \begin{cases} \epsilon = 2, \\ q = 4,5 \cdot 10^{-9} \text{C}, \\ C = 1,78 \cdot 10^{-11} \text{F}, \\ F = 9,81 \cdot 10^{-5} \text{N}, \\ S = 100\text{cm}^2 = 10^{-2} \text{m}^2 \end{cases} \quad \text{Hỏi } \begin{cases} U, \\ Q, \\ w, \\ W, \\ f. \end{cases}$$

1. Hiệu điện thế giữa hai bản của tụ điện được tính theo công thức $U = Ed$, (1)
trong đó E và d lần lượt là cường độ điện trường và khoảng cách giữa hai bản của tụ điện.

Gọi F là lực tĩnh điện tác dụng lên điện tích q đặt giữa hai bản tụ điện. Ta có :

$$F = qE. \quad (2)$$

Khoảng cách d giữa hai bản có thể được rút ra từ công thức tính điện dung C của tụ điện phẳng :

$$C = \epsilon_0 \epsilon S / d. \quad (3)$$

Rút d và E từ các biểu thức (2) và (3) rồi thay vào biểu thức (1) ta có :

$$U = \frac{F \epsilon_0 S \epsilon}{qC} = \frac{9,81 \cdot 10^{-5} \cdot 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{4,5 \cdot 10^{-9} \cdot 1,78 \cdot 10^{-11}} = 217 \text{V}.$$

2. Gọi Q là điện tích của tụ điện, ta có :

$$Q = CU = 1,78 \cdot 10^{-11} \cdot 217 = 3,85 \cdot 10^{-9} \text{C}.$$

3. Mật độ năng lượng w được tính theo công thức :

$$w = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon \left(\frac{F}{q} \right)^2}{2} = \frac{8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \left(\frac{9,81 \cdot 10^{-5}}{4,5 \cdot 10^{-9}} \right)^2}{2} =$$

$$= 42,03 \cdot 10^{-4} \text{ J/m}^3.$$

Năng lượng điện trường W giữa hai bản tụ điện được xác định bằng công thức :

$$W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} 1,78 \cdot 10^{-11} (217)^2 = 4,19 \cdot 10^{-7} \text{ J}.$$

4. Gọi lực tương tác giữa hai bản của tụ điện là f , công dịch chuyển hai bản tụ điện lại sát nhau về trị số bằng năng lượng W của tụ điện, ta có :

$$fd = W = wSd.$$

$$\text{Vậy : } f = wS = 42,03 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-2} \text{ N} = 42,03 \cdot 10^{-6} \text{ N}.$$

Bài tập tự giải

2-1. Cho hai mặt cầu kim loại đồng tâm bán kính $R_1 = 4\text{cm}$, $R_2 = 2\text{cm}$ mang điện tích $Q_1 = -(2/3) \cdot 10^{-9} \text{C}$, $Q_2 = 3 \cdot 10^{-9} \text{C}$. Tính cường độ điện trường và điện thế tại những điểm cách tâm mặt cầu những khoảng bằng 1cm, 2cm, 3cm, 4cm, 5cm.

2-2. Một quả cầu kim loại bán kính 10cm, điện thế 300V. Tính mật độ điện mặt của quả cầu.

2-3. Hai quả cầu kim loại bán kính r bằng nhau và bằng 2,5cm đặt cách nhau 1m, điện thế của một quả cầu là 1200V, của quả cầu kia là -1200V. Tính điện tích của mỗi quả cầu.

2-4. Hai quả cầu kim loại có bán kính và khối lượng như nhau : $R = 1\text{cm}$, $m = 4 \cdot 10^{-5} \text{kg}$ được treo ở đầu hai sợi dây có chiều dài bằng nhau sao cho mặt ngoài của chúng tiếp xúc với nhau. Sau khi truyền điện tích cho các quả cầu, chúng đẩy nhau và dây treo lệch một góc nào đó so với phương thẳng đứng. Sức căng của dây khi đó là $T = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{N}$. Tính điện thế của các quả cầu mang điện này biết rằng khoảng cách từ điểm treo đến tâm quả cầu là $l = 10\text{cm}$. Các quả cầu đặt trong không khí.

2-5. Hai quả cầu kim loại bán kính 8cm và 5cm nối với nhau bằng một sợi dây dẫn có điện dung không đáng kể, và được tích một điện lượng $Q = 13 \cdot 10^{-8} \text{C}$. Tính điện thế và điện tích của mỗi quả cầu.

2-6. Tại tâm của quả cầu rỗng cô lập bằng kim loại có đặt một điện tích q . Hỏi khi treo một điện tích q' ở ngoài quả cầu thì nó có bị lệch đi không ? Cũng câu hỏi đó cho trường hợp ta nối quả cầu với đất.

2-7. Trước một tấm kim loại nối với đất người ta đặt một điện tích q cách tấm kim loại một đoạn a . Tính mật độ điện mặt trên tấm kim loại tại điểm :

1. Cách q một đoạn bằng a .
2. Cách q một đoạn bằng r ($r > a$).

2-8. Một quả cầu kim loại bán kính $R = 1\text{m}$ mang điện tích $q = 10^{-6} \text{C}$. Tính :

1. Điện dung của quả cầu ;
2. Điện thế của quả cầu ;
3. Năng lượng trường tĩnh điện của quả cầu.

2-9. Tính điện dung của Trái Đất, biết bán kính của Trái Đất là $R = 6400\text{km}$. Tính độ biến thiên điện thế của Trái Đất nếu tích thêm cho nó 1C .

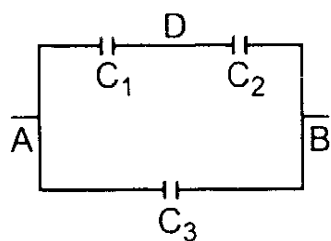
2-10. Cho một tụ điện hình trụ bán kính hai bản là $r = 1,5\text{cm}$, $R = 3,5\text{cm}$. Hiệu điện thế giữa hai bản là $U_0 = 2300\text{V}$. Tính vận tốc của một electron chuyển động theo đường sức điện trường từ khoảng cách 2,5cm đến 3cm nếu vận tốc ban đầu của nó bằng không.

2-11. Cho một tụ điện cầu bán kính hai bản là $r = 1\text{cm}$ và $R = 4\text{cm}$, hiệu điện thế giữa hai bản là 3000V . Tính cường độ điện trường ở một điểm cách tâm tụ điện 3cm.

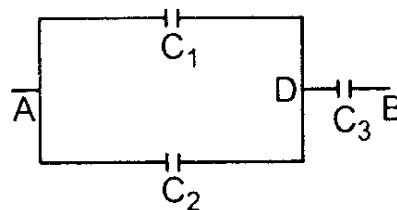
2-12. Cho một tụ điện cầu bán kính hai bản là $R_1 = 1\text{cm}$, $R_2 = 3\text{cm}$, hiệu điện thế giữa hai bản là $U = 2300\text{V}$. Tính vận tốc của một electron chuyển động theo đường sức điện trường từ điểm cách tâm một khoảng $r_1 = 3\text{cm}$ đến điểm cách tâm một khoảng $r_2 = 2\text{cm}$.

2-13. Hai quả cầu mang điện như nhau, mỗi quả nặng $P = 0,2N$ được đặt cách nhau một khoảng nào đó. Tìm điện tích của các quả cầu biết rằng ở khoảng cách đó, năng lượng tương tác tĩnh điện lớn hơn năng lượng tương tác hấp dẫn một triệu lần.

2-14. Tính điện dung tương đương của hệ các tụ điện C_1, C_2, C_3 . Cho biết điện dung của mỗi tụ điện bằng $0,5\mu F$ trong hai trường hợp : 1) Mắc theo hình 2-3 ; 2) Mắc theo hình 2-4.

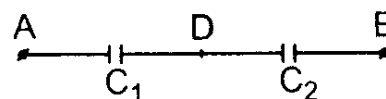


Hình 2-3



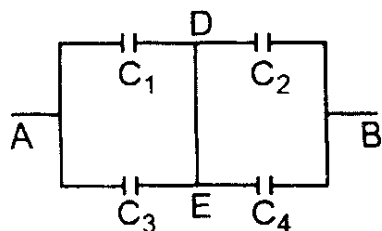
Hình 2-4

2-15. Hiệu điện thế giữa hai điểm A và B bằng $6V$ (hình 2-5). Điện dung của tụ điện thứ nhất $C_1 = 2\mu F$ và của tụ điện thứ hai $C_2 = 4\mu F$. Tính hiệu điện thế và điện tích trên các bản tụ điện.

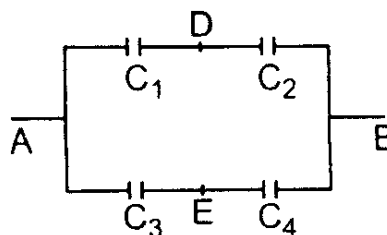


Hình 2-5

2-16. Tính điện dung tương đương của hai hệ các tụ điện C_1, C_2, C_3, C_4 mắc theo hình 2-6 và 2-7, chứng minh rằng điều kiện để hai điện dung tương đương bằng nhau là :



Hình 2-6



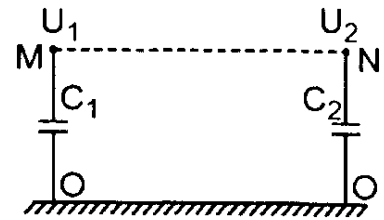
Hình 2-7

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_3}{C_4}.$$

2-17. Một tụ điện có điện dung $C_1 = 20\mu\text{F}$, hiệu điện thế giữa hai bản là $U_1 = 100\text{V}$. Người ta nối song song với nó một tụ điện thứ hai có hiệu điện thế trên hai bản là $U_2 = 40\text{V}$. Xác định điện dung của tụ điện thứ hai (C_2) biết hiệu điện thế sau khi nối là $U = 80\text{V}$ (hai bản nối với nhau có điện tích cùng dấu).

2-18. Một tụ điện có điện dung $C = 2\mu\text{F}$ được tích một điện lượng $q = 10^{-3}\text{C}$. Sau đó, các bản của tụ điện được nối với nhau bằng một dây dẫn. Tìm nhiệt lượng toả ra trong dây dẫn khi tụ điện phóng điện và hiệu điện thế giữa hai bản của tụ điện trước khi phóng điện.

2-19. Xác định nhiệt lượng toả ra khi nối các bản phía trên (bản không nối đất) của hai tụ điện bằng một dây dẫn (hình 2-8). Hiệu điện thế giữa các bản phía trên của các tụ điện và đất lần lượt bằng $U_1 = 100\text{V}$, $U_2 = -50\text{V}$, điện dung của các tụ điện bằng $C_1 = 2\mu\text{F}$; $C_2 = 0,5\mu\text{F}$.



Hình 2-8

Chương 3 : ĐIỆN MÔI

Tóm tắt công thức

1. Liên hệ giữa vectơ cường độ điện trường và vectơ điện cảm

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}. \quad (3-1)$$

2. Định lí Oxtơgratxki – Gaos trong điện môi :

$$\oint \vec{D} d\vec{S} = \sum_i q_i. \quad (3-2)$$

3. Vectơ phân cực điện môi :

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E} \text{ và } \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad (3-3)$$

với $1 + \chi = \epsilon$; χ gọi là hệ số phân cực điện môi.

4. Mật độ điện tích liên kết trên mặt chất điện môi đặt trong điện trường :

$$\sigma' = P_n = \chi \epsilon_0 E_n, \quad (3-4)$$

với P_n và E_n là hình chiếu của vectơ phân cực điện môi và vectơ cường độ điện trường lên phương pháp tuyến ngoài của mặt có điện tích xuất hiện.

Bài tập ví dụ 1

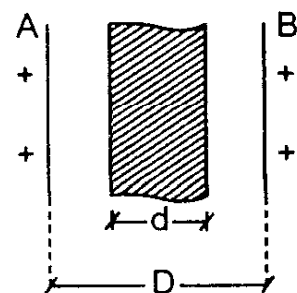
Cho hai mặt phẳng kim loại A, B song song tích điện đều, đặt cách nhau một khoảng $D = 1\text{cm}$, lần lượt có mật độ điện mặt bằng $\sigma_A = (2/3) \cdot 10^{-9} \text{C/cm}^2$ và $\sigma_B = (1/3) \cdot 10^{-9} \text{C/cm}^2$. Hằng số điện môi của một lớp môi trường có độ dài $d = 5\text{mm}$ giữa chúng là $\epsilon = 2$ (hình 3-1). Xác định hiệu điện thế giữa hai mặt đó.

Bài giải :

$$\text{Cho } \begin{cases} D = 1\text{cm} = 10^{-2}\text{m}, \\ \sigma_B = (1/3) \cdot 10^{-9} \text{C/cm}^2 = (1/3) \cdot 10^{-5} \text{C/m}^2, \\ \sigma_A = (2/3) \cdot 10^{-9} \text{C/cm}^2 = (2/3) \cdot 10^{-5} \text{C/m}^2, \\ d = 5\text{mm} = 0,5 \cdot 10^{-2}\text{m}, \\ \epsilon = 2. \end{cases} \quad \text{Hỏi : } U_{AB} ?$$

Vì hai mặt phẳng mang điện tích cùng dấu nên vectơ cường độ điện trường do hai mặt phẳng mang điện đó gây ra có hướng ngược nhau. Cường độ điện trường tổng hợp ở trong lớp môi trường có hằng số điện môi ϵ và bề dày d có giá trị bằng

$$E_d = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{2\epsilon_0\epsilon}.$$



Hình 3-1

Cường độ điện trường tổng hợp ở trong khoảng không gian còn lại giữa hai mặt phẳng mang điện trên có trị số bằng :

$$E_0 = \frac{(\sigma_A - \sigma_B)}{2\varepsilon_0}.$$

Hiệu điện thế ứng với lớp điện môi bề dày d có trị số bằng :

$$U_d = E_d d = \frac{(\sigma_A - \sigma_B)d}{2\varepsilon_0\varepsilon}.$$

Hiệu điện thế ứng với lớp không khí còn lại có bề dày $(D - d)$ bằng :

$$U_0 = E_0(D - d) = \frac{(\sigma_A - \sigma_B)(D - d)}{2\varepsilon_0}.$$

Hiệu điện thế giữa hai mặt phẳng mang điện A, B song song trên có trị số bằng :

$$\begin{aligned} U = U_0 + U_d &= \frac{(\sigma_A - \sigma_B)(D - d)}{2\varepsilon_0} + \frac{(\sigma_A - \sigma_B)d}{2\varepsilon_0\varepsilon} = \\ &= \frac{(\sigma_A - \sigma_B)\left(D - d + \frac{d}{\varepsilon}\right)}{2\varepsilon_0} = 1413V. \end{aligned}$$

Bài tập ví dụ 2

Có hai mặt phẳng song song vô hạn mang điện đều trái dấu mật độ điện mặt bằng nhau. Người ta lấp đầy giữa hai mặt phẳng đó một lớp thủy tinh dày 3mm ($\varepsilon = 7$ đối với thủy tinh). Hiệu điện thế giữa hai mặt phẳng trên là 1000V. Xác định mật độ điện tích liên kết ở trên mặt chất điện môi.

Bài giải :

$$\text{Cho } \begin{cases} U = 1000V, \\ \varepsilon = 7, \\ \varepsilon_0 = 8,86.10^{-12} C^2 / Nm^2, \\ d = 3.10^{-3} m. \end{cases} \quad \text{Hỏi : } \sigma' ?$$

Ta có $\sigma' = P_n$ trong đó $P_n = D_n - \epsilon_0 E_n$.

Vì hai mặt phẳng mang điện là vô hạn và mật độ điện đều nên các vectơ \underline{D} và \underline{E} đều vuông góc với hai mặt phẳng. Ta có $D_n = D$, $E_n = E$, $\sigma' = D - \epsilon_0 E$.

Thay $D = \epsilon_0 \epsilon E$ và $E = \frac{U}{d}$ vào biểu thức trên ta có :

$$\sigma' = \epsilon_0 (\epsilon - 1) E = \epsilon_0 (\epsilon - 1) \frac{U}{d},$$

Thay ϵ_0 , ϵ , U , d bằng những trị số của chúng ta có :

$$\sigma' = 8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 6000 / 3 \cdot 10^{-3} \text{C/m}^2 = 1,77 \cdot 10^{-5} \text{C/m}^2.$$

Bài tập tự giải

3-1. Xác định mật độ điện tích liên kết trên mặt một tấm mica dày 0,02cm đặt vào giữa và áp sát vào hai bản của một tụ điện phẳng được tích điện đến hiệu điện thế $U = 400\text{V}$.

3-2. Bên trong một lớp điện môi đồng chất hằng số điện môi là ϵ , có một điện trường đều E . Người ta khoét một lỗ hổng hình cầu bên trong lớp điện môi ấy. Hãy tìm cường độ điện trường E' tại tâm lỗ hổng do các điện tích cảm ứng trên mặt lớp điện môi tạo thành lỗ hổng gây ra.

3-3. Một tụ điện phẳng có chứa điện môi ($\epsilon = 6$) khoảng cách giữa hai bản là 0,4cm, hiệu điện thế giữa hai bản là 1200V. Tính :

1. Cường độ điện trường trong chất điện môi.
2. Mật độ điện mặt trên hai bản tụ điện.
3. Mật độ điện mặt trên chất điện môi.

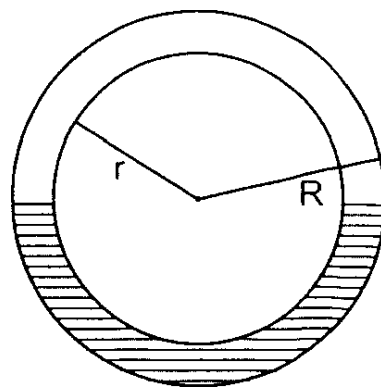
3-4. Cho một tụ điện phẳng, môi trường giữa hai bản ban đầu là không khí ($\epsilon_1 = 1$), diện tích mỗi bản là $0,01\text{m}^2$, khoảng cách giữa hai bản là 0,5cm, hai bản được nối với một hiệu điện thế 300V. Sau đó bỏ nguồn đi rồi lấp đầy khoảng không gian giữa hai bản bằng một chất điện môi có $\epsilon_2 = 3$.

1. Tính hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện sau khi lấp đầy điện môi.
2. Tính điện tích trên mỗi bản.

3-5. Cho một tụ điện phẳng, khoảng cách giữa hai bản là $0,01\text{m}$. Giữa hai bản đổ đầy dầu có hằng số điện môi $\epsilon = 4,5$. Hỏi cần phải đặt vào các bản một hiệu điện thế bằng bao nhiêu để mật độ điện tích liên kết trên dầu bằng $6,2 \cdot 10^{-10} \text{C/cm}^2$.

3-6. Giữa hai bản của tụ điện phẳng, có một bản thủy tinh ($\epsilon = 6$). Diện tích mỗi bản tụ điện bằng 100cm^2 . Các bản tụ điện hút nhau với một lực bằng $4,9 \cdot 10^{-3} \text{N}$. Tính mật độ điện tích liên kết trên mặt thủy tinh.

3-7. Một tụ điện cầu có một nửa chứa điện môi đồng chất với hằng số điện môi $\epsilon = 7$, nửa còn lại là không khí. Bán kính các bản là $r = 5\text{cm}$ và $R = 6\text{cm}$ (hình 3-2) : Xác định điện dung C của tụ điện. Bỏ qua độ cong của những đường sức điện trường tại mặt giới hạn chất điện môi.



Hình 3-2

3-8. Trong một tụ điện phẳng có khoảng cách giữa các bản là d , người ta đặt một tấm điện môi dày $d_1 < d$ song song với các bản của tụ điện. Xác định điện dung của tụ điện trên. Cho biết hằng số điện môi của tấm điện môi là ϵ , diện tích của tấm đó bằng diện tích các bản của tụ điện và bằng S .

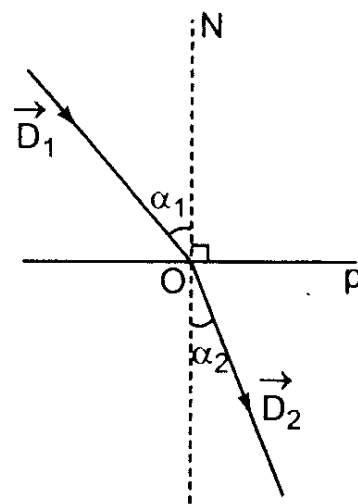
3-9. Hai tụ điện phẳng, mỗi cái có điện dung $C = 10^{-6} \mu\text{F}$ được mắc nối tiếp với nhau. Tìm sự thay đổi điện dung của hệ nếu lấp đầy một trong hai tụ điện đó bằng một chất điện môi có hằng số điện môi $\epsilon = 2$.

3-10. Một điện tích q được phân bố đều trong khắp thể tích của một quả cầu bán kính R . Tính :

1. Năng lượng điện trường bên trong quả cầu.
2. Năng lượng điện trường bên ngoài quả cầu.
3. Khi chia đôi quả cầu thành hai nửa quả cầu bằng nhau, năng lượng điện trường thay đổi thế nào ?

Cho hằng số điện môi của môi trường bên trong cũng như bên ngoài quả cầu đều bằng ϵ .

3-11. Vectơ cảm ứng điện \vec{D} qua mặt phân cách giữa hai chất điện môi khác nhau, sẽ đổi hướng (hình 3-3). Tìm quy luật của sự đổi hướng đó.



Hình 3-3

Chương 4 : TỪ TRƯỜNG

Tóm tắt công thức

1. Định luật Biô – Xava – Laplatx

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I d\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3} \quad (4-1)$$

trong đó $d\vec{B}$ là vectơ cảm ứng từ do phần tử dòng điện $I d\vec{l}$ gây ra tại điểm M xác định bởi bán kính vectơ \vec{r} (vectơ nối từ phần tử dòng điện tới điểm M), $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ là hằng số từ, μ là độ từ thẩm của môi trường.

2. Nguyên lí chồng chất từ trường

$$\vec{B} = \int_{\text{cả dòng điện}} d\vec{B} \quad \text{và} \quad \vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i \quad (4-2)$$

3. Vectơ cường độ từ trường

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu} \quad (4-3)$$

4. Cảm ứng từ gây ra bởi một đoạn dòng điện thẳng

$$B = \frac{\mu_0 \mu I (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)}{4\pi r}, \quad (4-4)$$

trong đó r là khoảng cách từ điểm muốn tính cảm ứng từ tới dòng điện. Trường hợp dòng điện thẳng dài vô hạn : $\theta_1 = 0$; $\theta_2 = \pi$:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r}. \quad (4-5)$$

5. Cảm ứng từ gây ra bởi dòng điện tròn tại một điểm trên trục

$$B = \frac{\mu_0 \mu IS}{2\pi(R^2 + h^2)^{3/2}}, \quad (4-6)$$

trong đó R là bán kính dòng điện tròn ; S là diện tích của nó ; h là khoảng cách từ tâm dòng điện tròn tới điểm muốn tính cảm ứng từ.

6. Vectơ cảm ứng từ do một hạt điện chuyển động sinh ra tại một điểm M cách hạt điện một đoạn r

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{q\vec{v} \wedge \vec{r}}{r^3}. \quad (4-7)$$

7. Định lí Oxtôgratxki – Gaox đối với từ trường

$$\oint_{(s)} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0. \quad (4-8)$$

8. Định lí Ampe về lưu số của từ trường

$$\oint_{(c)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{i=1} I_i. \quad (4-9)$$

9. Cường độ từ trường

– Bên trong một cuộn dây điện hình xuyên

$$H = \frac{nI}{2\pi R}, \quad (4-10)$$

với n là số vòng của cuộn dây hình xuyên, R là bán kính của đường tròn tâm là tâm của hình xuyên đi qua điểm muốn tính từ trường.

– Bên trong ống dây điện thẳng dài vô hạn :

$$H = n_0 I, \quad (4-11)$$

với n_0 là số vòng dây trên đơn vị dài của ống dây.

10. Lực tác dụng của từ trường lên dòng điện

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \wedge \vec{B}. \quad (4-12)$$

11. Công của từ lực

$$A = I(\phi_{m2} - \phi_{m1}), \quad (4-13)$$

trong đó ϕ_{m1} và ϕ_{m2} là từ thông gửi qua diện tích lúc đầu và lúc sau của mạch điện.

12. Lực Loren

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \wedge \vec{B}, \quad (4-14)$$

trong đó q và \vec{v} là điện tích và vectơ vận tốc của hạt mang điện chuyển động.

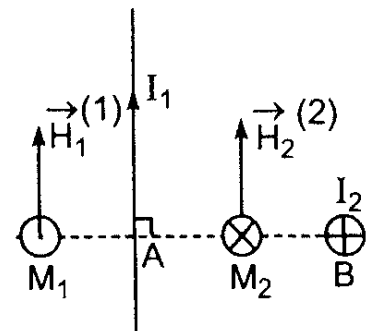
Bài tập ví dụ 1

Hai dây dẫn thẳng dài vô hạn vuông góc với nhau và nằm trong hai mặt phẳng vuông góc. Trên các dây dẫn có các dòng điện $I_1 = 2A$ và $I_2 = 3A$ chạy qua (hình 4-1). Xác định vectơ cường độ từ trường tại các điểm M_1 và M_2 . Cho biết khoảng cách giữa hai dây dẫn $AB = 2cm$, $AM_1 = AM_2 = 1cm$.

Bài giải

$$\text{Cho } \begin{cases} I_1 = 2A, \\ I_2 = 3A, \\ AB = 2cm = 2 \cdot 10^{-2}m, \\ AM_1 = AM_2 = 1cm = 10^{-2}m, \\ BM_2 = 1cm = 10^{-2}m. \end{cases} \quad \text{Hỏi } \begin{cases} H_1(M_1), \\ H_2(M_2). \end{cases}$$

Theo đầu bài, dòng điện I_1 nằm trong mặt phẳng hình vẽ, dòng điện I_2 vuông góc với mặt phẳng hình vẽ, các điểm M_1 và M_2 nằm trên đường thẳng AB đường này vuông góc với hai dây dẫn và nằm trong mặt phẳng hình vẽ. Như đã biết, mỗi dòng điện sinh ra xung quanh nó một từ trường. Từ trường tại các điểm M_1 và M_2 , theo



Hình 4-1

nguyên lí chồng chất từ trường bằng tổng hợp từ trường do các dòng điện I_1 và I_2 sinh ra tại các điểm đó.

a) Xác định vectơ cường độ từ trường \vec{H}_1 , tại M_1 .

Trước hết, cần xác định vectơ cường độ từ trường do từng dòng điện sinh ra tại M_1 . Vectơ cường độ từ trường $\vec{H}_1^{(1)}$ do dòng điện I_1 sinh ra tại M_1 có :

– *Phương* : vuông góc với mặt phẳng hình vẽ.

– *Chiều* : (quy tắc vắn nút chai) : đi từ phía sau ra phía trước hình vẽ.

$$- \text{Độ lớn} : H_1^{(1)} = \frac{I_1}{2\pi \cdot AM_1} = \frac{2}{2.3,14.10^{-2}} = \frac{1}{3,14} \cdot 10^2 \text{ A/m}.$$

Vectơ cường độ từ trường $\vec{H}_1^{(2)}$ do dòng điện I_2 sinh ra tại M_1 có :

– *Phương* : vuông góc với AB và nằm trong mặt phẳng hình vẽ.

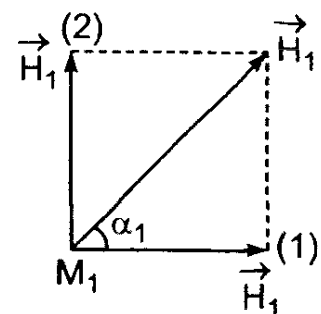
– *Chiều* : đi từ phía dưới lên phía trên hình vẽ.

$$\begin{aligned} - \text{Độ lớn} : H^{(2)} &= \frac{I_2}{2\pi(BA + AM_1)} = \\ &= \frac{3}{2.3,14.3.10^{-2}} = \frac{1}{2.3,14} 10^2 \text{ A/m}. \end{aligned}$$

Theo nguyên lí chồng chất từ trường, vectơ cường độ từ trường tại M_1 bằng :

$$\vec{H}_1 = \vec{H}_1^{(1)} + \vec{H}_1^{(2)}$$

\vec{H}_1 được xác định theo quy tắc cộng vectơ (hình 4-2) ; chú ý rằng $\vec{H}_1^{(1)} \perp \vec{H}_1^{(2)}$ nên H_1 có :



Hình 4-2

– *Phương* : hợp với $\vec{H}_1^{(1)}$ một góc α_1 xác định bởi :

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{H_1^{(2)}}{H_1^{(1)}} = \frac{I_2}{2\pi(BA + AM_1)} : \frac{I_1}{2\pi \cdot AM_1} = \\ &= \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{AM_1}{BA + AM_1},\end{aligned}$$

$$\text{hay } \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{2+1} = \frac{1}{2} \rightarrow \alpha_1 = 26^\circ 34'.$$

– *Chiều* : Từ phía sau chếch ra phía trước mặt phẳng hình vẽ.

– *Độ lớn* : (Xác định bởi định lí Pitago) :

$$H_1 = \sqrt{\left(H_1^{(1)}\right)^2 + \left(H_1^{(2)}\right)^2} = 35,6 \text{ A/m}.$$

b) *Xác định vectơ cường độ từ trường \vec{H}_2 tại M_2 .*

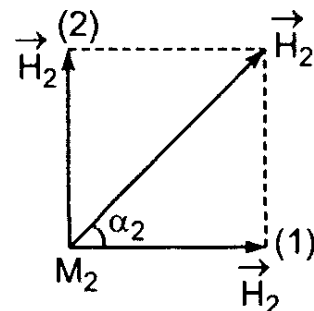
Phương pháp giải tương tự như câu a). Kết quả :

$$\vec{H}_2^{(1)} \begin{cases} \text{– Phương chiều : như hình vẽ 4 – 1 ;} \\ \text{– Độ lớn : } H_2^{(1)} = H_1^{(1)} ; \end{cases}$$

$$\vec{H}_2^{(2)} \begin{cases} \text{– Phương chiều : như hình vẽ 4 – 1 ;} \\ \text{– Độ lớn : } H_2^{(2)} = \frac{I_2}{2\pi \cdot BM_2} = \frac{3}{2 \cdot 3,14 \cdot 10^{-2}} = \\ = \frac{1,5}{3,14} \cdot 10^2 \text{ A/m.} \end{cases}$$

$$\vec{H}_2 = \vec{H}_2^{(1)} + \vec{H}_2^{(2)} \text{ (hình 4–3).}$$

$$\vec{H}_2 \begin{cases} \text{– Phương : xác định bởi} \\ \text{góc } \alpha_2 = 50^\circ 19' ; \\ \text{– Chiều : từ phía trước chếch} \\ \text{ra phía sau mặt phẳng hình vẽ ;} \\ \text{– Độ lớn :} \\ H_2 = \sqrt{(H_2^{(1)})^2 + (H_2^{(2)})^2} = 57,4 \text{ A/m.} \end{cases}$$



Hình 4–3

Bài tập ví dụ 2

Xác định cường độ từ trường tại các điểm nằm ở bên trong và bên ngoài của một dây dẫn hình trụ đặc dài vô hạn có dòng điện cường độ I chạy qua. Cho biết bán kính tiết diện vuông góc của hình trụ R .

Bài giải : Cho : I, R Hỏi : H ?

Để xác định cường độ từ trường sinh ra bởi các dòng điện đơn giản ta thường áp dụng định luật Biô – Xava – Laplatx, song đối với các dòng điện có hình dạng phức tạp (cuộn dây hình xoắn, ống dây v.v...) ta phải dùng định lí về lưu số của từ trường (định lí Ampe) :

$$\oint_{(c)} \vec{H} d\vec{l} = \sum_{i=1}^n I_i, \quad (1)$$

trong đó $\sum_{i=1}^n I_i$ là tổng đại số các cường độ dòng điện nằm trong

diện tích giới hạn bởi đường cong (c) ; $d\vec{l}$ là vectơ chuyển dời nguyên tố trên đường cong (c) .

Trong trường hợp bài toán, từ trường do dòng điện sinh ra có tính đối xứng trục – các đường sức từ trường là những vòng tròn có trục là trục của dây dẫn trụ (hình 4-4a). Để tiện lợi, ta chọn đường cong kín (c) là đường tròn bán kính r trùng với một đường sức từ trường. Do cách chọn trên, \vec{H} và $d\vec{l}$ trong (1) có cùng phương, chiều. Mặt khác do tính đối xứng trục của từ trường, $H = \text{const}$ dọc theo đường cong (c) . Vế trái của (1) sẽ có giá trị :

$$\oint_{(c)} \vec{H} d\vec{l} = \oint_{(c)} H \cdot dl = H \oint_{(c)} dl = H \cdot 2\pi r \quad (2)$$

Vế phải của (1) bằng :

$$\sum_{i=1}^n I_i = I_r, \quad (3)$$

trong đó I_r là cường độ dòng điện chạy trong phần hình trụ có tiết diện là diện tích của đường tròn (c) . Từ (1), (2) và (3), suy ra :

$$H = \frac{I_r}{2\pi r}.$$

a) Trường hợp điểm muốn tính từ trường nằm trong dây dẫn : $0 < r < R$

Ta có :

$$I_r = \frac{I\pi r^2}{\pi R^2} = \frac{I \cdot r^2}{R^2},$$

$$\text{và } H = \frac{I_r}{2\pi r} = \frac{I \cdot r}{2\pi R^2}.$$

Vậy : "Cường độ từ trường tại một điểm bên trong dây dẫn tỉ lệ với khoảng cách từ điểm đó tới trục của dây dẫn".

b) Trường hợp điểm muốn tính từ trường nằm ngoài dây dẫn $r > R$.

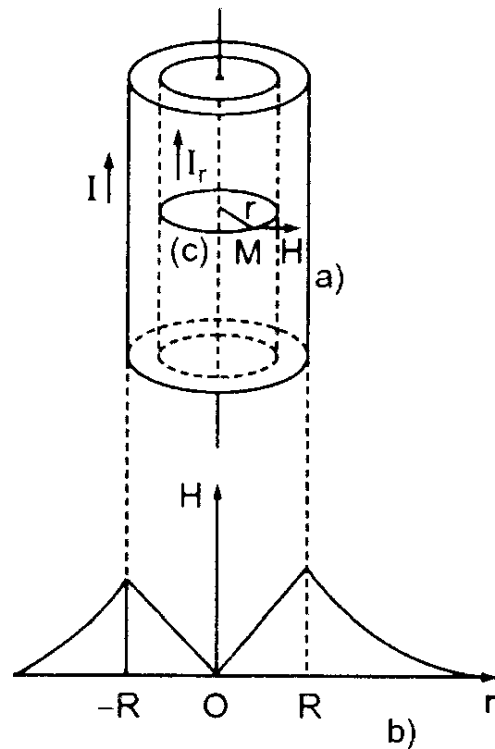
Trong trường hợp này

$$I_r = I.$$

$$\text{Do đó : } H = \frac{I_r}{2\pi r} = \frac{I}{2\pi r}.$$

Vậy : "Cường độ từ trường tại một điểm bên ngoài dây dẫn tỉ lệ nghịch với khoảng cách từ điểm đó tới trục của dây dẫn".

Sự phụ thuộc của H vào r được biểu diễn trên hình 4-4b.



Hình 4-4

Bài tập ví dụ 3

Xác định lực từ do một dòng điện thẳng dài vô hạn tác dụng lên một khung dây dẫn hình vuông cạnh $a = 40\text{cm}$. Biết rằng cường độ dòng điện thẳng $I_1 = 10\text{A}$, cường độ dòng điện chạy trong khung $I_2 = 2,5\text{A}$. Dây dẫn thẳng nằm trong mặt phẳng của khung dây, song song với một cạnh của khung và cách cạnh gần

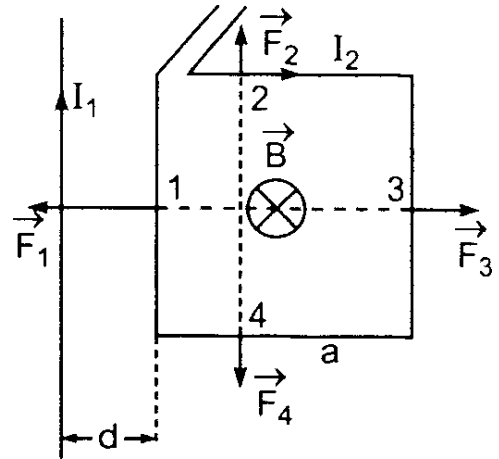
nhất một đoạn $d = 0,02\text{m}$. Khung dây không bị biến dạng. Chiều các dòng điện cho trên hình vẽ 4–5.

Bài giải :

Cho $I_1 = 10\text{A}$; $a = 40\text{cm} = 0,4\text{m}$, Hỏi : F ?

$I_2 = 2,5\text{A}$; $d = 0,02\text{m}$.

