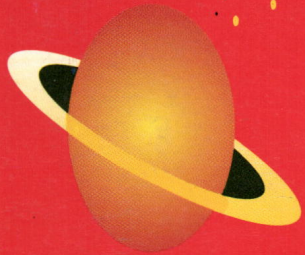


PGS-TS VŨ THANH KHIẾT



Các bài toán
VẬT LÝ CHỌN LỌC
TRUNG HỌC PHỔ THÔNG
ĐIỆN HỌC
QUANG HỌC



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

PGS-TS VŨ THANH KHIẾT

Các bài toán
VẬT LÝ CHỌN LỌC

TRUNG HỌC PHỔ THÔNG
ĐIỆN HỌC
QUANG HỌC

(Tái bản lần thứ tư)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

PHẦN MỘT

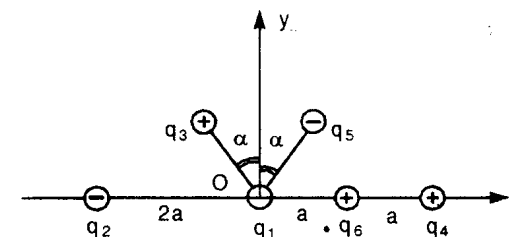
ĐIỆN HỌC

I. TÍNH ĐIỆN HỌC

A. ĐỀ BÀI TẬP

- 1.1** Hai quả cầu kim loại nhỏ A và B có cùng khối lượng riêng D có bán kính lần lượt r và $2r$, được treo vào cùng một điểm O bằng hai sợi dây mảnh cách điện không giãn (có khối lượng không đáng kể) có cùng chiều dài l . Ban đầu hai quả cầu cân bằng, tích điện cho hai quả cầu điện tích $3q$, chúng đẩy nhau. Hãy tính góc lệch của các dây treo so với phương thẳng đứng. Giả thiết góc lệch nhỏ. Cho biết, với cùng một điện thế, điện tích mỗi quả cầu kim loại tỉ lệ thuận với bán kính của nó.

- 1.2** Cho hệ điện tích cố định gồm 6 hạt tích điện bố trí như hình vẽ 1.1, trong đó $a = 4\text{cm}$ và $\alpha = 30^\circ$. Điện tích của 6 hạt có cùng độ lớn $q = 6 \cdot 10^{-6}\text{C}$. Hãy xác định lực tĩnh điện F do các điện tích còn lại tác dụng lên q_1 .



Hình 1.1

- 1.3** Hai quả cầu kim loại nhỏ, hoàn toàn như nhau, được treo vào cùng một điểm O bằng hai sợi dây mảnh cách điện (không giãn, có khối lượng không đáng kể) có cùng chiều dài $l = 20\text{cm}$ mặt ngoài của chúng tiếp xúc nhau. Sau khi truyền cho

một trong hai quả cầu đó một điện tích $q_0 = 4.10^{-7}C$ chúng đẩy nhau, và góc giữa hai dây treo bằng 60° .

1) Tìm khối lượng của mỗi quả cầu?

2) Khi nhúng hệ thống vào dầu hỏa, người ta thấy góc giữa hai dây treo quả cầu bây giờ chỉ bằng 54° . Hãy tìm khối lượng riêng D_1 của chất làm quả cầu.

3) Muốn cho góc giữa hai dây treo trong không khí và trong dầu hỏa là như nhau thì khối lượng riêng của chất làm quả cầu phải bằng bao nhiêu?

1.4 Một thanh cách điện dài $l = 40cm$, được treo nằm ngang tại trung điểm O của nó bằng một sợi dây bạc có hằng số xoắn $C=3.10^{-8} N.m/rad$; ở một đầu thanh có gắn một viên bi kim loại nhỏ A. Dịch chuyển điểm treo để đưa thanh lại gần viên bi nhỏ B đặt cố định, sao cho viên bi A tiếp xúc với viên bi B ở vị trí cân bằng và sợi dây bạc không bị xoắn. Truyền cho B một điện tích q , đồng thời quay (xoắn) đầu trên của sợi dây bạc một góc $\alpha_1 = 90^\circ$ theo chiều làm cho A lại gần B, người ta thấy khi thanh nằm cân bằng thì khoảng cách góc giữa A và B là $\alpha_2 = \widehat{AOB} = 60^\circ$. Hãy tìm độ lớn của điện tích q đã truyền cho viên bi B. Cho biết khi dây bạc bị xoắn một góc α thì có momen xoắn $M = C\alpha$ tác dụng lên thanh.

1.5 Hai quả cầu nhỏ khối lượng m, M mang điện tích $-q$ và $+Q$ tương ứng ($|Q| > |q|$). Ban đầu hai quả cầu cách nhau một khoảng bằng l , được đặt trong một điện trường $\vec{E}$ sao cho vectơ $\vec{E}$ có hướng từ m đến M . Hãy tìm gia tốc chuyển động giữa các quả cầu và cường độ điện trường $\vec{E}$, biết rằng khoảng cách giữa hai quả cầu luôn luôn không đổi. Bỏ qua tác dụng của trọng lực.

1.6 Ở hai đầu một thanh nhẹ cách điện (khối lượng của thanh không đáng kể) có gắn hai viên bi nhỏ A và B, có khối lượng m_1, m_2 và mang điện tích q_1, q_2 tương ứng. Thanh có thể quay

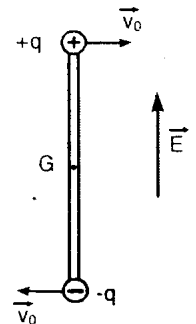
không ma sát xung quanh một trục nằm ngang vuông góc với thanh. trục quay cách viên bi A và B các khoảng cách l_1, l_2 tương ứng. Hệ thống được đặt trong điện trường đều $\vec{E}$ có phương thẳng đứng, hướng từ dưới lên trên. Ban đầu người ta giữ cho thanh nằm ngang, rồi sau đó buông ra không vận tốc đầu.

1) Muốn cho thanh vẫn nằm cân bằng ở vị trí nằm ngang thì cường độ điện trường $\vec{E}_0$ phải có độ lớn bằng bao nhiêu?

2) Giả sử cường độ điện trường có độ lớn bằng $\frac{E_0}{2}$, tính vận tốc của viên bi B khi thanh đi qua vị trí thẳng đứng.

Cho biết thế năng (điện) của điện tích q đặt tại điểm có điện thế V có độ lớn bằng qV .

1.7 Hai quả cầu kim loại nhỏ có cùng bán kính và cùng khối lượng $m = 5g$ được gắn vào hai đầu một thanh điện môi cứng, mảnh (khối lượng không đáng kể), dài $l = 10m$. Tích điện cho hai quả cầu để chúng có điện tích $q_1 = q = 10^{-7} C$ và $q_2 = -q$, rồi đặt chúng vào trong một điện trường đều $\vec{E}$ có cường độ $E = 10^4 V/m$ và có chiều hướng từ điện tích $-q$ sang $+q$ (H.1.2). Người ta truyền đồng thời cho hai quả cầu cùng vận tốc $v_0 = 10m/s$ có chiều như trên hình vẽ. Hỏi khi đó thanh quay đi được một góc bằng bao nhiêu?

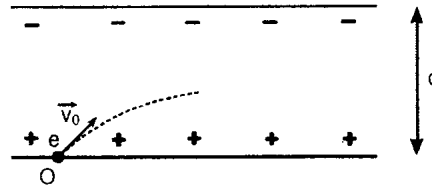


Hình 1.2

1.8 Tại các đỉnh của đa giác đều có $n = 2001$ cạnh (độ dài mỗi cạnh $a = 1cm$), có gắn các quả cầu nhỏ có cùng điện tích q . Ban đầu một trong n quả cầu đó được giải phóng khỏi đa giác; sau một thời gian đủ lớn, quả cầu bên cạnh lại được giải phóng khỏi đa giác. Khi đã đi ra rất xa đa giác (ở vô cực) người ta thấy động năng của quả cầu sau nhỏ hơn động năng

của quả cầu dầu một lượng bằng $\Delta E = 0,009\text{J}$. Tìm độ lớn của điện tích q ?

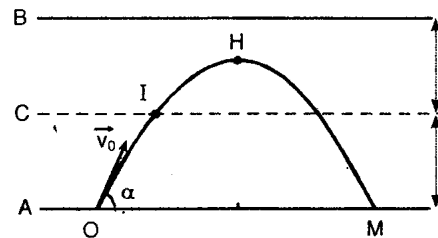
- 1.9 Một electron có vận tốc ban đầu $\vec{v}_0$ bay vào khoảng không gian giữa hai tấm kim loại phẳng rộng vô hạn tích điện trái dấu qua một lỗ nhỏ ở O, tấm tích điện dương; vận tốc $\vec{v}_0$ hợp với tấm kim loại một góc α (H.1.3). Khoảng cách giữa hai tấm kim loại là d và hiệu điện thế giữa hai tấm là U . Bỏ qua tác dụng của trọng lực lên electron.



Hình 1.3

- 1) Tìm phương trình quỹ đạo của electron.
- 2) Tính khoảng cách gần nhất từ electron tới tấm tích điện âm.

- 1.10 Trong khoảng giữa hai tấm kim loại phẳng, rộng vô hạn A và B đặt nằm ngang song song, cách nhau $2l$ có tồn tại một điện trường $\vec{E}$ với đặc điểm là: trong khoảng AC (C là mặt phẳng song song với A, cách A một khoảng l), điện trường là đều và cường độ của điện trường trong khoảng BC lớn gấp đôi cường độ của điện trường trong khoảng AC. Một electron đi vào điện trường đó qua một lỗ nhỏ O ở tấm A, với vận tốc ban đầu là $\vec{v}_0$ hợp với tấm A



Hình 1.4

- góc α . Cho biết khoảng cách nhỏ nhất cách B mà electron đạt tới bằng $\frac{l}{2}$.
Hãy tính tầm bay xa của electron trên tấm A.

- 1.11 Giữa hai tấm kim loại phẳng rộng vô hạn đặt nằm ngang, cách nhau $d = 1\text{cm}$, có một hạt bụi mang điện, khối lượng $m = 5 \cdot 10^{-11}\text{g}$. Biết rằng khi không có tác dụng của điện trường do

sức cản của không khí, hạt bụi rơi với vận tốc không đổi bằng v_1 . Đặt vào hai tấm kim loại một hiệu điện thế $U = 600\text{V}$, người ta thấy hạt bụi rơi chậm đi với vận tốc không đổi $v_2 = \frac{v_1}{2}$.

- 1) Tính điện tích hạt bụi.

2) Bây giờ người ta đặt hai tấm kim loại đó thẳng đứng, cách nhau $d_1 = 2\text{cm}$ và nối chúng với một nguồn hiệu điện thế $U = 100\text{V}$. Hạt bụi nói trên bắt đầu rơi từ một vị trí cách đều hai tấm kim loại đó. Do sức cản của không khí, hạt bụi rơi đều với vận tốc không đổi theo phương thẳng đứng bằng $v_1 = 2\text{cm/s}$. Hỏi trong thời gian bao lâu hạt bụi đập vào một trong hai tấm kim loại đó? Lấy $g = 10\text{m/s}^2$.

- 1.12 Hai tấm kim loại phẳng rộng vô hạn, đặt song song với nhau, cách nhau $d = 1\text{cm}$, được tích điện đều với mật độ điện tích mặt $\sigma_1 = 0,2 \mu\text{C/m}^2$ và $\sigma_2 = 5 \cdot 10^{-8} \mu\text{C/m}^2$.

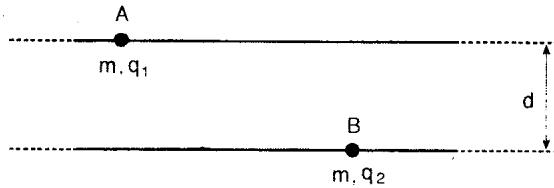
- 1) Tính hiệu điện thế giữa hai mặt.

2) Một electron bay dọc theo đường sức điện trường từ tấm có mật độ σ_2 đến tấm có mật độ σ_1 với vận tốc ban đầu bằng không. Tìm vận tốc của electron khi nó vừa đến tấm có mật độ σ_1 . Bỏ qua ảnh hưởng của trọng trường.

Cho biết: Một mặt phẳng vô hạn mang điện tích phân bố đều với mật độ điện mặt σ gây ra ở khoảng không gian hai bên nó một điện trường đều $\vec{E}$ có phương vuông góc với mặt phẳng, có chiều hướng ra xa mặt phẳng nếu $\sigma > 0$ (và ngược lại, có chiều hướng về phía mặt phẳng nếu $\sigma < 0$) và có cường độ $E = 2\pi k \sigma = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ (với $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ đơn vị SI).