Gọi \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 , \vec{F}_4 lần lượt là các lực tác dụng của dòng điện thẳng lên các cạnh 1, 2, 3, 4 của khung dây. Dùng quy tắc bàn tay trái, ta xác định được phương chiều của các lực tác dụng như hình vẽ 4–5. Theo nguyên lí hợp lực, lực tổng hợp tác dụng lên khung dây bằng :



Hình 4–5

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 \quad (1).$$

Vì dòng điện thẳng là dài vô hạn nên vị trí tương đối của các cạnh 2 và 4 đối với dòng điện thẳng hoàn toàn giống nhau. Do đó lực tác dụng của dòng điện thẳng lên cạnh 2 và 4 có độ lớn bằng nhau ($F_2 = F_4$), có điểm đặt cách dây dẫn thẳng những đoạn bằng nhau. Nói một cách khác các lực \vec{F}_2 và \vec{F}_4 trực đối với nhau :

$$\vec{F}_2 + \vec{F}_4 = 0.$$

Các lực \vec{F}_1 và \vec{F}_3 có đặc điểm nằm giữa cạnh khung, cùng phương, ngược chiều nhau và có độ lớn cho bởi công thức :

$$F_1 = \frac{\mu_0 \mu_1 I_1 I_2 a}{2\pi d} \quad (2) \text{ và } F_3 = \frac{\mu_0 \mu_1 I_1 I_2 a}{2\pi(d + a)}. \quad (3)$$

Dễ dàng thấy rằng lực tác dụng tổng hợp lên khung dây làm khung dịch chuyển (vì khung không biến dạng), có phương chiều như \vec{F}_1 và có độ lớn (theo (1), (2), (3)) :

$$F = F_1 - F_3 = \frac{\mu_0 \mu_1 I_1 I_2 a}{2\pi} \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d + a} \right),$$

$$F = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 a^2}{2\pi d(d+a)} + \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10 \cdot 2,5 \cdot 16 \cdot 10^{-2}}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^{-2} (42 \cdot 10^{-2})} = 95 \cdot 10^{-5} \text{N}.$$

Bài tập ví dụ 4

Một electron chuyển động trong một từ trường đều cảm ứng từ $B = 5 \cdot 10^{-3} \text{T}$, theo hướng hợp với đường sức từ trường một góc $\alpha = 60^\circ$. Năng lượng của electron bằng $W = 1,64 \cdot 10^{-16} \text{J}$. Trong trường hợp này quỹ đạo của electron là một đường hình ốc. Tìm :

- Vận tốc của electron.
- Bán kính của vòng hình ốc và chu kỳ quay của electron trên quỹ đạo.
- Bước của đường hình ốc đó.

Cho khối lượng của electron $m = 9 \cdot 10^{-31} \text{kg}$, điện tích của electron $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$.

Bài giải :

$$\text{Cho } \begin{cases} W = 1,64 \cdot 10^{-16} \text{J}, \\ \alpha = 60^\circ, \\ B = 5 \cdot 10^{-3}. \end{cases} \quad \text{Hỏi } \begin{cases} \text{a) } v ? \\ \text{b) } R ? T ? \\ \text{c) } h ? \end{cases}$$

a) Ta có : $W = \frac{1}{2}mv^2,$

$$v = \sqrt{2W/m} = \sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-16} / 9 \cdot 10^{-31}} = 1,9 \cdot 10^7 \text{m/s}.$$

b) Electron chuyển động trong từ trường dưới tác dụng của lực Loren :

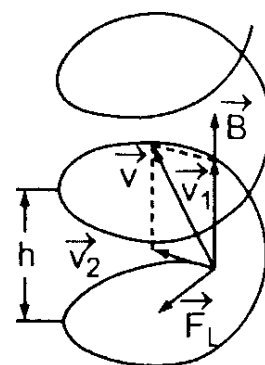
$$\vec{F}_L = e\vec{v} \wedge \vec{B}. \quad (1)$$

Lực Loren luôn luôn vuông góc với phương chuyển động của electron ($\vec{F} \perp \vec{v}$), do đó nó không sinh công, nghĩa là không làm thay đổi động năng của electron. Kết quả là vectơ vận tốc \vec{v} chỉ thay đổi phương chứ không thay đổi về độ lớn. Electron sẽ chuyển động cong đều ($|\vec{v}| = \text{const}$).

Ta hãy phân tích vector \vec{v} ra hai thành phần : \vec{v}_1 trùng với phương đường sức từ trường, \vec{v}_2 vuông góc với đường sức từ trường. Khi đó (1) thành :

$$\vec{F}_L = e\vec{v} \wedge \vec{B} = e\vec{v}_1 \wedge \vec{B} + e\vec{v}_2 \wedge \vec{B}.$$

trong đó : $e\vec{v}_1 \wedge \vec{B} = \vec{F}_1 = 0$. Vậy theo phương đường sức từ trường, êlectrôn chuyển động thẳng đều với vận tốc \vec{v}_1 .



Hình 4-6

Do đó : $\vec{F}_L = e\vec{v}_2 \wedge \vec{B}$ luôn luôn vuông góc với \vec{v}_2 , đóng vai trò của lực hướng tâm và làm cho êlectrôn chuyển động trên một đường tròn (mặt phẳng của vòng này vuông góc với đường sức từ trường). Bán kính của đường tròn cho bởi công thức

$$R = \frac{mv_2}{eB}. \quad (2)$$

Chu kì quay của êlectrôn trên đường tròn cho bởi công thức :

$$T = \frac{2\pi R}{v_2} = \frac{2\pi m}{eB}. \quad (3)$$

Tổng hợp hai chuyển động trên của êlectrôn làm cho êlectrôn chuyển động trên một đường đinh ốc có bước (theo định nghĩa) :

$$h = v_1 T = \frac{2\pi mv_1}{eB} \quad (4)$$

Từ (2) và (3) ta tính được bán kính của quỹ đạo :

$$R = \frac{mv_2}{eB} = \frac{mv \sin \alpha}{eB} \approx 2.10^{-2} \text{ m} = 2 \text{ cm},$$

và chu kì quay của êlectrôn :

$$T = \frac{2\pi m}{eB} \approx 7.10^{-9} \text{ s}.$$

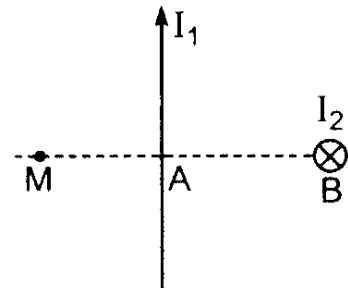
c) Từ (4) tính được :

$$h = \frac{2\pi mv_1}{eB} = \frac{2\pi mv \cos \alpha}{eB} \approx 5.10^{-2} \text{ m} = 5 \text{ cm}.$$

Bài tập tự giải

4-1. Tính cường độ từ trường của một dòng điện thẳng dài vô hạn tại một điểm cách dòng điện 2cm. Biết cường độ dòng điện $I = 5A$.

4-2. Hai dòng điện thẳng dài vô hạn, có cường độ dòng điện $I_1 = I_2 = 5A$, được đặt vuông góc với nhau và cách nhau một đoạn $AB = 2cm$. Chiều các dòng điện như hình vẽ 4-7.

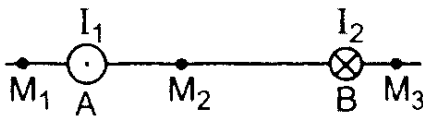


Hình 4-7

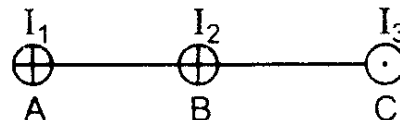
Xác định vectơ cường độ từ trường tại điểm M nằm trong mặt phẳng chứa I_1 và vuông góc với I_2 , cách dòng điện I_1 một đoạn $MA = 1cm$.

4-3. Hình 4-8 vẽ mặt cắt vuông góc của hai dòng điện thẳng song song dài vô hạn ngược chiều nhau. Khoảng cách giữa hai dòng điện $AB = 10cm$. Cường độ của các dòng điện lần lượt bằng $I_1 = 20A$, $I_2 = 30A$.

Xác định vectơ cường độ từ trường tổng hợp tại các điểm M_1 , M_2 , M_3 . Cho biết $M_1A = 2cm$, $AM_2 = 4cm$, $BM_3 = 3cm$.



Hình 4-8



Hình 4-9

4-4. Hình 4-9 biểu diễn tiết diện của ba dòng điện thẳng song song dài vô hạn. Cường độ các dòng điện lần lượt bằng : $I_1 = I_2 = I$; $I_3 = 2I$. Biết $AB = BC = 5cm$.

Tìm trên đoạn AC điểm có cường độ từ trường tổng hợp bằng không.

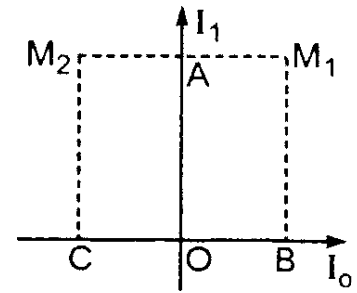
4-5. Hai dòng điện thẳng dài vô hạn đặt thẳng góc với nhau và nằm trong cùng một mặt phẳng (hình 4-10).

Xác định vectơ cường độ từ trường tổng hợp tại các điểm M_1 và M_2 , biết rằng :

$$I_1 = 2A, I_2 = 3A ;$$

$$AM_1 = AM_2 = 1\text{cm} ;$$

$$BM_1 = CM_2 = 2\text{cm}.$$



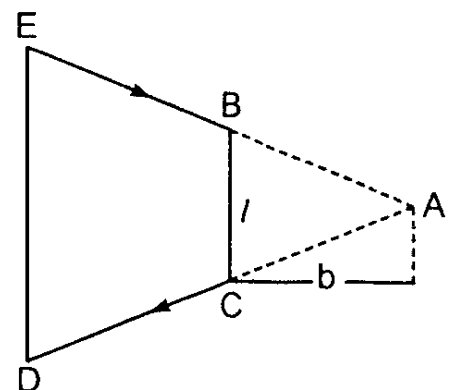
Hình 4-10

4-6. Tìm cường độ từ trường gây ra tại điểm M bởi một đoạn dây dẫn thẳng AB có dòng điện $I = 20A$ chạy qua, biết rằng điểm M nằm trên trung trực của AB, cách AB 5cm, và nhìn AB dưới góc 60° .

4-7. Một dây dẫn được uốn thành hình chữ nhật, có các cạnh $a = 16\text{cm}$, $b = 30\text{cm}$, có dòng điện cường độ $I = 6A$ chạy qua. Xác định vectơ cường độ từ trường tại tâm của khung dây.

4-8. Một dây dẫn được uốn thành tam giác đều mỗi cạnh $a = 50\text{cm}$. Trong dây dẫn có dòng điện cường độ $I = 3,14A$ chạy qua. Tìm cường độ từ trường tại tâm của tam giác đó.

4-9. Một dây dẫn được uốn thành một hình thang cân, có dòng điện cường độ $I = 6,28A$ chạy qua (hình 4-11). Tỷ số chiều dài hai đáy bằng 2. Tìm cảm ứng từ tại điểm A – giao điểm của đường kéo dài của 2 cạnh bên. Cho biết : đáy bé của hình thang $l = 20\text{cm}$, khoảng cách từ A tới đáy bé $b = 5\text{cm}$.



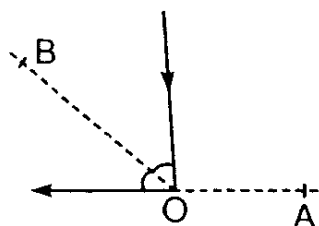
Hình 4-11

4-10. Một dây dẫn dài vô hạn được uốn thành một góc vuông, trên có dòng điện 20A chạy qua. Tìm :

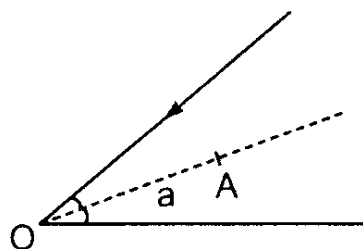
a) Cường độ từ trường tại điểm A nằm trên một cạnh góc vuông và cách đỉnh O một đoạn $OA = 2\text{cm}$ (hình 4-12) ;

b) Cường độ từ trường tại điểm B nằm trên phân giác của góc vuông và cách đỉnh O một đoạn $OB = 10\text{cm}$.

4-11. Một dây dẫn dài vô hạn được uốn thành một góc 56° . Cường độ dòng điện chạy qua dây dẫn $I = 30\text{A}$. Tìm cường độ từ trường tại điểm A nằm trên phân giác của góc và cách đỉnh góc một đoạn $a = 5\text{cm}$ (hình 4-13).



Hình 4-12



Hình 4-13

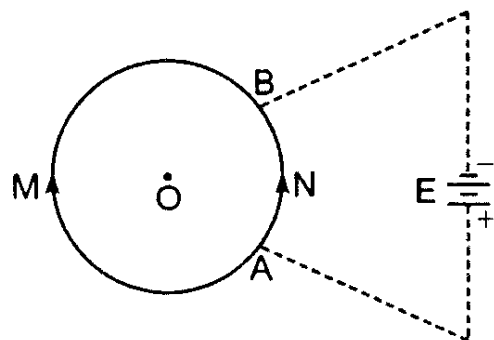
4-12. Trên một dây dẫn được uốn thành một đa giác n cạnh đều nội tiếp trong vòng tròn bán kính R có một dòng điện cường độ I chạy qua. Tìm cảm ứng từ B tại tâm của đa giác. Từ kết quả thu được, xét trường hợp $n \rightarrow \infty$.

4-13. Trên một vòng dây dẫn bán kính $R = 10\text{cm}$ có dòng điện cường độ $I = 1\text{A}$ chạy qua. Tìm cảm ứng từ B :

a) Tại tâm O của vòng dây :

b) Tại một điểm trên trục của vòng dây và cách tâm O một đoạn $h = 10\text{cm}$.

4-14. Người ta nối hai điểm A, B của một vòng dây dẫn kín hình tròn với hai cực của nguồn điện. Phương của các dây nối đi qua tâm của vòng dây, chiều dài của chúng coi như lớn vô cùng (hình 4-14).



Hình 4-14

Xác định cường độ từ trường tại tâm của vòng dây.

4-15. Cường độ từ trường tại tâm của một vòng dây dẫn hình tròn là H khi hiệu điện thế giữa hai đầu dây là U . Hỏi nếu bán kính vòng dây tăng gấp đôi mà muốn giữ cho cường độ từ trường

tại tâm vòng dây vẫn không đổi thì hiệu điện thế giữa hai đầu dây phải thay đổi như thế nào ?

4-16. Hai vòng dây dẫn tròn có tâm trùng nhau và được đặt sao cho trục của chúng vuông góc với nhau. Bán kính mỗi vòng dây bằng $R = 2\text{cm}$. Dòng điện chạy qua chúng có cường độ $I_1 = I_2 = 5\text{A}$. Tìm cường độ từ trường tại tâm của chúng.

4-17. Hai vòng dây dẫn giống nhau bán kính $r_0 = 10\text{cm}$ được đặt song song, trục trùng nhau và mặt phẳng của chúng cách nhau một đoạn $a = 20\text{cm}$. Tìm cảm ứng từ tại tâm của mỗi vòng dây và tại điểm giữa của đoạn thẳng nối tâm của chúng trong hai trường hợp :

a) Các dòng điện chạy trên các vòng dây bằng nhau và cùng chiều.

b) Các dòng điện chạy trên các vòng dây bằng nhau nhưng ngược chiều nhau.

4-18. Một sợi dây có vỏ cách điện đường kính (kể cả vỏ) bằng $d = 0,3\text{mm}$ được uốn thành một đường xoắn ốc phẳng gồm $N = 100$ vòng. Bán kính của vòng ngoài cùng $R = 30\text{mm}$. Cho dòng điện $I = 10\text{mA}$ chạy qua dây. Tính :

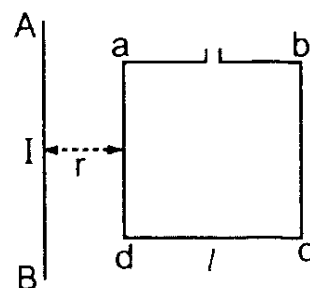
a) Mômen từ của đường xoắn ốc đó ;

b) Cường độ từ trường tại tâm của đường xoắn ốc.

4-19. Một quả cầu đồng chất khối lượng m , bán kính R , mang một điện tích q . Điện tích q được phân bố đều trong thể tích quả cầu. Người ta cho quả cầu quay xung quanh trục của nó với vận tốc góc ω . Tìm mômen động lượng L , mômen từ P_m của quả cầu đó ; suy ra tỉ số P_m/L ?

4-20. Một khung dây hình vuông $abcd$ mỗi cạnh $l = 2\text{cm}$, được đặt gần dòng điện thẳng dài vô hạn AB cường độ $I = 30\text{A}$. Khung $abcd$ và dây AB cùng nằm trong một mặt phẳng, cạnh ad song song với dây AB và cách dây một đoạn $r = 1\text{cm}$ (hình 4-15).

Tính từ thông gửi qua khung dây.



Hình 4-15

4.21. Cho một khung dây phẳng diện tích 16cm^2 quay trong một từ trường đều với vận tốc 2 vòng/s. Trục quay nằm trong mặt phẳng của khung và vuông góc với các đường sức từ trường. Cường độ từ trường bằng $7,96.10^4\text{A/m}$. Tìm : a) Sự phụ thuộc của từ thông gửi qua khung dây theo thời gian. b) Giá trị lớn nhất của từ thông đó.

4-22. Một thanh kim loại dài $l = 1\text{m}$ quay trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,05\text{T}$. Trục quay vuông góc với thanh, đi qua một đầu của thanh và song song với đường sức từ trường. Tìm từ thông quét bởi thanh sau một vòng quay.

4-23. Cho một dòng điện $I = 5\text{A}$ chạy qua một dây dẫn đặc hình trụ, bán kính tiết diện thẳng góc $R = 2\text{cm}$. Tính cường độ từ trường tại hai điểm M_1 và M_2 cách trục của dây lần lượt là $r_1 = 1\text{cm}$, $r_2 = 5\text{cm}$.

4-24. Một dòng điện $I = 10\text{A}$ chạy dọc theo thành của một ống mỏng hình trụ bán kính $R_2 = 5\text{cm}$, sau đó chạy ngược lại qua một dây dẫn đặc, bán kính $R_1 = 1\text{mm}$, đặt trùng với trục của ống. Tìm : a) Cảm ứng từ tại các điểm cách trục của ống $r_1 = 6\text{cm}$ và $r_2 = 2\text{cm}$; b) Từ thông gây ra bởi một đơn vị chiều dài của hệ thống. Coi toàn bộ hệ thống là dài vô hạn và bỏ qua từ trường bên trong kim loại.

4-25. Cho một ống dây điện thẳng dài 30cm , gồm 1000 vòng dây. Tìm cường độ từ trường bên trong ống dây nếu cường độ dòng điện chạy qua ống dây bằng 2A . Coi đường kính của ống dây rất nhỏ so với chiều dài của ống.

4-26. Dây dẫn của ống dây điện thẳng có đường kính bằng $0,8\text{mm}$ các vòng dây được quấn sát nhau coi ống dây khá dài. Tìm cường độ từ trường bên trong ống dây nếu cường độ dòng điện chạy qua ống dây bằng 1A .

4-27. Hỏi tỉ số giữa chiều dài l và đường kính D của một ống dây điện thẳng phải bằng bao nhiêu để có thể tính cường độ từ trường tại tâm của ống dây theo công thức của ống dây dài vô hạn mà không sai quá 1%.

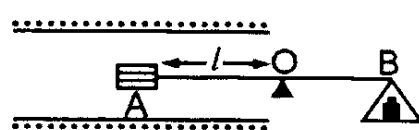
4-28. Một dây dẫn thẳng dài 70cm được đặt trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,1\text{T}$. Dây dẫn hợp với đường sức từ

trường một góc $\alpha = 30^\circ$. Tìm từ lực tác dụng lên dây dẫn khi cho dòng điện $I = 70\text{A}$ chạy qua dây dẫn.

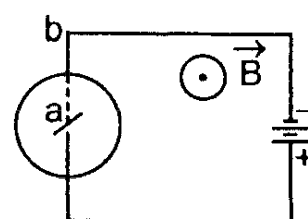
4–29. Trong một từ trường đều cảm ứng từ $B = 0,1\text{T}$ và trong mặt phẳng vuông góc với các đường sức từ, người ta đặt một dây dẫn uốn thành nửa vòng tròn. Dây dẫn dài $s = 63\text{cm}$, có dòng điện $I = 20\text{A}$ chạy qua. Tìm lực tác dụng của từ trường lên dây dẫn.

4–30. Một ống dây thẳng trên có dòng điện $I = 10\text{mA}$, được đặt trong một từ trường đều sao cho trục của ống dây trùng với phương đường sức từ trường. Các vòng dây được quấn bằng dây đồng có đường kính $d = 0,1\text{mm}$. Bán kính của mỗi vòng dây $R = 10\text{mm}$. Hỏi với giá trị nào của cảm ứng từ B của từ trường ngoài, vòng dây sẽ bị kéo đứt? Cho biết ứng suất của dây đồng khi đứt $\sigma_p = 2,3 \cdot 10^8 \text{N/m}^2$.

4–31. Cho một ống dây điện thẳng dài, cứ trên một mét có $n = 5000$ vòng dây. Tại tâm ống dây, người ta đặt một cuộn dây nhỏ gồm $N = 200$ vòng. Các vòng dây của cuộn dây nhỏ có đường kính $d = 10\text{mm}$. Cuộn dây được gắn ở đầu một đòn cân sao cho trục của nó vuông góc với trục của ống dây (hình 4–16). Lúc đầu cộng dây được cân bằng bởi một số quả nặng (đòn cân nằm trùng với trục của ống dây). Khi cho qua ống dây và cuộn dây cùng một dòng điện $I = 20\text{mA}$ thì cân bằng bị phá huỷ. Hỏi phải đặt thêm quả nặng có trọng lượng bằng bao nhiêu để cân bằng được thiết lập lại? Biết rằng cánh tay đòn của cân có chiều dài $l = 300\text{mm}$.



Hình 4–16



Hình 4–17

4–32. Đặt một đĩa bằng đồng bán kính $R = 5\text{cm}$ trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,2\text{T}$ sao cho mặt phẳng của đĩa vuông góc với đường sức từ trường. Cho một dòng điện $I = 5\text{A}$ chạy dọc theo bán kính ab của đĩa (hình 4–17).

Hỏi : a) Chiều quay của đĩa nếu chiều của từ trường đi từ phía sau ra phía trước mặt phẳng hình vẽ ;

b) Mômen lực tác dụng lên đĩa.

4–33. Hai cuộn dây điện nhỏ giống nhau được đặt, sao cho trục của chúng nằm trên cùng một đường thẳng. Khoảng cách giữa hai cuộn dây $l = 200\text{mm}$ rất lớn so với kích thước dài của các cuộn dây. Số vòng trên mỗi cuộn dây đều bằng $N = 200$ vòng, bán kính các vòng dây $R = 10\text{mm}$. Hỏi lực tương tác f giữa các cuộn dây khi cho cùng một dòng điện $I = 0,1\text{A}$ chạy qua chúng.

4–34. Cạnh một dây dẫn thẳng dài trên có dòng điện cường độ $I_1 = 30\text{A}$ chạy, người ta đặt một khung dây dẫn hình vuông có dòng điện cường độ $I_2 = 2\text{A}$. Khung và dây dẫn thẳng nằm trong cùng một mặt phẳng. Khung có thể quay xung quanh một trục song song với dây dẫn và đi qua các điểm giữa của hai cạnh đối diện của khung. Trục quay cách dây dẫn một đoạn $b = 30\text{mm}$. Mỗi cạnh khung có bề dài $a = 20\text{mm}$. Tìm :

a) Lực f tác dụng lên khung ;

b) Công cần thiết để quay khung 180° xung quanh trục của nó.

4–35. Hai dây dẫn thẳng dài vô hạn đặt song song cách nhau một khoảng nào đó. Dòng điện chạy qua các dây dẫn bằng nhau và cùng chiều. Tìm cường độ dòng điện chạy qua mỗi dây, biết rằng muốn dịch chuyển các dây dẫn tới khoảng cách lớn gấp đôi lúc đầu thì phải tốn một công bằng $5,5 \cdot 10^{-5}\text{J/m}$ (công dịch chuyển một mét dài của dây dẫn).

4–36. Một dây dẫn thẳng, dài $l = 10\text{cm}$ có dòng điện $I = 2\text{A}$ chạy qua, chuyển động với vận tốc $v = 20\text{cm/s}$ trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,5\text{T}$ theo phương vuông góc với đường sức từ trường. Dây dẫn chuyển động theo chiều khiến cho lực điện từ sinh công cản. Tính công cản đó sau thời gian $t = 10$ giây.

4–37. Cuộn dây của một điện kế gồm 400 vòng có dạng khung chữ nhật chiều dài 3cm , chiều rộng 2cm , được đặt trong

một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,1\text{T}$. Dòng điện chạy trong khung có cường độ bằng 10^{-7}A . Hỏi :

- a) Thế năng của khung dây trong từ trường tại hai vị trí :
 - Vị trí 1 : Mặt phẳng của khung song song với đường sức từ trường.
 - Vị trí 2 : Mặt phẳng của khung hợp với đường sức từ trường một góc 30° .

b) Công của lực điện từ khi khung dây quay từ vị trí 1 sang vị trí 2 ở câu hỏi a.

4–38. Một vòng dây dẫn tròn bán kính $R = 2\text{cm}$ trên có dòng điện $I = 2\text{A}$, được đặt sao cho mặt phẳng của vòng dây vuông góc với đường sức của một từ trường có cảm ứng từ $B = 0,2\text{T}$. Hỏi công phải tốn để quay vòng dây trở về vị trí song song với đường sức từ trường.

4–39. Một êlectrôn, được gia tốc bởi hiệu điện thế $U = 1000\text{V}$, bay vào một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 1,19 \cdot 10^{-3}\text{T}$. Hướng bay của êlectrôn vuông góc với các đường sức từ trường. Tìm :

- a) Bán kính quỹ đạo của êlectrôn ;
- b) Chu kì quay của êlectrôn trên quỹ đạo ;
- c) Mômen động lượng của êlectrôn đối với tâm quỹ đạo.

4–40. Một êlectrôn sau khi được gia tốc bằng hiệu điện thế $U = 300\text{V}$ thì chuyển động song song với một dây dẫn thẳng dài và cách dây dẫn một khoảng $a = 4\text{mm}$. Tìm lực tác dụng lên êlectrôn nếu cho dòng điện $I = 5\text{A}$ chạy qua dây dẫn.

4–41. Một êlectrôn bay vào một từ trường đều cảm ứng từ $B = 10^{-3}\text{T}$ theo phương vuông góc với đường sức từ trường với vận tốc $v = 4 \cdot 10^7\text{m/s}$. Tìm gia tốc tiếp tuyến và gia tốc pháp tuyến của êlectrôn.

4–42. Một hạt α có động năng $W_d = 500\text{eV}$ bay theo hướng vuông góc với đường sức của một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,1\text{T}$. Tìm :

- a) Lực tác dụng lên hạt α ;
- b) Bán kính quỹ đạo của hạt ;

c) Chu kì quay của hạt trên quỹ đạo.

Chú thích : hạt α có điện tích bằng $+2e$.

4-43. Một electron chuyển động trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 2 \cdot 10^{-3} \text{T}$. Quỹ đạo của electron là một đường hình ốc có bán kính $R = 2 \text{cm}$ và có bước $h = 5 \text{cm}$. Xác định vận tốc của electron.

4-44. Một electron được gia tốc bằng một hiệu điện thế $U = 6000 \text{V}$ bay vào một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{T}$. Hướng bay của electron hợp với đường sức từ một góc $\alpha = 30^\circ$; quỹ đạo của electron khi đó là một đường hình ốc. Tìm :

a) Bán kính của một vòng xoắn ốc.

b) Bước của đường hình ốc.

4-45. Qua tiết diện $S = ab$ của một bản bằng đồng bề dày $a = 0,5 \text{mm}$ bề cao $b = 1 \text{mm}$, có một dòng điện $I = 20 \text{A}$ chạy. Khi đặt bản trong một từ trường có đường sức vuông góc với cạnh bên b và chiều dòng điện thì trên bản xuất hiện một hiệu điện thế ngang $U = 3,1 \cdot 10^{-6} \text{V}$. Cho biết cảm ứng từ $B = 1 \text{T}$. Xác định.

a) Mật độ electron dẫn trong bản đồng.

b) Vận tốc trung bình của electron trong các điều kiện trên.

4-46. Một electron có năng lượng $W = 10^3 \text{eV}$ bay vào một điện trường đều có cường độ điện trường $E = 800 \text{V/cm}$ theo hướng vuông góc với đường sức điện trường.

Hỏi phải đặt một từ trường có phương chiều và cảm ứng từ như thế nào để chuyển động của electron không bị lệch phương.

4-47. Một electron bay vào một trường điện từ với vận tốc $v = 10^5 \text{m/s}$. Đường sức điện trường và đường sức từ trường có cùng phương chiều. Cường độ điện trường $E = 10 \text{V/cm}$, cường độ từ trường $H = 8 \cdot 10^3 \text{A/m}$. Tìm gia tốc tiếp tuyến, gia tốc pháp tuyến và gia tốc toàn phần của electron trong hai trường hợp :

- a) Êlectron chuyển động theo phương chiều của các đường sức.
- b) Êlectron chuyển động vuông góc với các đường sức.

4–48. Một êlectron bay vào khoảng giữa 2 bản của một tụ điện phẳng có các bản nằm ngang. Hướng bay song song với các bản, vận tốc bay $v_0 = 10^7 \text{ m/s}$. Chiều dài của tụ điện $l = 5 \text{ cm}$, cường độ điện trường giữa hai bản tụ điện $E = 100 \text{ V/cm}$. Khi ra khỏi tụ điện, êlectron bay vào một từ trường có đường sức vuông góc với đường sức điện trường. Cho biết cảm ứng từ $B = 10^{-2} \text{ T}$.

Tìm : a) Bán kính quỹ đạo định ốc của êlectron trong từ trường ; b) Bước của đường định ốc đó.

Chương 5 : HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

Tóm tắt công thức

1. Biểu thức của suất điện động cảm ứng :

$$E_c = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (5-1)$$

2. Suất điện động tự cảm :

$$E_{tc} = -L \frac{dI}{dt}, \quad (5-2)$$

trong đó L là độ tự cảm :

$$L = \frac{\Phi}{I} \quad (5-3)$$

3. Hệ số tự cảm của ống dây hình trụ thẳng dài vô hạn :

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2}{l} S, \quad (5-4)$$

N là tổng số vòng dây, l và S là chiều dài và tiết diện ngang của ống dây.

4. Suất điện động hồ cảm :

$$E_{hc1} = -M \frac{dI_2}{dt}, \quad (5-5)$$

$$E_{hc2} = -M \frac{dI_1}{dt},$$

M là độ hồ cảm.

5. Năng lượng của từ trường trong ống dây điện :

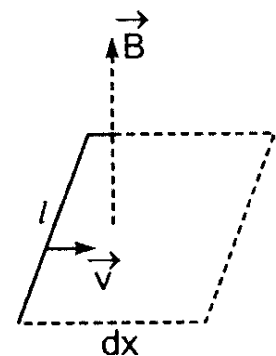
$$W = \frac{1}{2} LI^2 \quad (5-6)$$

6. Mật độ năng lượng từ trường :

$$w = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0 \mu} = \frac{1}{2} BH. \quad (5-7)$$

Bài tập ví dụ 1

Một thanh dẫn thẳng dài $l = 10\text{cm}$ chuyển động với vận tốc $v = 15\text{m/s}$ trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,1\text{T}$. Tìm suất điện động cảm ứng xuất hiện trong thanh dẫn biết rằng thanh, phương đường sức từ trường và phương dịch chuyển luôn luôn vuông góc với nhau từng đôi một (hình 5-1).



Hình 5-1

Bài giải :

$$\text{Cho } \begin{cases} B = 0,1\text{T}, \\ l = 10\text{cm} = 0,1\text{m}, \\ v = 15\text{m/s}. \end{cases} \quad \text{Hỏi : } E_c ?$$

Từ thông quét bởi dây dẫn trong chuyển dời dx :

$$d\phi = B dS \cos\alpha,$$

ở dây : $\cos\alpha = 1, dS = ldx,$

do đó : $d\phi = Bldx.$

Suất điện động cảm ứng xuất hiện trên dây dẫn

$$E_c = \left| - \frac{d\phi}{dt} \right| = B \frac{dx}{dt} = Bv,$$

$$E_c = Bv = 0,1 \cdot 0,15 = 0,15V.$$

Chú ý : Vì dây dẫn không khép kín nên suất điện động E_c chính bằng hiệu điện thế giữa hai đầu dây dẫn.

Bài tập ví dụ 2

Cho một ống dây thẳng gồm $N = 800$ vòng. Tính :

a) Hệ số tự cảm của ống dây biết rằng khi có dòng điện tốc độ biến thiên $50A/s$ chạy trong ống dây thì suất điện động tự cảm trong ống bằng $0,16V$.

b) Từ thông gửi qua tiết diện thẳng của ống dây khi trên cuộn dây có dòng điện $I = 2A$ chạy qua.

c) Năng lượng từ trường trong cuộn dây.

$$\text{Bài giải : } \begin{cases} \frac{dI}{dt} = 50A/s, \\ E_{tc} = 0,16V, \\ N = 800 \text{ vòng} \\ I = 2A. \end{cases} \quad \text{Hỏi } \begin{cases} \text{a) } L? \\ \text{b) } \Phi_c? \\ \text{c) } W? \end{cases}$$

$$\text{a) Ta có : } E_{tc} = \left| -L \frac{dI}{dt} \right|,$$

$$\text{suy ra : } L = \frac{E_{tc}}{|dI/dt|} = \frac{0,16}{50} = 3,2 \cdot 10^{-3} H.$$

b) Từ thông gửi qua ống dây : $\phi = LI$.

Từ thông gửi qua tiết diện thẳng của ống dây :

$$\phi_0 = \frac{\Phi}{N} = \frac{LI}{N} = \frac{3,2 \cdot 10^{-3} \cdot 2}{800} = 8 \cdot 10^{-6} Wb.$$

c) Năng lượng từ trường trong ống dây :

$$W = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{3,2 \cdot 10^{-3} \cdot 2^2}{2} = 6,4 \cdot 10^{-3} J.$$

Bài tập tự giải

5-1. Một khung hình vuông làm bằng dây đồng tiết diện $S_0 = 1\text{mm}^2$ được đặt trong một từ trường có cảm ứng từ biến đổi theo định luật $B = B_0 \sin \omega t$, trong đó $B_0 = 0,01\text{T}$, $\omega = \frac{2\pi}{T}$, $T = 0,02$ giây. Diện tích của khung $S = 25\text{cm}^2$. Mặt

phẳng của khung vuông góc với đường sức từ trường. Tìm sự phụ thuộc vào thời gian và giá trị cực đại của các đại lượng sau :

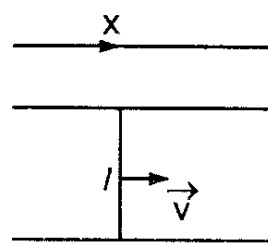
- Từ thông gửi qua khung ;
- Suất điện động cảm ứng xuất hiện trong khung ;
- Cường độ dòng điện chạy trong khung.

5-2. Một ống dây dẫn thẳng gồm $N = 500$ vòng được đặt trong một từ trường có đường sức từ trường song song với trục của ống dây. Đường kính của ống dây $d = 10\text{cm}$. Tìm suất điện động cảm ứng trung bình xuất hiện trong ống dây nếu trong thời gian $\Delta t = 0,1$ giây người ta cho cảm ứng từ thay đổi từ 0 đến 2T (tesla).

5-3. Tại tâm của một khung dây tròn phẳng gồm $N_1 = 50$ vòng, mỗi vòng có bán kính $R = 20\text{cm}$, người ta đặt một khung dây nhỏ gồm $N_2 = 100$ vòng, diện tích mỗi vòng $S = 1\text{cm}^2$. Khung dây nhỏ này quay xung quanh một đường kính của khung dây lớn với vận tốc không đổi $\omega = 300$ vòng/s. Tìm giá trị cực đại của suất điện động xuất hiện trong khung nếu dòng điện chạy trong khung lớn có cường độ $I = 10\text{A}$.

(Giả thiết lúc đầu các mặt phẳng của hai khung trùng nhau).

5-4. Trong cùng một mặt phẳng với dòng điện thẳng dài vô hạn cường độ $I = 20\text{A}$ người ta đặt hai thanh trượt (kim loại) song song với dòng điện và cách dòng điện một khoảng $x_0 = 1\text{cm}$. Hai thanh trượt cách nhau $l = 0,5\text{m}$. Trên hai thanh trượt người ta lồng vào một đoạn



Hình 5-2

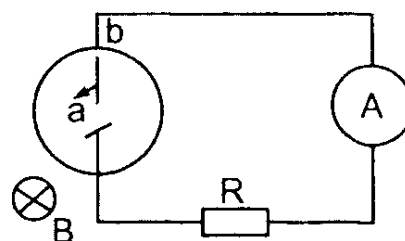
dây dẫn dài l (hình 5-2). Tìm hiệu điện thế xuất hiện giữa hai đầu dây dẫn nếu cho dây dẫn trượt tịnh tiến trên các thanh với vận tốc không đổi $v = 3\text{m/s}$.

5-5. Một máy bay bay với vận tốc $v = 1500\text{km/giờ}$. Khoảng cách giữa hai đầu cánh máy bay $l = 12\text{m}$. Tìm suất điện động cảm ứng xuất hiện giữa hai đầu cánh máy bay biết rằng thành phần thẳng đứng của cảm ứng từ trường trái đất ở độ cao của máy bay $B = 0,5 \cdot 10^{-4}\text{T}$.

5-6. Một thanh kim loại dài $l = 1\text{m}$ quay với vận tốc không đổi $\omega = 20\text{ rad/s}$ trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 5 \cdot 10^{-2}\text{T}$. Trục quay đi qua một đầu của thanh, thẳng góc với thanh và song song với đường sức từ trường. Tìm hiệu điện thế xuất hiện giữa hai đầu của thanh.

5-7. Một thanh kim loại dài $l = 1,2\text{m}$ quay trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 10^{-3}\text{T}$ với vận tốc không đổi $\omega = 120\text{ vòng/phút}$. Trục quay vuông góc với thanh, song song với đường sức từ trường và cách một đầu của thanh một đoạn $l_1 = 25\text{cm}$. Tìm hiệu điện thế xuất hiện giữa hai đầu của thanh.