- 1.13 Hai sợi dây tơ mảnh, dài, được căng song song với nhau trên cùng một mặt phẳng nằm ngang, cách nhau một khoảng d . Hai viên bi A và B, có cùng khối lượng m , mang điện tích q_1, q_2 , được luồn vào hai dây đó. (H.1.5). Ban đầu viên bi B đứng

yên, còn viên bi A được phóng đi với vận tốc v_0 , từ xa về phía viên bi B. Tìm độ lớn v_0 để cho viên bi A vượt qua viên bi B. Bỏ qua ma sát.



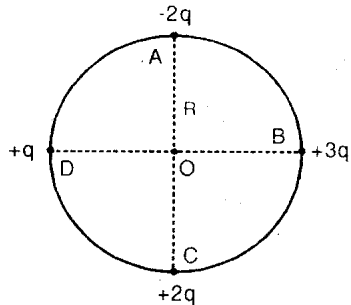
Hình 1.5

1.14 Một quả cầu kim loại mang điện tích $Q = 3.10^{-8}C$.

1) Tính công cần thực hiện để di chuyển một viên bi kim loại nhỏ khối lượng $m = 1g$ mang điện tích $q = 10^{-8}C$ từ điểm A cách tâm O của quả cầu kim loại một khoảng $r_A = 1cm$ đến điểm B cách O một khoảng $r_B = 0,5cm$.

2) Bây giờ người ta bắn viên bi đi với vận tốc ban đầu $v_0 = 1m/s$ hướng đến O. Hỏi quả cầu kim loại cần có bán kính nhỏ nhất R_{min} bao nhiêu để viên bi có thể tới chạm vào mặt quả cầu kim loại? Bỏ qua ảnh hưởng của trọng lực.

1.15 Cho hệ điện tích như trên hình 1.6.



Hình 1.6

1) Xác định vectơ cường độ điện trường do hệ tạo ra tại tâm O của đường tròn có bán kính R.

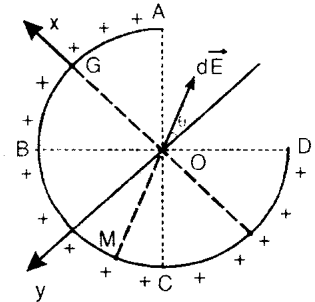
2) Tính thế năng tương tác của hệ điện tích.

3) Tính công cần thực hiện để dịch chuyển điện tích $+3q$ của hệ ra xa vô cực.

1.16 Một thanh nhựa mảnh, mang điện tích $q = 5.10^{-8}C$ phân bố đều, được uốn thành một cung tròn 270° ($3/4$ đường tròn) tâm O, bán kính $r = 10cm$. (H.1.7)

1) Xác định vectơ cường độ điện trường và điện thế tại tâm O.

2) Người ta ghép thêm một thanh nhựa khác uốn thành cung tròn có cùng bán kính $r = 10cm$ vào phần AD để tạo thành một đường tròn khép kín. Phần AD mang điện tích $-q = 5.10^{-8}C$, phân bố đều. Tính công cần thực hiện để dịch chuyển một điện tích $Q = -3.10^{-6}C$ từ xa vô cực về điểm O.



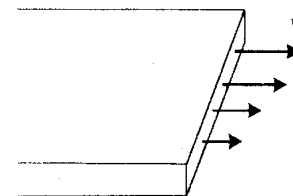
Hình 1.7

1.17 Một quả cầu khối lượng m , tích điện q được bắn lên theo phương thẳng đứng trong một điện trường đều $\vec{E}$ nằm ngang với vận tốc ban đầu $\vec{v}_0$.

1) Xác định phương của vectơ gia tốc và vận tốc quả cầu.

2) Tính giá trị cực tiểu của vận tốc quả cầu.

1.18 Một chùm electron rộng, mỏng bay ra từ một khe hẹp có bề dày d , với vận tốc $v = 10^5 m/s$ (H.1.8).

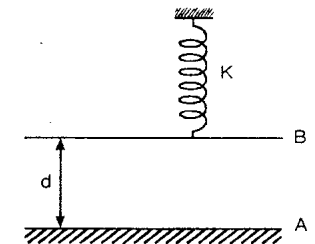


Hình 1.8

Mật độ electron trong chùm là $n = 10^{10}$ hạt/ m^3 . Hỏi ở cách khe một khoảng l bằng bao nhiêu thì bề dày chùm electron tăng lên gấp đôi?

1.19 Tụ điện phẳng có bản A cố định, bản B được treo vào một đầu lò xo, đầu kia của lò xo cố định như hình vẽ (H.1.9).

Khoảng cách giữa hai bản A, B lúc tụ chưa tích điện là d , điện tích của mỗi bản tụ là S . Tụ điện được tích



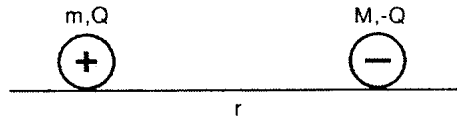
Hình 1.9

điện trong thời gian rất ngắn đến hiệu điện thế U . Tìm độ cứng k của lò xo để bản B không chạm bản A. Bỏ qua sự di chuyển của bản B trong thời gian tích điện cho tụ.

1.20 Ba quả cầu nhỏ tích điện được giữ yên trên một đường thẳng, khoảng cách giữa hai quả cầu cạnh nhau là d , khối lượng các quả cầu là m_1 ; $m_2 = 2m_1$; $m_3 = 5m_1$. Điện tích của chúng lần lượt là q_1 , $q_2 = q_1$; $q_3 = 2q_1$. Người ta thả các quả cầu cho tự do. Hãy tìm vận tốc của mỗi quả cầu sau khi chúng đã dịch chuyển ra rất xa nhau. Bỏ qua tác dụng của trọng lực.

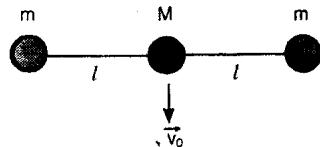
1.21 Trên một mặt phẳng nằm ngang, hệ số ma sát μ có hai quả cầu nhỏ đứng yên, có khối lượng m và M , tích điện trái dấu Q và $-Q$ (H.1.10).

Người ta bắt đầu đẩy chậm chậm quả cầu 1 (khối lượng m) cho chuyển động về phía quả cầu kia cho đến khi tự quả cầu 1 chuyển động tiếp được thì thôi. Đến lúc quả cầu 2 (khối lượng M) dịch chuyển thì người ta lấy đi nhanh các điện tích. Hỏi khối lượng hai quả cầu phải thỏa điều kiện nào để chúng có thể chạm được vào nhau sau khi đã tiếp tục chuyển động? Bỏ qua kích thước của hai quả cầu.



Hình 1.10

1.22 Ba quả cầu nhỏ, khối lượng lần lượt là m , M và m mang điện tích giống nhau Q .



Hình 1.11

Quả cầu giữa (khối lượng M) nối với các quả cầu kia bằng các dây mảnh, cách điện có cùng chiều dài l . Hệ thống trên được đặt trên một mặt bàn nhẵn nằm ngang (H.1.11). Quả cầu giữa được

truyền vận tốc $\vec{v}_0$ theo hướng vuông góc với dây.

1) Khoảng cách giữa các quả cầu thay đổi như thế nào trong quá trình chuyển động?

2) Tính vận tốc của quả cầu M ở thời điểm cả ba quả cầu lại thẳng hàng. Bỏ qua ma sát.

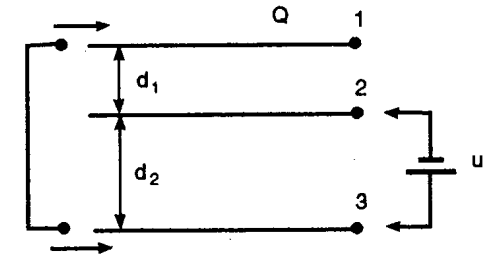
1.23 Ba bản kim loại phẳng giống nhau có cùng diện tích S đặt song song và cách nhau các khoảng d_1 và d_2 (H.1.12). Lúc ban đầu bản 1 mang điện tích Q , còn bản 2 và bản 3 không mang điện.

Sau đó bản 2 và 3 được nối với nguồn có hiệu điện thế U , bản 1 và 3 nối với nhau bằng một dây dẫn.

Tính độ lớn điện tích được thiết lập trong các bản.

1.24 1) Một electron bị bật ra khỏi một mặt cầu kim loại bán kính R mang điện tích $-Q$. Khi electron đã ra xa mặt cầu, vận tốc của nó bằng v . Tính vận tốc v_0 của electron lúc vừa thoát khỏi mặt cầu.

2) Bây giờ mặt cầu nói trên mang điện tích q_1 , được bao quanh bằng một lưới kim loại bán kính r mang điện tích q_2 , đặt đồng tâm với mặt cầu. Một viên bi nhỏ khối lượng m , mang điện tích $+q$ bay ra khỏi mặt cầu. Sau khi qua lưới nó bay ra xa vô cùng. Vận tốc viên bi lúc ở gần mặt cầu rất nhỏ. Tính vận tốc của viên bi khi nó đã ở rất xa mặt cầu.

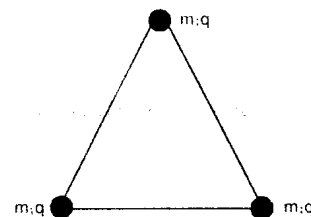


Hình 1.12

1.25 Ba quả cầu cùng khối lượng m , tích điện cùng dấu, đều bằng q , được nối với nhau bằng ba sợi dây dài l , không giãn, không khối lượng, không dẫn điện. Hệ được đặt trên mặt phẳng ngang, nhẵn. Người ta đốt một trong ba sợi dây đó (H.1.13).

1) Xác định vận tốc cực đại $v_{\max}$ của các quả cầu trong quá trình chuyển động.

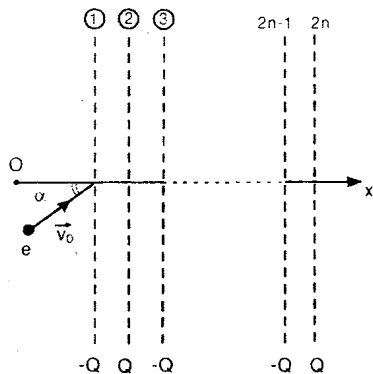
2) Mô tả chuyển động của các quả cầu sau khi đã đạt được $v_{\max}$.



Hình 1.13

1.26 Hai quả cầu kim loại giống nhau, có cùng bán kính $r = 1\text{cm}$, cùng khối lượng $m = 4\text{g}$, được treo vào hai sợi dây mảnh cách điện, không giãn (khối lượng không đáng kể) vào cùng điểm treo O. Khoảng cách từ O đến tâm quả cầu là $l = 10\text{cm}$. Ban đầu hai quả cầu tiếp xúc với nhau. Sau khi truyền điện tích cho các quả cầu, chúng đẩy nhau và dây treo lệch khỏi phương thẳng đứng, khi đó lực căng của dây treo là $T = 4,9 \cdot 10^{-2}\text{N}$. Tính điện thế của các quả cầu khi đó. Lấy $g = 9,8\text{m/s}^2$.

1.27 Một hệ thống gồm $2n$ lưới kim loại giống nhau được đặt song song với nhau; khoảng cách giữa hai lưới kế nhau bằng d (d rất nhỏ so với kích thước của mỗi lưới, diện tích của mỗi lưới bằng S (H.1.14). Các lưới được tích điện lần lượt là $-Q; Q; -Q; \dots; Q$. Một electron chui vào hệ thống từ tấm lưới 1 với vận tốc ban đầu là v_0 theo phương hợp với pháp tuyến Ox của lưới một góc α . Hãy xác định độ lớn và hướng vận tốc của electron khi ra khỏi hệ thống. Bỏ qua tác dụng của trọng lực.



Hình 1.14

1.28 Một quả cầu nhỏ mang điện được gắn vào đầu A một thanh nhẹ AB (khối lượng không đáng kể), cách điện, dài $l = 1\text{m}$, trong một điện trường đều $\vec{E}$ có phương nằm ngang; thanh có

thể quay không ma sát xung quanh một trục nằm ngang gắn vào đầu B và vuông góc với AB; thanh lệch góc $\alpha_0 = 60^\circ$ so với phương thẳng đứng. Sau đó đổi đột ngột hướng của $\vec{E}$ để $\vec{E}$ có hướng ngược lại (vẫn giữ nguyên độ lớn). Khi thanh xuống tới vị trí lệch góc $\alpha = 30^\circ$ thì quả cầu tới và chạm đàn hồi vào một cọc cố định thẳng đứng; ngay trước và chạm đó, điện trường $\vec{E}$ bị ngắt. Hỏi sau va chạm quả cầu nảy lên đến độ cao bao nhiêu?

1.29 Cho một tụ điện cầu, bán kính hai bản là $R_1 = 1\text{cm}$, và $R_2 = 3\text{cm}$, hiệu điện thế giữa hai bản là $U_0 = 450\text{V}$, bên trong tích điện dương.