5-8. Một đĩa bằng đồng bán kính $r = 5\text{cm}$ được đặt vuông góc với đường sức của một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,2\text{T}$. Đĩa quay với vận tốc góc $\omega = 3\text{ vòng/s}$. Các điểm a và b là những chỗ tiếp xúc trượt để dòng điện có thể đi qua đĩa theo bán kính ab (hình 5-3).



Hình 5-3

a) Tìm suất điện động xuất hiện trong mạch.

b) Xác định chiều của dòng điện nếu đường sức từ trường đi từ phía trước ra phía sau hình vẽ và đĩa quay ngược chiều kim đồng hồ.

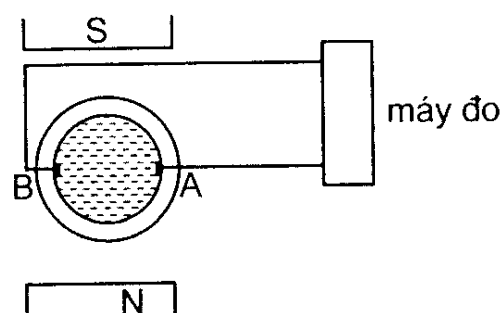
5-9. Một đĩa kim loại bán kính $R = 25\text{cm}$ quay quanh trục của nó với vận tốc góc $\omega = 1000\text{ vòng/phút}$. Tìm hiệu điện thế xuất hiện giữa tâm đĩa và một điểm trên mép đĩa trong hai trường hợp :

a) Khi không có từ trường ;

b) Khi đặt đĩa trong từ trường có cảm ứng từ $B = 10^{-2}\text{T}$ và đường sức từ vuông góc với đĩa.

5-10. Một cuộn dây dẫn gồm $N = 100$ vòng quay trong từ trường đều với vận tốc không đổi $\omega = 5$ vòng/s. Cảm ứng từ $B = 0,1\text{T}$. Tiết diện ngang của ống dây $S = 100\text{ cm}^2$. Trục quay vuông góc với trục của ống dây và vuông góc với đường sức từ trường. Tìm suất điện động xuất hiện trong cuộn dây và giá trị cực đại của nó.

5-11. Trình bày nguyên tắc hoạt động của một máy đo lưu lượng của các chất lỏng dẫn điện trong ống dẫn (dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ). Ống dẫn chất lỏng được đặt trong từ trường (hình 5-4). Trên các điện cực AB sẽ xuất hiện một suất điện động cảm ứng. Tìm vận tốc chảy của chất lỏng trong ống



Hình 5-4

dẫn nếu cảm ứng từ $B = 10^{-2}\text{T}$, khoảng cách giữa các điện cực $d = 50\text{mm}$ (tức đường kính trong của ống) và suất điện động cảm ứng xuất hiện giữa chúng $E_c = 0,25\text{mV}$.

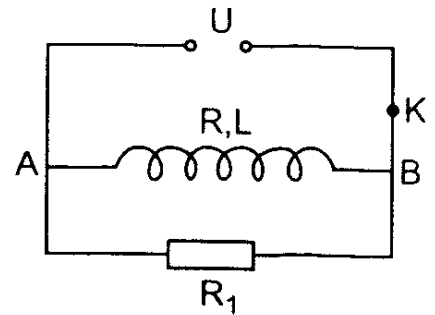
5-12. Để đo cảm ứng từ giữa hai cực của một nam châm điện người ta đặt vào đó một cuộn dây $N = 50$ vòng, diện tích tiết diện ngang của mỗi vòng $S = 2\text{cm}^2$. Trục của cuộn dây song song với các đường sức từ trường. Cuộn dây được nối kín với một điện kế xung kích (dùng để đo điện lượng phóng qua khung dây của điện kế). Điện trở của điện kế $R = 2 \cdot 10^3 \Omega$. Điện trở của cuộn dây N rất nhỏ so với điện trở của điện kế.

Tìm cảm ứng từ giữa hai cực của nam châm biết rằng khi rút nhanh cuộn dây N ra khỏi nam châm thì khung dây của điện kế lệch đi một góc α ứng với 50 vạch trên thước chia của điện kế. Cho biết mỗi vạch chỉ ứng với điện lượng phóng qua khung dây điện kế bằng $2 \cdot 10^{-8}\text{C}$.

5-13. Giữa hai cực của một nam châm điện người ta đặt một cuộn dây nhỏ ; trục của cuộn dây và đường nối các cực nam châm trùng nhau. Diện tích tiết diện ngang của cuộn dây $S = 3\text{mm}^2$, số vòng $N = 60$. Cuộn dây được nối kín với một điện kế xung kích.

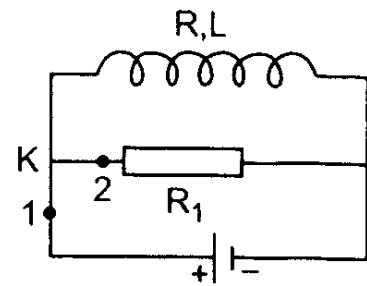
Điện trở của cuộn dây, điện kế và các dây nối $R = 40\Omega$. Xác định cường độ từ trường giữa các cực nam châm biết rằng tiết diện ngang $S_0 = 1\text{mm}^2$. Ống dây được mắc vào một nguồn điện. Mạch điện mắc sao cho khi ngắt điện, trên ống dây xảy ra đoản mạch. Hỏi sau khi ngắt mạch bao lâu thì cường độ dòng điện trong mạch giảm đi hai lần.

5-14. Cho một mạch điện như hình 5-5. Trong đó ống dây có độ tự cảm $L = 6\text{H}$, điện trở $R = 200\Omega$ mắc song song với điện trở $R_1 = 1000\Omega$. Hiệu điện thế $U = 120\text{V}$; K là cái ngắt điện (hình 5-5). Tìm hiệu điện thế giữa các điểm A và B sau khi mở khoá K một thời gian $\tau = 0,001$ giây.



Hình 5-5

5-15. Cuộn dây có độ tự cảm $L = 2 \cdot 10^{-6}\text{H}$ và điện trở $R = 1\Omega$ được mắc vào một nguồn điện có suất điện động không đổi $E = 3\text{V}$ (hình 5-6). Sau khi dòng điện trong ống dây đã ổn định, người ta đảo rất nhanh khoá K từ vị trí 1 sang vị trí 2. Tìm nhiệt lượng toả ra trên điện trở $R_1 = 2\Omega$. Bỏ qua điện trở trong của nguồn điện và điện trở của các dây nối.



Hình 5-6

5-16. Tìm độ tự cảm của một ống dây thẳng gồm $N = 400$ vòng, dài $l = 20\text{cm}$, diện tích tiết diện ngang $S = 9\text{cm}^2$ trong hai trường hợp.

a) Ống dây không có lõi sắt.

b) Ống dây có lõi sắt. Biết độ từ thẩm của lõi sắt trong điều kiện cho là $\mu = 400$.

5-17. Một ống dây có đường kính $D = 4\text{cm}$, độ tự cảm $L = 0,001\text{H}$, được quấn bởi loại dây dẫn có đường kính $d = 0,6\text{mm}$. Các vòng được quấn sát nhau, và chỉ quấn một lớp. Tính số vòng của ống dây.

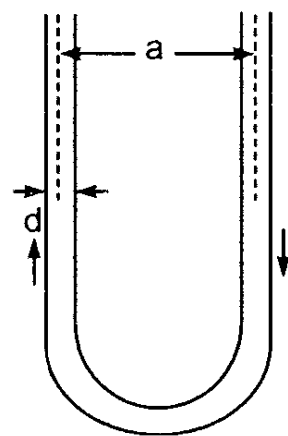
5-18. Trên một lõi tròn đường kính $d = 12\text{cm}$ người ta quấn một lớp dây dẫn gồm $N = 100$ vòng. Các vòng dây được chia đều trên chiều dài $l = 6\text{cm}$. Xác định độ tự cảm của ống dây biết rằng độ tự cảm của ống dây một lớp được tính theo công thức $L = \alpha L_\infty$, trong đó L_∞ là độ tự cảm của ống dây thẳng dài vô hạn, α là một hệ số tỉ lệ được xác định gần đúng bởi công thức.

$$\alpha = \frac{1}{1 + 0,45d/l}.$$

5-19. Một khung dây hình chữ nhật làm bằng dây dẫn có bán kính $r = 1\text{mm}$. Chiều dài $a = 10\text{m}$ của khung rất lớn so với chiều rộng $b = 10\text{cm}$ của nó (đo từ các trục của cạnh khung). Tìm độ tự cảm L của khung dây. Độ từ thẩm của môi trường giả thiết bằng 1. Bỏ qua từ trường bên trong dây dẫn.

5-20. Hai ống dây có độ hồ cảm $M = 0,005\text{H}$. Ống dây thứ nhất có dòng điện cường độ $I = I_0 \sin \omega t$, trong đó $I_0 = 10\text{A}$, $\omega = 2\pi/T$, với $T = 0,02$ giây. Tìm suất điện động hồ cảm xuất hiện trong ống dây thứ hai và trị số cực đại của nó.

5-21. Hai ống dây có độ tự cảm lần lượt bằng $L_1 = 3 \cdot 10^{-3}\text{H}$ và $L_2 = 5 \cdot 10^{-3}\text{H}$ được mắc nối tiếp với nhau sao cho từ trường do chúng gây ra cùng chiều. Khi đó độ cảm ứng của cả hệ bằng $L = 11 \cdot 10^{-3}\text{H}$. Tìm độ cảm ứng của cả hệ nếu nối lại các ống dây sao cho từ trường do chúng gây ra có chiều đối nhau (song vẫn giữ vị trí của chúng như trước).



Hình 5-7

5-22. Một dây dẫn dài có đường kính $d = 2\text{mm}$ được uốn thành hai nhánh bằng nhau (hình 5-7) sao cho khoảng cách giữa các trục của chúng $a = 3\text{cm}$. Bỏ qua từ trường bên trong dây dẫn. Cường độ dòng điện trên dây $I = 3\text{A}$. Tính độ tự cảm và năng lượng ứng với mỗi đơn vị dài của hệ.

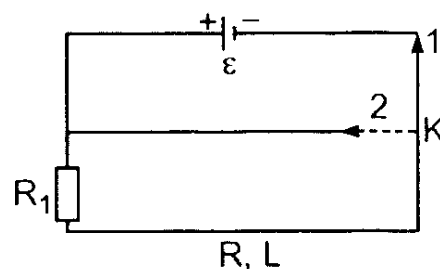
5-23. Một ống dây thẳng dài $l = 50\text{cm}$, diện tích tiết diện ngang $S = 2\text{cm}^2$, độ tự cảm $L = 2 \cdot 10^{-7}\text{H}$. Tìm cường độ dòng điện chạy trong ống dây để mật độ năng lượng từ trường của nó bằng $\omega = 10^{-3}\text{J/m}^3$.

5–24. Trên thành của một trục bằng bìa cứng dài $l = 50\text{cm}$, đường kính $D = 3\text{cm}$, người ta quấn hai lớp dây đồng có đường kính $d = 1\text{mm}$. Nối cuộn dây thu được với một nguồn điện có suất điện động $\varepsilon = 1,4\text{V}$ (hình 5–8). Hỏi :

a) Sau thời gian t bằng bao nhiêu khi đảo khoá K từ vị trí 1 sang vị trí 2, dòng điện trong cuộn dây giảm đi 1000 lần.

b) Nhiệt lượng Jun toả ra trong ống dây (sau khi đảo khoá).

c) Năng lượng từ trường của ống dây dẫn trước khi đảo khoá. Cho điện trở suất của đồng $\rho_{\text{đồng}} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.



Hình 5–8

Chương 6 : CÁC TÍNH CHẤT TỪ CỦA CÁC CHẤT (TỪ MÔI)

Tóm tắt công thức

1. Công thức liên hệ giữa vectơ từ độ \vec{J} và vectơ cường độ từ trường \vec{H} :

$$\vec{J} = \chi_m \vec{H}, \quad (6-1)$$

trong đó χ_m là hệ số từ hoá.

2. Công thức liên hệ giữa cảm ứng từ \vec{B} và cường độ từ trường \vec{H} :

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}, \quad (6-2)$$

trong đó μ là độ từ thẩm, với $\mu = 1 + \chi_m$.

Bài tập ví dụ

Một dây dẫn thẳng dài $l = 1\text{m}$, có lõi sắt, tiết diện ngang $S = 10\text{cm}^2$, hệ số tự cảm $L = 0,44\text{H}$. Từ thông gửi qua tiết diện ngang của ống dây $\phi = 1,4 \cdot 10^{-3}\text{Wb}$. Tìm :

- a) Độ từ thẩm của lõi sắt ;
- b) Cường độ dòng điện chạy qua ống dây ;
- c) Năng lượng và mật độ năng lượng trong ống dây.

Đường cong từ hoá $B = f(H)$ cho trên đồ thị 6-1.

Bài giải :

$$\text{Cho } \begin{cases} l = 1\text{m}, \\ S = 10\text{cm}^2 = 10^{-3}\text{m}^2, \\ L = 0,44\text{H}, \\ \Phi = 1,4 \cdot 10^{-3}\text{Wb}. \end{cases} \quad \text{Hỏi } \begin{cases} \text{a) } \mu ? \\ \text{b) } I ? \\ \text{c) } W ? w ? \end{cases}$$

- a) Độ từ thẩm của lõi sắt được xác định bởi công thức (6-2) :

$$\mu = B / \mu_0 H.$$

Phải tính B và H.

Từ thông gửi qua tiết diện ngang của ống : $\phi = BS$.

Rút ra :

$$B = \phi / S = 1,4 \cdot 10^{-3} / 10 \cdot 10^{-4} = 1,4\text{T}.$$

Từ đồ thị 6 - 1 ta thấy ứng với $B = 1,4\text{T}$, cường độ từ trường sẽ có giá trị $H = 0,8 \cdot 10^3 \text{A/m}$. Do đó :

$$\mu = B / \mu_0 H = 1,4 / 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,8 \cdot 10^3 = 1400.$$

- b) Trong ống dây thẳng, cường độ từ trường được tính bởi công thức

$$H = nI,$$

n là số vòng dây trên đơn vị dài : $n = N/l$,

nhưng :

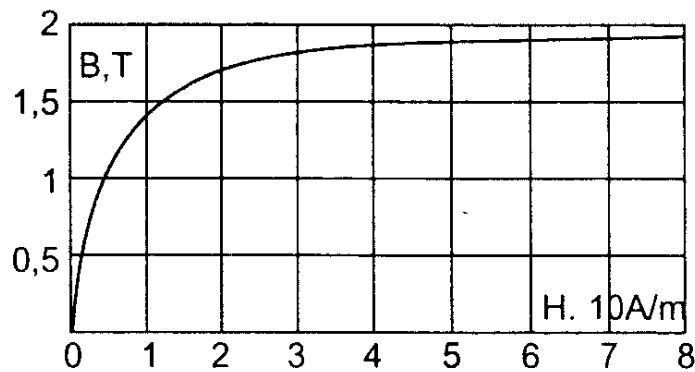
$$L = \mu_0 \mu N^2 S / l = \mu_0 \mu (n/l)^2 S / l.$$

Suy ra :

$$n = \sqrt{L / \mu_0 \mu S / l} = 500 \text{vòng/m}.$$

Từ đó tính được cường độ dòng điện chạy qua ống dây.

$$I = H/n = 0,8.10^3/500 = 1,6A.$$



Hình 6-1

c) Năng lượng từ trường trong ống dây :

$$W = LI^2 / 2 = 0,44.(1,6)^2 / 2 = 0,56J.$$

Suy ra mật độ năng lượng từ trường :

$$w = W / Sl = 0,56/10^{-3}.1 = 5,6.10^2 J / m^3.$$

Bài tập tự giải

6-1. Một lõi sắt được đặt trong một từ trường có cường độ $H = 800A/m$. Tìm độ từ thẩm của lõi sắt trong điều kiện đó. (dùng đồ thị 6-1).

6-2. Một ống dây thẳng có lõi sắt gồm $N = 500$ vòng, diện tích tiết diện ngang $S = 20cm^2$, hệ số tự cảm $L = 0,28H$. Dòng điện chạy qua ống dây $I = 5A$. Tìm :

a) Độ từ thẩm của lõi sắt.

b) Mật độ năng lượng từ trường bên trong ống dây.

6-3. Một ống dây hình xoắn có lõi sắt, dài $l = 50cm$, gồm $N = 1000$ vòng. Dòng điện qua ống dây $I = 1A$. Hỏi nếu trong ống dây không có lõi sắt và muốn cảm ứng từ trong ống dây hình xoắn vẫn như cũ (có lõi sắt) thì cường độ dòng điện phải bằng bao nhiêu.

6-4. Một ống dây thẳng dài $l = 50\text{cm}$, diện tích tiết diện ngang $S = 10\text{cm}^2$, gồm $N = 200$ vòng, có dòng điện $I = 5\text{A}$ chạy qua. Trong ống dây có lõi sắt nhưng chưa biết mối quan hệ B và H (tức chưa biết $B = f(H)$). Tìm :

- Độ từ thẩm của lõi sắt.
- Hệ số tự cảm của ống dây.

Biết rằng từ thông gửi qua tiết diện ngang của ống dây $\phi = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{Wb}$. Dùng đồ thị trên hình 6-1.

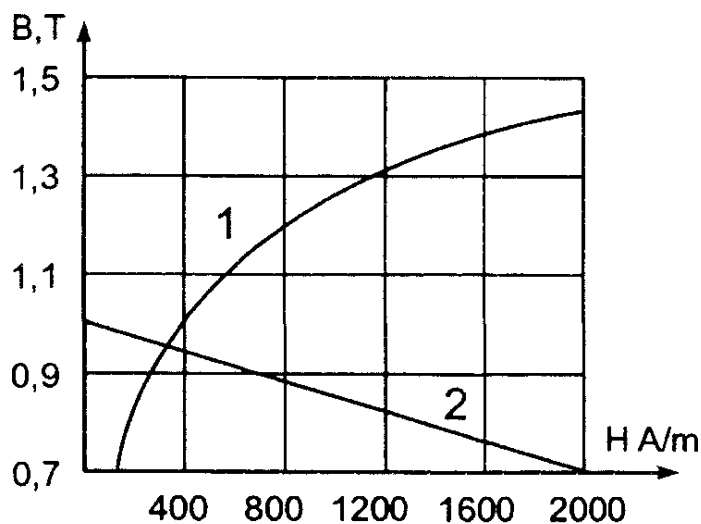
6-5. Một ống dây hình xuyên mỏng có lõi sắt, gồm $N = 500$ vòng. Bán kính trung bình của xuyên $r = 8\text{cm}$.

Tìm :

- Cường độ từ trường và cảm ứng từ B bên trong xuyên ;
- Độ từ thẩm μ của lõi sắt ;
- Từ độ J của lõi sắt.

khi dòng điện chạy trong ống dây lần lượt bằng $I = 0,5\text{A}$; 1A ; 2A . Đường cong từ hoá của lõi sắt cho bởi hình 6-2 (đường 1).

6-6. Hai vòng bằng sắt mỏng, giống nhau cùng có bán kính $r = 10\text{cm}$. Một trong hai vòng có một khe hở không khí dày $l = 1\text{mm}$. Vòng dây kia có dòng điện $I_1 = 1,25\text{A}$ chạy qua. Hỏi cường độ dòng điện chạy qua vòng dây của vòng sắt có khe hở phải bằng bao nhiêu để cảm ứng từ bên trong khe hở có cùng giá trị với cảm ứng từ bên trong vòng sắt không có khe hở.

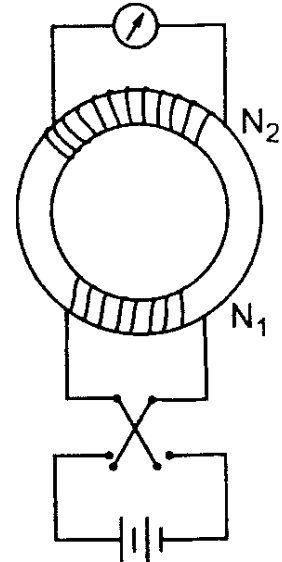


Hình 6-2

Bỏ qua sự rò từ trong khe hở không khí. Dùng đường cong từ hoá 1 trên hình 6-2.

6-7. Lõi sắt trong ống dây điện hình xuyên mỏng (có $N = 200$ vòng, $I = 2A$) có đường cong từ hoá cho trên hình 6-2 (đường 1). Xác định cảm ứng từ bên trong xuyên nếu lõi sắt có một khe hở không khí dày $l' = 0,5mm$, chiều dài trung bình của lõi $l = 20cm$. Sự rò từ trong khe được bỏ qua.

6-8. Để đo độ từ thẩm của một thỏi sắt, người ta đã dùng thỏi sắt đó làm thành một lõi hình xuyên dài $l = 50cm$, diện tích tiết diện ngang $S = 4cm^2$. Trên lõi có quấn hai cuộn dây. Cuộn thứ nhất (gọi là cuộn sơ cấp) gồm $N_1 = 500$ vòng, được nối với một nguồn điện một chiều (hình 6-3). Cuộn thứ hai (gọi là cuộn thứ cấp) gồm $N_2 = 1000$ vòng được nối với một điện kế xung kích : điện trở của cuộn thứ cấp $R = 20$ ôm. Khi đảo ngược chiều dòng điện trong cuộn sơ cấp thì trong cuộn thứ cấp sẽ xuất hiện dòng điện cảm ứng. Tìm độ từ thẩm của lõi sắt ; biết rằng khi đảo chiều dòng điện $I_1 = 1A$ trong cuộn sơ cấp thì có điện lượng $q = 0,06C$ phóng qua điện kế.



Hình 6-3

Chương 7 : TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

Tóm tắt công thức

1. Hệ thống các phương trình Mắcxoen

a) Dạng tích phân

– Phương trình Mắcxoen – Faraday :

$$\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d}{dt} \int_s \vec{B} \cdot d\vec{S}. \quad (7-1)$$

– Phương trình Mắcxoen – Ampe

$$\oint_c \vec{H} \cdot d\vec{s} = \int_s \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}. \quad (7-2)$$

– Phương trình Ôxtrôgratxki – Gaox đối với điện trường

$$\int_s \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_v \rho dV \quad (7-3)$$

– Phương trình Ôxtrôgratxki – Gaox đối với từ trường :

$$\oint_s \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0. \quad (7-4)$$

b) Dạng vi phân :

$$\text{rot} \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t; \quad (7-1')$$

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \partial \vec{D} / \partial t; \quad (7-2')$$

$$\text{div} \vec{D} = \rho; \quad (7-3')$$

$$\text{div} \vec{B} = 0. \quad (7-4')$$

Ngoài các phương trình trên còn các phương trình nêu lên tính chất điện và từ của môi trường trong đó tồn tại trường điện từ. Nếu môi trường đồng chất và đẳng hướng thì :

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}, \quad (7-5)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}, \quad (7-6)$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}, \quad (7-7)$$

với ρ trong (7-3) và (7-3') là mật độ điện khối, σ trong (7-7) là điện dẫn suất của môi trường.

2. Vectơ mật độ dòng điện dịch

$$\vec{j}_d = \partial \vec{D} / \partial t. \quad (7-8)$$

Vectơ mật độ dòng điện toàn phần :

$$\vec{j}_{tp} = \vec{j} + \vec{j}_d = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}. \quad (7-9)$$

3. Mật độ năng lượng trường điện từ

$$w = w_e + w_m = \frac{(\epsilon_0 \epsilon E^2 + \mu_0 \mu H^2)}{2} = \frac{(\vec{D} \cdot \vec{E}) + (\vec{B} \cdot \vec{H})}{2}. \quad (7-10)$$

Năng lượng của trường điện từ :

$$W = \frac{1}{2} \int (\vec{D} \cdot \vec{E} + \vec{B} \cdot \vec{H}) dV. \quad (7-11)$$

4. Tính tương đối của trường điện từ

Nếu điện tích q gắn liền với hệ quy chiếu O' , chuyển động với vận tốc v không đổi theo phương trục Ox của hệ quy chiếu quán tính O thì các *công thức biến đổi Loren của trường điện từ* trong hai hệ quy chiếu quán tính O và O' như sau :

$$E_x = E'_x ; E_y = \frac{E'_y + vB'_z}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} ; E_z = \frac{E'_z - vB'_y}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} ; \quad (7-12)$$

$$H_x = H'_x ; H_y = \frac{H'_y - vD'_z}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} ; H_z = \frac{H'_z + vD'_y}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} ; \quad (7-13)$$

Bài tập ví dụ

a) Bằng phép tính vi phân của trường vectơ, nghiệm lại phương trình sau đây :

$$\text{rot rot } \vec{E} = \text{grad div } \vec{E} - \Delta \vec{E}, \quad (1)$$

và chứng tỏ rằng hệ phương trình Mắcxoen cho ta phương trình vi phân đối với vectơ cường độ điện trường \vec{E} trong chân không.

$$\Delta \vec{E} - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0. \quad (2)$$

b) Nếu trường điện từ đó trong môi trường dẫn biến đổi tuần hoàn theo thời gian với tần số $\nu = 10^8/2\pi \cdot S^{-1}$ thì quan hệ giữa dòng điện dịch với dòng điện dẫn trong môi trường đó như thế nào ? Xét trường hợp kim loại với điện dẫn suất là $\sigma = 1,5 \cdot 10^7 \Omega^{-1} m^{-1}$.

Chú thích. $\Delta \vec{E} = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \vec{E}.$

Bài giải :

Cho :

$$\text{rot rot } \vec{E} = \text{grad div } \vec{E} - \Delta \vec{E}, (1) \text{ với } \begin{cases} v = \frac{10^8}{2\pi} \text{s}^{-1}, \\ \sigma = 1,5 \cdot 10^7 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}. \end{cases}$$

$E = E(t)$.

Hỏi : a) Nghiệm lại (1) và (2) ; b) $j_d/j = ?$

a) Muốn chứng minh phương trình (1) ta có thể xét từng thành phần của nó. Ví dụ, nghiệm lại

$$[\text{rot}(\text{rot } \vec{E})]_x = \text{grad}_x (\text{div } \vec{E}) - \Delta \vec{E}_x \quad (1')$$

Theo định nghĩa trong phép tính vi phân của trường vectơ, vế trái của phương trình trên có thể viết dưới dạng :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial y} (\text{rot } \vec{E})_z - \frac{\partial}{\partial z} (\text{rot } \vec{E})_y &= \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} \right) - \left(\frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} \right). \end{aligned}$$

Cộng và trừ vào vế phải của hệ thức này một lượng $\frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2}$, ta được :

$$\begin{aligned} [\text{rot}(\text{rot } \vec{E})]_x &= \frac{\partial}{\partial y} (\text{rot } \vec{E})_z - \frac{\partial}{\partial z} (\text{rot } \vec{E})_y = \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} \right) - \left(\frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} \right) = \\ &= \frac{\partial}{\partial x} (\text{div } \vec{E}) - \Delta \vec{E}_x, \end{aligned}$$

nghĩa là ta được phương trình (1').

Chứng minh tương tự đối với các thành phần y và x.

Cuối cùng, phương trình (1) được nghiệm lại hoàn toàn.

$$\text{rot rot } \vec{E} = \text{grad div } \vec{E} - \Delta \vec{E}. \quad (1)$$

Đối với chân không, nghĩa là $\vec{j} = 0$, và $\rho = 0$, các phương trình (7-2') và (7-3') sẽ trở thành

$$\text{rot } \vec{H} = \partial \vec{D} / \partial t ; \text{div } \vec{D} = 0.$$

Do đó : $\operatorname{div} \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \operatorname{div} \vec{D} = 0, \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{E} = 0.$

Phương trình Mắcxoen – Faraday (7-1') cho :

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t$$

nên vế trái của (1) viết dưới dạng :

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{E} &= -\operatorname{rot} \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) = -\frac{\partial}{\partial t} (\operatorname{rot} \vec{B}) = \\ &= -\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} (\operatorname{rot} \vec{H}) = -\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) = -\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}, \end{aligned}$$

hay $\Delta \vec{E} - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0. \quad (2)$

b) Trường điện từ tuần hoàn theo thời gian có thể được biểu diễn như sau : $|\vec{E}| = |\vec{E}_0| \cos \omega t,$

trong đó $|\vec{E}_0|$ là biên độ của cường độ điện trường, ω là tần số biến đổi của điện trường.

Mật độ dòng điện dịch : $|\vec{j}_d| = |\partial \vec{D} / \partial t| = \epsilon \epsilon_0 \omega |\vec{E}_0| \sin \omega t.$

Mật độ dòng điện dẫn : $|\vec{j}| = \sigma |\vec{E}| = \sigma |\vec{E}_0| \cos \omega t.$

Do đó : $\frac{|\vec{j}_d|_{\max}}{|\vec{j}|_{\max}} = \frac{\epsilon \epsilon_0 \omega}{\sigma}.$

Đối với vật dẫn kim loại thì $\epsilon \approx 1$, nên

$$\frac{|\vec{j}_d|_{\max}}{|\vec{j}|_{\max}} = \frac{\epsilon_0 \omega}{\sigma} = \frac{10^8 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{1,5 \cdot 10^7} = 5,9 \cdot 10^{-11}.$$

Bài tập tự giải

7-1. Chứng tỏ rằng trong chân không, vectơ cảm ứng từ \vec{B} thoả mãn phương trình sau :

$$\Delta \vec{B} - \epsilon_0 \mu_0 \partial^2 \vec{B} / \partial t^2 = 0.$$

7-2. Chứng minh rằng điện thế tĩnh điện φ thoả mãn phương trình Poátxông sau đây :

$$\Delta \varphi = -\rho / \epsilon_0 \epsilon.$$

7-3. Trong một thể tích hữu hạn có vectơ cảm ứng từ \vec{B} với các thành phần $B_x = 0$, $B_y = 0$, $B_z = B_0 + ax$, trong đó a là một hằng số và lượng ax luôn luôn nhỏ so với B_0 . Chứng minh rằng nếu trong thể tích đó không có điện trường và dòng điện thì từ trường ấy không thoả mãn các phương trình Mắcxoen.

7-4. Trường điện từ chuẩn dừng là trường biến đổi "đủ chậm" theo thời gian. Đối với môi trường dẫn ($\sigma \approx 10^7 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$), điều đó có nghĩa là dòng điện dịch trong môi trường rất nhỏ so với dòng điện dẫn :

$$|J_d|_{\max} \ll |J|_{\max}. \text{ Tìm điều kiện về tần số biến đổi của trường.}$$

7-5. Tính giá trị cực đại của dòng điện dịch xuất hiện trong dây đồng ($\sigma = 6 \cdot 10^7 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$) khi có dòng điện xoay chiều với cường độ cực đại $I_0 = 2\text{A}$ và chu kì $0,01\text{s}$ chạy qua dây. Biết tiết diện ngang của dây là $0,5\text{mm}^2$.

7-6. Khi phóng dòng điện cao tần vào một thanh natri có điện dẫn suất $0,23 \cdot 10^8 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$ dòng điện dẫn cực đại có giá trị gấp khoảng 40 triệu lần dòng điện dịch cực đại. Xác định chu kì biến đổi của dòng điện.

7-7. Một tụ điện có điện môi với hằng số điện môi $\epsilon = 6$ được mắc vào một hiệu điện thế xoay chiều $U = U_0 \cos \omega t$ với $U_0 = 300\text{V}$, chu kì $T = 0,01\text{s}$. Tìm giá trị của mật độ dòng điện dịch, biết rằng hai bản của tụ điện cách nhau $0,4\text{cm}$.

$$\text{Chú thích : } \omega = 2\pi/T.$$

7-8. Điện trường trong một tụ điện phẳng biến đổi theo quy luật $E = E_0 \sin \omega t$, với $E_0 = 200\text{V/cm}$ và tần số $\nu = 50\text{Hz}$. Khoảng cách giữa hai bản là 2mm , điện dung của tụ là 2000pF . Tính giá trị cực đại của dòng điện dịch.

$$\text{Chú thích : } \nu = \omega/2\pi.$$

7-9. Xác định mật độ dòng điện dịch trong một tụ điện phẳng khi hai bản được dịch chuyển song song với nhau và ra xa nhau với vận tốc tương đối u , nếu :

- a) Điện tích trên mỗi bản không đổi ;
- b) Hiệu điện thế U trên hai bản không đổi.

Khoảng cách d giữa hai bản trong khi dịch chuyển rất nhỏ so với kích thước của bản.

7-10. Một mạch điện xoay chiều có điện dung $C = 0,025\mu\text{F}$ và độ tự cảm $L = 1,015\text{H}$. Điện trở của mạch không đáng kể. Lúc đầu, điện tích trên bản tụ điện là $q = 2,5 \cdot 10^{-5}\text{C}$. Tìm năng lượng của điện trường, của từ trường và năng lượng toàn phần ở một thời điểm bất kì. Sự biến đổi tương hỗ giữa các năng lượng đó xảy ra như thế nào ?

7-11. Cho một trường điện từ biến thiên trong chân không với các vectơ cường độ trường $\vec{E}(0,0,E)$, $\vec{H}(H,0,0)$, trong đó $H = H_0 \cos \omega t(t - ay)$ với $a = \sqrt{\epsilon_0 \epsilon \mu_0 \mu}$. Chứng minh rằng giữa các vectơ cường độ trường có mối quan hệ sau đây :

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

7-12. Chứng minh rằng mật độ năng lượng của trường điện từ biến thiên có tính chất như trong bài (7-11) có dạng

$$w = aEH.$$

7-13. a) Hãy viết các biểu thức biến đổi Loren của cường độ điện trường và cường độ từ trường gây bởi điện tích điểm q và chuyển động với vận tốc v không đổi theo phương trục y của hệ quy chiếu quán tính O .

b) Xét trường hợp q chuyển động theo trục z .

7-14. Trong hệ quy chiếu O có một trường điện từ đồng nhất (\vec{E}, \vec{H}) . Xác định vận tốc của hệ quy chiếu O' đối với hệ O sao cho trong O' các vectơ của trường song song với nhau $(\vec{E}' // \vec{H}')$. Phải chăng bài toán bao giờ cũng có nghiệm và nghiệm đó là duy nhất ? Biết rằng các chuyển động xảy ra trong chân không.

B. DAO ĐỘNG VÀ SÓNG

*C*ương 8 : DAO ĐỘNG

Tóm tắt công thức

1. Dao động cơ điều hoà.

a) Phương trình dao động điều hoà

Độ dời x là một hàm số sin hay cos của thời gian t

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (8-1)$$

chu kì $T_0 = 2\pi / \omega_0. \quad (8-2)$

Tần số $\nu_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{\omega_0}{2\pi}. \quad (8-3)$

b) Năng lượng dao động điều hoà

$$W = W_d + W_t.$$

Với con lắc lò xo $W = \frac{kA^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2}{2}, \quad (8-4)$

trong đó k là suất đàn hồi, m là khối lượng của quả cầu nhỏ gắn vào con lắc lò xo.

c) Con lắc vật lí

Tần số góc $\omega_0 = \sqrt{Mgd/I}. \quad (8-5)$

Chu kì $T_0 = 2\pi\sqrt{I/Mgd}, \quad (8-5a)$

trong đó M là khối lượng, I là mômen quán tính của con lắc với trục O nằm ngang, $d = OG$ (G là trọng tâm của con lắc).

2. Dao động cơ tắt dần

Phương trình dao động tắt dần :

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi), \quad (8-6)$$

trong đó $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}.$

Chu kỳ $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}.$ (8-7)

Giảm lượng lôga $\sigma = \beta T.$

3. Dao động cơ cưỡng bức

a) Phương trình dao động cưỡng bức :

$$x = A \cos(\Omega t + \phi), \quad (8-8)$$

trong đó $A = \frac{H}{m\sqrt{(\Omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4\beta^2\Omega^2}}$ (8-9)

Với H là biên độ của lực kích thích tuần hoàn và ϕ là pha ban đầu của dao động

$$\operatorname{tg}\Phi = \frac{2\beta}{\Omega^2 - \omega_0^2}, \quad (8-10)$$

b) Tần số góc cộng hưởng.

$$\Omega_{\text{ch}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}. \quad (8-11)$$

Khi ma sát rất nhỏ $\beta \approx 0$, ta có $\Omega_{\text{ch}} = \omega_0$

4. Dao động điện từ điều hoà

Phương trình dao động điện từ riêng không tắt :

$$I = I_0 \cos(\omega_0 t + \varphi),$$

trong đó $\omega_0 = \sqrt{1/LC}.$

Chu kỳ $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}.$ (8-12)

5. Dao động điện từ tắt dần

Phương trình dao động điện từ tắt dần :

$$I = I_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi),$$

trong đó $\omega = \sqrt{(1/LC) - (R/2L)^2}$,

Chu kỳ $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}$ (8-13)

6. Dao động điện từ cưỡng bức

a) Phương trình dao động điện từ cưỡng bức

$$I = I_0 \cos(\Omega t - \phi),$$

trong đó $I_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{\sqrt{R^2 + (\Omega L - \frac{1}{\Omega C})^2}}$ (8-14)

và ϕ là pha ban đầu của dao động

$$\cotg \phi = \frac{\Omega L - \frac{1}{\Omega C}}{R} \quad (8-15)$$

b) Tần số góc cộng hưởng

$$\Omega_{ch} = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (8-16)$$

7. Tổng hợp và phân tích các dao động

Tổng hợp hai dao động điều hoà cùng phương, cùng chu kỳ là một dao động điều hoà cùng chu kỳ, có biên độ

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}. \quad (8-17)$$

Pha ban đầu cho bởi biểu thức

$$\tg \varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}, \quad (8-18)$$

trong đó $A_1, A_2, \varphi_1, \varphi_2$ là biên độ và pha ban đầu của các dao động thành phần.