1) Tính cường độ điện trường tại điểm cách tâm O của hai bản là $1,5\text{cm}$.

2) Một electron chuyển động với vận tốc ban đầu bằng không dọc theo đường sức điện trường từ vị trí cách tâm O một khoảng $r_1 = 2,5\text{m}$. Tìm vận tốc của electron khi nó cách O một khoảng $r_2 = 1,5\text{m}$.

Cho biết: Hệ thức liên hệ giữa cường độ điện trường $\vec{E}$ và điện thế $V(r)$:
$$\vec{E} = -\frac{dV}{dr}.$$

Điện dung của tụ điện cầu:
$$C = \frac{\epsilon R_1 R_2}{k(R_2 - R_1)}.$$

Khoảng cách giữa hai bản là không khí.

1.30 Giữa hai bản của một tụ điện phẳng có một tấm thủy tinh (hằng số điện môi $\epsilon = 6$); diện tích mỗi bản $S = 100\text{cm}^2$. Biết lực hút giữa hai bản bằng $F = 4,9 \cdot 10^{-3}\text{N}$. Tìm mật độ điện tích liên kết (phân cực) σ' trên mặt tấm thủy tinh.

Cho biết: Khi đặt tấm điện môi trong điện trường đều $\vec{E}$, thì trên hai mặt vuông góc với $\vec{E}$ của tấm điện môi đó có xuất hiện điện tích liên kết (phân cực) với mật độ điện mặt là $\sigma' = \epsilon_0(\epsilon - 1)E$, với ϵ là hằng số điện môi của tấm điện môi.

1.31 Một tấm điện môi không đồng nhất có hằng số điện môi ϵ biến thiên dọc theo chiều dài của tấm. Đặt tấm điện môi đó trong điện trường $\vec{E}_0$ có phương dọc theo chiều dài của tấm. Tìm mật độ khối ρ của điện tích phân cực (lượng điện tích chứa trong một đơn vị thể tích) xuất hiện trong tấm đó.

1.32 Hai bản của một tụ điện phẳng là hai tấm kim loại diện tích S , đặt cách nhau một khoảng d , mang điện tích $+q$ và $-q$. Khoảng không gian giữa hai bản là một khối điện môi có hằng số điện môi phụ thuộc vào tọa độ x theo hàm số $\epsilon = \epsilon(x)$ (trục x vuông góc với các bản); ở sát bản dương, hằng số điện môi có trị số ϵ_1 , còn ở sát bản âm nó có trị số $\epsilon_2 > \epsilon_1$.

1) Tìm lượng điện tích phân cực tổng cộng bên trong khối điện môi.

2) Cho biết $\epsilon(x)$ là hàm bậc nhất của x , hãy tìm hiệu điện thế đặt vào tụ điện và điện dung của tụ điện đó.

3) Áp dụng số : $q = 3,2 \cdot 10^{-9} \text{C}$, $\epsilon_1 = 4$; $\epsilon_2 = 10$; $d = 1,8 \text{cm}$;

$S = 100 \text{cm}^2$.

1.33 Một vật dẫn A hình cầu bán kính $R_1 = 3 \text{cm}$, tích điện đến hiệu điện thế $V_1 = 4 \text{V}$, được đặt đồng tâm với một vỏ cầu mỏng B bằng kim loại có bán kính trong $R_2 = 12 \text{cm}$ và bán kính ngoài $R_3 = 12,1 \text{cm}$, vỏ cầu này gồm hai bán cầu ban đầu được úp khít vào nhau và sau đó được tích điện đến hiệu điện thế V_2 . Hỏi điện thế V_2 phải có trị số (dương) tối thiểu bằng bao nhiêu để hai bán cầu có thể tự tách khỏi nhau.

Cho biết:

1) Một phần tử dS bất kì của mặt vật dẫn tích điện sẽ chịu tác dụng của lực điện $d\vec{F} = \frac{\sigma^2}{2\epsilon_0} dS \cdot \vec{n}$ do phần còn lại của vật

dẫn gây ra, với σ là mật độ điện tích mặt tại dS , và $\vec{n}$ là vectơ đơn vị pháp tuyến ngoài của dS .

2) Điện dung của một vỏ cầu kim loại cô lập bán kính R là $C = 4\pi\epsilon_0 R$.

Bỏ qua tác dụng của trọng lực hai bán cầu.

(Trích Đề thi học sinh giỏi quốc gia môn Vật lý năm học 2000 – 2001)

1.34 1) Một quả cầu tâm O , bán kính R , tích điện đều với mật độ điện tích khối ρ . Xác định cường độ điện trường do quả cầu gây ra tại một điểm M cách tâm O một khoảng $OM = r$, trong hai trường hợp : a) $r > R$; và b) $r < R$.

2) Một quả cầu điện môi rắn đồng chất được đặt trong một điện trường đều E . Khi đó quả cầu bị phân cực hoàn toàn (điện tích phân cực xuất hiện ở toàn bộ hai nửa mặt ngoài và trái dấu nhau).

Áp dụng nguyên lý chồng chất điện trường, hãy xác định cường độ điện trường tại tâm O của quả cầu và tại một điểm M bất kì cách tâm O một khoảng $r = OM < R$ (R là bán kính quả cầu).

Cho biết: Số phân tử điện môi có trong một đơn vị thể tích của quả cầu bằng n ; và mỗi phân tử điện môi được xem như một lưỡng cực điện (là một hệ gồm 2 điện tích $+q$ và $-q$, cách nhau một khoảng không đổi l).

1.35 Giữa hai mặt trụ kim loại dài đặt đồng trục, bán kính tương ứng là $R_1 = 2 \text{cm}$ và $R_3 = 2,5 \text{cm}$ có hai lớp điện môi hình trụ đặt sát nhau và đồng trục. Lớp điện môi thứ nhất là giấy (hằng số điện môi $\epsilon_1 = 4$) có mặt trong sát với mặt trụ kim loại trong và có bán kính mặt ngoài bằng $R_2 = 2,3 \text{cm}$. Lớp điện môi thứ hai là thủy tinh ($\epsilon_2 = 7$) có mặt trong sát với lớp điện môi thứ nhất và có mặt ngoài sát với mặt trụ kim loại ngoài. Hỏi hiệu điện thế đặt vào hai mặt trụ kim loại có trị số bằng bao nhiêu thì bắt đầu có sự "đánh thủng" điện môi. Biết rằng "điện trường đánh thủng": đối với giấy là $E_g = 120 \text{kV/cm}$, đối với thủy tinh là $E_l = 100 \text{kV/cm}$.

B. HƯỚNG DẪN GIẢI VÀ ĐÁP SỐ

1.1 Kí hiệu $\vec{P}_1$, q_1 , $\vec{P}_2$, q_2 lần lượt là trọng lực và diện tích của các quả cầu A và B, và R là khoảng cách giữa chúng khi nằm cân bằng ở vị trí mới (H.1.15). Ta có :

$$P_1 = M_1 g = \frac{4}{3} \pi r^3 Dg ;$$

$$P_2 = M_2 g = \frac{4}{3} \pi (2r)^3 Dg = 8 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 Dg = 8P_1$$

Theo đề bài, với cùng một điện thế, điện tích mỗi quả cầu kim loại tỉ lệ thuận với bán kính của nó, ta có:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{r}{2r} = \frac{1}{2}$$

Biết $q_1 + q_2 = 3q$, tìm được : $q_1 = q$ và $q_2 = 2q$

Lực điện tác dụng lên mỗi quả cầu:

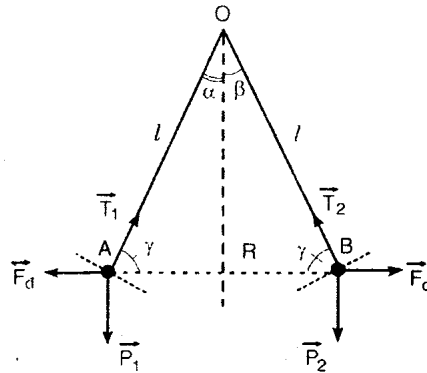
$$F_d = k \frac{q_1 q_2}{R^2} = k \frac{2q^2}{R^2}$$

(với $k = 9 \cdot 10^9$ đơn vị SI)

Điều kiện cân bằng của hai quả cầu ở vị trí mới :

$$\vec{F}_d + \vec{T}_1 + \vec{P}_1 = 0$$

$$\vec{F}_d + \vec{T}_2 + \vec{P}_2 = 0$$



Hình 1.15

Chiếu các phương trình vectơ lên phương vuông góc với dây treo (H.1.15) ta có:

$$8P_1 \sin \alpha = F \sin \gamma \quad (1)$$

$$P_1 \sin \beta = F \sin \gamma \quad (2)$$

Suy ra : $8 \sin \alpha = \sin \beta \rightarrow \beta = 8\alpha$ (3) (vì theo đề bài α , β là nhỏ)

Mặt khác từ hình vẽ (H.1.15)

$$2\gamma = \pi - (\alpha + \beta) \rightarrow \gamma = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha + \beta}{2}$$

$$\rightarrow \sin \gamma = \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \approx 1$$

Từ hình vẽ ta lại có :

$$R = 2l \sin \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right) \approx 2l \cdot \frac{\alpha + \beta}{2} \approx 9\alpha l$$

Do đó từ (1) ta có: $8P\alpha \approx F$

$$8 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 Dg \cdot \frac{R}{9l} = k \frac{2q^2}{R^2}$$

$$\rightarrow R = \frac{3}{2r} \left(\frac{kq^2 l}{2\pi Dg} \right)^{1/3} \quad (5)$$

Từ (3) và (4) và (5) tìm được góc lệch của các dây treo:

$$\alpha = \frac{R}{9l} = \frac{1}{6rl} \left(\frac{kq^2 l}{2\pi Dg} \right)^{1/3}$$

$$\beta = 8\alpha = \frac{4}{3rl} \left(\frac{kq^2 l}{2\pi Dg} \right)^{1/3}$$

1.2 Kí hiệu $\vec{F}_{21}, \vec{F}_{31}, \vec{F}_{41}, \vec{F}_{51}$ và $\vec{F}_{61}$ là lực tĩnh điện do các điện tích còn lại tác dụng lên q_1 , hợp lực $\vec{F}$ tác dụng lên q_1 là:

$$\vec{F} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{41} + \vec{F}_{51} + \vec{F}_{61}$$

Vì q_2 và q_4 có cùng độ lớn, cùng dấu và cách đều q_1 một khoảng $2a$ nên: $|\vec{F}_{21}| = |\vec{F}_{41}|$ và $\vec{F}_{21}$ và $\vec{F}_{41}$ ngược hướng, suy ra

$$\vec{F}_{21} + \vec{F}_{41} = 0.$$

Tương tự, vì q_3, q_5 và q_6 có cùng độ lớn và đều cách q_1 một khoảng $r = a$ nên :

$$F_{31} = F_{51} = F_{61} = k \frac{q^2}{a^2}$$

Ta thấy vectơ $(\vec{F}_{31} + \vec{F}_{51})$ có phương là trục Ox, có chiều ngược với chiều của $\vec{F}_{61}$ và có độ lớn:

$$\begin{aligned} F_{31x} &= F_{31} \cos(90^\circ - \alpha) \\ F_{51x} &= F_{51} \cos(90^\circ - \alpha) \\ \Rightarrow F_{31x} + F_{51x} &= (F_{31} + F_{51}) \cos 60^\circ \\ &= 2k \frac{q^2}{a^2} \cdot \frac{1}{2} \\ &= k \frac{q^2}{a^2} \end{aligned}$$

Như vậy $\vec{F}$ có độ lớn :

$$F = F_{61} - F_{31x} - F_{51x} = 0$$

Vậy: Lực tĩnh điện $\vec{F}$ do các điện tích còn lại tác dụng lên q_1 bằng không.

1.3 1) Mỗi quả cầu có điện tích $q = \frac{q_0}{2}$ và chịu tác dụng của các lực: trọng lực $\vec{P}_1$, lực căng $\vec{T}$ của dây treo và lực đẩy Coulomb $\vec{F}_d$. Vì quả cầu nằm cân bằng nên ta có:

$$\vec{P}_1 + \vec{T} + \vec{F}_d = 0$$

Góc lệch α_1 của dây treo so với phương thẳng đứng :

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{F_d}{P_1} = \frac{kq^2}{r^2 P_1} \text{ với } r = 2l \sin \alpha_1$$

$$\rightarrow \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{kq^2}{4l^2 mg \sin^2 \alpha_1 \cdot \varepsilon_1} \text{ với } \varepsilon_1 = 1 \text{ (không khí)}$$

$$\rightarrow m = \frac{kq^2}{4l^2 g \sin^2 \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_1}$$

$$\text{Thay số: } \sin 30^\circ = \frac{1}{2}, \operatorname{tg} 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}, k \approx 9.0 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

Ta được: $m \approx 15,7 \text{g}$

2) Đối với quả cầu đặt trong không khí trọng lực của mỗi quả cầu là:

$$P_1 = mg = D_1 V g = \frac{kq^2}{4l^2 \sin^2 \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_1 \varepsilon_1} \quad (1)$$

Với $\varepsilon_1 = 1$, khi nhúng vào dầu hỏa, mỗi quả cầu chịu thêm lực đẩy Archimede: $P_2 = D_2 V g$, với V là thể tích quả cầu.