Tổng hợp của hai dao động điều hoà có phương vuông góc và có cùng chu kỳ là một chuyển động có quỹ đạo cho bởi phương trình :

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (8-19)$$

Bài tập ví dụ 1

Một chất điểm $m = 10\text{g}$ dao động điều hoà với biên độ $a = 5\text{cm}$, pha ban đầu $\varphi = 45^\circ$ và cứ sau 1 phút thực hiện được 150 dao động. Tìm :

- Phương trình dao động ;
- Vận tốc và gia tốc dao động ;
- Năng lượng dao động ;
- Giá trị lớn nhất của lực tác dụng lên chất điểm.

Bài giải.

$$\text{Cho } \begin{cases} m = 10\text{g} = 10 \cdot 10^{-3} \text{kg}, \\ A = 5\text{cm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{m}, \\ \varphi = 45^\circ = \frac{\pi}{4}, \\ \text{Sau 1 phút có 150 dao động} \\ \nu_0 = \frac{150}{60} = 2,5\text{Hz}. \end{cases} \quad \text{Hỏi } \begin{cases} x(t) ? \\ v ? \\ W ? \\ F_{\max} ? \end{cases}$$

- a) Ta biết phương trình dao động điều hoà có dạng :

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi) \text{ mét},$$

ở đây $\omega_0 = 2\pi\nu_0 = 2\pi \cdot 2,5 = 5\pi \text{s}^{-1}$.

Vậy phương trình dao động cho bởi

$$x = 0,05 \cos\left(5\pi t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ mét}.$$

- b) Tìm vận tốc và gia tốc dao động, ta biết : $v = dx/dt$; $a = d^2x/dt^2$;

$$v = dx/dt = -0,05 \cdot 5\pi \sin\left(5\pi t + \frac{\pi}{4}\right) = 0,785 \sin\left(5\pi t - \frac{3\pi}{4}\right) (\text{m/s}).$$

$$a = d^2x/dt^2 = 12,3 \cos\left(5\pi t - \frac{3\pi}{4}\right) (\text{m/s}^2)$$

- c) Năng lượng dao động $W = kA^2/2$,

với $k = m\omega_0^2 = 10 \cdot 10^{-3} (5\pi)^2 = 2,47 \text{N/m}$.

Do đó, khi thay số vào, ta có

$$W = 2,47 \cdot (0,05)^2 / 2 = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{J}.$$

d) Lực tác dụng lên chất điểm :

$$F = -kx, \text{ hay là } |F| = k|x|.$$

Do đó $F_{\max} = k|x|_{\max} = kA.$

Thay số vào, ta có $F_{\max} = 2,47.0,05 = 0,123\text{N}.$

Bài tập ví dụ 2

Thả một phù kế có cán là một ống hình trụ đường kính D vào trong một bình đựng chất lỏng có khối lượng riêng ρ . Kích động nhẹ phù kế theo phương thẳng đứng phù kế sẽ dao động (hình 8-1).

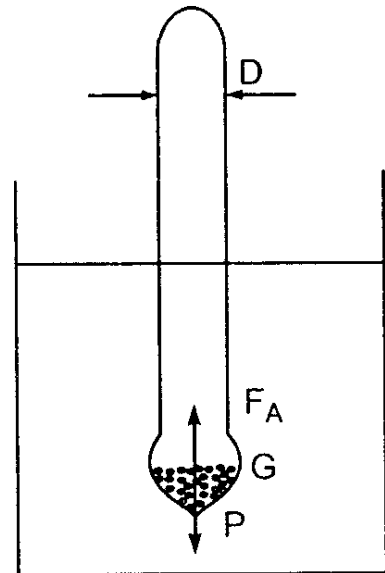
Tìm chu kì dao động của phù kế theo khối lượng m của nó. Bỏ qua ma sát giữa phù kế và khối lượng chất lỏng.

Áp dụng bằng số $D = 0,4\text{cm}$; $\rho = 1\text{g/cm}^3$; $m = 5\text{g}.$

Bài giải

$$\text{Cho } \begin{cases} \rho = 1\text{g/cm}^3, \\ D = 0,4\text{cm}, \\ m = 5\text{g}. \end{cases}$$

Hỏi T ?



Hình 8-1

Thả phù kế vào chất lỏng phù kế sẽ nằm cân bằng nổi, khi đó lực đẩy Ác-si-mét lên phần phù kế chìm trong chất lỏng bằng đúng trọng lượng của phù kế.

Đó là vị trí cân bằng bền M_0 . Khi ấn phù kế rồi thả tay thì lực đẩy Ác-si-mét lên phần cán ống chìm thêm vào chất lỏng kéo phù kế về vị trí cân bằng M_0 .

Và do phù kế có quán tính (vì có khối lượng) cho nên dưới tác dụng của lực kéo về nói trên nó sẽ dao động theo phương thẳng đứng.

Giả sử ở thời điểm t , phần của phù kế chìm thêm vào chất lỏng là x . Lực đẩy Ác-si-mét (kéo phù kế về vị trí cân bằng bên) bằng trọng lượng của khối chất lỏng bị chiếm chỗ sẽ có dạng

$$f = -(\pi D^2 / 4)x\rho g = -\pi D^2 \rho g x / 4.$$

Dấu $(-)$ chứng tỏ rằng lực đẩy Ác-si-mét ngược chiều với độ dời x (phù kế chìm thêm xuống dưới thì lực Ác-si-mét sẽ đẩy nó lên).

Ta nhận thấy, trong trường hợp này lực kéo về tỉ lệ với độ dời (hay li độ), đó là lực giả đàn hồi. Vậy dao động của phù kế sẽ là dao động điều hoà.

Để thiết lập phương trình vi phân của dao động, ta áp dụng định luật Niu-ơn thứ hai

$$f = \frac{md^2x}{dt^2} = -\left(\frac{\pi D^2 \rho g}{4}\right)x,$$

hay
$$\frac{d^2x}{dt^2} + \left(\frac{\pi D^2 \rho g}{4m}\right)x = 0.$$

Đặt $\omega^2 = \pi D^2 \rho g / 4m$ hay $\omega = (D/2)\sqrt{\pi \rho g / m}$, chu kì của dao động sẽ là

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{4}{D} \sqrt{\frac{m\pi}{\rho g}}; \quad T = \frac{4}{0,4} \sqrt{\frac{5,3,14}{1.1000}} = 1,25s.$$

Bài tập ví dụ 3

Tìm giảm lượng lôga của một con lắc toán dài $l = 1m$ và cứ sau 1 phút biên độ dao động giảm 2 lần.

Bài giải

Cho $\begin{cases} l = 1m, \\ \text{sau 1 phút, A giảm 2 lần.} \end{cases}$

Hỏi : δ ?

Ta biết $\delta = \beta T$, trong đó $T = 2\pi\sqrt{l/g}$. Thay số vào, ta tìm được $T = 2,01s$.

Ta biết biên độ tắt dần tại thời điểm t là

$$A = A_0 e^{-\beta t} ;$$

sau thời gian Δt thì $A = A_0 e^{-\beta(t+\Delta t)}$. Do đó

$$A(t)/A(t + \Delta t) = A_0 e^{-\beta t} / A_0 e^{-\beta(t+\Delta t)} = e^{\beta \Delta t} . \quad (1)$$

$$\text{Mặt khác } A(t) / A(t + \Delta t) = 2. \quad (2)$$

Từ (1) và (2), ta có $2 = e^{\beta \Delta t}$,

$$\ln 2 = \beta \Delta t = \beta \cdot 60 \text{ (với } \Delta t = 1 \text{ phút} = 60\text{s),}$$

$$\beta = \ln 2 / 60 = 1,15 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}.$$

Thay giá trị của T và β vào biểu thức của δ ,

$$\delta = \beta \cdot T = 1,15 \cdot 10^{-2} \cdot 2,01 = 2,3 \cdot 10^{-2}.$$

Bài tập ví dụ 4

Một chiếc xe trẻ em có khối lượng 10kg được để lên hai lò xo đàn hồi. Biết rằng, dưới sức nén của một lực $F = 9,8\text{N}$ thì lò xo co lại 2cm. Xe chạy trên một con đường gồ ghề, cứ cách 30cm lại có 1 ổ gà. Hỏi với tốc độ bao nhiêu thì xe bị rung động mạnh nhất ?

Bài giải.

$$\text{Cho } \begin{cases} m = 10\text{kg}, \\ \text{Khi } F = 9,8\text{N} \text{ thì } x = 2\text{cm}, \\ l = 30\text{cm}. \end{cases} \quad \text{Hỏi } \begin{cases} \text{v khi xe rung} \\ \text{mạnh nhất ?} \end{cases}$$

Chu kì dao động riêng của lò xo

$$T_0 = 2\pi\sqrt{m/k}, \text{ với } m - \text{khối lượng đặt lên lò xo.}$$

Vì có 2 lò xo, nên mỗi lò xo chịu một khối lượng

$$m' = m/2 = 10/2 = 5\text{kg}.$$

Mặt khác, ta có $|F| = k|x|$,

$$\text{nên } k = |F|/|x| = 9,8/2 \cdot 10^{-2} = 490\text{N/m}$$

Chu kì dao động riêng của lò xo :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{m'/k} = 2\pi\sqrt{5/490} = 0,63\text{s}.$$

Mỗi lần xe qua ổ gà, lại bị va chạm gây ra dao động cưỡng bức với chu kì

$$T = 1/v = 30.10^{-2} / v.$$

Khi có cộng hưởng, xe bị rung động mạnh nhất, lúc đó $T = T_0$.
hay $30.10^{-2}/v = 0,63$.

Rút ra $v = 30.10^{-2}/0,63 = 0,48\text{m/s}$.

Bài tập ví dụ 5

Một chất điểm tham gia hai dao động cùng chu kì T và pha ban đầu φ . Biên độ $a_1 = 3\text{cm}$ và $a_2 = 4\text{cm}$.

Tìm biên độ dao động tổng hợp, nếu :

- Hai dao động thành phần cùng phương,
- Hai dao động thành phần có phương vuông góc.

Bài giải.

Cho $\begin{cases} a_1 = 3\text{cm} ; a_2 = 4\text{cm} ; \\ T_1 = T_2 = T. \end{cases}$ Hỏi $\begin{cases} A \text{ khi cùng phương} \\ \text{và phương vuông góc.} \end{cases}$

a) Ta biết rằng tổng hợp hai dao động điều hoà cùng chu kì, cùng phương là một dao động điều hoà cùng chu kì với biên độ :

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)},$$

ở đây : $A_1 = 3\text{cm} = 3.10^{-2}\text{m}$, $A_2 = 4\text{cm} = 4.10^{-2}\text{m}$,
 $\varphi_2 - \varphi_1 = 0$ vì hai dao động cùng pha nên $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = 1$.

Do đó :

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2} = A_1 + A_2 = 7.10^{-2}\text{m}.$$

b) Khi chất điểm tham gia hai dao động có phương vuông góc, cùng tần số (hình 8-2), sẽ có quỹ đạo thoả mãn phương trình :

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1).$$

Ở đây $\varphi_2 - \varphi_1 = 0$, ta có :

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} = 0,$$

hay $\frac{x}{A_1} - \frac{y}{A_2} = 0.$

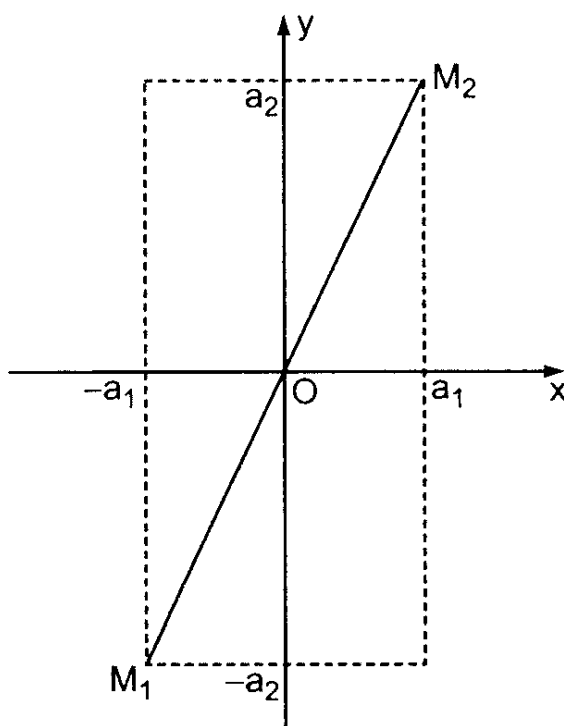
Thay số vào, ta có

$$\frac{x}{3 \cdot 10^{-2}} - \frac{y}{4 \cdot 10^{-2}} = 0.$$

Phương trình trên chứng tỏ chất điểm dao động trên đường thẳng $M_1 M_2$ là đường chéo của hình chữ nhật mà hai cạnh là $2a_1 = 6 \cdot 10^{-2} \text{m}$, và $2a_2 = 8 \cdot 10^{-2} \text{m}$.

Do đó biên độ dao động tổng hợp bằng độ dài một nửa đường chéo hình chữ nhật.

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2} = \sqrt{(3 \cdot 10^{-2})^2 + (4 \cdot 10^{-2})^2} = 5 \cdot 10^{-2} \text{m}.$$



Hình 8-2

Bài tập ví dụ 6

Phương trình biến thiên của hiệu điện thế theo thời gian trên hai bản tụ điện trong mạch dao động có dạng $U = 50 \cos 10^4 \pi t$ vôn.

Tụ điện có điện dung $C = 9 \cdot 10^{-7}$ fara. Tìm :

- Chu kỳ dao động T .
- Hệ số tự cảm L .
- Định luật biến thiên của cường độ dòng điện trong mạch theo thời gian.
- Bước sóng điện từ tương ứng với mạch đó.

Bài giải.

Cho $\begin{cases} U = 50 \cos 10^4 \pi t \text{ vôn} \\ C = 9 \cdot 10^{-7} \text{ F.} \end{cases}$

Hỏi $T ? L ? I ? \lambda ?$

a) Chu kỳ T được tính theo công thức $T = \frac{2\pi}{\omega}$, trong đó

$\omega = 10^4 \pi$. Thay số vào, ta có $T = 2 \cdot 10^{-4} \text{s}$.

b) Hệ số tự cảm L được tính theo công thức :

$$T = 2\pi\sqrt{LC} ,$$

rút ra
$$L = \frac{T^2}{4\pi^2 C} = 10^{-3} \text{ H.}$$

c) Phương trình của cường độ dòng điện I :

$$I = C \frac{du}{dt} = -1,43 \sin 10^4 \pi t \text{ ampe.}$$

d) Bước sóng điện từ λ :

$$\lambda = cT = 3.10^8 . 2.10^{-4} = 6.10^4 \text{ m.}$$

Bài tập ví dụ 7

Một mạch dao động điện từ có điện dung $C = 7\mu\text{F}$, hệ số tự cảm $L = 0,23\text{H}$, điện trở $R = 40\Omega$ và được tích một điện lượng ban đầu $Q = 5,6.10^{-4}\text{C}$ trên hai bản của tụ điện. Tìm :

- Chu kì dao động điện từ trong mạch.
- Giảm lượng lôga của dao động điện từ tương ứng.
- Quy luật biến thiên của hiệu điện thế U trên 2 bản của tụ điện.

Bài giải.

Cho $\begin{cases} C = 7\mu\text{F} ; L = 0,23\text{H} ; \\ R = 40\Omega ; Q_0 = 5,6.10^{-4}\text{C.} \end{cases}$ Hỏi $\begin{matrix} T = ? \\ \delta = ? \\ U = ? \end{matrix}$

a) Vì điện trở của mạch $R \neq 0$ nên dao động điện từ tắt dần. Phương trình của điện tích Q có dạng :

$$Q = Q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi).$$

Khi $t = 0$ thì $Q = Q_0 \cos\varphi$. Nhưng theo giả thiết $Q = Q_0$ nên $\cos\varphi = 1$, do đó $\varphi = 0$ nên $Q = Q_0 e^{-\beta t} \cos\omega t$.

Chu kì dao động của mạch

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}$$

Thay số vào, ta có : $T = \frac{2.3,14}{\sqrt{\frac{1}{0,23.7.10^{-6}} - \left(\frac{40}{2.0,23}\right)^2}} = 8.10^{-3} \text{ s.}$

b) Giảm lượng lôga của dao động điện từ tương ứng

$$\delta = \beta T = \frac{RT}{2L}$$

Thay số vào được $\delta = \frac{40}{2.0,23} . 8.10^{-3} = 0,7.$

c) Hiệu điện thế U trên 2 bản của tụ điện cho bởi

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{Q_0}{C} e^{-\beta t} \cos \omega t = \frac{Q_0}{C} e^{-(R/2L)t} \cos \omega t.$$

Thay số vào, ta có

$$U = \frac{5,6.10^{-4}}{7.10^{-6}} e^{-\frac{40t}{2.0,23}} \cos \frac{2\pi}{8.10^{-3}} t (\text{vôn}).$$

Rút gọn, ta có $U = 80e^{-87t} \cos 250\pi t (\text{vôn}).$

Bài tập ví dụ 8

Tìm tỉ số giữa năng lượng từ trường W_H và năng lượng điện trường W_E của mạch dao động LC vào lúc $T/8\text{s}$.

Bài giải.

Cho $t = T/8,$

Hỏi $W_H/W_E = ?$

$R \approx 0.$

Gọi U là hiệu điện thế trên hai cốt tụ điện, ta có

$U = U_0 \cos \omega t$ và $I = C dU/dt$, trong đó U_0 là hiệu điện thế cực đại, ω là tần số góc của mạch dao động, do đó $I = -CU_0 \omega \sin \omega t$.

Như vậy năng lượng từ trường

$$W_H = LI^2 / 2 = \frac{1}{2} LC^2 U_0^2 \omega^2 \sin^2 \omega t \quad (1)$$

và năng lượng điện trường $W_E = CU^2 / 2 = \frac{1}{2} CU_0^2 \cos^2 \omega t \quad (2)$

Chia (1) cho (2) ta có

$$W_H / W_E = LC\omega^2 \operatorname{tg}^2 \omega t,$$

tại thời điểm $t = T/8$ thì $\sin \omega t = \sqrt{2}/2$; $\cos \omega t = \sqrt{2}/2$, mặt khác $LC = T^2 / 4\pi^2 = 1/\omega^2$. Do đó tỉ số

$$W_H / W_E = LC\omega^2 \operatorname{tg}^2 \omega t = \left(\frac{\omega^2}{\omega^2} \right) \operatorname{tg}^2 \omega t = \frac{\sin^2 \omega t}{\cos^2 \omega t}.$$

$$W_H / W_E = \sin^2 \omega t / \cos^2 \omega t = 1.$$

Bài tập tự giải

8-1. Biên độ và chu kì của một dao động điều hoà là 5cm và 4s. Tìm vận tốc và gia tốc cực đại của điểm dao động ?

8-2. Một chất điểm dao động điều hoà với $T = 24s$, pha ban đầu bằng 0. Hỏi tại những thời điểm nào (trong thời gian một chu kì đầu) li độ có giá trị tuyệt đối bằng $1/2$ biên độ dao động.

8-3. Một chất điểm dao động điều hoà với chu kì $T = 2s$, $a = 50mm$. Tìm vận tốc của chất điểm tại vị trí của li độ bằng $1/2$ biên độ dao động.

8-4. Một con lắc lò xo $m = 5g$, dao động điều hoà với độ dời

$$x = 10 \cos \left(10\pi t + \frac{\pi}{2} \right) \text{cm}.$$

Hỏi :

- a) Biên độ, tần số góc, chu kì, tần số, pha ban đầu của dao động ;
- b) Lực cực đại tác dụng lên con lắc ;
- c) Năng lượng của con lắc và hệ số đàn hồi của lò xo.

8-5. Tìm chu kì dao động của một khối thuỷ ngân có khối lượng $m = 121g$ đựng trong một ống hình chữ U. Cho biết tiết diện của ống là $S = 0,3cm^2$, khối lượng riêng của thuỷ ngân là $\rho = 13,6g/cm^3$; $g = 980cm/s^2$. Coi ma sát là không đáng kể.

8-6. Một phù kế có khối lượng $m = 200\text{g}$ được thả vào một chất lỏng. Phần trên của phù kế có dạng hình trụ, đường kính $d = 1\text{cm}$.

Phù kế đang nằm yên, cho một kích động theo phương thẳng đứng, phù kế dao động với chu kỳ $T = 3,4\text{s}$. Xem dao động là điều hoà. Hỏi :

- Tại sao kích động phù kế lại dao động.
- Biểu thức của lực gây nên dao động và giải thích đó là lực giả đàn hồi.
- Biểu thức của chu kỳ dao động và từ đó tìm giá trị khối lượng riêng của chất lỏng.

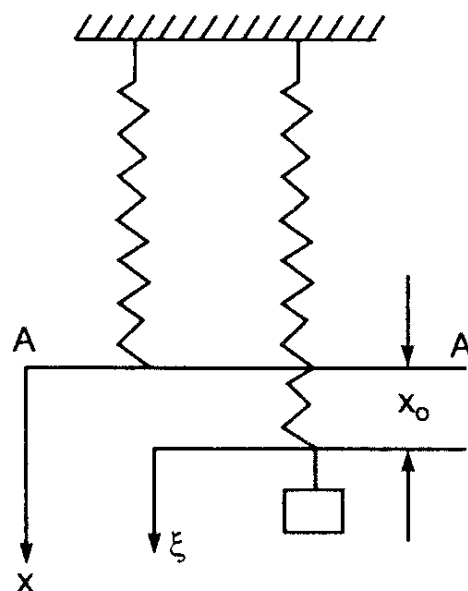
8-7. Một chất điểm dao động điều hoà với chu kỳ $T = 2\text{s}$, pha ban đầu $\varphi = \frac{\pi}{3}$. Năng lượng toàn phần $W = 3 \cdot 10^{-5}\text{J}$ và lực tác dụng lên chất điểm lúc lớn nhất bằng $1,5 \cdot 10^{-3}\text{N}$.

Viết phương trình dao động của chất điểm.

8-8. Xác định chu kỳ dao động của con lắc vật lí, được cấu tạo bằng một thanh đồng chất dài $l = 30\text{cm}$. Điểm treo của con lắc cách trọng tâm một khoảng $x = 10\text{cm}$.

Nêu đặc điểm của đường biểu diễn sự phụ thuộc của chu kỳ theo khoảng cách x ?

8-9. Người ta gắn một lò xo vào một giá nằm ngang. Đầu kia của lò xo treo một vật nặng. Nhận xét đặc điểm chuyển động của vật nặng khi lò xo dao động. Tìm chu kỳ của dao động đó, nếu độ dẫn tĩnh của lò xo $x_0 = 20\text{cm}$ (hình 8-3). Khối lượng của lò xo không đáng kể.



Hình 8-3

8-10. Một lò xo được treo cố định ở một đầu. Đầu kia của lò xo có treo một vật nặng có khối lượng $m = 0,5\text{kg}$. Vật nặng tì lên một giá đỡ sao cho lò xo không dẫn. Giá đỡ được cất đi một cách nhẹ nhàng. Tìm quy luật chuyển động

của vật nặng, biên độ, tần số góc, pha ban đầu, lực căng cực đại của lò xo. Hệ số đàn hồi của lò xo $k = 0,5\text{N/cm}$.

8-11. Một diễn viên nhào lộn nhảy trên một cái lưới đàn hồi với độ cao $h = 10\text{m}$. Hỏi lực nén lớn nhất của người diễn viên vào lưới lớn hơn trọng lực bao nhiêu lần ? Cho biết độ võng tĩnh của lưới là $x_0 = 20\text{cm}$. Khối lượng của lưới không đáng kể.

8-12. Biên độ dao động tắt dần sau thời gian $t_1 = 20\text{s}$ giảm đi $n_1 = 2$ lần. Hỏi sau thời gian $t_2 = 1$ phút, nó giảm đi bao nhiêu lần ?

8-13. Phương trình của một dao động tắt dần là

$$x = 10.2^{-0,2t}\cos 8\pi t(\text{cm}).$$

Tìm biên độ của dao động sau $N = 10$ dao động toàn phần.

8-14. Xác định giảm lượng lôga của một con lắc toán chiều dài $l = 50\text{cm}$, biết rằng sau thời gian $\tau = 8$ phút, nó mất 99% năng lượng.

8-15. Cho hệ số tắt dần của dao động là $\beta = 1/100\text{s}^{-1}$.

Tính thời gian để biên độ dao động giảm đi e lần (e là cơ số của lôgarít nêpe).

8-16. Chu kì của một dao động tắt dần là 4s . Giảm lượng lôga của nó là $0,8$.

a) Viết phương trình của dao động. Gốc thời gian lấy ở lúc độ dời cực đại bằng 20cm .

b) Tính độ dời x tại những điểm : 0 ; $T/2$; T ; $3T/2$; $2T$.

c) Dùng kết quả trên vẽ đồ thị của dao động trong 2 chu kì.

8-17. Biết rằng với vận tốc $v = 20\text{m/s}$ thì khi chạy qua các chỗ nối của đường ray, xe lửa bị rung động mạnh nhất. Mỗi lò xo của toa xe chịu một khối lượng nén lên là $M = 5$ tấn. Chiều dài của mỗi thanh ray là $l = 12,5\text{m}$. Hãy xác định hệ số đàn hồi của lò xo ?

8-18. Một vật có khối lượng $m = 10\text{g}$ đang dao động tắt dần với hệ số tắt dần $\beta = 1,6\text{s}^{-1}$. Tác dụng lên vật một lực kích thích

tuần hoàn. Vật sẽ dao động cưỡng bức với phương trình :
 $x = 5\cos(10\pi t + 0,75\pi)\text{cm}$. Tìm phương trình của lực tuần hoàn ?

8–19. Tác dụng vào một con lắc lò xo một lực tuần hoàn hình sin, lực cực đại (biên độ của lực) bằng 10^{-3}N .

Tìm hệ số ma sát và lực ma sát cực đại biết rằng biên độ của dao động khi cộng hưởng bằng 5cm, chu kì của hệ là 0,5s. Giả sử lực ma sát, tỉ lệ với vận tốc và hệ số tắt dần rất nhỏ so với tần số riêng.

8–20. Vật nặng có khối lượng $m = 0,5\text{kg}$ treo vào một lò xo. Hệ số đàn hồi của lò xo $k = 0,5\text{N/cm}$. Vật nặng chuyển động trong dầu. Hệ số ma sát trong dầu là $r = 0,5\text{kg/s}$, ở đầu trên của lò xo người ta tác dụng một lực cưỡng bức biến đổi theo quy luật :

$$F = \sin\omega t \text{ (niutơn)}.$$

Với tần số nào của lực cưỡng bức, biên độ của dao động cưỡng bức đạt giá trị cực đại ?

Biên độ cực đại đó bằng bao nhiêu ?

Biên độ của dao động cưỡng bức sẽ như thế nào, nếu tần số của lực cưỡng bức lớn (hoặc bé) gấp hai tần số cộng hưởng ?

8–21. Một chất điểm tham gia đồng thời hai dao động điều hoà cùng phương, cùng biên độ $a_1 = a_2 = 0,02\text{m}$; cùng chu kì $T_1 = T_2 = 8\text{s}$. Hiệu pha giữa chúng bằng $\pi/4$. Pha ban đầu của một trong hai dao động bằng 0.

Viết phương trình dao động tổng hợp.

8–22. Một chất điểm tham gia đồng thời hai dao động điều hoà theo phương vuông góc với phương trình :

$$x = \cos\frac{\pi}{2}t \text{ và } y = 2\cos\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{2}\right).$$

Tìm quỹ đạo chuyển động của chất điểm.

8–23. Một mạch dao động điện từ có điện dung $C = 0,25\mu\text{F}$, hệ số tự cảm $L = 1,015\text{H}$ và điện trở $R = 0$. Ban đầu hai cốt của tụ điện được tích điện $Q_0 = 2,5 \cdot 10^{-6}\text{C}$.

a) Viết phương trình dao động điện từ của mạch đối với điện tích q và dòng điện I .

b) Năng lượng điện từ của mạch.

c) Tần số dao động của mạch.

8-24. Một mạch dao động có hệ số tự cảm là 1H . Điện trở của mạch có thể bỏ qua. Điện tích trên cốt của tụ điện biến thiên theo phương trình.

$$q = \left(\frac{5}{\pi}\right) 10^{-5} \cos 400\pi t \text{ culông}$$

Tìm :

a) Chu kì dao động của mạch ;

b) Điện dung của mạch ;

c) Cường độ dòng điện trong mạch ;

d) Năng lượng điện từ của mạch.

8-25. Một mạch dao động gồm cuộn cảm có $L = 5 \cdot 10^{-6}\text{H}$, một tụ điện có điện dung $C = 2 \cdot 10^{-4}\text{F}$, hiệu điện thế cực đại trên 2 cốt tụ điện là $U_0 = 120\text{V}$. Điện trở của mạch coi như không đáng kể.

Xác định giá trị cực đại của từ thông nếu như số vòng dây của cuộn cảm là $Z = 30$.

8-26. Một mạch dao động có điện dung $C = 0,405\mu\text{F}$, hệ số tự cảm $L = 10^{-2}\text{H}$ và điện trở $R = 2\Omega$. Tìm :

a) Chu kì dao động của mạch ;

b) Sau thời gian một chu kì, hiệu điện thế giữa 2 cốt của tụ điện giảm bao nhiêu lần ?

8-27. Một mạch dao động có điện dung $C = 1,1 \cdot 10^{-9}\text{F}$ hệ số tự cảm $L = 5 \cdot 10^{-5}\text{H}$ và giảm lượng lôga $\delta = 0,005$. Hỏi sau thời gian bao lâu thì năng lượng điện từ trong mạch giảm đi 99%.

8-28. Một mạch dao động có điện dung $C = 35,4\mu\text{F}$, hệ số tự cảm $L = 0,7\text{H}$ và điện trở $R = 100\Omega$. Đặt vào mạch một nguồn điện xoay chiều có tần số 50Hz . Biên độ của suất điện động $\mathcal{E}_0 = 220\text{V}$.

Tìm biên độ cường độ dòng điện trong mạch.

8-29. Một mạch dao động gồm một cuộn dây tự cảm $L = 3 \cdot 10^{-5}\text{H}$, điện trở $R = 1\Omega$ và một tụ điện điện dung $C = 2,2 \cdot 10^{-5}\text{F}$. Hỏi công suất tiêu thụ của mạch dao động phải là bao nhiêu để cho những dao động điện từ do mạch phát ra không phải là dao động tắt dần. Hiệu điện thế cực đại 2 cốt tụ điện là $U_0 = 0,5\text{V}$.

8–30. Hai tụ điện mỗi cái có điện dung 2mF , được mắc vào trong một mạch dao động gồm cuộn cảm có $L = 1\text{mH}$, $R = 5\Omega$. Hỏi những dao động điện từ xuất hiện trong mạch sẽ như thế nào nếu các tụ điện được :

a) mắc song song. b) mắc nối tiếp.

Chương 9 và 10 : SÓNG CƠ VÀ SÓNG ĐIỆN TỪ

Tóm tắt công thức

1. Các đặc trưng của sóng và hàm sóng

a) Vận tốc sóng

$$- \text{Sóng dọc } v = \sqrt{1/\alpha\rho} = \sqrt{E/\rho}, \quad (9-1)$$

trong đó α , E , $1/\alpha$, ρ lần lượt là hệ số đàn hồi, suất đàn hồi (còn gọi là suất Yăng) và khối lượng riêng của môi trường.

$$- \text{Sóng ngang } v = \sqrt{G/\rho}, \quad (9-2)$$

với G là suất trượt của môi trường.

b) Chu kì, tần số, bước sóng

$$\lambda = vT = v/\nu, \quad (9-3)$$

trong đó T và ν lần lượt là chu kì và tần số của sóng, λ là bước sóng.

c) Hàm sóng

Đối với sóng phẳng đơn sắc

$$x = A \cos \left[\omega \left(t - \frac{y}{v} \right) + \varphi_0 \right], \quad (9-4)$$

với A là biên độ, $\omega = 2\pi/T = 2\pi\nu$; ω là tần số góc và $\omega(t - y/v) + \varphi_0$ là pha của sóng, trong đó φ_0 là pha ban đầu.

Thường chọn $\varphi_0 = 0$, do đó

$$x = A \cos \omega \left(t - \frac{y}{v} \right),$$

$$\text{hoặc} \quad x = A \cos \left(\omega t - \frac{2\pi y}{\lambda} \right), \quad (9-4a)$$

hoặc
$$x = A \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} \right)$$

Đối với sóng cầu :
$$x = k \frac{A}{y} \cos \omega \left(t - \frac{y}{v} \right), \quad (9-5)$$

trong đó k là hệ số tỉ lệ.

2. Năng lượng sóng, năng thông sóng

a) Năng lượng của sóng cơ trong phần thể tích nhỏ δV

$$\delta W = \delta V \rho \omega^2 A^2 \sin^2 \left(\omega t - \frac{2\pi y}{\lambda} \right).$$

b) Giá trị trung bình của năng thông sóng tính trong một chu kì

$$P = WSv = \rho \omega^2 A^2 Sv / 2. \quad (9-6)$$

c) Mật độ năng thông trung bình

$$\mathcal{P} = P/S = W.v. \quad (9-7)$$

d) Vector Umốp $\vec{\mathcal{P}} = W\vec{v}$. (9-7a)

3. Sự giao thoa sóng – Sóng dừng

a) Khi sóng giao thoa, biên độ cực đại nếu

$$r_2 - r_1 = k\lambda, \quad (9-8)$$

với k là những số nguyên, r_1 và r_2 là khoảng cách từ điểm ta xét đến hai nguồn dao động.

Biên độ cực tiểu, khi $r_2 - r_1 = (2k + 1)\lambda/2$. (9-9)

b) Sóng dừng (phản xạ trên đầu dây tự do)

Vị trí của các bụng sóng : $y = k\lambda/2$, (9-10)

với $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ khi đó $a_{\max} = 2a_0$.

Hai bụng sóng liên tiếp cách nhau $\lambda/2$.

Vị trí của các nút sóng : $y = (2k + 1)\lambda/4$. (9-11)

Khi đó $a_{\min} = 0$.

Hai nút liên tiếp cách nhau $\lambda/2$.

Một bụng và một nút kề nhau, cách nhau $\lambda/4$.

4. Dao động âm và sóng âm

a) Vận tốc truyền âm trong không khí

$$v = \sqrt{\gamma RT / \mu}, \quad (9-12)$$

với R là hằng số lí tưởng, $\gamma = C_p/C_v$, T là nhiệt độ tuyệt đối của khí, μ là khối lượng phân tử khí tính ra kg (khối lượng của một kilômol khí).

b) *Cường độ âm – Độ to của âm*

$$\text{Cường độ âm} \quad I = \mathcal{P} = \rho v a^2 \omega^2 / 2. \quad (9-13)$$

$$\text{Độ to của âm} \quad L = k \log I / I_0, \quad (9-14)$$

trong đó I là cường độ của âm mà ta muốn xác định độ to, I_0 là cường độ cơ sở, k là hệ số tỉ lệ.

c) *Hiệu ứng Dopple*

Tần số v' của âm mà máy thu nhận được :

Trường hợp nguồn âm và máy thu đi tới gặp nhau :

$$v' = \frac{u + u'}{v - u} v. \quad (9-15)$$

Trường hợp nguồn đứng yên, máy thu chuyển động :

$$v' = \frac{v + u'}{v} v = \left(1 + \frac{u'}{v} \right) v. \quad (9-15a)$$

Trường hợp nguồn chuyển động, máy thu đứng yên :

$$v' = \frac{v}{v - u} v. \quad (9-15b)$$

5. Sóng điện từ

a) *Phương trình của sóng điện từ phẳng đơn sắc*

$$E = E_m \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right), \quad (10-1)$$

$$H = H_m \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right). \quad (10-2)$$

b) *Vận tốc truyền sóng điện từ trong một môi trường đồng chất và đẳng hướng.*

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}, \quad (10-3)$$

với $c = 3.10^8 \text{ m/s}$; ϵ và μ lần lượt là hằng số điện môi và độ từ thẩm của môi trường. $\sqrt{\epsilon \mu} = n$ là chiết suất tuyệt đối của môi trường.

Bài tập ví dụ 1

Một nguồn điểm dao động với phương trình :

$$x = 4\cos 600\pi t \text{ cm.}$$

Tìm :

a) Li độ dao động của một điểm cách nguồn 150m tại thời điểm $t = 1\text{s}$.

b) Bước sóng và tần số dao động.

Biết vận tốc truyền sóng trong môi trường là $u = 300\text{m/s}$.

Bài giải.

$$\text{Cho } \begin{cases} x = 4\cos 600\pi t \text{ cm,} \\ y = 150\text{m} ; t = 1\text{s,} \\ u = 300\text{m/s.} \end{cases} \quad \text{Hỏi } \begin{cases} x_{(y,t)} ? \\ \lambda, \nu ? \end{cases}$$

a) Theo phương trình truyền sóng, độ dời x của một điểm cách nguồn một khoảng y , tại thời điểm t , là :

$$x = a\cos \omega(t - y/u).$$

Ở đây $a = 4\text{cm}$; $\omega = 600\pi \text{ s}^{-1}$; $y = 150\text{m}$, $u = 300\text{m/s}$; $t = 1\text{s}$

Thay số vào, ta có

$$x = 4\cos 600\pi \left(1 - \frac{150}{300}\right) = 4\cos 300\pi = 4\text{cm.}$$

b) Bước sóng λ cho bởi công thức :

$$\lambda = uT = u2\pi/\omega.$$

Thay số vào, ta có :

$$\lambda = 300.2\pi/600\pi = 1\text{m.}$$

Tần số dao động

$$\nu = 1/T = \omega/2\pi = 300\text{Hz.}$$

Bài tập ví dụ 2

Một dao động có chu kì 1,2s, biên độ dao động 2cm truyền với vận tốc 15m/s. Xác định :

a) Bước sóng.

b) Pha, độ dời, vận tốc và gia tốc của dao động tại một điểm nằm cách tâm sóng 45m tại thời điểm $t = 4s$;

c) Hiệu pha giữa hai điểm nằm cách tâm sóng 20m và 30m trên cùng một tia sóng.

Bài giải

$$\text{Cho } \begin{cases} T = 1,2s, \\ u = 15m/s, \\ a = 2cm, \\ y = 45m. \end{cases} \quad \text{Hỏi } \begin{cases} \lambda, \\ \varphi, x, v, \gamma? \\ \Delta\varphi? \end{cases}$$

a) Bước sóng λ cho bởi công thức :

$$\lambda = uT = 15.1,2 = 18m.$$

b) Phương trình dao động của điểm cách tâm sóng một đoạn y có dạng :

$$x = a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} \right).$$

Pha tại thời điểm $t = 4s$.

$$\varphi = 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} \right) = 2\pi \left(\frac{4}{1,2} - \frac{45}{18} \right) = 1,67\pi.$$

Độ dời tương ứng :

$$x = 2\cos 1,67\pi = 2\cos 300^\circ = 1cm.$$

Vận tốc của dao động tại thời điểm đó :

$$v = x' = -\left(\frac{2\pi}{T} \right) a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} \right) = 9,1cm/s.$$

Gia tốc của dao động tại thời điểm đó :

$$\gamma = x'' = -\frac{4\pi^2}{T^2} a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} \right) = -27,4cm/s^2$$

c) Hiệu pha giữa hai điểm cách nhau một đoạn Δy sẽ bằng :

$$\Delta\varphi = -2\pi\Delta y/\lambda = -1,1\pi.$$

Bài tập ví dụ 3

Hai âm có mức áp suất âm khác nhau 5 đêxiben. Xác định tỉ số biên độ áp suất âm của 2 âm đó ?

Bài giải.

Cho : $L_2 - L_1 = 5$ đêxiben ; Hỏi : $P_2/P_1 = ?$

Độ to của âm cho bởi công thức :

$$L(\text{ben}) = 2 \log \frac{P}{P_0}.$$

Vậy, đối với âm thứ nhất và âm thứ hai :

$$L_1 = 2 \log \frac{P_1}{P_0}, \text{ và } L_2 = 2 \log \frac{P_2}{P_0}.$$

Từ đó, rút ra :

$$L_2 - L_1 = 2 \log \frac{P_2}{P_1}.$$

Thay trị số của $L_2 - L_1$ vào phương trình trên, ta có :

$$0,5(\text{ben}) = 2 \log \frac{P_2}{P_1}.$$

$$\text{hay } \frac{P_2}{P_1} = 1,78.$$

Bài tập ví dụ 4

Một nguồn âm phát ra âm có tần số 1800Hz, chuyển động lại gần một máy rung cộng hưởng với sóng âm $\lambda' = 1,75\text{cm}$. Hỏi nguồn âm phải chuyển động với vận tốc bao nhiêu để máy rung, cộng hưởng ? Cho biết nhiệt độ không khí là 17°C .

Bài giải.

$$\text{Cho } \begin{cases} \nu = 1800\text{Hz} \\ \lambda' = 1,75\text{cm}, \\ T = 17^\circ + 273^\circ = 290^\circ\text{K}. \end{cases} \quad \text{Hỏi } u ?$$

Ở đây máy rung là máy thu âm. Máy rung mạnh khi sóng âm tới nó có bước sóng λ' ; $\lambda' = 1,75\text{cm}$.

Áp dụng công thức: $v'_0 = \frac{u + v'}{u - v} v_0$.

Theo đầu bài $v' = 0$. Do đó

$$v'_0 = \frac{u}{u - v} v_0.$$

Ta suy ra vận tốc của nguồn bằng

$$v = u \left(1 - \frac{v_0}{v'_0} \right), \quad (1)$$

u được tính theo công thức $u = \sqrt{\gamma RT / \mu}$, đối với không khí (coi không khí là lưỡng nguyên tử)

$$\gamma = 1,4; \mu = 29\text{kg/kmol}.$$

Ta có $\lambda' = u / v'_0$.

Thay vào phương trình (1), ta có

$$v = \sqrt{\gamma RT / \mu} - v_0 \lambda',$$

với $R = 8,31 \cdot 10^3 \text{J/kmol}\cdot\text{độ}$,

$$v = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 8,31 \cdot 10^3 \cdot 290}{29}} - 1800 \cdot 1,7 \cdot 10^{-2} = 25\text{m/s}.$$

Bài tập ví dụ 5

Một mạch dao động có hệ số tự cảm $L = 2 \cdot 10^{-3} \text{H}$ có điện dung có thể thay đổi từ 70pF đến 530pF . Điện trở của mạch có thể bỏ qua. Hỏi mạch dao động đó có thể cộng hưởng với những sóng điện từ có bước sóng trong khoảng bao nhiêu ?

Bài giải

$$\text{Cho } \begin{cases} L = 2 \cdot 10^{-3} \text{H} \\ C = 70\text{pF} \text{ đến } 530\text{pF}, \\ R = 0. \end{cases} \quad \text{Hỏi : } \lambda \text{ cộng hưởng ?}$$

Điều kiện có cộng hưởng là :

$$\Omega = \omega_0 ,$$

tức là $T = T_0 = 2\pi\sqrt{LC} .$

Bước sóng điện từ tương ứng để có cộng hưởng là :

$$\lambda = cT,$$

với $c = 3.10^8 \text{ m/s}$ (vận tốc truyền sóng điện từ trong chân không),
điện dung C có giá trị thay đổi từ 70.10^{-12} F đến 530.10^{-12} F .

Thay số vào, ta tính được :

$$\lambda = 700 \text{ m đến } 1950 \text{ m}.$$

Đây là khoảng bước sóng điện từ trong đó có hiện tượng cộng hưởng của mạch dao động.

Bài tập tự giải

9-1. Hai điểm cách nhau một khoảng $y = 2 \text{ m}$ trên phương truyền sóng phẳng. Bước sóng $\lambda = 1 \text{ m}$. Tìm hiệu pha của các dao động ở hai điểm đó tại cùng một thời điểm.

9-2. Dao động âm, tần số 500 Hz , biên độ $a = 0,25 \text{ mm}$, truyền trong không khí với bước sóng $\lambda = 70 \text{ cm}$. Tìm :

a) Vận tốc truyền sóng âm.

b) Vận tốc dao động cực đại của các phân tử không khí.

9-3. Một nguồn sóng O dao động với phương trình $x = \sin 2,5\pi t \text{ cm}$. Tìm li độ dao động của một điểm M cách nguồn một khoảng $y = 20 \text{ m}$ tại thời điểm $t = 1 \text{ s}$. Biết vận tốc truyền sóng $u = 100 \text{ m/s}$.

9-4. Tại thời điểm $t = T/3$, một điểm nằm cách nguồn sóng 4 cm có li độ dao động bằng một nửa biên độ. Tìm chiều dài bước sóng ?

9-5. Một dao động có chu kỳ $0,04 \text{ s}$ truyền với vận tốc $u = 300 \text{ m/s}$. Tìm hiệu pha giữa hai chất điểm mà khoảng cách từ chúng tới nguồn bằng 10 m và 16 m .

9-6. Tìm li độ dao động của một điểm nằm cách nguồn sóng một khoảng $y = \lambda/12$ tại thời điểm $t = T/6$ biết biên độ dao động $a = 0,05 \text{ m}$.

9-7. Một đoàn sóng phẳng truyền vào một môi trường với phương trình :

$$x = 4 \sin \left(2 \frac{\pi}{6} t + \alpha \right) \text{cm}$$

Tìm :

- a) Vận tốc truyền sóng biết bước sóng bằng 240cm.
- b) Hiệu pha ứng với hai vị trí của cùng một phân tử nhưng ở hai thời điểm cách nhau 1s.
- c) Hiệu pha của 2 phân tử cách nhau 210cm (ứng với cùng một thời điểm).

9-8. Một đoàn sóng có phương trình :

$$x = 0,05 \sin(1980t - 6y) \text{cm}.$$

Tìm :

- a) Tần số dao động.
- b) Vận tốc truyền sóng và bước sóng.
- c) Vận tốc cực đại của phân tử dao động.

9-9. Hãy xác định vị trí của bụng và nút của sóng đứng, trong hai trường hợp sau đây :

- a) Sự phản xạ xảy ra từ môi trường có khối lượng riêng nhỏ hơn.
- b) Sự phản xạ xảy ra từ môi trường có khối lượng riêng lớn hơn.

Cho bước sóng chạy là 12cm. Vẽ đồ thị.

9-10. Xác định bước sóng của dao động, biết rằng khoảng cách từ bụng thứ nhất đến bụng thứ tư của sóng đứng bằng 15cm.

9-11. Cho biết động năng tịnh tiến trung bình của phân tử trong một kilômol nitơ bằng $3,4 \cdot 10^3 \text{kJ}$. Xác định vận tốc lan truyền của âm trong khí nitơ ở điều kiện trên ?

9-12. Tính chiết suất của sóng âm ở mặt giới hạn không khí – thủy tinh ? Cho biết suất Yăng đối với thủy tinh bằng $6,9 \cdot 10^{10} \text{N/m}^2$, khối lượng riêng của thủy tinh bằng $2,6 \text{g/cm}^3$, nhiệt độ của không khí là 20°C .

9-13. Nếu mức áp suất âm tăng 30db thì biên độ áp suất âm tăng bao nhiêu ?

9–14. Âm "la" có tần số $\nu = 435\text{Hz}$. Tìm bước sóng tương ứng. Biết rằng âm truyền trong không khí với vận tốc 340m/s .

9–15. Tỉ số các biên độ áp suất của hai âm bằng 1,12. Tìm sự khác nhau của mức áp suất âm ?

9–16. Một con dơi bay theo hướng tới vuông góc với một bức tường với vận tốc 6m/s . Dơi phát ra một tia siêu âm có tần số $4,5 \cdot 10^4\text{Hz}$. Hỏi dơi nhận được âm phản xạ có tần số bao nhiêu ? Biết vận tốc âm truyền trong không khí là 340m/s .

9–17. Một nguồn âm phát ra một âm có tần số 500Hz chạy lại gần một người quan sát với vận tốc 200km/h . Hỏi người quan sát nghe thấy âm có tần số bao nhiêu ?

Cho biết vận tốc âm bằng 340m/s .

9–18. Một tàu hoả chuyển động với vận tốc 60km/h và một người quan sát đứng yên. Khi đi qua người quan sát, tàu kéo một hồi còi. Hỏi :

- a) Người quan sát có cảm giác gì về âm thanh khi tàu vụt qua ?
- b) Độ biến thiên (tính ra phần trăm) của tần số âm so với khi tàu đứng yên.

Cho vận tốc truyền âm trong không khí bằng 340m/s .

9–19. Một viên đạn bay với vận tốc 200m/s . Hỏi độ cao của tiếng rít thay đổi bao nhiêu lần khi viên đạn bay qua đầu một người quan sát đứng yên.

Cho vận tốc truyền âm là 333m/s .

10–20. Một mạch phát sóng điện từ có điện dung $C = 9 \cdot 10^{-10}\text{F}$, hệ số tự cảm $L = 2 \cdot 10^{-3}\text{H}$. Tìm bước sóng điện từ tương ứng ?

10–21. Một mạch dao động điện từ gồm một ống dây có hệ số tự cảm $L = 3 \cdot 10^{-5}\text{H}$ mắc nối tiếp với một tụ điện phẳng có diện tích các cốt $S = 100\text{cm}^2$. Khoảng cách giữa hai cốt là $d = 0,1\text{mm}$.

Hỏi hằng số điện môi của môi trường chứa đầy trong khoảng không gian giữa hai cốt tụ điện là bao nhiêu, biết rằng mạch dao động cộng hưởng với sóng có bước sóng 750m ?

ĐÁP SỐ VÀ HƯỚNG DẪN

Chương 1 : TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN

1-1. Đáp số : $F = 9,23 \cdot 10^{-8} \text{N}$,

1-2. Đáp số : $1,25 \cdot 10^{36}$ lần,

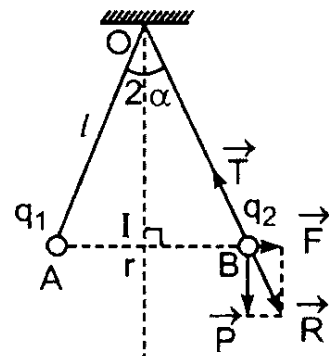
1-3. Đáp số : $P = 0,157 \text{N}$.

Hướng dẫn. Gọi góc hợp bởi 2 dây là 2α : mỗi quả cầu chịu tác dụng 3 lực : trọng lực P , lực đẩy Culông F và sức căng T . Điều kiện cân bằng dẫn tới

$$F = P \tan \alpha = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2},$$

với $\sin \alpha = r/2l$, do đó

$$P = F / \tan \alpha = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon \cdot 4l^2 \sin^2 \alpha \tan \alpha}.$$



Hình 1-1'

Mỗi quả cầu sẽ mang điện tích $q = q_0/2$;

coi $\epsilon = 1$.

Thay số vào, ta tìm được $P = 0,157 \text{N}$.

1-4. Đáp số : $\rho_1 = 2550 \text{kg/m}^3$.

Hướng dẫn. Đối với quả cầu đặt trong không khí ta đã có :

$$P = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_1 \cdot 4l^2 \sin^2 \alpha_1 \tan \alpha_1}. \quad (1)$$

(xem bài giải 1 – 3)

Khi nhúng các quả cầu vào dầu hoả, mỗi quả cầu sẽ chịu thêm tác dụng của sức đẩy Acsimét P_1 . Do đó đối với quả cầu nhúng trong dầu hoả, ta có :

$$P - P_1 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_2 \cdot 4l^2 \sin^2 \alpha_2 \tan \alpha_2}. \quad (2)$$

Trong phương trình (2) này

$$P - P_1 = (\rho_1 - \rho_2)Vg, \quad (3)$$

trong đó ρ_1 – Khối lượng riêng của chất làm các quả cầu, ρ_2 – Khối lượng riêng của dầu, V – Thể tích quả cầu, g – Gia tốc trọng trường.

Từ (1), (2) và (3) ta có :

$$\frac{(P - P_1)}{P} = \frac{\varepsilon_1 \sin^2 \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_1}{\varepsilon_2 \sin^2 \alpha_2 \operatorname{tg} \alpha_2} = \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1}.$$

từ đó rút ra $\rho_1 = \rho_2 \frac{\varepsilon_2 \sin^2 \alpha_2 \operatorname{tg} \alpha_2}{\varepsilon_2 \sin^2 \alpha_2 \operatorname{tg} \alpha_2 - \varepsilon_1 \sin^2 \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_1},$

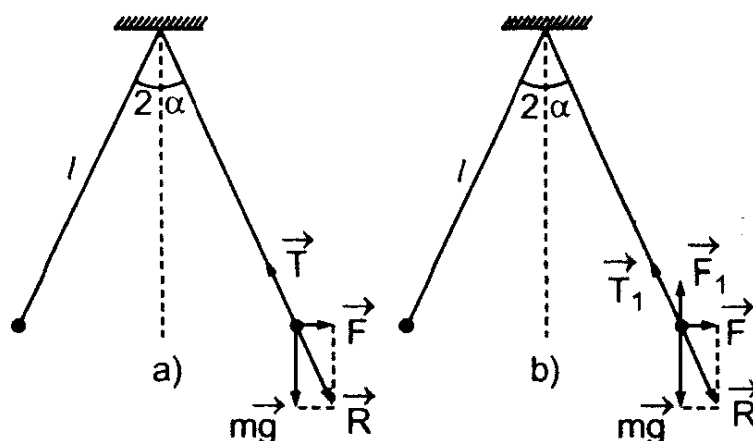
với ε_1 (không khí), $\varepsilon_2 = 2$ (dầu hoả),

thay số vào ta được $\rho_1 = 2550 \text{ kg/m}^3,$

1–5. Đáp số : $\rho = \varepsilon \rho_1 / (\varepsilon - 1).$

Hướng dẫn. Mỗi quả cầu sẽ chịu tác dụng của các lực sau (hình 1–2'a) : trọng lực mg , sức căng T của dây và lực đẩy Culông F với trị số

$$F = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_1(2l \sin\alpha)^2}, \text{ (với } \varepsilon_1 = 1).$$



Hình 1–2'

Ở điều kiện cân bằng (T trực đối với R) ta có :

$$T \cos \alpha = mg ; T \sin \alpha = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 4l^2 \sin^2 \alpha},$$

do đó
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 mg 4l^2 \sin^2 \alpha}. \quad (1)$$

(Kết quả tương tự như trong bài mẫu 1 của chương này). Khi nhúng các quả cầu vào dầu mỗi quả cầu sẽ chịu thêm lực đẩy Ácsimét F_1 , còn lực Culông sẽ giảm đi ϵ lần, với ϵ là hằng số điện môi của dầu (hình 1 – 2'b) sức căng của dây tất nhiên cũng thay đổi và bằng T_1 .

Điều kiện cân bằng trong trường hợp này là :

$$T_1 \cos \alpha + F_1 = mg ; T_1 \sin \alpha = q^2 / 4\pi\epsilon_0 \epsilon (2l \sin \alpha)^2,$$

từ đó
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon} \cdot \frac{1}{(mg - F_1) 4l^2 \sin^2 \alpha}, \quad (2)$$

cho vế phải của (1) và (2) bằng nhau ta có :

$$\frac{1}{mg} = \frac{1}{\epsilon(mg - F_1)}. \quad (3)$$

Xác định m và F_1 :

$$m = 4\pi r^3 \rho / 3 ; F_1 = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 g,$$

với ρ là khối lượng riêng của chất làm quả cầu, r là bán kính quả cầu, ρ_1 là khối lượng riêng của dầu.

Thay các biểu thức của m , F_1 vào (3) ta được

$$\rho = \epsilon(\rho - \rho_1) \Rightarrow \rho = \frac{\epsilon \rho_1}{(\epsilon - 1)}.$$

1–6. Đáp số : $v = 1,6.10^6 \text{ m/s}$.

Hướng dẫn. Êlectrôn chuyển động xung quanh hạt nhân theo quỹ đạo tròn dưới tác dụng của lực hướng tâm $F_1 = mv^2/r$.

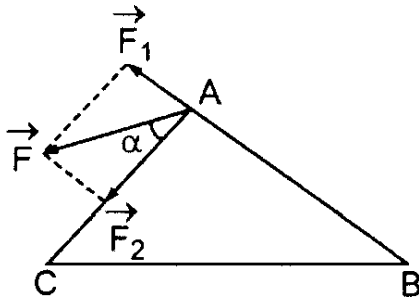
Lực này chính là lực Culông $F_2 = e^2 / 4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2$.

Ta có $F_1 = F_2$. Từ đó tính được vận tốc của electron.

$$v = \frac{e}{2\sqrt{\pi\epsilon_0\epsilon r m}} = 1,6.10^6 \text{ m/s} ; (\epsilon = 1).$$

1-7. Đáp số : $F = 3,1.10^{-2} \text{ N}$.

Hướng dẫn. Điện tích dương tại A chịu tác dụng của hai lực (hình 1-3') :



Hình 1-3'

– lực tác dụng \vec{F}_1 của q_2 lên q_1 ;

– lực tác dụng \vec{F}_2 của q_3 lên q_1 .

Trị số F_1, F_2 của các lực đó được tính bằng định luật Culông.

Tổng hợp lực tác dụng lên q_1 bằng

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 .$$

Cần xác định phương, chiều, độ lớn của lực \vec{F} .

Từ số liệu đầu bài dễ dàng thấy.

$$BC^2 = AB^2 + AC^2 .$$

Vậy tam giác ABC vuông tại đỉnh A. Do đó :

– Lực tổng hợp \vec{F} có phương hợp với cạnh AC một góc α xác định bởi

$$\text{tg}\alpha = F_1 / F_2 \Rightarrow \alpha = 15^{\circ}42' .$$

– Chiều như hình vẽ 1 – 3'.

Trị số của lực F được tính bằng

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = 3,1.10^{-2} \text{ N} .$$

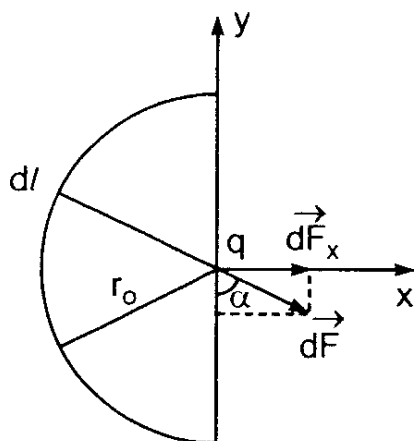
1-8. Xem giáo trình VLĐC tập II.

1-9. Đáp số : $F = 1,14.10^{-3} \text{ N}$.

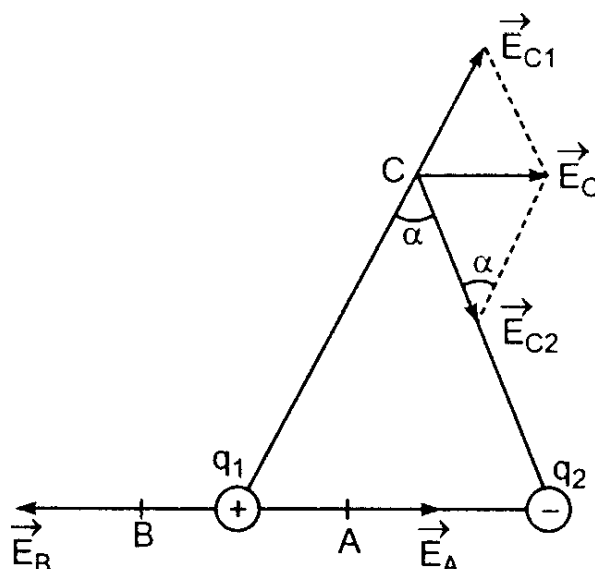
Hướng dẫn. Để áp dụng được nguyên lí chồng chất lực ta chia nửa vòng xuyến thành những phần tử dl mang điện tích dQ (hình 1-4') và lí luận tương tự như bài mẫu 2. Hình chiếu của lực tổng hợp lên các trục sẽ là :

$$F_x = \int dF \sin \alpha \quad , \quad F_y = \int dF \cos \alpha \quad .$$

(nửa vòng xuyến) (nửa vòng xuyến)



Hình 1-4'



Hình 1-5'

Do tính chất đối xứng nên $F_y = 0$.

Vậy $F_x = F = Qq / 2\pi\epsilon_0\epsilon r_0^2 = 1,14 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.

1-10. Đáp số : 1) $E_c = 9,34 \cdot 10^{-4} \text{ V/m}$.

2) $F_c = 1,42 \cdot 10^{-4} \text{ N}$.

Hướng dẫn. 1. Để tính cường độ điện trường gây ra bởi các điện tích q_1, q_2 tại các điểm A và B cần tính cường độ điện trường do từng điện tích gây ra tại các điểm đó rồi áp dụng nguyên lí chồng chất điện trường (hình 1-5').

Kết quả ta sẽ có

$$E_A = E_{A1} + E_{A2} = 52,5 \cdot 10^4 \text{ V/m}.$$

$$E_B = E_{B1} - E_{B2} = 27,6 \cdot 10^4 \text{ V/m}.$$

Căn cứ vào phương, chiều, độ lớn của các vectơ $\vec{E}_{A1}, \vec{E}_{A2}, \vec{E}_{B1}, \vec{E}_{B2}$ ta xác định được phương chiều của \vec{E}_A, \vec{E}_B như trên hình vẽ.

Xác định E_C ; Trước hết tính E_{C1}, E_{C2} do các điện tích q_1, q_2 gây ra tại C. Từ hình vẽ ta thấy :

$$E_C = \sqrt{E_{C1}^2 + E_{C2}^2 - 2E_{C1}E_{C2} \cos \alpha},$$

α cũng chính là góc ở đỉnh của tam giác MCN. Theo hệ thức lượng trong tam giác thường

$$\cos \alpha = (MC^2 + CN^2 - MN^2) / 2MC.CN = 0,23 \Rightarrow \alpha = 76^\circ 42'.$$

Thay số ta được $E_C = 9,34.10^{-4} \text{V/m}$.

Để xác định phương của \vec{E}_C , cần xác định góc θ là góc hợp bởi E_C và CN

Ta có : $E_{C1} / \sin \theta = E_C / \sin \alpha \Rightarrow \sin \theta = E_{C1} \sin \alpha / E_C = 0,9215$
vậy $\theta = 67^\circ 09'$.

$$2. F_C = qE_C = 1,42.10^{-4} \text{N}.$$

1-11. Đáp số : tại điểm cách điện tích q là $4,14.10^{-2} \text{m}$.

Hướng dẫn. Giả sử tại điểm M trên đường nối hai điện tích q và $2q$ điện trường do hệ hai điện tích đó gây ra triệt tiêu nghĩa là :

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0,$$

từ đó $E_1 = E_2$,

với E_1 là cường độ điện trường do q gây ra tại điểm M cách nó một khoảng r ,

với E_2 là cường độ điện trường do $2q$ gây ra tại điểm M cách nó một khoảng $(l - r)$.

$$\text{Ta có : } q/4\pi\epsilon_0\epsilon r^2 = 2q/4\pi\epsilon_0\epsilon(l - r)^2.$$

Kết quả, điểm M cách điện tích q một khoảng $r = 4,14.10^{-2} \text{m}$.

1-12. Đáp số : 1) $E_0 = 0$; 2) $E_0 = 0$ và $E_0 = q/\pi\epsilon_0 a^2$.

Hướng dẫn. 1. $E_0 = 0$ (do đối xứng).

2. Trường hợp 3 điện tích dương và 3 điện tích âm đặt xen kẽ $E_0 = 0$.

Nếu đặt 3 điện tích dương rồi 3 điện tích âm liên tiếp $E_0 = q/\pi\epsilon_0 a^2$.

1-13. Đáp số : $\alpha = 13^\circ$.

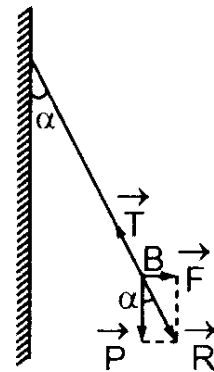
Hướng dẫn. Ở điều kiện cân bằng ta có (hình 1-6') :

$$\text{tg} \alpha = F/P,$$

với $F = Eq = \sigma q / 2\epsilon_0 \epsilon$; $P = mg$,
 $\operatorname{tg} \alpha = q\sigma / 2\epsilon_0 \epsilon mg \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = 0,2309$,
 và $\alpha = 13^\circ$.

1-14. Đáp số : 1) $E_b = 226 \text{ V/m}$.

Hướng dẫn. Chia đĩa thành từng dải hình vành khăn hẹp có bề rộng dx , sau đó dựa vào bài tập mẫu 2 để tính cường độ điện trường gây bởi dải hình vành khăn đó rồi lấy tích phân từ 0 đến a để tính cường độ điện trường gây bởi cả đĩa.



Hình 1-6'

$$E_b = \frac{\sigma}{2\epsilon_0 \epsilon} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + a^2 / b^2}} \right) = 226 \text{ V/m}.$$

2. Từ biểu thức của E_b , nếu cho $b \rightarrow 0$ sẽ có

$$E = \sigma / 2\epsilon_0 \epsilon.$$

3. Nếu $b \gg a$, áp dụng công thức tính gần đúng

$$\sqrt{\frac{1}{1 + a^2 / b^2}} \approx 1 - a^2 / 2b^2,$$

ta được : $E = q / 4\pi\epsilon_0 \epsilon b^2$.

1-15. Đáp số và hướng dẫn. Chia bán cầu thành những đối cầu có bề rộng dh (tính theo phương trục của nó), sau đó dựa vào bài tập mẫu 2 để tính cường độ điện trường do đối cầu đó gây ra tại tâm O. Từ đó lấy tích phân theo h từ 0 đến R để tính cường độ điện trường gây bởi bán cầu.

$$E = \sigma / 4\epsilon_0 \epsilon = 28,2 \text{ V/m} ; (\text{coi } \epsilon = 1).$$

1-16. Đáp số và hướng dẫn. Chia thanh thành những đoạn nhỏ dx tính cường độ điện trường do dx gây ra tại điểm A, rồi lí luận tương tự bài mẫu 2.

$$\text{Ta có : } E_A = q / 4\pi\epsilon_0 R R_0 = 6.10^3 \text{ V/m}.$$

1-17. Đáp số : Lí luận tương tự như bài 1-4 ta có kết quả :

$$E = \int_a^{\infty} \frac{\sigma b r dr}{2\epsilon_0 \epsilon (r^2 + b^2)^{3/2}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0 \epsilon \sqrt{1 + a^2/b^2}}.$$

1-18. Đáp số và hướng dẫn. Áp dụng định lí Otxtrôgraxki–Gaox tính cường độ điện trường tại điểm đặt hạt bụi. Từ đó tính được lực tác dụng lên hạt bụi.

$$F = 10^{-10} \text{ N}.$$

1-19. Đáp số : giống nhau.

Hướng dẫn. Lực tác dụng lên hai thanh là như nhau vì lực \vec{F}_1 do điện trường tác dụng lên thanh thứ nhất

$$\vec{F}_1 = \sum \vec{F}_i = \sum q \vec{E}_i,$$

tương tự

$$\vec{F}_2 = \sum \vec{F}_k = \sum q \vec{E}_k,$$

vì điện trường do mặt phẳng vô hạn gây ra là điện trường đều nên

$$\vec{E}_i = \vec{E}_k \text{ do đó } \vec{F}_1 = \vec{F}_2.$$

1-20. Đáp số : $F = 3,4 \text{ N}$.

Hướng dẫn. Ta có $F = qE$, trong đó $q = \lambda L$ và $E = \sigma/2\epsilon_0 \epsilon$; do đó $F = \lambda \sigma/2\epsilon \epsilon_0 = 3,4 \text{ N}$ với $\epsilon = 1$; $L = 1 \text{ m}$.

1-21. Đáp số và hướng dẫn. Vectơ cường độ điện trường tại một điểm M bất kì bằng

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

\vec{E}_1, \vec{E}_2 là các vectơ cường độ điện trường do q_1, q_2 gây ra; theo đầu bài $\vec{E} = 0$.

Vậy $\vec{E}_1 = -\vec{E}_2$, M phải nằm trên trục OO' (hình 1-7')

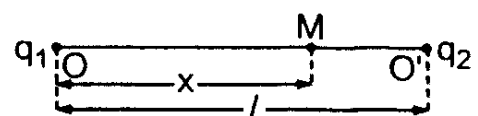
Do đó về giá trị ta có : (hình 1-7')

$$|\vec{E}_1| = |\vec{E}_2|. \quad (1)$$

Thay các giá trị của \vec{E}_1, \vec{E}_2 rồi ước lược các số hạng chúng ta có

$$x/(l-x) = \pm \sqrt{|q_1/q_2|}. \quad (2)$$

1. Nếu q_1, q_2 cùng dấu thì từ (1) rút ra



Hình 1-7'

$$0 < x < l,$$

$$\text{do đó biểu thức (2) sẽ lấy giá trị : } x/(l-x) = \sqrt{|q_1/q_2|}. \quad (3)$$

Giải phương trình (3) ta được

$$x = \frac{l\sqrt{|q_1|}}{\sqrt{|q_1|} + \sqrt{|q_2|}}. \quad (4)$$

2. Nếu q_1, q_2 khác dấu thì cũng từ (1) rút ra

$$x > l > 0,$$

do đó biểu thức (2) lấy giá trị :

$$x/(l-x) = -\sqrt{|q_1/q_2|}, \quad (5)$$

giải phương trình (5) ta được

$$x = \frac{l\sqrt{|q_1|}}{\sqrt{|q_1|} - \sqrt{|q_2|}}. \quad (6)$$

Viết chung lại

$$x = \frac{l\sqrt{|q_1|}}{\sqrt{|q_1|} \pm \sqrt{|q_2|}},$$

dấu + nếu q_1, q_2 cùng dấu

dấu - nếu q_1, q_2 khác dấu

1-22. Đáp số : $E = 4 \cdot 10^3 \text{ V/m.}$

Hướng dẫn. Có thể tính cho trường hợp tổng quát : nếu gọi khoảng cách từ M đến trục dây dẫn thứ nhất là x (hình 1-8') thì cường độ điện trường tại M là

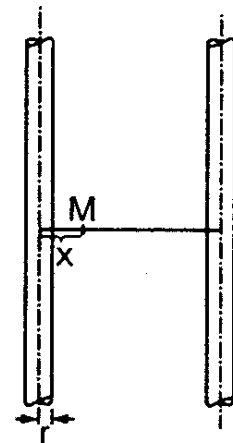
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{2\lambda}{x} + \frac{2\lambda}{l-x} \right),$$

với $\epsilon = 1$ và λ là mật độ điện dài trên dây. Mặt khác

$$dU = -Edx.$$

Do đó :

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} 2\lambda \int_r^{l-r} \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{x-l} \right) dx = \frac{1}{4\pi\epsilon} = 4\lambda \ln \frac{l-r}{r},$$



Hình 1-8'

rút ra
$$\lambda = \frac{\pi\epsilon_0 U}{\ln \frac{l-r}{r}},$$

trong trường hợp $x = l/2$ như giả thiết, thay x, λ vào biểu thức tính E ta tìm được :

$$E = \frac{2U}{l \cdot \ln[(l-r)/r]} = 4 \cdot 10^3 \text{ V/m}.$$

1-23. Đáp số : $A = -0,162 \text{ J}.$

1-24. Đáp số và hướng dẫn. Công của lực tĩnh điện tính theo công thức

$$A = qU = q(V_M - V_N),$$

$$V_M = 4\pi r^2 \sigma / 4\pi\epsilon_0(r+R); V_N = V_\infty = 0; \epsilon = 1,$$

vậy $A_{M\infty} = qr^2\sigma/\epsilon_0(r+R) = 3,42 \cdot 10^{-7} \text{ J}.$

1-25. Đáp số : 1) $V_0 = 250 \text{ V};$

$$2) V_M = 200 \text{ V}.$$

Hướng dẫn. Chia vòng dây thành những đoạn vô cùng nhỏ $d\ell$ mang điện tích dq (hình 1-9') điện thế do điện tích dq gây ra tại M bằng ($\epsilon = 1$) :

$$dV = dq/4\pi\epsilon_0 r,$$

với $r = \sqrt{R^2 + h^2}.$

Điện thế do cả vòng dây gây ra tại M là :

$$V = \int_{\text{cả vòng}} dV = \int_{\text{cả vòng}} dq / 4\pi\epsilon_0 r = Q / 4\pi\epsilon_0 \sqrt{R^2 + h^2}.$$

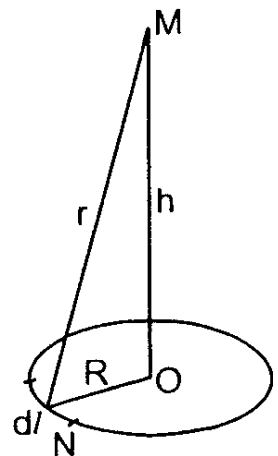
1. Tại tâm O ($h = 0$) ta có

$$V_0 = Q / 4\pi\epsilon_0 R = 250 \text{ V}.$$

2. Tại điểm M : $V_M = Q / 4\pi\epsilon_0 \sqrt{R^2 + h^2} = 200 \text{ V}.$

1-26. Đáp số : $\lambda = 6 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}.$

Hướng dẫn. Ta có $dA = qdV,$



Hình 1-9'

$$dV = -E dr = -\lambda dr / 2\pi\epsilon_0 r,$$

$$A = \int_{r_1}^{r_2} \frac{q\lambda dr}{2\pi\epsilon_0 r} = \frac{q\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_1}{r_2},$$

rút ra
$$\lambda = \frac{2\pi\epsilon_0 A}{q \ln \frac{r_1}{r_2}} = 6.10^{-7} \text{ C/m}.$$

1-27. **Đáp số :** không thể được vì như vậy $\int \vec{E} d\vec{l} \neq 0$.

1-28. **Đáp số :**

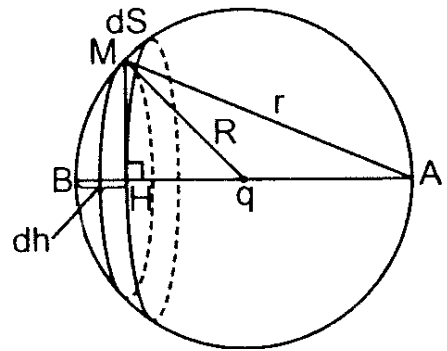
a) $V = q/4\pi\epsilon\epsilon_0 R$; b) $q/4\pi\epsilon\epsilon_0 R$;

c) $q/4\pi\epsilon\epsilon_0(a + R)$.

Hướng dẫn. a) Điện tích trên diện tích nguyên tố dS (hình 1-10') bằng $\sigma 2\pi R dh$; điện thế tại điểm A do điện tích này gây ra bằng :

$$dV = \frac{\sigma 2\pi R dh}{4\pi\epsilon_0 \epsilon \sqrt{2R(2R - h)}},$$

vậy
$$V = \int_0^{2R} dV = q / 4\pi\epsilon_0 \epsilon R.$$



Hình 1-10'

b) *Lí luận tương tự như trên :*

$$V = \int_0^{2R} \frac{\sigma 2\pi R dh}{4\pi\epsilon_0 \epsilon \sqrt{2h(a - R) + (a - 2R)^2}} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon R}.$$

c)
$$V = \int_0^{2R} \frac{\sigma 2\pi R dh}{4\pi\epsilon_0 \epsilon \sqrt{(2R + a)^2 - 2(R + a)h}} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon (R + a)}.$$

1-29. **Hướng dẫn.** Chia đĩa thành những phần tử hình vành khăn bán kính x , bề rộng dx , mang điện tích $dq = 2\pi\sigma x dx$. Tính điện thế dV do phần tử dq gây ra, rồi tích phân theo x từ 0 đến R .