Trong đó:

D_1 là khối lượng riêng của chất làm quả cầu

D_2 là khối lượng riêng của dầu hỏa

Do đó đối với trường hợp nhúng trong dầu hỏa, tương tự như (1) ta có :

$$P_1 - P_2 = \frac{kq^2}{4l^2 \sin^2 \alpha_2 \operatorname{tg} \alpha_2 \varepsilon_2} \quad (2)$$

Và theo đề bài, $2\alpha_2 = 54^\circ$

Từ (1) và (2) suy ra:

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1} = \frac{D_1 - D_2}{D_1} = \frac{\varepsilon_1 \sin^2 \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_1}{\varepsilon_2 \sin^2 \alpha_2 \operatorname{tg} \alpha_2} \quad (3)$$

Thay số ta được: $D_1 = 2550 \text{ kg/m}^3$

3) Muốn cho $\alpha_1 = \alpha_2$ theo (3) ta phải có:

$$D_1 = D_2 \cdot \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} = 2D_2 = 1600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

1.4 Khi thanh cách điện nằm cân bằng ở vị trí mới ta có (H.1.16):

Momen của lực tĩnh điện $\vec{F}_{BA}$ = momen xoắn (của dây bạc tác dụng lên thanh) M, với: $M = C\alpha$;

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 60^\circ + 90^\circ = 150^\circ = \frac{5\pi}{6}$$

Lực điện tác dụng lên mỗi viên bi là:

$$F_{BA} = \frac{k\left(\frac{q}{2}\right)^2}{AB^2}$$

(mỗi viên bi có điện tích bằng $\frac{q}{2}$)

Do đó ta có:

$$\frac{kq^2}{4AB^2} \cdot OH = C \cdot \frac{5\pi}{6}$$

Thay số: $AB = OA = \frac{l}{2} = 0,2m$ (vì tam giác OAB đều);

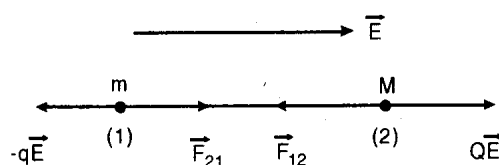
$$OH = OA \cdot \cos \frac{\alpha_2}{2} = 0,2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,1732m; C = 3 \cdot 10^{-8} \frac{Nm}{rad}$$

Suy ra $q \approx 1,96 \cdot 10^{-9}C$

1.5 Trên H.1.17 có vẽ các lực tác dụng lên mỗi quả cầu với:

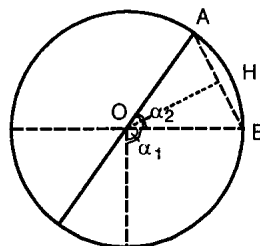
$$|Q| > |q| \quad Q > q.$$

Khi đó hai quả cầu sẽ chuyển động theo hướng của điện trường $\vec{E}$ với gia tốc a.



Hình 1.17

Áp dụng định luật II Newton với: $F_{12} = F_{21} = \frac{kqQ}{l^2}$, ta có:



Hình 1.16

$$a = \frac{F_1}{M} = \frac{F_2}{m} \rightarrow a = \frac{1}{M} (QE - \frac{kqQ}{l^2}) = \frac{1}{m} \left(\frac{kqQ}{l^2} - qE \right)$$

Từ đó rút ra:

$$E = \frac{kqQ(M+m)}{(Mq+mQ)l^2} \quad \text{và} \quad a = \frac{k(Q-q)qQ}{(Mq+mQ)l^2}$$

1.6 1) Mỗi viên bi chịu tác dụng của hai lực: trọng lực và lực điện trường (không cần xét đến lực tương tác Coulomb giữa 2 viên bi vì chúng đã được gắn chặt vào thanh).

Hợp lực tác dụng lên A và B có độ lớn tương ứng là:

$$F_1 = m_1g - q_1E; F_2 = m_2g - q_2E.$$

Muốn cho thanh vẫn nằm cân bằng ở vị trí nằm ngang sau khi buông ra ta phải có tổng momen lực tác dụng lên nó bằng không, nghĩa là phải có:

$$F_1l_1 = F_2l_2 \quad (1)$$

Từ đó suy ra: $(m_1g - q_1E_0)l_1 = (m_2g - q_2E_0)l_2$

$$\rightarrow E_0 = \frac{(m_1l_1 - m_2l_2)}{q_1l_1 - q_2l_2} g \quad (2)$$

2) Cường độ điện trường bây giờ là $E = \frac{E_0}{2}$, do đó điều kiện

(1) không được thỏa mãn và thanh sẽ quay quanh trục.

Kí hiệu v_2 là vận tốc của viên bi B khi thanh đi qua vị trí thẳng đứng, khi đó viên bi A có vận tốc $v_1 = \frac{v_2l_1}{l_2}$ (3). Kí hiệu

V_0, V_1, V_2 là điện thế của điện trường tại trục quay, tại vị trí của A và B khi thanh thẳng đứng, ta có (vì điện trường là đều):

$$V_0 - V_1 = El_1; V_2 - V_0 = El_2 \quad (4)$$

Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng cho hai vị trí của thanh (nằm ngang và thẳng đứng) ta có:

$$q_1 V_0 + q_2 V_0 + W_{12} =$$

$$= q_1 V_1 + q_2 V_2 + m_1 g l_1 - m_2 g l_2 + \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} + W_{12} \quad (5)$$

Trong đó W_{12} là thế năng tương tác tĩnh điện của A và B, ở đây giả thiết viên bi A nằm phía trên khi thanh thẳng đứng và chọn mốc thế năng trọng trường tại vị trí thanh nằm ngang.

Thay (2), (3), (4) vào (5), rút ra (chú ý là $E = \frac{E_0}{2}$):

$$v_2 = l_2 \sqrt{\frac{m_2 l_2 - m_1 l_1}{m_1 l_1^2 + m_2 l_2^2} g}$$

1.7 Xem hệ hai quả cầu và thanh điện môi như một vật rắn. Lực tương tác Coulomb giữa hai điện tích là nội lực, không làm thay đổi vị trí của khối tâm G của hệ. Điện trường tác dụng lên vật rắn đó là một ngẫu lực $F = qE$, ngẫu lực này chỉ làm cho vật rắn quay xung quanh khối tâm G. Công A của ngẫu lực này bằng độ biến thiên động năng của mỗi vật:

$$A = \Delta E_d \quad (1)$$

Ta có :

$$A = q_1 E d + q_2 E d = 2qEd$$

Với $d = \frac{l}{2}(1 - \cos \alpha)$, α là góc quay của thanh kể từ vị trí ban đầu.

$$\text{Mặt khác : } \Delta E_d = \left(\frac{mV_1^2}{2} - 0 \right) + \left(\frac{mV_2^2}{2} - 0 \right) = 2 \cdot \frac{mV_0^2}{2} = mV_0^2$$

$$\text{Từ đó tìm được : } \cos \alpha = 1 - \frac{mV_0^2}{qEl} = \frac{1}{2} \rightarrow \alpha = 60^\circ$$

1.8 Trước hết cần lưu ý rằng : khi một điện tích q nằm trong điện trường do điện tích Q gây ra, cách Q một khoảng r, thì muốn

di chuyển q ra xa vô cùng điện trường đó cần thực hiện một công $A = q(V - V_\infty) = \frac{kQq}{r}$, mặt khác khi ở xa vô cùng, điện

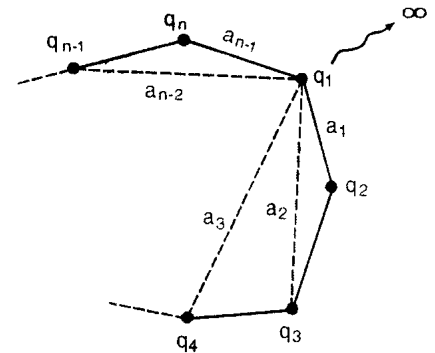
tích q có vận tốc v, do đó theo định luật bảo toàn năng lượng ta có :

$$\frac{mv^2}{2} = k \frac{qQ}{r}$$

Xét hệ điện tích như trên hình vẽ 1.18, với:

$$q_1 = q_2 = \dots = q_{n-1} = q_n = q$$

$$a_1 = a_{n-1} = a$$



Hình 1.18

Giả sử ban đầu điện tích q_1 được giải phóng khỏi đỉnh đa giác ra xa vô cực. Khi đó điện trường do các điện tích còn lại tạo ra tại đỉnh đặt q_1 , thực hiện một công:

$$A = A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1} + A_n$$

với:

$$A_2 = k \frac{q_2}{a_1} \cdot q_1 = \frac{kq^2}{a}$$

$$A_3 = k \frac{q_3}{a_2} \cdot q_1 = \frac{kq^2}{a_2}$$

$$A_{n-1} = k \frac{q_{n-1}}{a_{n-2}} \cdot q_1 = \frac{kq^2}{a_{n-2}}$$

$$A_n = k \frac{q_n}{a_{n-1}} \cdot q_1 = \frac{kq^2}{a_{n-1}}$$

Kí hiệu v_1 là vận tốc của q_1 khi nó ở xa vô cùng. Ta có $A = kq^2 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{a_2} + \dots + \frac{1}{a_{n-1}} \right) = \frac{mv_1^2}{2}$. Sau đó, sau một thời gian đủ lớn, giả sử quả cầu bên cạnh q_2 lại được giải phóng đi

ra xa vô cùng, khoảng cách giữa q_2 và q_3 là $a'_1; \dots a$, giữa q_2 và q_4 là $a'_2 = a$, giữa q_2 và q_n là a'_{n-2} ; không còn ảnh hưởng của q_1 , và các đại lượng $a'_2 = a_2, a'_3 = a_3; \dots; a'_{n-2} = a_{n-2}$.

Tương tự như trên ta có :

$$A' = kq^2 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{a_2} + \dots + \frac{1}{a_{n-1}} \right) = \frac{mv_2^2}{2} \quad (3)$$

Theo đề bài từ (2) và (3) ta có :

$$\Delta E = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = kq^2 \cdot \frac{1}{a_{n-1}} = k \frac{q^2}{a}$$

Từ đó :

$$|q| = \sqrt{\frac{a\Delta E}{k}}, \text{ với } k = 9 \cdot 10^9 \text{ đơn vị SI}$$

$$\rightarrow |q| = 10^{-7} \text{ C}$$

1.9 1) Điện trường trong khoảng giữa hai tấm là điện trường đều có cường độ $E = \frac{U}{d}$.

Xét chuyển động của electron trong hệ tọa độ xOy, trục Ox hướng theo mặt của tấm tích điện dương, còn trục Oy hướng đến tấm tích điện âm, lực điện F tác dụng lên electron có hướng ngược với trục Oy và có cường độ : $F = |-eE| = \frac{eU}{d}$.

Chuyển động của electron gồm hai chuyển động thành phần:

– Chuyển động đều theo phương Ox: $x = (v_0 \cos \alpha)t$; (1)

– Chuyển động chậm dần đều theo phương Oy:

$$y = (v_0 \sin \alpha)t - \frac{at^2}{2}, \quad (2), \text{ với } a = \frac{F}{m} = \frac{eU}{md}.$$

Từ (1) và (2) rút ra phương trình quỹ đạo của electron :

$$y = (\tan \alpha)x - \frac{eU}{2mdv_0^2 \cos^2 \alpha} x^2$$

2) Ta có: $v_y = v_0 \sin \alpha - at$

Quãng đường cực đại $y_{\max}$ mà electron đi được theo phương Oy ứng với $v_y = 0$, suy ra:

$$t = \frac{v_0 \sin \alpha}{a} \rightarrow y_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{a} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha \cdot md}{eU}$$

Khoảng cách gần nhất từ electron đến tấm điện tích âm:

$$x = d - y_{\max} = d \left(1 - \frac{mv_0^2 \sin^2 \alpha}{2eU} \right)$$

Ta thấy nếu $mv_0^2 \sin^2 \alpha = 2eU$ thì electron rơi vào bản tích điện âm.