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} 2\pi\sigma \left(1 - \frac{h}{\sqrt{R^2 + h^2}} \right).$$

1-30. Đáp số : $v_2 = 3,26.10^7 \text{ m/s}$.

Hướng dẫn. Công của lực điện trường $A = eEd$. Mặt khác

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} ; \text{ với } v_1 = 0,$$

từ đó $v_2 = \sqrt{2A/m} = \sqrt{2eEd/m} = 3,26.10^7 \text{ m/s}$.

1-31. Đáp số : $U = 50 \text{ V} ; \sigma = 9.10^{-8} \text{ C/m}^2$.

Hướng dẫn. Hiệu điện thế U giữa hai mặt phẳng đó và mật độ điện mặt của chúng σ được tính từ đẳng thức :

$$E = U/d = \sigma/\epsilon\epsilon_0 ; U = 50 \text{ V} ; \sigma = 9.10^{-8} \text{ C/m}^2.$$

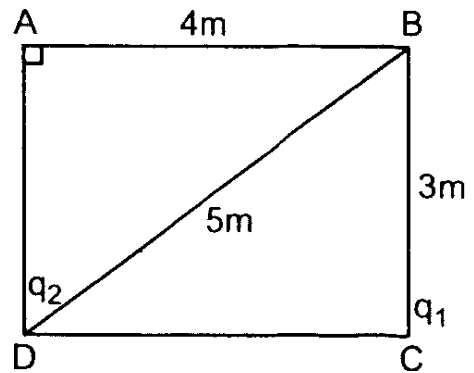
1-32. Đáp số : $V_A - V_B = 72 \text{ V}$.

Hướng dẫn. Từ điều kiện bài toán ta có các đường chéo AC và BD bằng 5 m .

$$V_A = \frac{3.10^{-8}}{4\pi\epsilon_0 3} - \frac{3.10^{-8}}{4\pi\epsilon_0 5},$$

$$V_B = -\frac{3.10^{-8}}{4\pi\epsilon_0 3} + \frac{3.10^{-8}}{4\pi\epsilon_0 5},$$

$$V_A - V_B = \frac{2.3.10^{-8}}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{5} \right) = 72 \text{ V}.$$



Hình 1-11'

1-33. Đáp số : Áp dụng công thức

$$A = q(V_C - V_D) = 0,56.10^{-7} \text{ J}.$$

1-34. Đáp số : $q = 4,1.10^{-8} \text{ C}$.

Hướng dẫn. Khi không có điện trường

$$mg = 6\pi\eta r v_1 \quad (1)$$

Khi có điện trường

$$mg - Eq = 6\pi\eta r v_2, \quad (2)$$

từ (1), (2) rút ra $mg - Eq = \frac{v_2}{v_1} mg$,

$$\text{hay } q = \frac{mg}{E} \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right) = \frac{mgd}{U} \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right) = 4,1 \cdot 10^{-18} \text{ C.}$$

1-35. Đáp số : 1. Do tính chất đẳng thế

$$A_{BC} = A_{AD} = 0.$$

2. Bằng nhau vì công của lực tĩnh điện không phụ thuộc hình dạng của đường đi.

1-36. Đáp số và hướng dẫn. Ta có $mg = kv_1$,

$$q U/d = kv_2, \text{ trong đó } k = 6\pi\eta r ;$$

v_2 là vận tốc hạt bụi theo phương vuông góc với bản tụ điện.

rút ra
$$v_2 = \frac{qUv_1}{mgd} ;$$

Do đó
$$t = \frac{d}{2v_2} = \frac{mgd^2}{2qUv_1} = 1\text{s}.$$

1-37. Đáp số : $\lambda = 0,207 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}$; $E = 12500 \text{ V/m}$.

Hướng dẫn. Cường độ điện trường giữa hai mặt trụ chỉ do mặt trụ trong gây ra

$$E = 2\lambda/4\pi\epsilon_0 r,$$

hiệu điện thế giữa hai mặt trụ

$$V_1 - V_2 = \int_{R_1}^{R_2} E dr,$$

từ đó suy ra λ và E

$$\lambda = 0,207 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}, E = 12500 \text{ V/m}.$$

1-38. Hướng dẫn và đáp số. Cường độ điện trường ở một điểm bên trong khối cầu cách tâm một khoảng r là :

$$E = q/4\pi\epsilon_0 r^2,$$

q là điện tích khối cầu bán kính r ; $q = (4/3)\pi r^3 \rho$;

$$V_{a/2} - V_a = \int_{a/2}^a E dr = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \cdot \frac{3a^2}{8} = \frac{\rho a^2}{8\epsilon_0}.$$

1-39. Đáp số : 1. $\lambda = 2\pi\epsilon_0 \epsilon U / \ln(r_2/r_1) = 0,207 \cdot 10^{-9} \text{ C/m}$

$$2. \sigma_1 = \lambda/2\pi r_1 = 0,0110.10^{-9} \text{C/m}^2 ; \sigma_2 = \lambda/2\pi r_2 = 0,0023.10^{-9} \text{C/m}^2.$$

$$3. E = \lambda/2\pi\epsilon_0\epsilon r.$$

Thay giá trị của λ tính theo U vào ta có

$$E = \frac{U}{r \ln(r_2 / r_1)},$$

ở gần sát mặt trụ trong $E = 12500 \text{V/m}$,

ở trung điểm khoảng cách hai mặt trụ $E = 5750 \text{V/m}$,

ở gần mặt trụ ngoài $E = 3740 \text{ V/m}$.

Chương 2 : VẬT DẪN – TỤ ĐIỆN

2-1. Hướng dẫn, đáp số. Chú ý là đối với một mặt cầu kim loại thì

$$E_{\text{trong}} = 0 ; E_{\text{ngoài}} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} ;$$

V_{trong} bằng nhau đối với mọi điểm ;

$$V_{\text{ngoài}} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}.$$

tại điểm	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm
E (V/m)	0	202500	90000	50625	30000
V (V)	3900	3900	2550	1875	1500

2 -2. Đáp số : $\sigma = 2,6.10^{-3} \text{C/m}^2$.

Hướng dẫn. Điện thế của quả cầu kim loại bán kính R tính theo công thức :

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R}. \quad (1)$$

$$\text{Mặt khác} \quad q = \sigma S = \sigma 4\pi R^2 ; \quad (2)$$

từ (1) và (2) rút ra : $\sigma = \epsilon_0\epsilon V/R = 2,6.10^{-8} \text{C/m}^2$.

2-3. Đáp số : $q_1 = 3,42.10^{-9}C$; $q_2 = - 3,42.10^{-9}C$.

Hướng dẫn. Áp dụng nguyên lí cộng điện thế ta có

$$V_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} + \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon(a - r)},$$

$$V_2 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} + \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon(a - r)},$$

Giải hệ thống các phương trình này với các ẩn số là q_1 , q_2 và coi $r^2 \ll a^2$ ta sẽ có $q_1 = 3,42.10^{-9}C$.

$$q_2 = -3,42.10^{-9}C.$$

2-4. Đáp số : $V_M = V_N = 19500V$.

Hướng dẫn. $|\vec{T}| = |\vec{R}|$.

Từ hình vẽ 2-1' ta có :

$$\alpha = \arccos P/T \text{ và}$$

$$F = T \sin \alpha = q^2 / 4\pi\epsilon_0 x^2,$$

$$\text{từ đó } q = \pm \sqrt{4\pi\epsilon_0 T x^2 \sin \alpha},$$

suy ra điện thế của quả cầu N

$$V_N = V_1 + V_2,$$

$$\text{trong đó } V_1 = q / 4\pi\epsilon_0 R ; V_2 = q / 4\pi\epsilon_0 (x - R),$$

$$\text{nên } V_N = 19500V.$$

$$V_M \text{ cũng được tính tương tự : } V_M = V_N.$$

2-5. Đáp số : $q_1 = 8.10^{-8}C$; $q_2 = 5.10^{-8}C$; $V = 9000V$.

Hướng dẫn. Vì nối với nhau nên hai quả cầu có cùng điện thế.

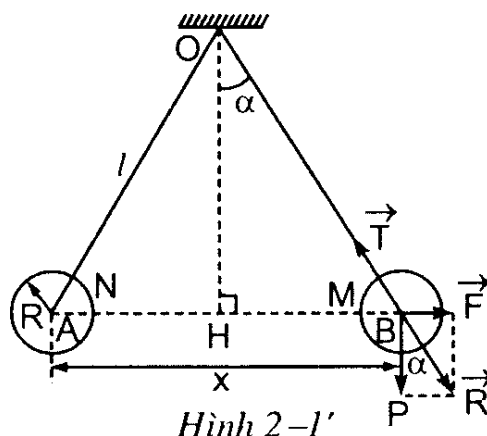
$$q_1 = C_1 V = 4\pi\epsilon_0\epsilon r_1 V, \text{ với } r_1 \text{ là bán kính quả cầu thứ nhất ;}$$

$$q_2 = C_2 V = 4\pi\epsilon_0\epsilon r_2 V, \text{ với } r_2 \text{ là bán kính quả cầu thứ hai.}$$

$$Q = q_1 + q_2 = 4\pi\epsilon_0\epsilon (r_1 + r_2) V,$$

do đó

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon(r_1 + r_2)} = 9000 ; q_1 = 8.10^{-8}C ; q_2 = 5.10^{-8}C.$$



Hình 2-1'

2-6. Đáp số : 1. Do hiện tượng hưởng ứng điện, trên mặt cầu xuất hiện điện tích hưởng ứng q_h . Do tương tác của q' và q_h nên q' bị lệch đi.

2. Không lệch vì các điện tích hưởng ứng bị trung hoà.

2-7. Đáp số và hướng dẫn. Tính cường độ điện trường E ở gần mặt kim loại tại những điểm khảo sát, sau đó dùng công thức $E = \sigma/\epsilon_0$ để suy ra σ (với $\epsilon = 1$).

$$1) \sigma = q/2\pi a^2 ; \quad 2) \sigma = aq/2\pi r^3.$$

2-8. Đáp số : 1) $C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R = 0,11.10^{-9}F$;

2) $V = Q/C = 9.10^3V$; 3) $W = CV^2/2 = 4,5.10^{-3}J$

2-9. Đáp số : $C = 4\pi\epsilon_0 R = 7,1.10^{-4}F$; $\Delta V = \Delta Q/C = 1400V$.

2-10. Đáp số : $v = 1,46.10^7 \text{ m/s}$

Hướng dẫn. Trong trường hợp này công của lực điện trường sẽ chuyển thành động năng của electron :

$$A = mv^2/2.$$

Ta có $dA = qdU = -qEdx$; vì $E = U_0/x \ln \frac{R}{r}$;

nên
$$A = - \int_{l_1}^{l_2} \frac{qU_0 dx}{x \ln(R/r)} = \frac{qU_0 \ln(l_1/l_2)}{\ln(R/r)} = mv^2 / 2.$$

Từ đó
$$v = \sqrt{\frac{2qU_0 \ln(l_1/l_2)}{m \ln(R/r)}} = 1,46.10^7 \text{ m/s}.$$

2-11. Đáp số : $E = 44,5kV/m$.

Hướng dẫn. Ta có $E = q/4\pi\epsilon_0\epsilon x^2$.

q là điện tích trên một bản được tìm thấy nhờ hệ thức :

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon rR/(R - r) = q/U \Rightarrow q = 4\pi\epsilon_0\epsilon RrU/(R - r).$$

vậy $E = UrR/(R - r)x^2 = 44,5kV/m$.

2-12. Đáp số và hướng dẫn. Giải bài toán tương tự như bài 2-10 nhưng thay điện trường của tụ điện hình trụ bằng điện trường của tụ điện hình cầu (xem bài 2-11).

$$v = \sqrt{\frac{2eR_1R_2U(r_1 - r_2)}{m(R_2 - R_1)r_1r_2}} = 1,42.10^7 \text{ m/s}.$$

2-13. Đáp số : $q = 1,73.10^{-8} \text{ C}$.

Hướng dẫn. Năng lượng tĩnh điện của các quả cầu $W_1 = q^2/4\pi\epsilon_0\epsilon r$, năng lượng hấp dẫn $W_2 = \gamma m_1.m_2/r$ theo đầu bài $q^2/4\pi\epsilon_0\epsilon r = 10^6 \gamma.m_1.m_2/r$

từ đó $q = \sqrt{10^6.4\pi\epsilon_0\epsilon\gamma m_1m_2} = 1,73.10^{-8} \text{ C}.$

2-14. Đáp số và hướng dẫn.

1. Điện dung tương đương C_1 và C_2 mắc nối tiếp bằng

$$C' = C_1C_2/(C_1 + C_2),$$

điện dung tương đương của cả hệ là :

$$C = C' + C_3 = \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2} + C_3 = 0,75\mu\text{F}.$$

$$2. \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1 + C_2} + \frac{1}{C_3} ; C = \frac{C_3(C_1 + C_2)}{(C_1 + C_2 + C_3)} = 0,33\mu\text{F}.$$

2-15. Đáp số : $U_1 = 4\text{V} ; U_2 = 2\text{V} ; q = 8.10^{-6} \text{ C}$.

Hướng dẫn. Nếu gọi q là độ lớn điện tích mỗi bản của tụ điện

ta có $q = CU = C_1C_2U/(C_1 + C_2).$ (1)

Mặt khác $q = C_1U_1,$ (2)

$q = C_2U_2,$ (3)

thay giá trị của q từ (1) vào (2) và (3) ta được

$$U_1 = C_2U/(C_1 + C_2) = 4\text{V} ; U_2 = C_1U/(C_1 + C_2) = 2\text{V} ; q = 8.10^{-6} \text{ C}.$$

2-16. Hướng dẫn và đáp số.

1. Gọi C' là điện dung tương đương của C_1 và C_2 ,

C'' là điện dung tương đương của C_3 và C_4 .

Ta có $C' = C_1 + C_2 ; C'' = C_3 + C_4 ;$

$$C = \frac{C' C''}{C' + C''} = \frac{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}. \quad (1)$$

$$2. C'_1 = C_1C_3/(C_1 + C_3) ; C''_1 = C_2C_4/(C_2 + C_4).$$

$$C^* = C'_1 + C''_1 = \frac{C_1 C_3}{C_1 + C_3} + \frac{C_2 C_4}{C_2 + C_4} \quad (2)$$

Nếu đặt $C_1/C_3 = C_2/C_4 = k$,
 thì $C_1 = kC_3$,
 $C_2 = kC_4$, (3)

thay (3) vào (1) và (2) ta có :

$$C = k(C_3 + C_4)/(k + 1) \text{ và } C^* = k(C_3 + C_4)/(k + 1).$$

Vậy với điều kiện (3), hai sơ đồ tương đương nhau.

2-17. Đáp số : $C_2 = 10\mu\text{F}$.

Hướng dẫn. Điện tích của các tụ điện trước khi nối với nhau

$$q_1 = C_1 U_1 \quad ; \quad q_2 = C_2 U_2$$

Điện tích tổng cộng của chúng sau khi nối với nhau không thay đổi, do đó :

$$q = q_1 + q_2 = C_1 U_1 + C_2 U_2 = (C_1 + C_2)U.$$

$$\text{Từ đó : } C_2 = C_1(U_1 - U)/(U - U_2) = 10\mu\text{F}.$$

2-18. Đáp số : Nhiệt lượng toả ra đúng bằng năng lượng của tụ điện

$$Q = q^2/2C = 0,25\text{J} ; U = q/C = 500 \text{ V}.$$

2-19. Đáp số : $Q = 4,5 \cdot 10^{-3}\text{J}$.

Hướng dẫn. Trước khi nối các tụ điện ta có :

$$q_1 = C_1 U_1 \text{ và } q_2 = C_2 U_2. \quad (1)$$

Năng lượng tổng cộng của chúng là

$$W_1 = \frac{C_1 U_1^2}{2} + \frac{C_2 U_2^2}{2}.$$

$$\text{Sau khi nối : } q = q_1 + q_2 = (C_1 + C_2)U. \quad (2)$$

Từ (1) và (2) rút ra

$$U = \frac{C_1 U_1 + C_2 U_2}{C_1 + C_2} ;$$

năng lượng tổng cộng sau khi nối

$$W_2 = \frac{(C_1 + C_2)U^2}{2} = \frac{(C_1U_1 + C_2U_2)^2}{2(C_1 + C_2)}.$$

Nhiệt lượng toả ra bằng

$$Q = W_1 - W_2 = \frac{C_1C_2(U_1 - U_2)^2}{2(C_1 + C_2)} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}.$$

Chương 3 : ĐIỆN MÔI

3-1. Xem bài tập ví dụ 3

$$\sigma' = 1,06 \cdot 10^{-6} \text{ C/m}^2.$$

3-2. Đáp số : $E' = 4\pi(\epsilon - 1)E/3$.

Hướng dẫn. Mật độ điện tích σ' trên mặt giới hạn chất điện môi bằng trị số của vector \vec{P} nhân với $\cos\theta$, trong đó θ là góc giữa pháp tuyến với mặt giới hạn và vector \vec{P} .

$$E' = \underbrace{\int \sigma' dS}_{\text{Toàn bộ diện tích hình cầu}} = \underbrace{\int P \cos \theta dS}_{\text{Toàn bộ diện tích hình cầu}}.$$

Để lấy được tích phân trên cần viết biểu thức dS trong hệ tọa độ cầu

$$E = \int_0^\pi d\theta \int_0^{2\pi} \frac{P \cos \theta R^2 \sin \theta \cos \theta}{R^2} d\varphi.$$

Kết quả ta sẽ có :

$$E' = \frac{4\pi(\epsilon - 1)E}{3}.$$

3-3. Đáp số : Xem bài tập mẫu 3-1 và 3-2.

1) $E = 300 \text{ kV/m}$; 2) $\sigma = 1,59 \cdot 10^{-5} \text{ C/m}^2$;

3) $\sigma' = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ C/m}^2$.

3-4. Đáp số : $U_2 = 100 \text{ V}$; $q = 5,8 \cdot 10^{-9} \text{ C}$.

Hướng dẫn. 1. Vì lớp khoảng không gian giữa hai bản bằng điện môi sau khi đã bỏ nguồn nên điện tích trên các bản trước và sau khi lắp không thay đổi ($q = \text{const}$), do đó mật độ điện mặt trên các bản $\sigma = q/s$ cũng không đổi.

Vì $E = \sigma/\epsilon_0\epsilon = U/d$ nên trước khi lắp điện môi ta có

$$\epsilon_0\epsilon_1 U_1 = \sigma d.$$

Sau khi lắp điện môi ta có $\epsilon_0\epsilon_2 U_2 = \sigma d$.

Rút ra : $U_2 = \epsilon_1 U_1 / \epsilon_2 = 100V$.

2. $q = C_1 U_1 = 5,8 \cdot 10^{-9} C$ (và $q = C_2 U_2$).

3–5. Đáp số : Xem bài mẫu 3–2 dễ dàng rút ra biểu thức của hiệu điện thế : $U = \sigma' d / \epsilon_0 (\epsilon - 1) = 2000V$.

3–6. Đáp số : Xem bài tập mẫu 3–2 và bài tập mẫu 2–4.

$$\sigma' = 6 \cdot 10^{-6} C/m^2.$$

3–7. Đáp số và hướng dẫn. Coi tụ điện đó là một hệ hai tụ điện mắc song song mà mỗi tụ điện có các bản là nửa mặt cầu, trong đó một tụ điện chứa đầy điện môi ($\epsilon = 7$)

$$C = 2\pi\epsilon_0(\epsilon + 1)Rr/(R - r) = 18,8 \cdot 10^{-6} F.$$

3–8. Đáp số : $C = \epsilon_0\epsilon S/\epsilon d + (1 - \epsilon)d_1$

Hướng dẫn. Coi tụ điện là hệ 3 tụ điện mắc nối tiếp với các điện dung

$$C_1 = \epsilon_0\epsilon S/d_1 ; C_2 = \epsilon_0 S/d_2 \text{ và } C_3 = \epsilon_0 S/d_3,$$

trong đó d_2 và d_3 là khoảng cách giữa các mặt của tấm điện môi và các bản tụ điện, rõ ràng

$$d_2 + d_3 = d - d_1.$$

Điện dung toàn phần của tụ điện được xác định bởi công thức :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{\epsilon_0 S} \left(\frac{d_1}{\epsilon} + d_2 + d_3 \right),$$

từ đó
$$C = \frac{\epsilon_0\epsilon S}{\epsilon d + d_1(1 - \epsilon)}.$$

3–9. Đáp số : $\Delta C = 1,7 \cdot 10^{-7} \mu F$.

Hướng dẫn. Điện dung của hệ hai tụ điện mắc nối tiếp :

$$C_1 = C/2$$

Sau khi lấp đầy tụ điện thứ hai bằng chất điện môi ta có

$$C_2 = \epsilon C/(\epsilon + 1).$$

Như vậy sự thay đổi điện dung của hệ là

$$\Delta C = C_2 - C_1 = (\epsilon - 1) C/2(\epsilon + 1) = 1,7.10^{-7} \mu F.$$

3-10. Đáp số và hướng dẫn

1. Điện trường bên trong quả cầu tạo những điểm cách tâm quả cầu một khoảng r bằng $E_1 = q/4\pi\epsilon_0\epsilon R^3$

Vậy năng lượng điện trường bên trong quả cầu bằng

$$W_1 = \int_0^R \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon E_1^2 \cdot 4\pi r^2 dr = q^2 / 4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot 10R$$

2. Điện trường tại những điểm bên ngoài quả cầu

$$E_2 = q/4\pi\epsilon_0\epsilon r^2 \text{ và } W_2 = \int_R^\infty \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon E_2^2 \cdot 4\pi r^2 dr = q^2 / 8\pi\epsilon_0\epsilon R.$$

3. Năng lượng giảm đi (vì khi chia đôi quả cầu phải tốn công).

3-11. Hướng dẫn. Phân tích \vec{D} thành hai thành phần \vec{D}_1 và \vec{D}_n sau đó chứng minh

$$\operatorname{tg} \alpha_1 / \operatorname{tg} \alpha_2 = \epsilon_1 / \epsilon_2.$$

Chương 4 : TỪ TRƯỜNG

4-1. Đáp số : $H = 39,8 \text{ A/m}$.

4-2. Đáp số : $H = 84 \text{ A/m}$. \vec{H} hướng ra phía trước hợp với \vec{H}_1 một góc $\alpha = 18^\circ 25'$.

Hướng dẫn. Trước hết xác định các vectơ cường độ từ trường \vec{H}_1 và \vec{H}_2 do từng dòng điện gây ra tại M. Dùng nguyên lí chồng chất từ trường, sẽ có : $\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2$, phương, chiều của \vec{H} được

xác định từ hình vẽ. Độ lớn của \vec{H} được xác định bởi định lí Pitago (vì \vec{H}_1 vuông góc với \vec{H}_2). Vị trí của \vec{H} được xác định bởi α sao cho $\operatorname{tg} \alpha = H_2/H_1 = 1/3$.

4-3. Đáp số : $H_{M1} = 120 \text{ A/m}$; $H_{M2} = 159 \text{ A/m}$;
 $H_{M3} = 135 \text{ A/m}$.

4-4. Đáp số : $AM = 3,3 \text{ cm}$, M nằm trong AB.

Hướng dẫn. Gọi \vec{H}_1 , \vec{H}_2 , \vec{H}_3 là các vectơ cường độ từ trường do I_1 , I_2 , I_3 gây ra tại M. Dễ dàng nhận thấy rằng trên đoạn BC, \vec{H}_1 , \vec{H}_2 , \vec{H}_3 cùng phương chiều. Vậy điểm M có $\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2 + \vec{H}_3 = 0$ chỉ có thể nằm trên đoạn AB. Đặt $AM = x$. Vì \vec{H}_2 ngược chiều với \vec{H}_1 , \vec{H}_3 nên :

$$H_1 - H_2 + H_3 = 0$$

$$\frac{1}{2\pi} \frac{I}{x} - \frac{1}{2\pi} \frac{I}{5-x} + \frac{1}{2\pi} \frac{2I}{5+x} = 0.$$

Từ đó suy ra x, (chỉ lấy nghiệm dương).

4-5. Đáp số : $\vec{H}(M_1)$ có phương vuông góc với mặt phẳng hình vẽ, có chiều hướng ra phía sau, có độ lớn bằng 8 A/m .

$\vec{H}(M_2)$ có phương vuông góc với mặt phẳng hình vẽ, có chiều hướng ra phía trước, có độ lớn bằng $55,8 \text{ A/m}$.

4-6. Đáp số : $H = 31,8 \text{ A/m}$.

Hướng dẫn. Dùng các công thức (4-3) và (4-4) trong phần tóm tắt công thức.

4-7. Đáp số : $H = 27,1 \text{ A/m}$.

4-8. Đáp số : $H = 9 \text{ A/m}$.

4-9. Đáp số : $B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{b} \cdot \frac{l^2}{\sqrt{l^2 + 4b^2}} \approx 9 \cdot 10^{-6} \text{ T}$.

Hướng dẫn. Cảm ứng từ do các cạnh bên gây ra tại A bằng không. Gọi \vec{B}_1 và \vec{B}_2 lần lượt là các vectơ cảm ứng từ do đáy bé và đáy lớn gây ra tại A. Theo nguyên lí chồng chất từ trường, vectơ cảm ứng từ \vec{B} do dòng điện chạy trên dây dẫn hình thang tại A bằng :

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2,$$

B_1 và B_2 được xác định theo công thức (4-4) trong phần tóm tắt công thức. Từ đó suy ra B .

4-10. Đáp số : a) $H_A = 79,8 \text{ A/m}$; b) $H_B = 77,3 \text{ A/m}$.

Hướng dẫn. Dùng công thức :

$$H = I(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)/4\pi R$$

Trong trường hợp a) : $\theta_1 = \frac{\pi}{2}$; $\theta_2 = \pi$; $R = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, cường độ từ trường tại A chỉ do một cạnh góc vuông gây ra :

$$H = \frac{I}{4\pi R} = 79,8 \text{ A/m}. \text{ Trong trường hợp b) : } \theta_1 = \frac{\pi}{4} ; \theta_2 = \pi ;$$

$R = 10 \cdot 10^{-2} \text{ m}$; cường độ từ trường tại B bằng hai lần cường độ từ trường do một cạnh góc vuông gây ra :

$$H = 2 \cdot \frac{I}{4\pi R} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) = 2 \cdot \frac{20}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,1} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + 1\right) = 77,3 \text{ A/m}.$$

4-11. Đáp số : $H = 1,8 \cdot 10^2 \text{ A/m}$.

4-12. Đáp số : $H = \frac{nI}{2\pi R} \text{tg}(\pi/n)$; khi $n \rightarrow \infty$: $H = \frac{I}{2R}$.

Hướng dẫn. Gọi H_0 là cường độ từ trường do một cạnh đa giác (cường độ dòng điện I) gây ra tại O (hình 4-1'). Cường độ từ trường do dòng điện chạy trên đa giác gây ra tại O sẽ bằng :

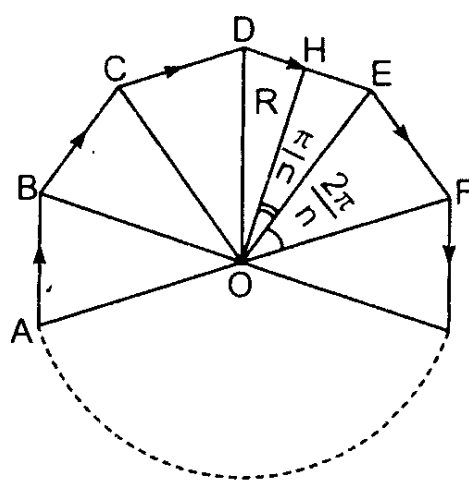
$$H = nH_0,$$

trong đó n là số cạnh của đa giác.

Để tính H_0 , dùng công thức :

$$H_0 = I(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)/4\pi a.$$

$$\text{Ở đây : } a = R \cos \pi/n ; \theta_1 = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{n} ; \theta_2 = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{n}.$$



Hình 4-1'

Suy ra :
$$H = \frac{nI}{2\pi R} \operatorname{tg} \frac{\pi}{n}.$$

Có thể viết :
$$H = \frac{I}{2R} \frac{\operatorname{tg} \frac{\pi}{n}}{\frac{\pi}{n}}.$$

Khi $n \rightarrow \infty$,
$$\frac{\operatorname{tg} \frac{\pi}{n}}{\frac{\pi}{n}} \rightarrow 1 \text{ và } H = \frac{I}{2R}.$$

Đó chính là cường độ từ trường do dòng điện tròn bán kính R gây ra tại tâm O của vòng tròn.

4-13. Đáp số : a) $B = 6,3 \cdot 10^{-6} \text{T}$; b) $B = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{T}$.

Hướng dẫn. Dùng công thức (4-6), phần tóm tắt công thức.

a) Có $S = \pi R^2$, $h = 0$, $\mu = 1$.

Suy ra : $B = \mu_0 I / 2R = 6,3 \cdot 10^{-6} \text{T}$.

b) $B = \mu_0 I \pi R^2 / 2\pi (R^2 + h^2)^{3/2} = \mu_0 R^2 I / 2(R^2 + h^2)^{3/2} = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{T}$.

4-14. Đáp số : $H = 0$

Hướng dẫn. Dùng nguyên lí chồng chất từ trường. Gọi \vec{H}_1 và \vec{H}_2 lần lượt là các vectơ cường độ từ trường do dây AMB và dây ANB gây ra tại O . \vec{H}_3 là vectơ cường độ từ trường do các dây nối gây ra tại O ; rõ ràng $\vec{H}_3 = 0$. Do đó vectơ cường độ từ trường tổng hợp tại O bằng :

$$\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2$$

\vec{H}_1 và \vec{H}_2 có phương vuông góc với mặt phẳng vòng tròn có chiều ngược nhau và có độ lớn lần lượt bằng :

$$H_1 = \frac{I_1}{R} \cdot \frac{l_1}{2\pi R}, \quad (2), \quad H_2 = \frac{I_2}{R} \cdot \frac{l_2}{2\pi R}, \quad (3)$$

trong đó I_1 và I_2 là cường độ dòng điện trong AMB và ANB, l_1 và l_2 là chiều dài các cung AMB và ANB.

Mặt khác theo định luật Ôm :

$$r_1 I_1 = r_2 I_2.$$

r_1, r_2 là điện trở của các dây AMB và ANB ;

hay : $I_1 I_1 = I_2 I_2$

từ (1), (2), (3), (4) suy ra $H = H_1 - H_2 = 0$.

4-15. Đáp số : Hiệu điện thế phải tăng gấp 4 lần.

Hướng dẫn. Dùng công thức tính cường độ từ trường tại tâm của dòng điện tròn và biểu diễn cường độ dòng điện I theo U và điện trở của vòng dây, dễ dàng tìm thấy : $H \sim U/R^2$, với R là bán kính của vòng dây. Vậy muốn H không đổi khi R tăng 2 lần thì U phải tăng 4 lần.

4-16. Đáp số : $H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2} = 177 \text{ A / m}$.

4-17. Đáp số : a) $B_{O1} = B_{O2} = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ T}$; $B_M = 1,35 \cdot 10^{-5} \text{ T}$

b) $B_{O1} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ T}$; $B_{O2} = -1,7 \cdot 10^{-5} \text{ T}$; $B_M = 0$.

Hướng dẫn. Xem bài 4 – 13 và dùng nguyên lí chồng chất từ trường. Vectơ cảm ứng từ tổng hợp bằng tổng các vectơ cảm ứng từ do từng vòng dây gây ra :

$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$. Trong đó \vec{B}_1 và \vec{B}_2 đều có phương nằm trên trục các vòng dây, có chiều xác định bởi quy tắc vụn nút chai, có độ lớn tính theo công thức :

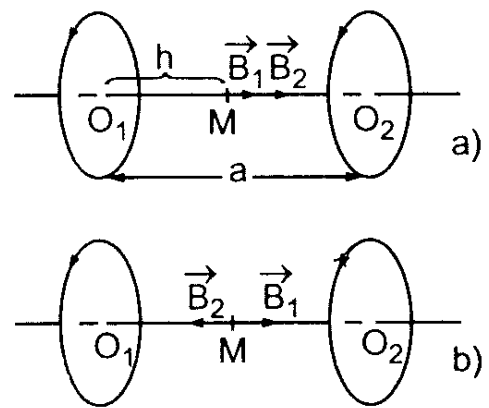
$$B = \frac{\mu_0 R^2 I}{2(R^2 + h^2)^{3/2}}.$$

a) Trường hợp các dòng điện cùng chiều (hình 4-2'a). Tại một điểm bất kì trên trục của vòng dây, ta có :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2} \left[\frac{R^2}{(R^2 + h^2)^{3/2}} + \frac{R^2}{[R^2 + (a - b)^2]^{3/2}} \right],$$

suy ra, tại O_1 : $h = 0$, tại O_2 : $h = a$:

$$B_{O1} = B_{O2} = \frac{\mu_0 I}{2} \left[\frac{1}{R} - \frac{R^2}{(R^2 + a^2)^{3/2}} \right] = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ T}.$$



Hình 4-2'

Tại M, với $h = a/2$, ta có :

$$B_M = \mu_0 I \frac{R^2}{\left(R^2 + \frac{a^2}{4}\right)^{3/2}} = 1,35.10^{-5} T.$$

b) Trường hợp các dòng điện ngược chiều nhau (hình 4-2'b).
 Tại một điểm bất kì trên trục của vòng dây, ta có :

$$\bullet \quad B = \frac{\mu_0 I}{2} \left[\frac{R^2}{(R^2 + h^2)^{3/2}} - \frac{R^2}{[R^2 + (a - b)^2]^{3/2}} \right].$$

Suy ra :

$$\text{Tại } O_1, h = 0; B_{O1} = \frac{\mu_0 I}{2} \left[\frac{1}{R} - \frac{R^2}{(R^2 + a^2)^{3/2}} \right] = 1,7.10^{-5} T.$$

\vec{B}_{O1} hướng cùng chiều với \vec{B}_1 .

$$\text{Tại } O_2, h = a; B_{O2} = \frac{\mu_0 I}{2} \left[\frac{R^2}{(R^2 + a^2)^{3/2}} - \frac{1}{R} \right] = -1,7.10^{-5} T.$$

\vec{B}_{O2} hướng cùng chiều với \vec{B}_2 .

Tại M, $h = a/2 : B_M = 0$.

4-18. Đáp số : a) $p_m = 10^{-3} A.m^2$; b) $H = 90 A/m$.

Hướng dẫn. Gọi \vec{p}_{mk} và \vec{H}_k lần lượt là vectơ mômen từ và vectơ cường độ từ trường do vòng thứ k gây ra tại tâm của đường xoắn ốc. Vì các vectơ \vec{p}_{mk} và các vectơ \vec{H}_k có cùng phương chiều nên : mômen từ của đường xoắn ốc bằng :

$$p_m = \sum_{k=1}^N p_{mk}, \quad (1)$$

trong đó :

$$p_{mk} = IS_k$$

với S_k là diện tích của vòng dây thứ k (coi như vòng tròn, bán kính

$r_k = k, d = kR/N$) : $S_k = \pi r_k^2$.

– Cường độ từ trường tại tâm của đường xoắn ốc bằng

$$H = \sum_{k=1}^N H_k, \quad (2)$$

trong đó $H_k = I/2r_k$.

Để tính các tổng (1) và (2) ta dùng công thức tính tổng gần đúng :

$$f(a) + f(a+h) + f(a+2h) + \dots + f(b) = \frac{1}{h} \int_a^b f(x) dx + \frac{1}{2} f(a) + \frac{1}{2} f(b).$$

Sau khi bỏ bớt các số hạng nhỏ bậc cao, ta được :

$$P_m = I\pi R^2 \left(\frac{N}{3} + \frac{1}{2} \right) = 10^{-3} \text{ A.m}^2 ;$$

$$H = \frac{I}{2R} \left(\frac{N}{2} + N \ln N \right) = 90 \text{ A/m}.$$

4-19. Đáp số : $L = \frac{2}{5} mR^2 \omega$; $p_m = \frac{1}{5} qR^2 \omega$; $p_m / L = q/2m$.

Hướng dẫn. – Mômen quán tính của quả cầu đặc đối với trục của nó bằng $2mR^2/5$. Do đó mômen động lượng của quả cầu :

$$L = 2mR^2 \omega / 5.$$

– Một phần tử điện tích dq quay xung quanh một trục với tần số $\nu = \omega/2\pi$ (ω là vận tốc góc của phần tử điện tích) sẽ tương đương với một dòng điện cường độ

$$\nu \cdot dq = \frac{\omega}{2\pi} dq.$$

Dòng điện này có mômen từ :

$$dp_m = \frac{\omega}{2\pi} dq \cdot S, \quad (1)$$

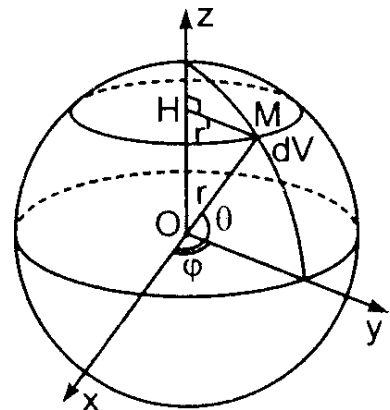
S là diện tích của vòng tròn quỹ đạo của phần tử điện tích. Dùng hệ tọa độ cầu ta có (hình 4-3') :

$$dq = \rho dV,$$

trong đó : $\rho = \frac{q}{\frac{4}{3}\pi R^3}$ là mật độ điện tích của quả cầu,

$$dV = r^2 \cos \theta dr d\theta d\phi,$$

$$S = \pi r'^2 = \pi r^2 \cos^2 \theta.$$



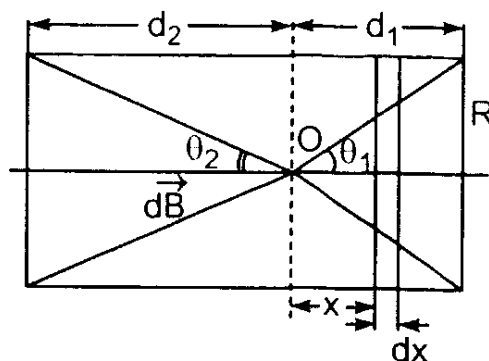
Hình 4-3'

cảm ứng từ (công thức 4-6, phần tóm tắt công thức) : $\mu_0 \mu I S / 2\pi(R^2 + x^2)^{3/2}$.