1.10 Theo đề bài ta thấy tấm A phải tích điện dương và tấm B tích điện âm. Kí hiệu $U_{AC} = U$, ta có $E_{AC} = E_1 = \frac{U}{l}$, và

$E_{CB} = E_2 = 2E_1 = \frac{2U}{l}$. Chọn hệ trục tọa độ xOy có trục Oy

hướng về tấm B. Gia tốc của electron (theo phương Oy) trong khoảng AC và CB có trị số tương ứng bằng:

$$a_1 = \frac{eE_1}{m} = \frac{eU}{ml}; a_2 = \frac{eE_2}{m} = \frac{2eU}{ml} \quad (1)$$

Tại điểm H cách B nhỏ nhất, vận tốc của electron theo phương Oy có trị số bằng 0, nghĩa là :

$$v_{yH} = v_0 \sin \alpha - a_1 t_1 - a_2 t_2 = 0 \quad (2)$$

với t_1, t_2 tương ứng là thời gian electron bay trên phần OI và IH của quỹ đạo ; t_2 được tính từ phương trình:

$$\frac{l}{2} = \frac{a_2}{2} t_2^2 \quad (3)$$

Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng ta có :

$$W_0 = W_H \rightarrow \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} \cos^2 \alpha + eU_{AH}$$

với:

$$U_{AH} = U_{AC} + U_{CH} = U + E_2 \frac{l}{2} = 2U;$$

$$\rightarrow \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} \cos^2 \alpha + 2eU \quad (4)$$

Tầm bay xa $L=OM$ của electron là:

$$L = v_0 \cos \alpha \cdot 2(t_1 + t_2) \quad (5)$$

Từ (1) và (2) và (4) tìm được :

$$a_1 = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{4l}; a_2 = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2l}$$

và

$$t_1 = \frac{2l(2 - \sqrt{2})}{v_0 \sin \alpha}; t_2 = \frac{l\sqrt{2}}{v_0 \sin \alpha}$$

Từ đó

$$L = 2(4 - \sqrt{2})l \cot \alpha$$

1.11 1) Kí hiệu η là hệ số ma sát của không khí, lực cản của không khí tác dụng lên hạt bụi khi nó có vận tốc v là:

$$F_c = 6\pi\eta r v$$

với r là bán kính (kích thước) của hạt bụi.

Khi chưa có tác dụng của điện trường hạt bụi rơi đều, ta có:

$$mg = 6\pi\eta r v_1 \quad (1)$$

Khi có điện trường hạt bụi rơi đều khi :

$$mg - qE = 6\pi\eta r v_2 \quad (2)$$

với $v_2 = \frac{v_1}{2}$. Từ (1) và (2) rút ra :

$$q = \frac{mg}{2E} = \frac{mgd}{U}$$

Vì $E = \frac{U}{d}$. Thay số ta được :

$$q = 4,17 \cdot 10^{-18} C$$

2) Theo đề bài, ta có :

$$mg = kv_1 \quad (3), \text{ với } k = 6\pi\eta r$$

Kí hiệu v_2 là vận tốc hạt bụi theo phương ngang (vuông góc với mặt tấm kim loại). Vì hạt bụi rơi đều ta có :

$$F_d = kv_2 \rightarrow qE = \frac{qU}{d} = kv_2 \quad (4)$$

Từ (3) và (4) ta rút ra :

$$v_2 = \frac{qUv_1}{mgd}$$

Thời gian hạt bụi đập vào tấm kim loại :

$$t = \frac{d}{v_2} = \frac{mgd^2}{2qUv_1} \approx 1,2s$$

1.12 1) Vì $\sigma_1 > \sigma_2$, điện trường trong khoảng giữa hai tấm là điện trường đều E , có phương vuông góc với hai tấm; có chiều hướng từ tấm σ_1 sang tấm σ_2 , và có cường độ :

$$\vec{E} = \vec{E}_{(+)} + \vec{E}_{(-)}$$

$$E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma_{(+)} + \sigma_{(-)}}{2\epsilon_0}$$

Hiệu điện thế giữa hai tấm:

$$U = Ed = \frac{(\sigma_{(+)} - \sigma_{(-)})d}{2\epsilon_0}$$

2) Ta có :

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = eEd, \quad \text{với } v_1 = 0$$

$$\rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

1.13 Viên bi A sẽ vượt qua viên bi B, nếu như tại thời điểm mà 2 viên bi ở ngang nhau, vận tốc v_1 của A chỉ cần lớn hơn một chút so với vận tốc của B.

Để tìm được trị số nhỏ nhất của v_0 , ta áp dụng các định luật bảo toàn động lượng và bảo toàn năng lượng :

$$mv_0 = mv_1 + mv_2 \quad (1)$$

$$\text{và : } \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} + W_{12}, \quad (2)$$

Với W_{12} là thế năng tương tác của hai viên bi :

$$W_{12} = q_1 V_1 = q_2 V_2 = q_1 \frac{kq_2}{d} = q_2 \frac{kq_1}{d} \quad (3)$$

(d là khoảng cách giữa A và B khi chúng ở những vị trí ngang nhau ; V_1 là điện thế tại q_1 do q_2 tạo ra)

Muốn cho A vượt qua B phải có : $v_1 \geq v_2$ (4)

Từ (1), (2), (3), (4) tìm được : $v_0 \geq \sqrt{\frac{2kq_1q_2}{md}}$

1.14 1) Công cần thực hiện:

$$A = -q(V_A - V_B) = q\left(\frac{kQ}{r_B} - \frac{kQ}{r_A}\right) = kqQ\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right)$$

$$\rightarrow A \approx 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

2) Áp dụng định luật bảo toàn cơ năng:

$$\frac{mv_0^2}{2} + qV_1 = \frac{mv^2}{2} + qV_M$$

với v là vận tốc của viên bi tại điểm chạm vào mặt quả cầu mang điện tích Q ; $V_1 = 0$; $V_M = \frac{kQ}{R}$ (R là bán kính của quả cầu M).

Bán kính nhỏ nhất $R_{\min}$ của quả cầu ứng với trị số $v = 0$. Do đó ta có :

$$\frac{mv_0^2}{2} = q \frac{kQ}{R_{\min}} \rightarrow R_{\min} = \frac{2kQq}{mv_0^2} = 5,4 \text{ cm}$$

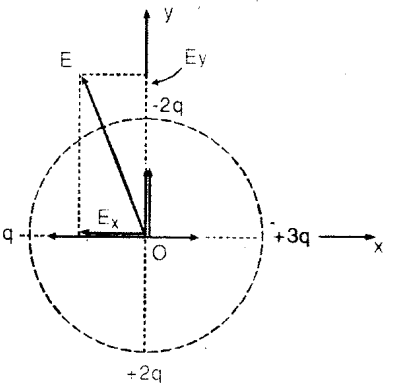
1.15 1) Thành phần của vectơ cường độ điện trường E_0 tại O (H.1.19):

$$E_x = \frac{kq}{R^2} + k\left(\frac{-3q}{R^2}\right) = -2k \frac{q}{R^2};$$

$$E_y = \frac{k(2q)}{R^2} + k\left(\frac{2q}{R^2}\right) = \frac{4kq}{R^2}$$

Vectơ $\vec{E}_0$ hợp với Ox góc θ :

$$\tan \theta = \frac{E_y}{E_x} = 2 \rightarrow \theta = 63^\circ$$



Hình 1.19

$$\text{Độ lớn của } \vec{E}_0 : E_0 = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = 2\sqrt{5} \frac{kq}{R^2}$$

2) Thế năng của hệ : $W = \frac{1}{2}(q_1 V_1 + q_2 V_2 + \dots)$

(Mỗi thế năng của từng cặp điện tích không tính hai lần)

$$\rightarrow W = \frac{k(q)(-2q)}{2R} + \frac{k(q)(3q)}{2R} + \frac{k(q)(+2q)}{\sqrt{2}R} + \frac{k(-2q)(3q)}{\sqrt{2}R} + \frac{k(-2q)(+2q)}{2R} + \frac{k(3q)(2q)}{\sqrt{2}R}$$

$$\rightarrow W = -k \frac{q^2}{2R}$$

3) Công cần thực hiện :

$$A_{(Bx)} = -(+3q)[V_B - V_x] = 3q(V_x - V_B)$$

$$\text{với } V_\infty = 0; V_B = \frac{kq}{2R} + \frac{k(-2q)}{\sqrt{2}R} + \frac{k(+2q)}{\sqrt{2}R} = k \frac{q}{2R}$$

$$\rightarrow A_{(Bx)} = -3k \frac{q^2}{2R} < 0; \text{ chứng tỏ lực điện trường thực hiện}$$

công dương .

1.16 1) Mật độ điện dài λ của thanh (điện tích của mỗi đơn vị độ dài):

$$\lambda = \frac{q}{2\pi r \cdot \frac{3}{4}} = \frac{2q}{3\pi r}$$

Xét đoạn nhỏ dl của thanh tại M, mang điện tích $dq = \lambda dl$, gây ra tại O cường độ điện trường $d\vec{E}$ (H.1.7) có phương MO và chiều theo hướng $\overrightarrow{MO}$ (vì $q > 0$), và có độ lớn :

$$dE = k \frac{\lambda dl}{r^2}$$

Phân tích $d\vec{E}$ làm hai thành phần : $d\vec{E}_x$ và $d\vec{E}_y$. Vì thanh có dạng đối xứng qua trục Oy (H.1.7), nên nếu xét đoạn dl' đối xứng với dl qua trục Oy, thì cường độ điện trường $d\vec{E}$ do đoạn dl' gây ra có thành phần $d\vec{E}'_x$ trực đối với $d\vec{E}_x$, nghĩa là $d\vec{E}_x + d\vec{E}'_x = 0$. Điều đó chứng tỏ cường độ điện trường tổng hợp do thanh gây ra tại O không có thành phần

trên trục Ox. Nói khác đi, vectơ $\vec{E}_0$ nằm trên trục Oy, nghĩa là $\vec{E}_0 = \int d\vec{E}_y$.

$$\text{suy ra : } E_0 = \int dE_y$$

$$\text{Với } dE_y = dE \cos \theta = k \frac{\lambda \cos \theta}{r^2} dl$$

$$\text{vì } l = r\theta; dl = r d\theta, \text{ nên } dE_y = k \frac{\lambda \cos \theta}{r} d\theta$$

$$\text{nên } E_0 = \frac{k\lambda}{r} \int \cos \theta d\theta \quad (1)$$

Từ hình vẽ nhận xét rằng: các đoạn AG và HD của thanh gây ra tại O vectơ cường độ điện trường $\vec{E}_1$ có hướng ngược với chiều dương của Oy, còn đoạn GBCH tạo ra tại O vectơ cường độ điện trường $\vec{E}_2$ hướng theo chiều dương của Oy. Và ta có :

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Theo (1) ta có :

$$E_1 = 2 \frac{k\lambda}{r} \int_0^{45^\circ} \cos \theta d\theta = \frac{k\lambda}{r} \sqrt{2}$$

$$E_2 = 2 \frac{k\lambda}{r} \int_0^{90^\circ} \cos \theta d\theta = 2 \frac{k\lambda}{r}$$

Vì $E_2 > E_1$ nên vectơ $\vec{E}_0$ hướng theo chiều dương của trục Oy và có độ lớn :

$$E_0 = E_2 - E_1 = \frac{k\lambda}{r} \sqrt{2} = \frac{2kq}{3\pi r^2} \sqrt{2}$$

$$\rightarrow E = 1,35.10^1 \text{ V/m}$$

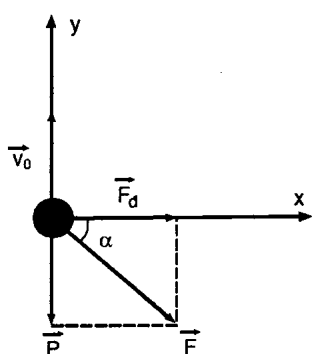
Điện thế do thanh gây ra tại O (đặt $V_\infty = 0$)

$$V_0 = \int k \frac{dq}{r} = \frac{k}{r} \int dq = \frac{kq}{r} = 4,5 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$2) \text{ Bây giờ ta có : } V_0 = \frac{kq}{r} + \frac{k(-q)}{r} = 0$$

$$\text{Do đó : } A = -Q(V_\infty - V_0) = 0$$

1.17 Lực tác dụng vào quả cầu (H.1.20): $\vec{F} = \vec{P} + \vec{F}_d$



Hình 1.20

$$\text{Gia tốc quả cầu : } \vec{a} = \vec{g} + \frac{q}{m} \vec{E}$$

$\vec{a}$ hợp với phương ngang Ox góc α :

$$\tan \alpha = \frac{P}{F_d} = \frac{mg}{Eq}$$

Vận tốc quả cầu ở thời điểm t :

$$v_t = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$v_t = \sqrt{\left(\frac{qE}{m} t\right)^2 + (v_0 - gt)^2}$$

$\vec{v}_t$ hợp với phương ngang góc β :

$$\tan \beta = \frac{v_x}{v_y} = \frac{\frac{qE}{m} t}{v_0 - gt}$$

Giá trị cực tiểu của vận tốc v_t :

$$v_t^2 = \left(\frac{qE}{m} t\right)^2 + (v_0 - gt)^2 \quad (2)$$

Lấy đạo hàm của v_t^2 theo t và cho bằng 0, ta có:

$$t_m = \frac{m^2 v_0}{m^2 g^2 + q^2 E^2}$$

Thay t_m vào (1) :

$$v_{\min} = v_0 - \frac{qE}{\sqrt{q^2 E^2 + m^2 g^2}}$$

1.18 Chùm electron tăng chiều dày sau khi bay ra khỏi khe hẹp vì những electron ở gần bề mặt của chùm chịu lực đẩy tĩnh điện của những electron khác trong chùm.

Có thể coi chùm electron tác dụng lên các electron ở mặt ngoài giống như một mặt phẳng tích điện đều, vô hạn tác dụng lên electron.

Điện tích Q của một phần bản mặt có diện tích S:

$$Q = n \cdot e \cdot S \cdot d$$

Chiều dày của chùm electron là d nên mật độ điện tích trên mặt là :

$$\sigma = \frac{Q}{S} = \text{end}$$

Điện trường gây bởi chùm electron có cường độ :

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\text{end}}{2\epsilon_0}$$

Trong trường này, lực tác dụng lên electron $F = eE$ truyền cho nó một gia tốc theo hướng vuông góc với chùm:

$$a = \frac{eE}{m} = \frac{e^2 nd}{2\epsilon_0 m}$$

Bề rộng chùm electron tăng gấp đôi khi electron đi được một khoảng cách :

$$y = \frac{d}{2} = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \frac{e^2 nd}{2\epsilon_0 m} t^2 \quad (1)$$

Khi đó :

$$x = l - vt \quad (2)$$

Từ (1) và (2) suy ra :

$$l = v \sqrt{\frac{2\epsilon_0 m}{ne^2}} \approx 2,5\text{cm}$$

1.19 Khi tụ điện chưa tích điện, lò xo giãn đoạn x_0 .

$$\bar{P} + \bar{F}_{\text{odh}} = 0$$

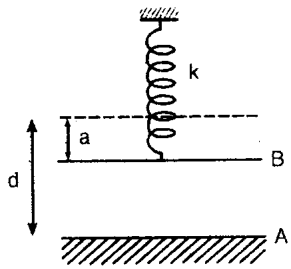
$$\Rightarrow P = kx_0$$

Khi tụ đã tích điện, điện tích của tụ :

$$q = CU = \frac{\epsilon_0 SU}{d}$$

Gọi E là cường độ điện trường của các điện tích của bản A tạo nên:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{q}{2\epsilon_0 S} = \frac{U}{2d}$$



Hình 1.21

Lực tác dụng vào bản B tại vị trí cân bằng:

$$\bar{P} + \bar{F} + \bar{F}_{\text{dh}} = 0$$

$$\Rightarrow P + F = k(x_0 + a) = kx_0 + ka$$

$$\Rightarrow F = ka$$

$$\Rightarrow a = \frac{F}{k}$$

Điều kiện để bản B không chạm bản A :

$$a < \frac{d}{2} \Leftrightarrow \frac{F}{k} < \frac{d}{2}$$

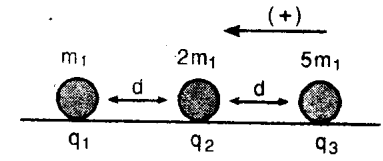
$$\Rightarrow k > \frac{\epsilon_0 SU^2}{d^3}$$

1.20 Tại thời điểm ban đầu hợp lực tác dụng lên mỗi quả cầu là :
(H.1.22)

$$F_1 = \frac{kq_1^2}{d^2} + \frac{2kq_1^2}{d^2} = \frac{3kq_1^2}{d^2}$$

$$F_2 = \frac{2kq_1^2}{d^2} - \frac{kq_1^2}{d^2} = \frac{kq_1^2}{d^2}$$

$$F_3 = -\frac{2kq_1^2}{d^2} - \frac{2kq_1^2}{(2d)^2} = -\frac{5kq_1^2}{2d^2}$$



Hình 1.22

Gia tốc chuyển động của mỗi quả cầu lần lượt là:

$$a_1 = \frac{F_1}{m_1} = \frac{3kq_1^2}{m_1 d^2}$$

$$a_2 = \frac{F_2}{m_2} = \frac{kq_1^2}{2m_1 d^2}$$

$$a_3 = \frac{F_3}{m_3} = \frac{-kq_1^2}{2m_1 d^2}$$

Xét trong hệ quy chiếu gắn với quả cầu giữa m_2 :

$$a_{12} = a_1 - a_2 = \frac{kq_1^2}{m_1 d^2}$$

$$a_{32} = a_3 - a_2 = -\frac{kq_1^2}{m_1 d^2} = -a_{12}$$

$$\Rightarrow v_{12} = -v_{32}$$

Ta lại có $v_{12} = v_1 - v_2$ và $v_{32} = v_3 - v_2$

$$\Rightarrow v_2 = \frac{v_1 + v_3}{2} \quad (1)$$

Áp dụng định luật bảo toàn động lượng và bảo toàn năng lượng cho hệ ba quả cầu:

$$m_1 v_1 + 2m_1 v_2 + 5m_1 v_3 = 0$$

$$\Rightarrow v_1 + 2v_2 + 5v_3 = 0 \quad (2)$$

$$\frac{kq_1^2}{d} + \frac{2kq_1^2}{2d} + \frac{2kq_1^2}{d} = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot 2m_1v_2^2 + \frac{1}{2} \cdot 5m_1v_3^2$$

$$\Rightarrow 4 \frac{kq_1^2}{d} = \frac{1}{2}m_1(v_1^2 + 2v_2^2 + 5v_3^2) \quad (3)$$

Giải hệ phương trình (1), (2), (3) ta được :

$$v_3 = \sqrt{\frac{kq^2}{2m_1d}}; v_1 = 3v_3; v_2 = -v_3$$

1.21 Khi quả cầu 1 tự chuyển động thì được lực hút tĩnh điện bắt đầu thắng được lực ma sát giữa quả cầu 1 và mặt phẳng ngang:

$$\frac{kQ^2}{r_0^2} = \mu mg \quad (1)$$

Quả cầu 2 bắt đầu chuyển động từ khoảng cách r_1 cách quả cầu 1:

$$\frac{kQ^2}{r_1^2} = \mu Mg \quad (2)$$

Theo định luật bảo toàn năng lượng :

$$\Delta E = A_{ms}$$

$$\left(-\frac{kQ^2}{r_1} + \frac{mv^2}{2} \right) - \left(-\frac{kQ^2}{r_0} \right) = \mu mg(r_0 - r_1) \quad (3)$$

Khi mất diện tích, điều kiện để quả cầu 1 đuổi kịp quả cầu 2 là:

$$\frac{mv^2}{2} \geq \mu mgr_1$$

Giải hệ phương trình (1), (2), (3) và (4) ta được : $\frac{M}{m} \geq 4$

1.22 Ta có

$$Mv_0 = (M + 2m)v$$

$$\Rightarrow v = v_0 \frac{M}{M + 2m}$$

Vì khoảng cách giữa quả cầu M và các quả cầu m không đổi nên chỉ có thể năng tương tác của hệ gồm 2 quả cầu m là thay đổi.

Theo định luật bảo toàn năng lượng:

$$E_1 = E_2$$

$$\frac{1}{2}Mv_0^2 + 2k \frac{Q^2}{l} + k \frac{Q^2}{2l} = \frac{1}{2}(M + 2m)v^2 + 2k \frac{Q^2}{l} + k \frac{Q^2}{x}$$

$$\frac{kQ^2}{x} - \frac{kQ^2}{2l} = \frac{Mv_0^2}{2} - \frac{(M + 2m)v^2}{2} \quad (2)$$

Thay v từ (1) vào (2) ta được :

$$x = \frac{1}{\frac{1}{2l} + \frac{Mmv_0^2}{Q^2(M + 2m)}}$$

Khi cả 3 quả cầu lại thẳng hàng :

$$\begin{cases} Mv_0 = Mu_1 + 2mu_2 \\ \frac{1}{2}Mv_0^2 = \frac{1}{2}Mu_1^2 + 2 \cdot \frac{1}{2}Mu_2^2 \end{cases} \quad (3) \quad (4)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} u_1 = v_0; u_2 = 0 \\ u_1 = v_0 \frac{\frac{M}{2m} - 1}{\frac{M}{2m} + 1}; u_2 = v_0 \frac{2}{1 + \frac{M}{2m}} \end{cases}$$

1.23 Gọi q_1, q_2, q_3 lần lượt là điện tích trên các bản tương ứng.

Sau khi nối bản 1 và 3 bằng vật dẫn, điện thế trên các bản này bằng nhau:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_3 - \varphi_2 = U$$

Ta lại có :

$$\varphi_1 - \varphi_2 = E_{12}d_1 \text{ với } E_{12} = \frac{q_1 - q_2 - q_3}{2S\epsilon_0}$$

$$\varphi_2 - \varphi_3 = E_{23}d_2 \text{ với } E_{23} = \frac{q_1 + q_2 - q_3}{2S\epsilon_0}$$

$$\begin{cases} \frac{q_1 - q_2 - q_3}{2S\epsilon_0} d_1 = U & (1) \\ \frac{q_1 + q_2 - q_3}{2S\epsilon_0} d_2 = U & (2) \end{cases}$$

Định luật bảo toàn điện tích cho ta :

$$q_1 + q_2 + q_3 = Q \quad (3)$$

$$\Rightarrow q_1 = \frac{Q}{2} + \frac{S\epsilon_0 U}{d_1}$$

$$q_2 = -S\epsilon_0 U \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)$$

$$q_3 = \frac{Q}{2} + \frac{S\epsilon_0 U}{d_2}$$

1.24 a) Vận tốc của electron khi vừa thoát ra khỏi mặt cầu :

Năng lượng của electron khi vừa bứt ra khỏi mặt cầu gồm :

- Động năng $W_d = \frac{mv_0^2}{2}$

- Thế năng do tương tác tĩnh điện $W_t = \frac{|e|Q}{4\pi\epsilon_0 R}$

Năng lượng của electron khi ra xa mặt cầu chỉ là động năng $\frac{mv^2}{2}$.

Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng :

$$\frac{mv_0^2}{2} + \frac{|e|Q}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{mv^2}{2}$$

$$\Rightarrow v_0 = \sqrt{v^2 - \frac{|e|Q}{2\pi\epsilon_0 mR}}$$

b) Tương tự câu a) áp dụng định luật bảo toàn năng lượng :

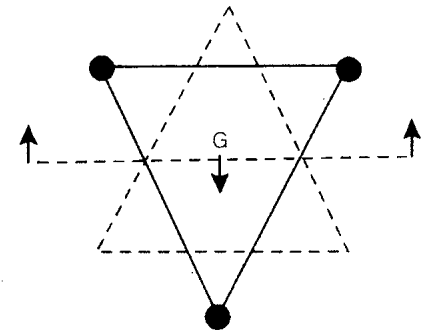
$$\frac{q_1 q}{4\pi\epsilon_0 R} + \frac{q_2 q}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2q(q_1 r + q_2 R)}{4\pi\epsilon_0 mRr}}$$

1.25 Cách giải 1:

1) Khi một trong ba dây bị đứt, dưới tác dụng của các nội lực còn lại (lực đẩy tĩnh điện và lực căng dây) cả ba viên bi đều chuyển động nhưng khối tâm của hệ vẫn đứng yên và động lượng của hệ vẫn bảo toàn :

$$\vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \vec{v}_3 = 0$$

$$\Rightarrow \vec{v}_1 + \vec{v}_3 = -\vec{v}_2$$



Hình 1.23

Do tính chất đối xứng của hệ, nên quả cầu 2 chuyển động trên đường trung trực y'y, và hai quả cầu 1 và 3 luôn luôn nằm ngang, các vận tốc $\vec{v}_1$ và $\vec{v}_3$ đối xứng qua y'y để "tam giác điện tích" luôn có khối tâm tại G.

Ở vị trí bất kì, thế năng tĩnh điện của hệ là :

$$W_t = \frac{1}{2} (qv_1 + qv_2 + qv_3)$$

$$= \frac{1}{2} q \left(2k \frac{q}{l} + 2k \frac{q}{x} + 2k \frac{q}{l} \right) = \left(2k \frac{q^2}{l} + \frac{kq^2}{x} \right)$$

Theo định luật bảo toàn năng lượng thì động năng cực đại của hệ ứng với thế năng cực tiểu của hệ.

$W_{\text{tmin}} \Leftrightarrow x = 2l$: hệ ba quả cầu thẳng hàng.