Cảm ứng từ tại O do ndx vòng dây cách O một đoạn x gây ra bằng :

$$dB = \mu_0 \mu I S n dx / 2\pi(R^2 + x^2)^{3/2},$$

trong đó n là số vòng dây cuốn trên đơn vị dài của ống dây. Suy ra cảm ứng từ do cả ống dây gây ra tại O :



Hình 4-6'

$$B = \int_{-d_2}^{d_1} \frac{\mu_0 \mu I S n dx}{2\pi(R^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 \mu I S n x}{2\pi R^2 \sqrt{R^2 + x^2}} \Big|_{-d_2}^{d_1},$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu I S n}{2\pi R^2} \left(\frac{d_1}{\sqrt{R^2 + d_1^2}} + \frac{d_2}{\sqrt{R^2 + d_2^2}} \right), \quad (1)$$

với $S = \pi R^2$; $\frac{d_1}{\sqrt{R^2 + d_1^2}} = \cos \theta_1$; $\frac{d_2}{\sqrt{R^2 + d_2^2}} = \cos \theta_2$

Ta có : $B = \frac{1}{2} \mu_0 \mu I n (\cos \theta_1 + \cos \theta_2).$

– Tại tâm của ống dây : $d_1 = d_2 = l/2$, theo (1) :

$$B = \mu_0 \mu I n \frac{1}{\sqrt{1 + D^2 / l^2}} \approx \mu_0 \mu I n (1 - D^2 / 2l^2), \quad (2)$$

vì coi : $D^2 / l^2 \ll 1.$

– Nếu coi ống dây là dài vô hạn, công thức tính R sẽ là :

$$B_\infty = \mu_0 \mu I n.$$

Khi đó sai số mắc phải sẽ bằng :

$$\delta B = (B_\infty - B) / B_\infty = D^2 / 2l^2.$$

Vậy muốn sai số δB không vượt quá 1% phải có điều kiện :

$$\delta B = D^2 / 2l^2 \leq 0,01 \text{ hay } l/D \geq 7.$$

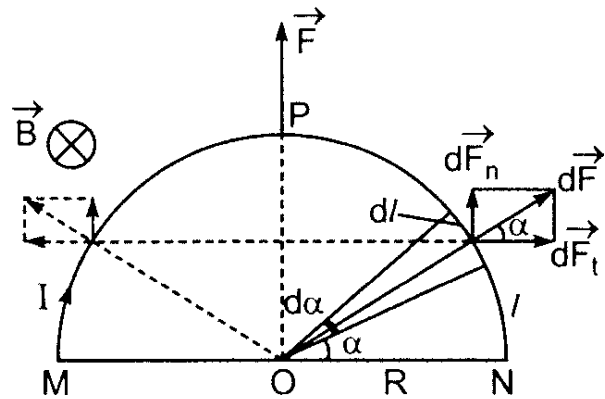
Nói một cách khác, một ống dây có chiều dài lớn gấp cỡ 10 lần đường kính của ống, thì có thể coi ống dây là dài vô hạn.

4-28. Đáp số :

$$F = BIl \sin \alpha = 2,45 \text{ N.}$$

4-29. Đáp số : $F = 0,8 \text{ N.}$

Hướng dẫn. – Tính lực tác dụng của từ trường lên phần tử dl của dây dẫn (xem hình vẽ 4-7').



Hình 4-7'

$$\vec{dF} \text{ có } \begin{cases} - \text{Phương : đi qua tâm của dây dẫn tròn,} \\ - \text{Chiều : như hình vẽ 4-7',} \\ - \text{Độ lớn : } dF = IBdl. \end{cases}$$

– Phân tích \vec{dF} ra hai thành phần :

\vec{dF}_n vuông góc với đường kính MN,

\vec{dF}_t vuông góc với bán kính OP ($OP \perp MN$),

$$\vec{dF} = \vec{dF}_n + \vec{dF}_t$$

Do đó, lực tác dụng của từ trường lên toàn bộ dây dẫn bằng :

$$\vec{F} = \int d\vec{F} = \int d\vec{F}_n + \int d\vec{F}_t \text{ (tích phân trên nửa vòng tròn).}$$

Vì lí do đối xứng (trục đối xứng của hình vẽ là OP), các thành phần \vec{dF}_t triệt tiêu nhau, nghĩa là $\int d\vec{F}_t = 0$, nên :

$$\vec{F} = \int d\vec{F}_n$$

rõ ràng \vec{F} có cùng phương chiều với \vec{dF}_n , có điểm đặt tại điểm giữa P của dây dẫn và có độ lớn :

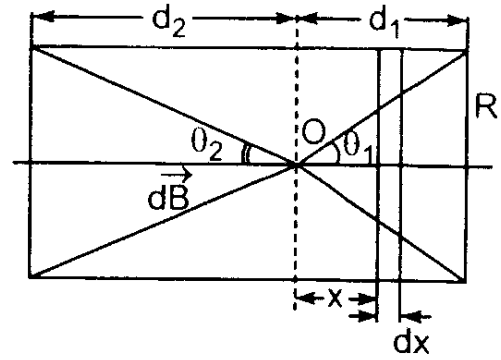
$$F = \int dF_n = \int dF \sin \alpha = \int IBdl \sin \alpha \text{ (tích phân trên nửa vòng tròn)}$$

cảm ứng từ (công thức 4-6, phần tóm tắt công thức) : $\mu_0 \mu I S / 2\pi(R^2 + x^2)^{3/2}$.

Cảm ứng từ tại O do ndx vòng dây cách O một đoạn x gây ra bằng :

$$dB = \mu_0 \mu I S n dx / 2\pi(R^2 + x^2)^{3/2},$$

trong đó n là số vòng dây cuốn trên đơn vị dài của ống dây. Suy ra cảm ứng từ do cả ống dây gây ra tại O :



Hình 4-6'

$$B = \int_{-d_2}^{d_1} \frac{\mu_0 \mu I S n dx}{2\pi(R^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 \mu I S n x}{2\pi R^2 \sqrt{R^2 + x^2}} \Big|_{-d_2}^{d_1},$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu I S n}{2\pi R^2} \left(\frac{d_1}{\sqrt{R^2 + d_1^2}} + \frac{d_2}{\sqrt{R^2 + d_2^2}} \right), \quad (1)$$

với $S = \pi R^2$; $\frac{d_1}{\sqrt{R^2 + d_1^2}} = \cos \theta_1$; $\frac{d_2}{\sqrt{R^2 + d_2^2}} = \cos \theta_2$

Ta có : $B = \frac{1}{2} \mu_0 \mu I n (\cos \theta_1 + \cos \theta_2).$

– Tại tâm của ống dây : $d_1 = d_2 = l/2$, theo (1) :

$$B = \mu_0 \mu I n \frac{1}{\sqrt{1 + D^2 / l^2}} \approx \mu_0 \mu I n (1 - D^2 / 2l^2), \quad (2)$$

vì coi : $D^2 / l^2 \ll 1.$

– Nếu coi ống dây là dài vô hạn, công thức tính R sẽ là :

$$B_\infty = \mu_0 \mu I n.$$

Khi đó sai số mắc phải sẽ bằng :

$$\delta B = (B_\infty - B) / B_\infty = D^2 / 2l^2.$$

Vậy muốn sai số δB không vượt quá 1% phải có điều kiện :

$$\delta B = D^2 / 2l^2 \leq 0,01 \text{ hay } l/D \geq 7.$$

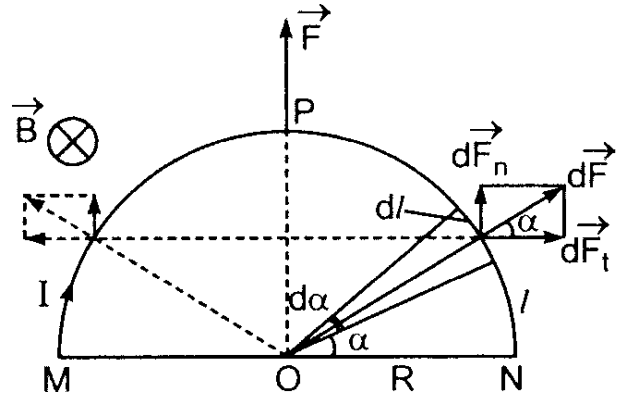
Nói một cách khác, một ống dây có chiều dài lớn gấp cỡ 10 lần đường kính của ống, thì có thể coi ống dây là dài vô hạn.

4-28. Đáp số :

$$F = BIl \sin \alpha = 2,45 \text{ N.}$$

4-29. Đáp số : $F = 0,8 \text{ N.}$

Hướng dẫn. – Tính lực tác dụng của từ trường lên phần tử dl của dây dẫn (xem hình vẽ 4-7').



Hình 4-7'

$$\vec{dF} \text{ có } \begin{cases} - \text{Phương : đi qua tâm của dây dẫn tròn,} \\ - \text{Chiều : như hình vẽ 4-7',} \\ - \text{Độ lớn : } dF = IBdl. \end{cases}$$

– Phân tích \vec{dF} ra hai thành phần :

\vec{dF}_n vuông góc với đường kính MN,

\vec{dF}_t vuông góc với bán kính OP ($OP \perp MN$),

$$\vec{dF} = \vec{dF}_n + \vec{dF}_t$$

Do đó, lực tác dụng của từ trường lên toàn bộ dây dẫn bằng :

$$\vec{F} = \int \vec{dF} = \int \vec{dF}_n + \int \vec{dF}_t \text{ (tích phân trên nửa vòng tròn).}$$

Vì lí do đối xứng (trục đối xứng của hình vẽ là OP), các thành phần \vec{dF}_t triệt tiêu nhau, nghĩa là $\int \vec{dF}_t = 0$, nên :

$$\vec{F} = \int \vec{dF}_n$$

rõ ràng \vec{F} có cùng phương chiều với \vec{dF}_n , có điểm đặt tại điểm giữa P của dây dẫn và có độ lớn :

$$F = \int dF_n = \int dF \sin \alpha = \int IBdl \sin \alpha \text{ (tích phân trên nửa vòng tròn)}$$

Chú ý rằng $d\vec{l} = \frac{s}{\pi} d\alpha$ (s là chiều dài của dây dẫn), cần tích phân $0 \div \pi$, suy ra :

$$F = 2IBs/\pi = 0,8\text{N}.$$

4–30. Đáp số : $B_p = 1,8.10^4\text{T}$.

Hướng dẫn. Theo bài tập 4–29, lực tác dụng lên nửa vòng dây là $F = 2IBs/\pi = 2IBR$ (R là bán kính của vòng dây). Lực này phân bố trên hai tiết diện thẳng của dây dẫn. Gọi F_p và B_p là lực kéo và cảm ứng từ khi dây đồng bị đứt, ta có :

$$F_p = \sigma_p \pi d^2 / 2 = 2IB_p R \Rightarrow B_p = \sigma_p \pi d^2 / 4IR = 1,8.10^4\text{T}$$

4–31. Đáp số : $P = 1,3.10^{-8}\text{N}$.

Hướng dẫn. Khi cho dòng điện chạy qua ống dây và cuộn dây thì cuộn dây, tương đương với một nam châm có mômen từ $p_m = NIS = NI\pi d^2/4$ sẽ bị từ trường B của ống dây tác dụng.

Mômen lực tác dụng lên cuộn dây $\mu = p_m B = NI\pi d^2 \mu_0 \mu nI/4$ làm cho cân mất thăng bằng. Muốn lập lại thăng bằng phải đặt thêm quả nặng có trọng lượng P sao cho :

$$P.l = NI\pi d^2 \mu_0 \mu nI/4 \Rightarrow P = \mu_0 \mu NnI^2 d^2 / 4l = 1,3.10^{-8}\text{N}.$$

4–32. Đáp số : a) Đĩa quay theo chiều kim đồng hồ.

$$b) \mu = IBR^2/2 = 12,5.10^{-4}\text{N.m}.$$

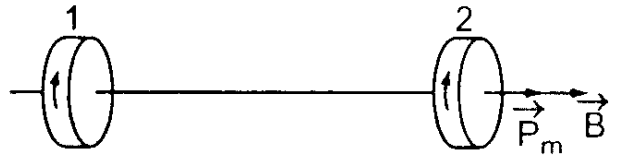
Hướng dẫn. a) Phần đĩa nằm dọc bán kính ab (a và b là các tiếp điểm) có dòng điện chạy qua sẽ bị từ trường tác dụng. Lực này sẽ làm quay đĩa. Áp dụng quy tắc bàn tay trái sẽ tìm được chiều của từ lực, tức chiều quay của đĩa.

b) Vì từ trường tác dụng đều trên đoạn ab nên điểm đặt của tổng hợp lực sẽ nằm tại điểm giữa của ab . Suy ra mômen lực tác dụng lên đĩa.

$$\mu = F.R/2 = BIR^2/2.$$

4–33. Đáp số : $F = 4.10^{-9}\text{N}$.

Hướng dẫn. Các cuộn dây có dòng điện chạy sẽ tương tác với nhau (như các nam châm). Thế năng của cuộn dây 2 trong từ trường của cuộn dây 1 (hình 4-8') được tính theo



Hình 4-8'

công thức : $W_t = -p_m B$ (vì \vec{p}_m và B cùng phương chiều) trong đó :

$p_m = NIS = NI\pi R^2$ là mômen từ của cuộn dây 2 ;

$$B = \frac{\mu_0 ISN}{2\pi\sqrt{(R^2 + l^2)^3}} \approx \frac{\mu_0 IR^2 N}{2l^3}$$

Do đó : $W_t = -\mu_0 \pi N^2 I^2 R^4 / 2l^3$;

lực tác dụng lên cuộn dây 2 theo phương 1 :

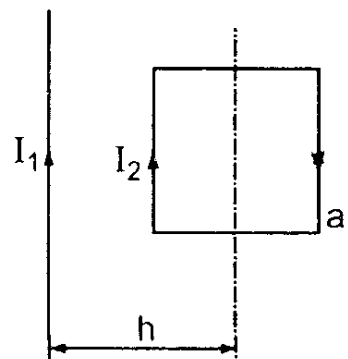
$$F = -\partial W_t / \partial l = 3\mu_0 \pi N^2 I^2 R^4 / 2l^4 = 4 \cdot 10^{-9} \text{ niuton.}$$

4-34. Đáp số : a) $f = \frac{\mu_0}{2\pi} I_1 I_2 \frac{a^2}{b^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ N.}$

b) $A = \frac{\mu_0}{\pi} I_1 I_2 a \ln\left(\frac{2b+a}{2b-a}\right) = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ J.}$

Hướng dẫn. a) Xem bài tập mẫu 3.

b) Khi quay 180° , từ thông qua khung biến thiên một lượng $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = 2\phi$, với ϕ là từ thông gửi qua khung dây ở vị trí ban đầu (hình 4-9'). Giá trị của ϕ đã được tính trong bài tập 4-20.



Hình 4-9'

4-35. Đáp số :

$$I = 6,3 \text{ mA.}$$

4-36. Đáp số : $A = -IB/vt = -0,2 \text{ J.}$

4-37. Đáp số : a) $W_{t1} = 0$; $W_{t2} = 1,2 \cdot 10^{-9} \text{J}$.

b) $A = 1,2 \cdot 10^{-9} \text{J}$.

Hướng dẫn. a) Công thức tính thế năng của khung dây trong từ trường :

$$W_t = -\vec{p}_m \cdot \vec{B} = -NISB \cos(\vec{p}_m \cdot \vec{B}),$$

\vec{p}_m là mômen từ của cuộn dây : $p_m = NIS$,

S là diện tích của khung dây : $S = a.b$.

Ở vị trí 1 : góc $(\vec{p}_m \cdot \vec{B}) = \pi/2$, do đó $W_{t1} = 0$.

Ở vị trí 2 : góc $(\vec{p}_m \cdot \vec{B}) = 60^\circ$, do đó $W_{t2} = -NIabB/2$.

b) Dùng công thức :

$$A = W_{t1} - W_{t2} \text{ (công bằng độ giảm thế năng).}$$

4-38. Đáp số : $A' = 5 \cdot 10^{-4} \text{J}$.

4-39. Đáp số : a) $R = 9 \cdot 10^{-2} \text{m}$. b) $T = 3 \cdot 10^{-8} \text{s}$.

c) $L = 1,5 \cdot 10^{-24} \text{kgm}^2/\text{s}$.

Hướng dẫn. a) Vận tốc của êlectrôn trước khi bay vào từ trường được xác định bởi hệ thức : $eU = 2mv^2/2$, e và m là độ lớn điện tích và khối lượng của êlectrôn. Theo công thức bán kính quỹ đạo tròn của êlectrôn :

$$R = mv/eB \Rightarrow R = \sqrt{2mU/eB^2} = 9 \cdot 10^{-2} \text{m}.$$

b) Dùng công thức (4-59) giáo trình VLĐC tập II.

$$T = 2\pi m/eB = 3 \cdot 10^{-8} \text{s}.$$

c) Mômen động lượng của êlectrôn đối với tâm quỹ đạo :

$$L = I\omega = mRv = 1,5 \cdot 10^{-24} \text{kgm}^2/\text{s}.$$

4-40. Đáp số : $F = 4 \cdot 10^{-16} \text{N}$.

Hướng dẫn. Lực Loren tác dụng lên êlectrôn :

$$F = evB \sin \alpha ; \alpha = (\vec{v}, \vec{B}),$$

với : $v = \sqrt{2eU/m}$, $B = \mu_0 I / 2\pi r$, $\sin \alpha = 1$.

Rút ra : $F = (\mu_0 I / 2\pi r) \sqrt{2e^3 U / m} = 4 \cdot 10^{-16} \text{N}$.

4-41. Đáp số : $\gamma_t = 0$, $\gamma_n = 7.10^{15} \text{ m/s}^2$.

4-42. Đáp số : a) $F = 5.10^{-15} \text{ N}$; b) $R = 3,2.10^{-2} \text{ m}$.

c) $T = 1,3.10^{-6} \text{ s}$.

4-43. Đáp số : $v \approx 7,6.10^6 \text{ m/s}$.

Hướng dẫn. Xem bài tập mẫu 4.

Ta có : $v_1 = Beh/2\pi m$; $v_2 = RBe/m$;

và $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = \frac{Be}{m} \sqrt{(h/2\pi)^2 + R^2} \approx 7,6.10^6 \text{ m/s}$.

4-44. Đáp số. a) $R = 1 \text{ cm}$; b) $h = 11 \text{ cm}$.

Hướng dẫn. a) Vận tốc của êlectron trong từ trường $v = \sqrt{2eU/m}$ suy ra : $R = mv_2/Be = mv \sin \alpha / Be = 10^{-2} \text{ m}$.

b) $h = 2mv_1/Be = 2mv \cos \alpha / Be = 11.10^{-2} \text{ m}$.

4-45. Đáp số :

a) $n = 8,1.10^{23} \text{ m}^{-3}$;

b) $v = 3,1.10^{-4} \text{ m/s}$.

Hướng dẫn. a) Qua hình vẽ 4-10' ta thấy, mỗi êlectron dẫn (chuyển động với vận tốc v) bị từ trường tác dụng một lực Loren : $F_L = evB$ và chuyển động về mặt bên, tạo ra một hiệu điện thế. Hiệu điện thế này ngăn cản các êlectron dẫn tiếp tục chuyển về mặt bên (nhờ lực Culông $F_C = eE = eU/b$).

Khi hiệu điện thế ngang ổn định, ta có : $F_C = F_L$,
hay : $eU/b = evB$.

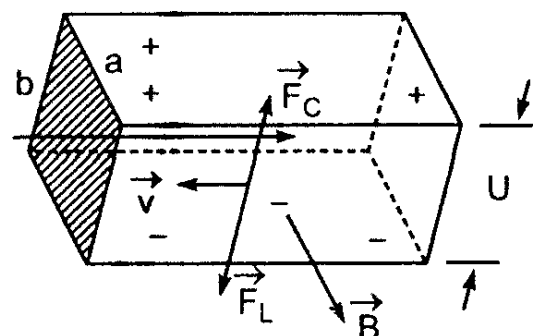
Nhưng : $I/a.b = nev$, n là mật độ êlectron dẫn ;

suy ra : $n = IB/eUa = 8,1.10^{23} \text{ m}^{-3}$

b) Có : $j = nev = I/a.b$.

rút ra : $v = I/a.b.ne = 3,1.10^{-4} \text{ m/s}$.

4-46. Đáp số : $B = 4,2.10^{-3} \text{ T}$.



Hình 4-10'

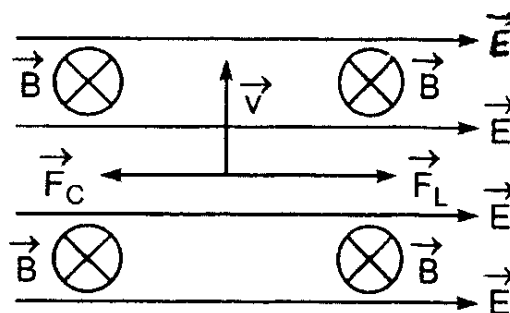
Hướng dẫn. Xem hình vẽ 4-11'.

Gọi \vec{F}_C là lực điện trường tác dụng lên êlectron ta có :

$$\vec{F}_C = -e\vec{E}.$$

Muốn êlectron không bị lệch phương, phải đặt một từ trường sao cho lực Loren tác dụng lên êlectron triệt tiêu lực điện trường.

$$\vec{F}_L = -\vec{F}_C.$$



Hình 4-11'

Từ điều kiện trên, ta xác định được \vec{B} .

\vec{B} phải có phương vuông góc với đường sức điện trường và vuông góc với vận tốc \vec{v} , có chiều như hình vẽ và có độ lớn xác định bởi :

$$evB = eE,$$

$$B = E/v = E\sqrt{m/2W} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ T (vì } W = mv^2/2).$$

4-47. Đáp số :

a) $\gamma_n = 0$; $\gamma = \gamma_1 = eE/m = 1,76 \cdot 10^{14} \text{ m/s}^2$.

b) $\gamma_1 = 0$; $\gamma = \gamma_n = \sqrt{\left(\frac{evB}{m}\right)^2 + \left(\frac{eE}{m}\right)^2} = 2,5 \cdot 10^{14} \text{ m/s}^2$.

4-48. Đáp số : a) $R = 5 \text{ mm}$; b) $h = 3,6 \text{ cm}$.

Chương 5 : HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

5-1. Đáp số : a) $\phi = 2,5 \cdot 10^{-5} \sin 100\pi t \text{ (Wb)},$

$$\phi_{\max} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}.$$

b) $E = 7,85 \cdot 10^{-3} \cos 100\pi t \text{ (V)} ; \quad E_{\max} = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ V}.$

c) $I = 2,3 \cos 100\pi t \text{ (A)} ; \quad I_{\max} = 2,3 \text{ A}.$

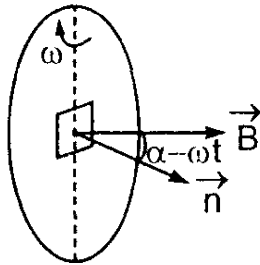
5-2. Đáp số : $E_c = 78,5 \text{ V}.$

Hướng dẫn. Trong thời gian Δt , từ thông biến thiên một lượng $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$. Vậy suất điện động cảm ứng trung bình (tức tốc độ biến thiên trung bình của từ thông) là :

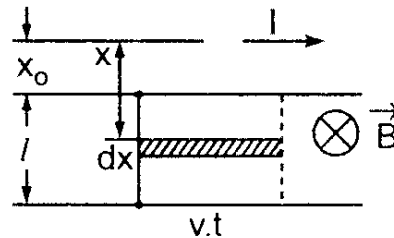
$$\bar{E}_C = |\Delta\phi / \Delta t|.$$

5-3. Đáp số : $E_{C\max} = 4,7.10^{-3}V$.

Hướng dẫn. (xem hình 5-1'). Sau thời gian t , góc hợp bởi pháp tuyến \vec{n} của khung dây nhỏ và vectơ cảm ứng từ \vec{B} của khung dây lớn là : $\alpha = \omega t$. Do đó, tại thời điểm t , từ thông gửi qua khung dây nhỏ :



Hình 5-1'



Hình 5-2'

$$\phi = N_2 B S \cos \omega t \text{ với } B = N_1 \mu_0 I / 2R$$

suy ra : $E_{C\max} = \mu_0 N_1 N_2 I S \omega / 2R = 4,7.10^{-3}V$.

5-4. Đáp số : $U = 4,7.10^{-5}V$.

Hướng dẫn. Đoạn dây l chuyển động trong từ trường của dòng điện I . Trên đoạn dây sẽ xuất hiện suất điện động cảm ứng E_C . Vì đoạn dây không kín nên suất điện động này bằng hiệu điện thế giữa hai đầu dây.

Sau thời gian t từ thông quét bởi một đoạn dx của dây bằng (hình 5-2') :

$$d\phi = B dS = \mu_0 I v t dx / 2\pi x,$$

và từ thông quét bởi cả dây l :

$$\phi = \int_{x_0}^{x_0+l} \frac{\mu_0 I v t}{2\pi x} dx = \frac{\mu_0 I v t}{2\pi} \ln \left(\frac{x_0 + l}{x_0} \right).$$

$$\text{Suy ra : } U = |E_C| = |-d\phi / dt| = \frac{\mu_0 I v}{2\pi} \ln \left(\frac{x_0 + l}{x_0} \right) = 4,7.10^{-5}V.$$

5-5. Đáp số : $E_C = 0,23V$.

Hướng dẫn. Coi cánh máy bay như một đoạn dây dẫn nằm ngang chuyển động trong từ trường có đường sức từ thẳng đứng, sẽ tính được :

$$E_C = Blv = 0,25V.$$

5–6. Đáp số : $U = 0,5V$.

Hướng dẫn. Cần tìm từ thông quét bởi thanh sau thời gian t . Sau đó tính U như bài tập 5–4.

5–7. Đáp số : $U = \pi n l B (1 - 2l_1) = 5,4.10^{-3}V$.

5–8. Đáp số : a) $E_C = 4,7.10^{-3}V$; b) Chiều dòng điện đi từ b tới a.

Hướng dẫn. a) Từ thông quét bởi bán kính ab trong thời gian dt là

$$d\phi = BdS = B\pi R^2 \omega dt / 2\pi = BR^2 \omega dt / 2.$$

Từ đó tính được E_C .

b) Chiều dòng điện phải sao cho lực điện từ chống lại sự quay của đĩa (định luật Lenx).

5–9. Đáp số : a) $u = 2.10^{-9}V$; b) $U = 33mV$.

Hướng dẫn. Chọn hệ quy chiếu gắn liền với Trái Đất.

a) Do quán tính các electron văng ra mép đĩa : mép đĩa tích điện âm, tâm đĩa tích điện dương. Khi ổn định, giữa tâm và mép đĩa xuất hiện hiệu điện thế U . Các electron chuyển động tròn đều với vận tốc góc $= \omega$, do tác dụng của lực hướng tâm = lực điện.

$$m\omega^2 r = \text{lực điện}.$$

Công của lực điện từ tâm ra ngoài mép

$$-eU = -\int_0^R m\omega^2 r dr = -\frac{1}{2} m\omega^2 R^2$$

suy ra U .

b) Khi có thêm lực Loren $= evB$, tùy theo chiều của \vec{B} , ta có :
lực điện = lực Loren $\pm m\omega^2 r$

$$= e\omega r B \pm m\omega^2 r$$

$$\simeq e\omega r B$$

(vì số hạng $m\omega^2 r$ rất nhỏ so với số hạng đầu). Sau đó lại tính công của lực điện như trên.

5-10. Đáp số : $E = NBS\omega \cos(2\pi nt + \varphi)$,

$E_{\max} = NBS\omega = 2\pi NBSn = 3,14V$ (φ là góc giữa pháp tuyến tiết diện ngang của ống dây và vectơ cảm ứng từ B lúc ban đầu, n : số vòng quay trong một giây)

5-11. Đáp số : $v = 0,5m/s$.

Hướng dẫn. Coi phần chất lỏng đối diện hai cực A, B như một đoạn dây dẫn chuyển động trong từ trường với vận tốc v đúng bằng vận tốc của chất lỏng. Do đó :

$$E_C = Blv \Rightarrow v = E_C/Bl = 0,5m/s.$$

5-12. Đáp số : $B = 0,2T$.

Hướng dẫn. Gọi Δt là thời gian đưa cuộn dây ra khỏi khoảng giữa hai cực nam châm. Suất điện động cảm ứng trung bình xuất hiện trong cuộn dây (tức trong mạch điện) bằng :

$$\bar{E}_C = |\Delta\phi / \Delta t| = NBS / \Delta t.$$

Điện lượng phóng qua điện kế khi đó bằng :

$$q = I\Delta t = NBS/R.$$

$$\text{Rút ra : } B = Rq/NS = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{50 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 0,2T.$$

5-13. Đáp số : $H = qR / 2\mu_0 SN = 4 \cdot 10^5 A/m$.

$$\text{5-14. Đáp số : } U_1 = \frac{R_1}{R} Ue^{-\left(\frac{R+R_1}{L}\right)\tau} = 490V.$$

Hướng dẫn. Dễ dàng tính được :

$$I = I_0 e^{-\left(\frac{R+R_1}{L}\right)t}, \text{ với } I_0 = U/R.$$

Suy ra hiệu điện thế giữa hai điểm A, B :

$$U_1 = R_1 I = (R_1 / R) Ue^{-\left(\frac{R+R_1}{L}\right)t}$$

Thay $t = \tau = 0,001s$ và các đại lượng đã biết vào biểu thức trên, ta tính được $U_1 = 490V$.

5-15. Đáp số : $Q = 6.10^{-6} \text{J}$.

Hướng dẫn. Tương tự bài tập 5-14, ta có :

$$I = \frac{E}{R} e^{-\left(\frac{R+R_1}{L}\right)t}.$$

Suy ra nhiệt lượng toả ra trên điện trở R_1

$$Q = \int_0^{\infty} R_1 I^2 dt = R_1 L E^2 / 2R^2 (R_1 + R) = 6.10^{-6} \text{J}.$$

5-16. Đáp số : a) $L_0 = \mu_0 N^2 S / l = 9.10^{-4} \text{H}$.

b) $L = L_0 = 0,36 H_0$.

5-17. Đáp số : $N = 380$ vòng.

Hướng dẫn. Số vòng cuốn trên đơn vị dài cho bởi công thức $n_0 = 1/d$.

5-18. Đáp số : $L = \mu_0 \mu N^2 d^2 \pi / 4(l + 0,45d) = 1,3.10^{-3} \text{H}$.

5-19. Đáp số : $L = \frac{\mu_0 \mu \alpha}{\pi} \ln\left(\frac{b-r}{r}\right) = 1,8.10^{-5} \text{H}$.

Hướng dẫn. (hình 5-3'). Từ thông gửi qua diện tích $dS = adx$ bằng :

$$d\Phi = (B_1 + B_2) dS ;$$

B_1 và B_2 lần lượt là cảm ứng từ của nhánh 1 và nhánh 2 tại một điểm bất kì trên diện tích dS .

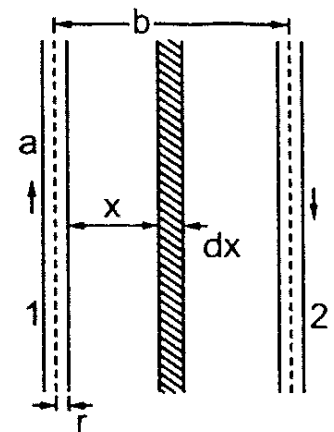
$$d\Phi = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi x} adx + \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi(b-x)} adx.$$

Từ thông gửi qua khung dây :

$$\Phi = \int_r^{b-r} \frac{\mu_0 \mu I a}{2\pi} \frac{dx}{x} + \int_r^{b-r} \frac{\mu_0 \mu I a}{2\pi} \frac{dx}{b-x} = \frac{\mu_0 \mu I a}{\pi} \ln\left(\frac{b-r}{r}\right).$$

Theo định nghĩa :

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu_0 \mu a}{\pi} \ln\left(\frac{b-r}{r}\right) = 1,8.10^{-5} \text{H}.$$



Hình 5-3'

5-20. Đáp số : $E_h = 15,7\cos 100\pi t$ (vôn), $E_{h\max} = 15,7V$.

5-21. Đáp số : $L' = 5.10^{-3}H$.

Hướng dẫn. Từ thông gửi qua hệ trước khi nối lại các ống dây (hình 5-4'a) :

$$\phi = \phi_{11} + \phi_{12} + \phi_{22} + \phi_{21}, \quad (1)$$

trong đó có ϕ_{ik} là từ thông do ống dây thứ i gửi qua ống dây thứ k ($i = 1,2$) ; ($k = 1,2$). Từ thông gửi qua hệ sau khi nối lại các ống dây (hình 5-4'b)

$$\phi' = \phi_{11} - \phi_{12} + \phi_{22} - \phi_{21}, \quad (2)$$

vì ϕ_{11} và ϕ_{21} ngược chiều nhau, ϕ_{22} và ϕ_{12} cũng vậy. Mặt khác theo định nghĩa :

$\phi = LI$ (3), L là độ cảm ứng của cả hệ trước khi nối lại các ống dây.

$\phi' = L'I$ (4), L' là độ cảm ứng của cả hệ sau khi nối lại.

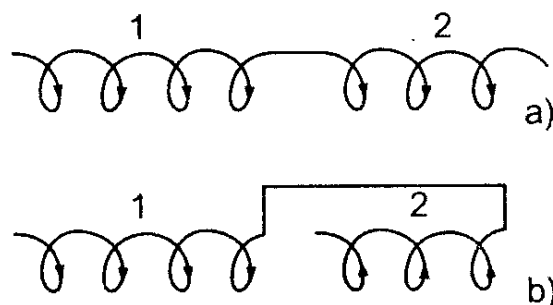
$\phi_{11} = L_1I$ (5), $\phi_{22} = L_2I$ (6), $\phi_{12} = \phi_{21} = MI$ (7), M là hệ số hỗ cảm của các ống dây.

Từ các phương trình (1) – (7), suy ra :

$$L = L_1 + L_2 + 2M ;$$

$$L' = L_1 + L_2 - 2M ;$$

$$L' = 2(L_1 + L_2) - L = 5.10^{-3}H.$$



Hình 5-4'

5-22. Đáp số : $L = 10^{-6}H$,

$$W_H = 4,7.10^{-6}J.$$

Hướng dẫn. Tính độ tự cảm của hệ : xem bài tập 5-19.

– Năng lượng của hệ cho bởi công thức $W_H = LI^2 / 2$.

5-23. Đáp số : $I = \sqrt{2Sl\omega / L} = 1A$.

5-24. Đáp số : a) $T = 6,2.10^{-3}s$, b) $Q = 4,4.10^{-4}J$,

$$c) W_{11} = Q.$$

Hướng dẫn. Xem các bài 5-15, 5-22.

Chương 6 : CÁC TÍNH CHẤT TỪ CỦA CÁC CHẤT

6-1. Đáp số : $\mu = 1400$.

6-2. Đáp số : a) $\mu = 1000$; b) $w = 5,6.10^2 \text{J/m}^3$.

Hướng dẫn. a) Có $\phi = BNS = LI$, suy ra $B = LI/NS = 1,4\text{T}$.

Tính H nhờ đồ thị (6-1). Từ đó tính được $\mu = B/\mu_0 H = 1400$.

6-3. Đáp số : $I' = 640\text{A}$.

Hướng dẫn. Gọi I' là cường độ dòng điện hồi trong bài, B và H là cảm ứng từ và cường độ từ trường trong ống dây hình xuyên. Ta có :

$$B = \mu_0 \mu H = \mu_0 \mu \frac{N}{l} I = \mu_0 \frac{N}{l} I' \Rightarrow I' = \mu I.$$

Tính H theo công thức $H = \frac{N}{l} I$, tính B từ đồ thị. Từ đó suy ra μ và I' .

6-4. Đáp số : a) $\mu = \phi I / \mu_0 SNI = 640$.

$$\text{b) } L = \mu_0 \mu N^2 S / l = 6,4.10^{-2} \text{H}.$$

6-5. Đáp số : a) $H = NI/2\pi r = 0,5.10^3 \text{A/m}$; 1.10^3A/m ; 2.10^3A/m ; $B = 1,07\text{T}$; $1,16\text{T}$; $1,45\text{T}$ (dùng đồ thị 6-2).

$$\text{b) } \mu = B/\mu_0 H = 1,7.10^3 ; 1,0.10^3 ; 0,58.10^3.$$

$$\text{c) } J = B/\mu_0 - H = 0,85.10^6 \text{A/m} ; 1.10^6 \text{A/m} ; 1,16.10^6 \text{A/m}.$$

6-6. Đáp số : $I_2 = 7,6\text{A}$.

Hướng dẫn. Đối với vòng sắt không có khe hở, ta có :

$$H_0 = NI_1/2\pi r = 200\text{A/m}.$$

Từ đồ thị (6-2) suy ra : $B_0 = 0,8\text{T}$.