$\Rightarrow \vec{v}_1 = \vec{v}_3$ và vuông góc với đường nối 3 điện tích

$$\Rightarrow v_{1m} = v_{3m} = \frac{1}{3} v_{2m}$$

$$\Delta W_d = -\Delta W_t$$

$$\frac{1}{2} m(v_{1m}^2 + v_{2m}^2 + v_{3m}^2) = 3 \frac{kq^2}{l} - \left(2 \frac{kq^2}{l} + \frac{kq^2}{2l} \right)$$

$$\frac{1}{2} m 6v_{1m}^2 = \frac{kq^2}{2l}$$

$$\Rightarrow v_{1m} = v_{3m} = \sqrt{\frac{kq^2}{6ml}}; v_{2m} = 2\sqrt{\frac{kq^2}{6ml}}$$

2) Sau khi đạt vận tốc cực đại chúng chuyển động chậm dần cho đến khi vận tốc bằng không thì khôi phục thế năng ban đầu và tam giác điện tích trở thành tam giác đều có hình dạng đối xứng với tam giác ban đầu. Sau đó hệ dao động tuần hoàn quanh khối tâm G.

Cách giải 2: (Dựa vào tính đối xứng + sự bảo toàn động lượng và năng lượng)

Chọn hệ trục tọa độ Oxy như trên hình 1.23.

Do tính đối xứng của hệ nên sau khi đốt dây (giả sử đốt dây nối 1 -3) quả cầu 2 sẽ chuyển động nhanh dần theo phương Oy, còn quả cầu 1 và 3 sẽ chuyển động sao cho chúng luôn luôn nằm trên phương Ox.

Vì không có ngoại lực tác dụng nên năng lượng và động lượng của hệ bảo toàn :

$$(Ox): m_1 v_{1x} + m_3 v_{3x} = 0 \Rightarrow v_{1x} = -v_{3x} \quad (1)$$

$$(Oy): m_2 v_2 + m_1 v_{1y} + m_3 v_{3y} = 0 \Rightarrow v_2 = -(v_{1y} - v_{3x}) \quad (2)$$

Do tính đối xứng của quả cầu 1 và 3 nên :

$$v_{1y} = v_{3y} \quad (3)$$

$$(2) \Rightarrow v_2 = -2v_{1y} = -2v_{3y} \quad (4)$$

Khi quả cầu 2 đến vị trí G (vị trí khối tâm của hệ) thì ba quả cầu thẳng hàng. Lúc này hợp lực tác dụng lên quả cầu 2 và gia tốc của quả cầu 2 bằng 0, vận tốc của quả cầu 2 có giá trị cực đại.

Năng lượng của hệ lúc này :

$$\begin{aligned} W &= \left(\frac{2kq^2}{l} + \frac{kq^2}{2l} \right) + \frac{1}{2} m v_{1m}^2 + \frac{1}{2} m v_{3m}^2 + \frac{1}{2} m v_{2m}^2 \\ &= \frac{5kq^2}{2l} + \frac{3}{4} m v_{2m}^2 \end{aligned}$$

Năng lượng của hệ khi chưa đốt dây :

$$W = \frac{3kq^2}{l}$$

Theo định luật bảo toàn năng lượng : $W' = W$

$$\Rightarrow \frac{3kq^2}{l} = \frac{5kq^2}{2l} + \frac{3}{4} m v_{2m}^2$$

$$\Rightarrow v_{2m} = \sqrt{\frac{2kq^2}{3ml}}$$

$\Rightarrow$ vận tốc cực đại của quả cầu 1 và 3 là :

$$v_{1m} = v_{3m} = \frac{1}{2} v_{2m} = \sqrt{\frac{kq^2}{6ml}}$$

NHẬN XÉT : Xét hệ quy chiếu gắn với quả cầu 2

Khi đó quả cầu 1 và 3 chuyển động tròn quanh quả cầu 2 với cùng vận tốc : $v_1 = v_3$

CÁCH GIẢI 3: (Dùng định luật bảo toàn năng lượng)

Vì hệ không chịu tác dụng của ngoại lực nên năng lượng của hệ bảo toàn. Dễ thấy rằng thế năng tĩnh điện giữa các quả cầu 1, 3 và 2, 3 không thay đổi nên có thể viết định luật bảo toàn năng lượng của hệ dưới dạng :

$$\frac{kq^2}{l} = \frac{kq^2}{r^2} + 2 \frac{mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

Áp dụng định luật bảo toàn động lượng với động lượng của hệ 3 quả cầu (chưa đốt dây bằng 0).

$$0 = 2mv - mv \quad (2)$$

Từ (2) : $v \Rightarrow v_{\max} \Leftrightarrow$ khoảng cách quả cầu 1 và 2 cực đại

$$\Leftrightarrow r_{12} = 2l \quad (3)$$

Giải hệ phương trình (1) (2) (3) $\Rightarrow v_{\max} = q \sqrt{\frac{2}{3ml}}$

1.26 Mỗi quả cầu chịu tác dụng của trọng lực $\vec{P}$, lực căng $\vec{T}$, và lực điện $\vec{F}_d$ (H.1.24):

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

$$\text{với } P = mg \quad (1)$$

$$F_d = \frac{kq^2}{a^2} = T \sin \alpha \quad (2)$$

$$a = 2l \sin \alpha \quad (3)$$

$$\cos \alpha = \frac{P}{T} \quad (4)$$

$$\text{Từ đó : } q = \pm \sqrt{\frac{4l^3 T \sin^3 \alpha}{k}} \quad (5)$$

Điện thế của các quả cầu A và B:

$$V_A = V_B = V_1 + V_2, \quad (6)$$

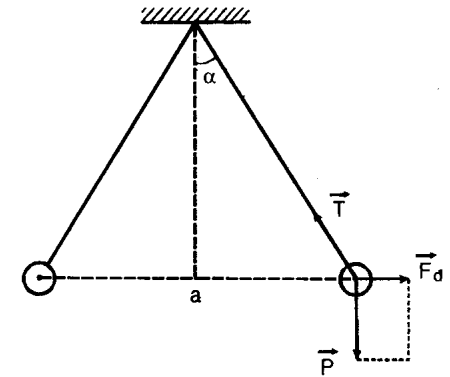
Với :

$$V_1 = \frac{kq}{r}$$

$$V_2 = \frac{kq}{a-r}$$

Thay số ta được :

$$V_A = V_B = 2,13 \cdot 10^5 \text{ V}$$



Hình 1.24

1.27 Cường độ điện trường giữa hai lưới có phương Ox, có chiều hướng về tấm lưới 1 và có độ lớn :

$$E = \frac{Q}{2\epsilon_0 S} + \frac{Q}{2\epsilon_0 S} = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

$$\text{Hiệu điện thế giữa lưới 2n và lưới 1 : } U = n(Ed) = \frac{Qnd}{\epsilon_0 S}$$

Kí hiệu $\vec{v}$, $\vec{v}_x$, $\vec{v}_y$ là vectơ vận tốc, và các vectơ vận tốc thành phần trên trục Ox và Oy của vận tốc của electron khi ra khỏi lưới 2n.

Thành phần $\vec{v}_{0y}$ của $\vec{v}_0$ theo phương vuông góc với $\vec{E}$ giữ không thay đổi, ta có : $v_{0y} = v_0 \sin \alpha = v_y$

Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng ta có :

$$\frac{mv_0^2}{2} + eU = \frac{mv^2}{2}$$

$$\rightarrow mv_0^2 \cos^2 \alpha + 2eU = mU_x^2$$

$$\rightarrow v_y = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \alpha + \frac{2enQd}{\epsilon_0 mS}}$$

$$\text{Từ đó : } v^2 = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + \frac{2enQd}{\epsilon_0 mS}}$$

Véc tơ vận tốc $\vec{v}$ của electron khi ra khỏi hệ thống hợp với Ox góc β mà :

$$\text{tg}\beta = \frac{v_y}{v_x} \rightarrow \beta = \arctg \left(\frac{\sin \alpha}{\sqrt{\cos^2 \alpha + \frac{2enQd}{\epsilon_0 v_0^2 mS}}} \right)$$

1.28 Ban đầu quả cầu nằm cân bằng trong điện trường E, ta có :

$$\text{tg}\alpha_0 = \frac{F_d}{P}$$

$$\rightarrow F_d = qE = mgtg\alpha_0 \quad (1)$$

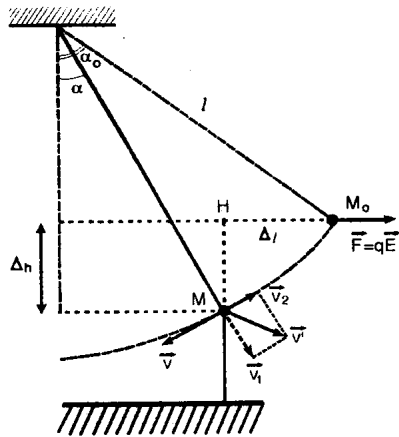
Đổi chiều điện trường $\vec{E}$, lực điện $\vec{F}_d$ thay đổi chiều nhưng giữ nguyên cường độ. Khi quả cầu tới va chạm với cọc tại vị trí M, công của lực điện trường là (H.1.25):

$$A_d = F_d \cdot \Delta l \quad (\Delta l = M_0 H)$$

Vận tốc $\vec{v}$ của quả cầu ngay trước va chạm có độ lớn được xác định nhờ định luật bảo toàn năng lượng :

$$mg\Delta h + A_d = \frac{mv^2}{2}$$

$$\rightarrow v^2 = 2g(\Delta h + \Delta l \text{tg}\alpha_0)$$



Hình 1.25

$$\text{Từ hình vẽ (H.1.25) ta có: } \Delta l = \frac{(\sqrt{3} - 1) l}{2}$$

$$\Delta h + \Delta l \text{tg}\alpha_0 = l(\cos \alpha - \cos \alpha_0) + \frac{(\sqrt{3} - 1) l}{2} = l$$

$$\text{Do đó: } v^2 = 2gl \rightarrow v = \sqrt{2gl} \quad (1)$$

Khi va chạm đàn hồi với cọc cố định, vận tốc $\vec{v}$ của quả cầu sau va chạm đối xứng với $\vec{v}$ qua cọc (H.1.25), do đó $\vec{v}$ hợp với cọc góc 60° , và do đó $\vec{v}$ hợp với dây treo góc:

$$\beta = (60^\circ - 30^\circ) = 30^\circ$$

Phân tích $\vec{v}$ làm hai thành phần :

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

Trong đó: $\vec{v}_1$ là thành phần dọc theo sợi dây, thành phần này bị triệt tiêu bởi lực căng dây (H.1.25) ;

$\vec{v}_2$ là thành phần vuông góc với sợi dây ;

$v_2 = v \sin \beta$; thành phần này làm quả cầu nảy lên độ cao hơn so với độ cao của M.

Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng (khi không còn có tác dụng của điện trường), ta có :

$$\frac{mv_2^2}{2} = mgh \rightarrow h = \frac{v_2^2}{2g} = \frac{(v \sin \beta)^2}{2g}$$

$$\rightarrow h = l \sin^2 \beta = \frac{l}{4} = 0,25m$$

1.29 1) Kí hiệu q là điện tích tụ điện. Cường độ điện trường tại điểm M trong khoảng giữa 2 bản chỉ do bản trong gây ra :

$$E = \frac{kq}{r^2}, \text{ với } r = OM$$

Biết điện dung của tụ điện : $C = \frac{R_1 R_2}{k(R_2 - R_1)}$

và áp dụng công thức $q = CU_0$, suy ra :

$$q = \frac{R_1 R_2 U_0}{k(R_2 - R_1)} \quad (1)$$

và từ đó :

$$E = \frac{R_1 R_2 U_0}{r^2 (R_2 - R_1)} = 3.10^1 \text{ V/m}$$

2) Công của lực điện trường chuyển thành động năng của electron : $\frac{mv^2}{2} = A$

Ta có :

$$\begin{aligned} dA &= edv = -eEdr = -\frac{keq}{r^2} dr \\ \rightarrow A &= \int_r^r -\frac{keq}{r^2} dr = \frac{keq(r_1 - r_2)}{r_1 r_2} \\ \rightarrow A &= \frac{eU_0 R_1 R_2 (r_1 - r_2)}{r_1 r_2 (R_2 - R_1)} \end{aligned}$$

$$\text{Từ đó : } v = \sqrt{\frac{2eU_0 R_1 R_2 (r_1 - r_2)}{mr_1 r_2 (R_2 - R_1)}} = 79.6.10^6 \text{ m/s}$$

1.30 Kí hiệu Q , U là điện tích và hiệu điện thế của tụ điện.

Điện trường giữa hai bản là điện trường đều $E = \frac{U}{d}$;

với d là khoảng cách giữa hai bản. Mỗi bản đặt trong điện trường đều, có cường độ bằng : $\frac{\sigma}{2\epsilon_0 \epsilon} = \frac{Q}{2\epsilon_0 \epsilon S}$ do bản kia gây ra ; do đó lực hút giữa hai bản là :

$$F = \frac{Q}{2\epsilon_0 \epsilon S} \cdot Q = \frac{C^2 U^2}{2\epsilon_0 \epsilon S} \quad (1)$$

$$\text{Với } C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \quad (2)$$

Mặt khác, mật độ điện tích liên kết là:

$$\sigma = \epsilon_0 (\epsilon - 1) E = \epsilon_0 (\epsilon - 1) \frac{U}{d} \quad (3)$$

Từ (1), (2), (3) rút ra :

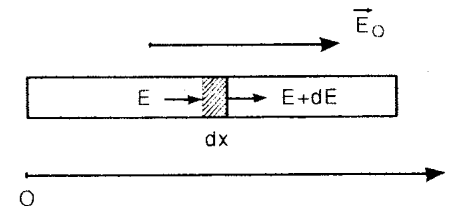
$$\sigma = \frac{(\epsilon - 1) \sqrt{F}}{\epsilon S} = 6.10^{-6} \text{ C/m}^2$$

1.31 Chọn trục Ox dọc theo chiều dài của tấm, theo đề bài, ta có :

$\epsilon = \epsilon(x)$.