– Đối với vòng sắt có khe hở, áp dụng định lí Ampe về suất từ động ta có :

$$H_C(2\pi r - l') + H'_C l' = NI_2, \quad (1)$$

trong đó : H_C và H'_C lần lượt là cường độ từ trường trong lõi sắt và trong khe hở.

nhưng : $H_C = H_0 = 200\text{A/m}$.

Theo đầu bài : $B_0 = B'_C = \mu_0 H'_C$;

suy ra : $H'_C = B_0/\mu_0 = 6,4.10^5 \text{ A/m}$.

Thay các giá trị trên vào (1), ta có $I_2 = 7,6 \text{ A}$.

6–7. Đáp số : $B \approx 0,96 \text{ T}$.

Hướng dẫn. Gọi B và H là cảm ứng từ và cường độ từ trường trong lõi sắt của ống dây hình xuyên.

Quan hệ giữa B và H trong trường hợp lõi sắt không có khe hở được biểu diễn trên hình 6–2 (đường cong 1).

Mặt khác, trong trường hợp lõi sắt có khe hở, quan hệ giữa B và H trong lõi sắt cho bởi hệ thức (suy từ định lí Ampe về suất từ động) :

$$B = \mu_0 NI / l' = \mu_0 Hl / l' \quad (1)$$

(1) được biểu diễn trên đồ thị 6–2 bằng một đường thẳng (đường số 2), cắt các trục toạ độ ở các điểm :

$$H = 0 ; B = \mu_0 NI / l = 1,$$

$$B = 0 ; H = NI / l = 2000 \text{ A/m}.$$

Toạ độ giao điểm của hai đường cong 1 và 2 cho ta giá trị của B và H hỏi trong bài toán.

$$H \approx 300 \text{ A/m}, B \approx 0,96 \text{ T}.$$

6–8. Đáp số : $\mu = 1200$.

Hướng dẫn. – Cảm ứng từ trong lõi sắt : $B = \mu_0 \mu N_1 I_1 / l$

Từ thông gửi qua cuộn thứ cấp :

$$\phi = N_2 BS = \mu_0 \mu N_1 N_2 SI_1 / l. \quad (1)$$

– Khi đảo chiều dòng điện I_1 , độ biến thiên từ thông qua cuộn thứ cấp bằng :

$$|\Delta\phi| = 2\phi.$$

– Gọi Δt là thời gian đảo chiều dòng điện, ta có suất điện động cảm ứng xuất hiện trong cuộn thứ cấp :

$$E_C = \Delta\phi / \Delta t = 2\phi / \Delta t.$$

Do đó điện lượng phóng qua điện kế :

$$q = I_C \Delta t = E_C / R \Delta t = 2\phi / R.$$

Thay ϕ từ (1) vào, suy ra : $\mu = R/q/2\mu_0 N_1 N_2 SI_1 = 1200$.

Chương 7 : TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

7-1. Hướng dẫn. Xem cách làm câu a) của bài tập mẫu.

7-2. Hướng dẫn. Từ phương trình Mắcxoen (7-3').

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho, \text{ ta có : } \epsilon_0 \epsilon \operatorname{div} \vec{E} = \rho,$$

nhưng $\vec{E} = -\vec{\operatorname{grad}} \varphi$, nên $\Delta \varphi = -\rho / \epsilon \epsilon_0$.

7-3. Hướng dẫn

Chọn trong thể tích V một đường kín (c) dưới dạng một hình chữ nhật với các cạnh b và d , nằm trong mặt phẳng xOz rồi tính lưu số của vectơ từ cảm B dọc theo đường (c) . Dễ dàng tính được :

$$\oint_{(c)} B \cdot d\vec{S} = -abd \neq 0.$$

Trong khi đó, phương trình Mắcxoen – Ampe (7-2) cho

$$\oint_c \vec{H} \cdot d\vec{S} = \oint_s \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

Nhưng theo đầu bài $\vec{j} = 0$, $\vec{E} = 0$, do đó

$$\oint_c \vec{H} \cdot d\vec{S} = 0, \text{ nghĩa là } \oint_c \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0.$$

7-4. Đáp số : $\omega < 10^{18} \text{ s}^{-1}$.

Hướng dẫn. Cách làm giống như câu b) của bài tập mẫu.

7-5. Đáp số : $|j_d|_{\max} \approx 3,7 \cdot 10^{-10} \text{ A/m}^2$.

7-6. Đáp số : $T \approx 10^{-10} \text{ s}$.

7-7. Đáp số : $|j_d| \approx 2,5 \cdot 10^{-3} \sin 20\pi t (\text{A/m}^2)$

Hướng dẫn. Dùng biểu thức $j_d = \partial D / \partial t$,

$$\text{với } D = \epsilon_0 \epsilon E \text{ và } E = (U_0 / d) \cos \omega t.$$

7-8. Đáp số : $I_{d\max} = 2\pi C E_0 d v \approx 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mA}$.

7-9. Đáp số : a) $j_d = 0$. b) $j_b = -\epsilon_0 \epsilon U_u / d^2$.

7-10. Đáp số : $W_0 = 12,5 \cdot 10^{-5} \cos^2 2000\pi t (\text{J})$,

$$W_m = 12,5 \cdot 10^{-5} \sin^2 2000\pi t (\text{J}) \text{ và } W_{tp} = 12,5 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-5} \text{ J}.$$

Sau 1/4 chu kì thì năng lượng điện trường chuyển thành năng lượng từ trường và ngược lại.

7-11. Hướng dẫn. Theo (7-2') và do trường điện từ biến thiên trong chân không ($j = 0$, $\rho = 0$), ta có :

$$\text{rot} \vec{H} = \partial \vec{D} / \partial t.$$

Xét thành phần z của hai vectơ này

$$(\text{rot} H)_z = \partial D_z / \partial t, \text{ ta được } -\partial H / \partial y = \epsilon_0 \epsilon \partial E / \partial t$$

Tính giá trị vế trái của hệ thức trên từ biểu thức $H = H_0 \cos \omega(t - ay)$, ta suy ra kết quả

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

7-12. Hướng dẫn. $w = \epsilon_0 \epsilon E^2 / 2 + \mu_0 \mu H^2 / 2$.

Vì $\sqrt{\epsilon_0 \epsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H$ nên $\epsilon_0 \epsilon E^2 = \mu_0 \mu H^2$ và

$$w = \epsilon \epsilon_0 E^2 = \mu_0 \mu H^2 = \sqrt{\epsilon_0 \epsilon} E \cdot \sqrt{\mu_0 \mu} H = aBH.$$

7-13. Đáp số :

$$a) E_x = \frac{E'_x - vB'_z}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}; E_y = E'_y; E_z = \frac{E'_z + vB'_x}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}.$$

$$H_x = \frac{H'_x + vD'_z}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}; H_y = H'_y; H_z = \frac{H'_z - vD'_x}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}.$$

$$b) E_x = \frac{E'_x + vB'_z}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}; E_y = \frac{E'_y - vB'_x}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}; E_z = E'_z.$$

$$H_x = \frac{H'_x - vD'_y}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}; H_y = \frac{H'_y + vD'_x}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}; H_z = H'_z.$$

7-14. Đáp số : Bài toán có vô số nghiệm.

$$\frac{\vec{v}'}{1 - (v^2/c^2)} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{H}}{\epsilon_0 E^2 + \mu_0 H^2}.$$

Hướng dẫn. Hệ O' thoả mãn điều kiện của đầu bài có rất nhiều. Nếu tìm được một trong những hệ đó thì bất kì một hệ nào chuyển động so với hệ ấy dọc theo hướng chung đều có tính chất ấy, nghĩa là $\vec{E}' // \vec{H}'$. Điều này suy ra từ các công thức biến đổi

Loren của trường điện từ (7-12 ; 7-13). Vì vậy chúng ta chỉ cần chọn lấy một trong những hệ đó có vận tốc v vuông góc với các vectơ trường. Để thuận tiện, chọn phương của vận tốc là trục x . Dùng điều kiện song song của hai vectơ E' và H' : $\vec{E}' \times \vec{H}' = 0$ (ở đây, $E'_x = H'_x = 0$, $E'_y H'_z - E'_z H'_y = 0$ hoặc $D'_y B'_z - D'_z B'_y = 0$ các công thức (7-12), (7-13)) và tính chất bất biến của độ dài một vectơ trong các hệ quy chiếu, ta sẽ tìm được đáp số.

Chương 8 : DAO ĐỘNG

8-1. 7,85 cm/s ; 12,3 cm/s².

8-2. $t = \frac{T}{2} \left(\pm \frac{1}{3} + k \right),$

$t = T/6 ; 2T/6 ; 4T/6 ; 5T/6.$

8-3. $v = 0,136\text{m/s}.$

Viết phương trình dao động của chất điểm (pha ban đầu tùy ý). Cho $x = a/2$ tìm được giá trị của hàm số $\cos(\omega t + \varphi)$. Do đó tìm được giá trị của $\sin(\omega t + \varphi)$

$$\sin(\omega t + \varphi) = \pm \sqrt{1 - \cos^2(\omega t + \varphi)}.$$

Thay giá trị tìm được vào biểu thức tính vận tốc.

8-4. a) Biên độ $a = 10\text{cm} = 0,1\text{m}$; Tần số góc $\omega = 10\pi = 31,4\text{rad/s}$; Chu kỳ $T = 2\pi/\omega = 1/5\text{s}$; Tần số $\nu = 1/T = 5$ dao động /s ;

Pha ban đầu $\varphi = \frac{\pi}{2}.$

b) Lực cực đại tác dụng lên con lắc : $f_{\max} = 0,49\text{N}.$

c) Năng lượng của con lắc : $W = 2,5 \cdot 10^{-2}\text{J}.$

Suất đàn hồi k : $k = 4,9\text{N/m}.$

8-5. $T = 2\pi\sqrt{m/2Sp_g} = 0,76\text{s}.$

Khi mực thủy ngân ở nhánh phải (so với vị trí cân bằng) là x thì mực thủy ngân ở hai nhánh chênh nhau là $2x$. Áp lực do sự

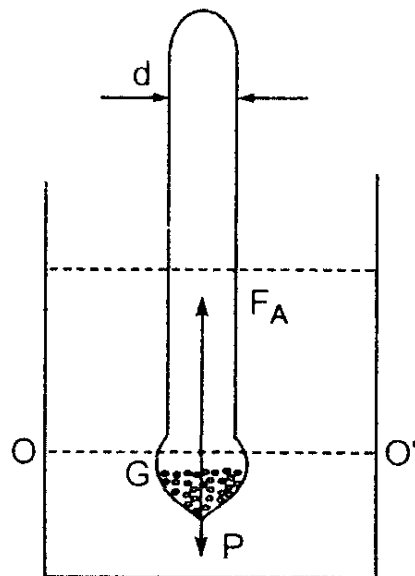
chênh lệch này sẽ đưa các mực thủy ngân về vị trí cân bằng. Do quán tính, khối thủy ngân sẽ dao động. Áp lực trên bằng $-2S\rho g x$.

Viết phương trình vi phân của dao động, ta sẽ tính được chu kì T.

8-6. a) Khi chưa kích động, tổng hợp của lực đẩy Ác-si-mét và trọng lượng của phù kế bằng không. Phù kế đứng cân bằng.

Khi kích động, tổng hợp của hai lực đó khác không. Phù kế sẽ dao động.

Xét sự tương quan giữa lực đẩy Ác-si-mét và trọng lượng phù kế (cả phương chiều lẫn trị số) khi phù kế bị kích động (tức là trọng tâm G dời khỏi vị trí cân bằng OO') (hình 8-1').



Hình 8-1'

b) $F = F_A - P = \rho g \pi d^2 x / 4$, x là đoạn ngập thêm của phù kế vào chất lỏng. Đặt $\rho g \pi d^2 / 4 = k$; ta có, $f = -kx$. Đó là lực giả đàn hồi.

Tìm lượng biến thiên của lực đẩy Ác-si-mét khi trọng tâm G của phù kế rời khỏi vị trí cân bằng (tức OO') một đoạn x.

$$c) T = \frac{4}{d} \sqrt{m\pi / \rho g} = 890 \text{ kg/m}^3.$$

Dựa vào biểu thức $T = 2\pi \sqrt{m/k}$.

$$\mathbf{8-7.} \quad x = 0,04 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{3}\right) \text{ mét.}$$

$$\text{Ta có } F_{\max} = m\gamma_{\max} = m\omega^2.$$

$$W = ka^2/2, \text{ thay } k = m\omega^2.$$

$$\mathbf{8-8.} \quad T = 0,84 \text{ s.}$$

Khi $x = 1/12$ đường biểu diễn có cực tiểu.

Khi x giảm, chu kì T tăng.

Khi $x = 0$ thì chu kì $T = \infty$ tương ứng vị trí cân bằng phiếm định.
 Khi $x \gg 1$ thì chu kì của con lắc sẽ bằng chu kì của con lắc
 toán : $2\pi\sqrt{x/g}$.

8-9. Vật nặng dao động điều hoà.

Chu kì $T = 0,88s$.

Trong quá trình dao động vật nặng chịu tác dụng của hai lực : trọng lực và lực đàn hồi của lò xo (hình 8-2').

Lực đàn hồi của lò xo được xác định bởi độ dãn của lò xo.

Gọi x là độ dịch chuyển của đầu lò xo khỏi đường thẳng AA' .

Vị trí ứng với lúc vật nặng chưa treo vào lò xo. Lực căng của lò xo cho bởi công thức

$$f = -kx. \quad (1)$$

Chọn chiều dương của trục hướng xuống phía dưới. Khi treo vật nặng, theo định luật 2 Niu-tơn

$$m\ddot{x} = mg - kx. \quad (2)$$

Ở đây \ddot{x} là gia tốc của vật, k là suất đàn hồi của lò xo.

Gọi độ dãn của vật nặng khỏi vị trí cân bằng là ξ , độ dãn tĩnh là x_0 , ta có

$$x = x_0 + \xi, \quad (3)$$

$$\ddot{x} = \ddot{\xi} \quad (4)$$

Khoảng cách x_0 phải thoả mãn điều kiện

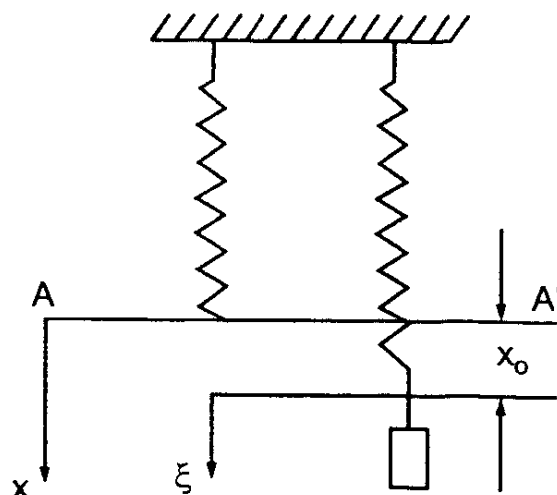
$$mg - kx_0 = 0. \quad (5)$$

Thay đẳng thức (3), (4) vào biểu thức (2), ta có :

$$m\ddot{\xi} = mg - k(\xi + x_0).$$

Chú ý đến (5), cuối cùng ta có :

$$m\ddot{\xi} = -k\xi. \quad (6)$$



Hình 8-2'

Biểu thức (6) chứng tỏ vật nặng thực hiện một dao động điều hoà, chu kì T

$$T = 2\pi\sqrt{m/k}.$$

Với biểu thức (5), ta tính được m/k .

8–10. Vật nặng dao động điều hoà xung quanh vị trí cân bằng.

Biên độ $a = mg/k = 9,8\text{cm}$;

Pha ban đầu $\varphi = \frac{\pi}{2}$; $3\frac{\pi}{2}$.

Tần số góc $\omega = \sqrt{k/m} = 10\text{s}^{-1}$.

Lực căng cực đại của lò xo :

$$T_{\max} = 9,8\text{N}.$$

Tương tự bài 9, ta thấy vật nặng dao động điều hoà xung quanh vị trí cân bằng. Lò xo đã dãn một đoạn x_0 . Giá trị của độ dãn đó – độ dãn tĩnh được xác định bởi :

$$mg - kx_0 = 0. \quad (1)$$

Gọi độ dời chuyển động của vật nặng so với vị trí cân bằng là ξ , ta có

$$\xi = a \sin(\omega t + \varphi) ;$$

ω được xác định bởi các thông số của hệ thống : m và k ; a và φ được xác định bởi điều kiện ban đầu.

Khi $t = 0$, $\xi = -x_0$, $\dot{\xi} = 0$. Sức căng của lò xo cực đại khi $\xi = a$. Độ dãn của lò xo $x = x_0 + \xi$, khi $\xi = a$ thì $x = 2x_0$.

Sức căng cực đại của lò xo :

$$f_{\max} = 2kx_0 = 2mg = 9,8\text{N}.$$

8–11. Lực nén lớn nhất của người diễn viên vào lưới lớn hơn trọng lực 11 lần.

Khi người diễn viên rơi vào lưới, lưới sẽ tác dụng lên người đó một lực. Lực đó đạt giá trị cực đại ở vị trí thấp nhất.

Lực f đó tỉ lệ với độ võng của lưới, nghĩa là :

$$|f| = kx.$$

Trong công thức trên : k là hệ số đàn hồi của lưới và x là độ võng.

Ở vị trí thấp nhất $x = x_{\max}$, ta có $n = kx_{\max} / mg$ (1)

Độ võng cực đại của lưới được xác định từ định luật bảo toàn năng lượng vận dụng vào hệ : diễn viên – Trái Đất – lưới.

Hệ không chịu tác dụng của ngoại lực.

Khi chuyển từ vị trí cao nhất đến thấp nhất, thế năng của người đó so với mặt đất giảm đi một lượng :

$$\Delta W_{T1} = -mg(h + x_{\max}). \quad (2)$$

Thế năng biến dạng đàn hồi của lưới tăng lên một lượng :

$$\Delta W_{T2} = kx_{\max}^2 / 2. \quad (3)$$

Vì lưới không có trọng lượng nên thế năng của lưới so với mặt đất không cần kể đến. Động năng của diễn viên ở vị trí cao nhất và thấp nhất đều bằng không.

Từ điều kiện cân bằng, khi $x = x_0$, ta có

$$mg = kx_0 \quad (4)$$

Thay (4) vào (1), ta có $n = x_{\max} / x_0$. (1a)

x_{\max} được tính từ biểu thức sau (rút ra từ định luật bảo toàn năng lượng) : $\Delta W_{T1} + \Delta W_{T2} = 0$.

Tính được $x_{\max} = x_0 \pm \sqrt{x_0^2 + 2x_0h}$.

Thay số vào, ta có $x_0 = 2,2m$.

Ta không lấy giá trị âm của căn số, vì chỉ quan sát vị trí thấp nhất, ở đó $x > 0$.

Thay vào (1a), ta có $n = 11$.

8–12. Giảm đi 8 lần.

Biên độ của dao động tắt dần ở thời điểm t xác định bởi biểu thức

$$A(t) = A_0 e^{-\beta t}, \quad (1)$$

A_0 là biên độ ban đầu ; β là hệ số tắt dần.

Theo hệ thức $n_1 = A_0 / A(t_1)$ ta tính được hệ số tắt dần.

Lấy logarit công thức (1) đồng thời kể đến biểu thức của n_1 , ta có

$$\ln n_1 = \beta t_1.$$

Từ đây, rút ra biểu thức của β , thay vào (1), ở thời điểm $t = t_2$, ta có

$$A(t_2) = A_0 e^{-\frac{t_2}{t_1} \ln n_1} = A_0 n_1^{-\frac{t_2}{t_1}}.$$

$$\text{Suy ra } n_2 = a_0 / a(t_2) = n_1^{t_2/t_1} = 8.$$

$$\mathbf{8-13.} \quad A_N = 6\text{cm}.$$

Biên độ dao động tắt dần ở thời điểm t , có thể biểu diễn như sau :

$$A(t) = A_0 e^{-\frac{\delta t}{T}},$$

ở đây $\delta = \beta T$ là giảm lượng lôga ; T là chu kỳ của dao động.

Tỉ số t/T bằng số dao động toàn phần N .

Biên độ ban đầu A_0 , chu kỳ T , giảm lượng lôga δ có thể tính được bằng cách so sánh phương trình chung của dao động tắt dần với phương trình dao động đã cho. Ta có

$$A_0 = 10\text{cm}, \quad T = 0,25\text{s}, \quad \delta = \beta T = 0,05.$$

$$\text{Biên độ phải tìm } A_N = A_0 e^{-\delta N} = 6\text{cm}$$

$$\mathbf{8-14.} \quad \delta = \beta T = 6,7 \cdot 10^{-3}.$$

Năng lượng toàn phần của vật thực hiện dao động tỉ lệ với bình phương biên độ. Biên độ của dao động tắt dần :

$$A(t) = A_0 e^{-\beta t} \quad (1)$$

Từ hệ thức đã cho và năng lượng ban đầu, có thể tìm được hệ số tắt dần. Để có giảm lượng lôga cần biết chu kỳ của con lắc. Với những dao động tắt dần nhỏ, chu kỳ của con lắc toán cho bởi.

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}.$$

Dựa vào (1), chúng ta có hệ phương trình sau

$$W_1 = A_0^2 e^{-2\beta t} \quad \text{và} \quad W_2 = A_0^2 e^{-2\beta(t+\tau)}. \quad (2)$$

Ở đây τ là khoảng thời gian, W_1 và W_2 là năng lượng của con lắc tại những thời điểm cách nhau τ . Từ điều kiện của đầu bài : $W_2/W_1 = 0,01$, thay vào (2), ta được :

$$e^{-2\beta\tau} = 0,01,$$

$$\text{Suy ra } -2\beta\tau = \ln 0,01 = -4,6 ;$$

$$\beta = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}.$$

$$\text{Chu kì } T \text{ cho bởi : } T = 2\pi\sqrt{l/g} = 1,4 \text{ s}.$$

$$\text{Tần số riêng } \omega_0 = 4,5 \text{ s}^{-1}.$$

$$\text{Giảm lượng lôga } \delta = \beta T = 6,7 \cdot 10^{-3}.$$

$$\mathbf{8-15.} \tau = 100 \text{ s}.$$

Gọi a_0 là biên độ của dao động ở thời điểm ban đầu. Biên độ của dao động sau thời gian τ , giảm đi e lần.

$$\text{Ta có } A_0 / A_0 e^{-\beta\tau} = e^{\beta\tau} = e.$$

Từ đây, tính được τ .

$$\mathbf{8-16.} \text{ a) } x = 20e^{-0,2t} \cos(0,5\pi)t \text{ cm}.$$

$$\text{b) } x_1 = 20 \text{ cm} ; x_2 = -13,4 \text{ cm} ; x_3 = 9 \text{ cm} ;$$

$$x_4 = -6 \text{ cm} ; x_5 = 4 \text{ cm}.$$

$$\mathbf{8-17.} k = 5 \cdot 10^5 \text{ N/m}.$$

Tương tự bài tập mẫu 4. Lúc rung động mạnh nhất là lúc có cộng hưởng. Điều kiện là

$$T = T_0 \text{ với } T = \frac{l}{v} ; T_0 = 2\pi\sqrt{m/k}.$$

$$\mathbf{8-18.} F = 7,2 \cdot 10^{-2} \cos 10\pi t (\text{N}).$$

Phương trình của lực kích thích tuần hoàn có dạng tổng quát

$$F = F_0 \cos \Omega t.$$

Qua phương trình dao động cưỡng bức của vật, tìm được Ω , Ω cũng chính là tần số góc của dao động cưỡng bức. Muốn tìm F_0 , dựa vào các biểu thức xác định các đại lượng đặc trưng của dao động cưỡng bức là biên độ A và pha độ đầu ϕ

$$A = F / m \sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2 \Omega^2},$$

$$\operatorname{tg} \phi = 2\beta\Omega/(\omega^2 - \Omega^2),$$

trong đó $A = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$; $\Omega = 10\pi$; $m = 10^{-2} \text{ kg}$;
 $\phi = 0,75\pi$; $\beta = 1,6 \text{ s}^{-1}$.

8-19. $r = 1,6 \text{ g/s}$;

$$F_{\text{msmax}} = 10^{-3} \text{ N}.$$

Hiện tượng cộng hưởng xảy ra khi

$$\omega = \omega_0 = 2\pi/T_0 = 4\pi,$$

khi đó $A_{\text{ch}} = H/r\omega$, suy ra r .

Lực ma sát $f_{\text{ms}} = -r \, dx/dt$.

8-20. Biên độ của dao động cưỡng bức đạt giá trị cực đại khi

$$\Omega = \omega_0 = \sqrt{k/m} \approx 10 \text{ s}^{-1}.$$

Biên độ cực đại lúc đó $A_{\text{max}} = 20 \text{ cm}$.

Nếu $\Omega = \omega_0/2$ thì $A = 2,7 \text{ cm}$.

Nếu $\Omega = 2\omega_0$ thì $A = 0,7 \text{ cm}$.

Biên độ của dao động cưỡng bức phải xác định bởi công thức

$$A = F_0 / m \sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2 \Omega^2}. \quad (1)$$

Ở đây Ω là tần số dao động cưỡng bức ; ω_0 là tần số riêng của con lắc, F_0 là biên độ của lực ; β là hệ số tắt dần.

Hiện tượng cộng hưởng xảy ra khi

$$\Omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} \quad (2)$$

Nếu $\beta \ll \omega_0$ thì điều kiện cộng hưởng là

$$\Omega = \omega_0 \quad (3)$$

Theo đầu bài, tính ngay được ω_0 và β . Tất cả những đại lượng còn lại suy ra được từ các công thức (1), (2) và (3).

$$\textbf{8-21. } x = 0,037 \cos\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{8}\right) \text{ m}$$

8-22. $\frac{x^2}{1} + \frac{y^2}{4} = 1$. Phương trình đường elíp mà hai bán trục có độ dài là 1 và 2.

8-23. a) $q = 2,5 \cdot 10^{-6} \cos 2\pi \cdot 10^3 t$ (C),
 $i = 4 \cdot 10^{-3} \pi \sin 2\pi \cdot 10^3 t$ (A).

b) $W = 1,25 \cdot 10^{-4}$ J.

c) Tần số dao động của mạch

$$\nu_0 = 10^3 \text{ Hz.}$$

8-24. a) $T = 5 \cdot 10^{-3}$ s, c) $i = 0,02 \sin 400\pi t$ (s),

b) $C = 6,3 \cdot 10^{-7}$ F, d) $W = 2 \cdot 10^{-4}$ (J).

8-25. $\phi_{\max} = 12,5 \cdot 10^{-7}$ Wb.

Trong mạch dao động không có điện trở thì hiệu điện thế U trên các cốt tụ điện và dòng điện i trong mạch đều biến thiên theo quy luật của dao động điều hoà.

Giả sử $U = U_0 \cos \omega t$, điện tích $Q = CU_0 \cos \omega t$.

Cường độ dòng điện I cho bởi

$$I = -dQ/dt = CU_0 \omega \sin \omega t.$$

Biên độ của dòng điện là $I_{\max} = CU_0 \omega$.

Từ thông ϕ cho bởi công thức

$$\phi = LI/Z,$$

ở đây ϕ là từ thông gửi qua ống dây, Z là số vòng dây

Từ thông ϕ_{\max} khi $\omega = 1/\sqrt{LC}$ là

$$\phi_{\max} = U_0 \sqrt{LC} / Z$$

8-26. a) $T = 4 \cdot 10^{-4}$ s,

b) $U_l/(U_l + T) = 1,04$ lần.

8-27. $\Delta t = 6,8 \cdot 10^{-3}$ s.

Sau thời gian Δt , năng lượng giảm đi 99%, nghĩa là còn 1%.
Ta có

$$W_t/W_{t+\Delta t} = 100,$$

với $W_t = 1Q^2/2C$ trong đó $Q = Q_0 e^{-\beta t}$; $W_{t+\Delta t}$ cũng có dạng tương tự nhưng phải thay t bằng $t + \Delta t$.

Ở đây lấy gần đúng, chu kỳ dao động điện từ tắt dần.

$$T \approx 2\pi\sqrt{LC}.$$

8-28. Biên độ của cường độ dòng điện trong mạch $I_0 = 1,34\text{A}$.

8-29. $P = 10^{-5}\text{W}$.

Khi điện trở của mạch bằng không thì năng lượng toàn phần trong mạch không đổi. Năng lượng điện trường giữa hai cốt tụ điện được chuyển hoá thành năng lượng từ trường trong ống dây và ngược lại.

Khi mạch dao động có điện trở khác không, nhiệt Jun-Len sẽ toả ra, năng lượng của mạch giảm dần. Muốn cho dao động điện từ do mạch phát ra là không tắt thì phải liên tục cung cấp năng lượng cho mạch một cách tuần hoàn, công suất tiêu thụ trung bình của mạch dao động là

$$P = W_T / T,$$

trong đó W_T là năng lượng mất đi dưới dạng nhiệt ở điện trở trong thời gian một chu kỳ

$$W_T = \int_0^T I^2 R dt = I_0^2 R T / 2 ; I_0 = U_0 \sqrt{C/L}.$$

a) Dao động điện từ không tuần hoàn.

b) Dao động điện từ tắt dần.

Nếu điện trở của mạch dao động mà khác không thì trong mạch sẽ xuất hiện những dao động điện từ tắt dần, theo công thức :

$$U = U_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi), \text{ với} \quad (1)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}, \quad (1')$$

trong đó : $\omega_0 = \sqrt{1/LC}$ tần số góc riêng của mạch ;

$\beta = R/2L$ hệ số tắt dần.

Từ (1') thấy rằng : khi đại lượng dưới dấu căn thức lớn hơn không thì có dao động điện từ xuất hiện. Ngược lại thì tụ điện sẽ phóng điện không tuần hoàn.

Trường hợp tụ điện ghép song song thì $C_1 = 2C$ và $1/LC_1 < R^2/4L^2$ tụ điện phóng điện không tuần hoàn.

Trường hợp tụ điện ghép nối tiếp $C_2 = C/2$ khi đó $1/LC_2 > R^2/4L^2$. Trong mạch có dao động điện từ tắt dần.

*C*hương 9 – 10 : SÓNG CƠ VÀ SÓNG ĐIỆN TỪ

9-1. $\Delta\varphi = 2\pi/\lambda$. $\Delta y = 4\pi$ radian.

9-2. a) 350m/s. b) 0,785m/s.

9-3. $x = 0$.

Điểm M cách O một khoảng y sẽ dao động chậm hơn một thời gian $\tau = y/u$. Do đó phương trình dao động của nó là :

$$x = \sin 2,5\pi (t - y/u)\text{cm}.$$

Thay số vào : $t = 1\text{s}$; $y = 20\text{ m}$; $u = 100\text{m/s}$.

9-4. $\lambda = 24\text{cm}$.

9-5. $\Delta\varphi = \pi$.

9-6. $x = 0,043\text{m}$.

9-7. a) 40cm/s ; b) $\frac{\pi}{3}$; c) $\frac{7\pi}{4}$.

9-8. a) $990/\pi\text{s}^{-1}$; b) $\lambda = 1,05\text{cm}$; $u = 330\text{cm/s}$.

c) $v_{\max} = 99\text{cm/s}$.

9-9. a) Vị trí của nút sóng đứng xác định bởi những tọa độ 3 ; 9 ; 15 ; ... cm và vị trí của bụng sóng cho bởi các tọa độ $x = 0$; 6 ; 12 ; 18 ; ...cm.

b) Vị trí của nút $x = 0$; 6 ; 12 ; 18... cm.

Vị trí của bụng $x = 3$; 9 ; 15... cm.

9-10. $\lambda = 0,1\text{m}$.

9-11. $u = 336\text{m/s}$.

9-12. $n = u_1/u_2 = 0,067$.

9-13. Biên độ áp suất âm tăng 31,6 lần.

Theo định nghĩa, mức áp suất âm L bằng :

$$L = 20 \log p/p_0 ;$$

do đó
$$\Delta L = L_2 - L_1 = 20 \log p_2 / p_1,$$

Rút ra $p_2/p_1 = 31,6.$

9-14. $\lambda = 0,78\text{m}.$

9-15. 1db.

9-16. $4,66.10^4\text{Hz}.$

Ứng dụng biểu thức của hiệu ứng Dopple vào trường hợp con dơi nhận được âm phản xạ từ bức tường. Trường hợp này, có thể xem như máy thu và nguồn chuyển động lại gần nhau cùng với vận tốc 6m/s. Vì âm do dơi phát ra, lại do chính dơi thu, do đó : xem như máy phát và máy thu đều chuyển động cùng vận tốc và đi lại gần nhau.

$$v' = \frac{v + u}{v - u} \cdot v ; v = \frac{v - u}{v + u} \cdot v'.$$

9-17. 610Hz.

9-18. a) Thấy âm trầm xuống đột ngột.

b) 10%.

9-19. 4 lần.

Khi viên đạn lại gần với $u = 200\text{m/s}$, ta có

$$v_1 = \frac{v}{v - 4} v_0 = 2,5v_0.$$

Khi viên đạn đi xa với $u = -200\text{m/s}$; ta có

$$v_2 = 0,625v_0.$$

Do đó tần số âm thay đổi $v_1/v_2 = 4$ lần.

10-20. $\lambda = 2500\text{m}.$

10-21. $\varepsilon = 6.$

PHỤ LỤC

1. Đơn vị điện từ SI

Đại lượng	Kí hiệu	Tên đơn vị	Kí hiệu
Cường độ dòng điện	I, i	ampe	A
Mật độ dòng điện	J, j	ampe trên mét vuông	A/m^2
Điện tích, điện lượng	Q, q	culông	C
Hiệu điện thế	$U, V_A - V_B$	vôn	V
Cường độ điện trường	E	vôn trên mét	V/m
Cảm ứng điện	D	culông trên mét vuông	C/m^2
Điện thông	Φ_e	culông	C
Điện dung	C	fara	F
Hằng số điện môi tuyệt đối của chân không	ϵ_0	fara trên mét	F/m
Suất điện động	E	vôn	V
Điện trở	R	ôm	Ω
Điện trở suất	ρ	ôm mét	Ωm
Cường độ từ trường	H	ampe trên mét	A/m
Từ thông	Φ_m	vêbe	Wb
Cảm ứng từ	B	tesla	T
Hệ số tự cảm	L	henry	H
Độ từ thẩm tuyệt đối của chân không	μ_0	henry trên mét	H/m

2. Một số hằng số vật lí

Điện tích êlectrôn	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} C$
Khối lượng nghỉ của êlectrôn	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} kg$
Số Faraday	$F = 9,65 \cdot 10^7 C/kg \text{ đương lượng}$
Hằng số điện	$\epsilon_0 = 0,885 \cdot 10^{-11} F/m$
Hằng số từ	$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} H/m$

3. Hằng số điện môi

Nước	81	Polyêtylen	2,3
Không khí	1,00058	Mica	7,5
Dầu hoả	2,0	Rượu	26
Parafin	2,0	Thuỷ tinh	$6,0 \div 10$
Dầu biến thế	2,2	Sứ	6,0
Giấy tẩm parafin	3,7	Êbônit	2,7

4. Hằng số điện môi của một số chất khí (ở 18°C)

Nitơ	1,00061	Ôxy	1,00055
Hiđrô	1,00026	Hơi nước	1,0078
Không khí	1,00058	Khí cacbôníc	1,00097
Hêli	1,00007		

5. Điện trở suất và hệ số nhiệt độ của điện trở suất (ở 20°C)

Chất	Điện trở suất (Ωm)	Hệ số nhiệt độ của điện trở suất ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Nhôm	$2,8 \cdot 10^{-8}$	0,0038
Vônfram	$5,5 \cdot 10^{-8}$	0,0051
Graphit	$8,0 \cdot 10^{-6}$	
Sắt	$9,8 \cdot 10^{-8}$	0,0062
Constantan	$4,8 \cdot 10^{-7}$	0,00002
Đồng	$1,72 \cdot 10^{-8}$	0,0043
Nikelin	$4 \cdot 10^{-7}$	0,000017
Nicrôm	$0,98 \cdot 10^{-8}$	0,00026
Thuỷ ngân	$9,58 \cdot 10^{-7}$	0,0009
Chì	$2,1 \cdot 10^{-7}$	0,0042
Thép	$1,2 \cdot 10^{-7}$	0,006
Than	$4 \cdot 10^{-8}$	-0,0008

MỤC LỤC

	Trang đầu bài	Trang đáp số
A. ĐIỆN HỌC	3	
<i>Chương 1. Trường tĩnh điện</i>	3	95
Tóm tắt công thức	3	
Bài tập tự giải	10	
<i>Chương 2. Vật dẫn – Tụ điện</i>	16	108
Tóm tắt công thức	16	
Bài tập tự giải	23	
<i>Chương 3. Điện môi</i>	26	113
Tóm tắt công thức	26	
Bài tập tự giải	29	
<i>Chương 4. Từ trường</i>	31	115
Tóm tắt công thức	31	
Bài tập tự giải	41	
<i>Chương 5. Hiện tượng cảm ứng điện từ</i>	50	130
Tóm tắt công thức	50	
Bài tập tự giải	53	
<i>Chương 6. Các tính chất từ của các chất</i>	58	136
Tóm tắt công thức	58	
Bài tập tự giải	60	
<i>Chương 7. Trường điện từ</i>	62	138
Tóm tắt công thức	62	
Bài tập tự giải	66	
B. DAO ĐỘNG VÀ SÓNG	69	
<i>Chương 8. Dao động</i>	69	140
Tóm tắt công thức	69	
Bài tập tự giải	80	
<i>Chương 9 và 10. Sóng cơ và sóng điện từ</i>	85	150
Tóm tắt công thức	85	
Bài tập tự giải	92	
PHỤ LỤC	152	