Vì độ lớn của ϵ thay đổi theo vị trí trong tấm điện môi, nên cường độ điện trường trong tấm điện môi

$E = \frac{E_0}{\epsilon}$ thay đổi theo tọa độ



Hình 1.26

x. Xét một lớp mỏng điện môi, bề dày dx (H.1.26) ; điện trường ở 2 mặt của lớp điện môi có cường độ E và $E + dE$. Kí hiệu S là diện tích tiết diện của tấm, điện thông qua mặt kín bao quanh lớp mỏng đó là: $d\Phi = (E + dE) S - ES = SdE \neq 0$.

Như vậy bên trong lớp điện môi có lượng điện tích $dq = \rho dV = \rho S dx$, với ρ là mật độ khối của điện tích phân cực xuất hiện trong tấm do tác dụng của điện trường ngoài $\vec{E}_0$.

Áp dụng định lí Oxtrogratzki - Gaucho, ta có :

$$\epsilon_0 S dE = \rho S dx$$

$$\Rightarrow \rho = \epsilon_0 \frac{dE}{dx} = \epsilon_0 \frac{d}{dx} \left(\frac{E_0}{\epsilon} \right) = \epsilon_0 E_0 \frac{d}{dx} \cdot \frac{1}{\epsilon(x)}$$

1.32 1) Điện trường tạo ra bởi hai bản tụ điện : $E_0 = \frac{q}{\epsilon_0 S}$

Mật độ điện tích phân cực khối xuất hiện trong khối điện môi do tác dụng của điện trường $\vec{E}_0$ (theo bài 1.31):

$$\rho = \epsilon_0 E_0 \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{\epsilon} \right) = -\frac{q}{\epsilon^2 S} \frac{d\epsilon}{dx}$$

Điện tích phân cực tổng cộng bên trong khối điện môi là :

$$q' = \int \rho' dV = - \int \left(\frac{q}{\epsilon^2 S} \frac{d\epsilon}{dx} \right) S dx = -q \int_{\epsilon_1}^{\epsilon_2} \frac{d\epsilon}{\epsilon^2}$$

$$\rightarrow q' = q \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\epsilon_1 \epsilon_2}$$

2) Dễ dàng tìm thấy rằng, vì $\epsilon(x)$ là hàm bậc nhất của x nên $\epsilon(x)$ có dạng: $\epsilon(x) = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{d} x + \epsilon_1$

Hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện là :

$$V_1 - V_2 = - \int E dx, \text{ với } E = \frac{E_0}{\epsilon}$$

$$V_1 - V_2 = \frac{q}{\epsilon_0 S} \int_{\epsilon_1}^{\epsilon_2} \frac{dx}{\epsilon(x)} = \frac{qd}{\epsilon_0 S(\epsilon_2 - \epsilon_1)} \ln \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \right)$$

Điện dung của tụ điện đó là : $C = \frac{q}{V_1 - V_2} = \frac{\epsilon_0 S(\epsilon_2 - \epsilon_1)}{d \ln \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}$

3) Thay số ta được:

$$V_1 - V_2 = 100V, C = 32\mu F$$

1.33 Kí hiệu q_1 là điện tích của vật A, mật độ điện tích mặt của A là :

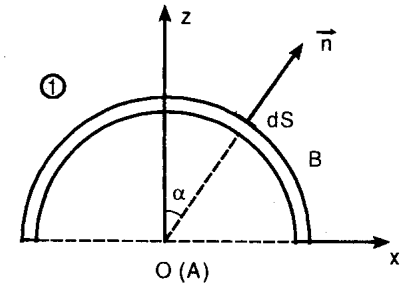
$$\sigma_1 = \frac{q_1}{4\pi R_1^2} \quad (1)$$

Mật độ điện tích mặt của mặt trong vỏ cầu B là (hiện tượng hưởng ứng toàn phần):

$$\sigma'_2 = -\frac{q_1}{4\pi R_2^2} \quad (2)$$

Mặt ngoài của vỏ cầu B, do nối với điện thế V_2 , mang điện tích: $q_2'' = 4\pi\epsilon_0 R_3 V_2$, và mật độ điện tích mặt của mặt ngoài của B là:

$$\sigma''_2 = \frac{q_2''}{4\pi R_3^2} = \frac{\epsilon_0 V_2}{R_3} \quad (3)$$



Hình 1.27

Xét bán cầu (1) của vỏ cầu B, và Oz là trục đối xứng của nó (H.1.27). Mỗi phần tử dS của mặt ngoài bán cầu (1) chịu tác dụng lực đẩy tĩnh điện (theo đề bài):

$$d\vec{F}_{ng} = \frac{(\sigma'')^2}{2\epsilon_0} dS \cdot \vec{n}$$

Vì lí do đối xứng, tổng hợp $d\vec{F}_{ng}$ của các lực đẩy tĩnh điện tác dụng lên mặt ngoài bán cầu (1) sẽ hướng theo trục Oz. Thành phần trên Oz của $d\vec{F}_{ng}$ là :

$$dF_z = \frac{(\sigma'')^2}{2\epsilon_0} dS \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

Với $dS \cos \alpha$ chính là hình chiếu của dS lên mặt phẳng xOy vuông góc với Oz.

Từ đó suy ra $\vec{F}_{ng}$ có độ lớn :

$$F_{ng} = \sum dF_z = \frac{(\sigma'')^2}{2\epsilon_0} \sum dS \cdot \cos \alpha = \frac{(\sigma'')^2}{2\epsilon_0} (\pi R_3^2)$$

$$\rightarrow F_{ng} = \frac{\pi}{2\epsilon_0} (\epsilon_0 V_2)^2 \quad (5)$$

Lập luận tương tự, tìm được hợp lực $\vec{F}_{tr}$ tác dụng lên mặt trong bán cầu (1) có chiều ngược chiều dương của Oz và có độ lớn :

$$F_{tr} = \frac{(\sigma'')^2}{2\epsilon_0} \pi R_2^2 \quad (6)$$

(Cũng có thể tìm được kết quả này bằng cách tìm hợp lực các lực tác dụng lên mặt trong bán cầu (1) : do vật A và do mặt trong của bán cầu (2))

Để tìm σ_2' (tức là tìm q_1) áp dụng định lí Oxtrogratzki tìm được cường độ điện trường trong khoảng không gian giữa A và

B:
$$E = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Từ đó suy ra :

$$V_2 - V_1 = - \int_{R_1}^{R_2} E dr = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right)$$

$$\rightarrow (\text{theo (2)}) : \sigma_2' = - \frac{q_1}{4\pi R_2^2} = \frac{\epsilon_0 (V_2 - V_1)}{R_2} \cdot \frac{R_1}{R_2 - R_1}$$

Do đó theo (5) ta có :

$$F_{ng} = \frac{\pi}{2\epsilon_0} \left[\frac{\epsilon_0 (V_2 - V_1) R_1}{R_2 - R_1} \right]^2$$

Như vậy hợp lực tác dụng lên toàn bộ bán cầu 1 có hướng theo chiều dương của Oz và có độ lớn:

$$F = \frac{\pi\epsilon_0 V_2^2}{2} \left[1 - \frac{\left(\frac{V_1}{V_2} - 1 \right)^2}{\left(1 - \frac{R_2}{R_1} \right)^2} \right]$$

Hai bán cầu có thể tách rời nhau khi : $F \geq 0$

$$\rightarrow V_2 \geq \frac{R_1}{R_2} V_1 = 1(V) \rightarrow V_{2min} = 1(V)$$

1.34 1) Do phân bố điện tích có tính đối xứng cầu nên đường sức điện trường là những đường thẳng hướng theo bán kính quả cầu và tại các điểm cách đều tâm O, cường độ điện trường có độ lớn như nhau .

a) Để tính cường độ điện trường tại điểm M bên ngoài quả cầu ($OM = r > R$) ta vẽ mặt cầu S_1 tâm O bán kính r. Tại mọi điểm trên S_1 , vectơ $\vec{E}$ vuông góc với S_1 , do đó diện thông qua S_1 bằng $\Phi = E \cdot 4\pi r^2$. Điện tích có bên trong S_1 bằng $q = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho$, bằng điện tích của toàn bộ quả cầu. Áp dụng định lí Oxtrogratzki-Gausơ ta được :

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

b) Xét điểm M bên trong quả cầu, cách tâm O một khoảng $r < R$, ta vẽ mặt cầu S_2 tâm O bán kính r.

Điện thông qua S_2 : $\Phi = E 4\pi r^2$.

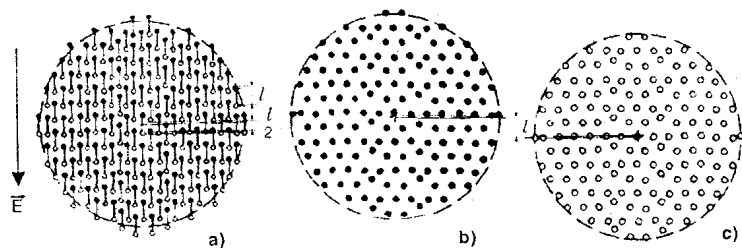
Điện tích có bên trong S_2 : $q' = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho = q \left(\frac{r}{R} \right)^3$

Từ đó cường độ điện trường bên trong quả cầu là :

$$E' = \frac{q'}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\rho r}{3\epsilon_0} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^3} r \quad (2)$$

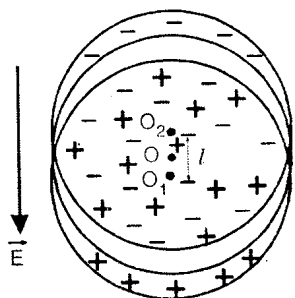
2) Trong điện trường ngoài $\vec{E}$, mọi phân tử (xem như lưỡng cực điện) đều được định hướng theo điện trường (xem H.1.28). Trên hình vẽ điện tích dương +q của lưỡng cực điện được biểu diễn bằng vòng tròn trắng nhỏ, còn điện tích âm -q thì được biểu diễn bằng vòng tròn đen; và khi đó, trên mặt

quả cầu có xuất hiện các điện tích (phân cực) phân bố một cách xác định trên mặt đó. Bên trong quả cầu, tại đó các mật độ điện tích dương và âm (lượng điện tích trong một đơn vị thể tích) là như nhau và chúng trung hòa nhau.



Hình 1.28

Nếu quan sát kĩ hình vẽ 1.28a, ta có thể xem quả cầu điện môi bị phân cực hoàn toàn là tương đương với 2 quả cầu chồng lên nhau (H.1.28b và 1.28c): Một quả cầu tâm O_1 chỉ tích điện dương, còn quả cầu kia (tâm O_2) chỉ tích điện âm, hơn nữa tâm O_1 và O_2 của hai quả cầu đó cách nhau một khoảng l và chúng cách tâm O của quả cầu điện môi một khoảng $\frac{l}{2}$ (H.1.29). Do đó điện trường tại một điểm bất kì bên trong quả cầu điện môi là tổng hợp của điện trường ngoài $\vec{E}$ và hai điện trường gây ra bởi hai quả cầu tích điện dương và tích điện âm nói trên.



Hình 1.29

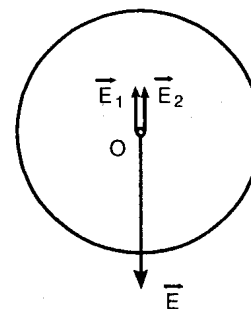
Theo kết quả ở câu 1) điện trường do quả cầu O_1 (hoặc O_2) gây ra tại một điểm M cách O_1 một khoảng r có cường độ :

$$E = \frac{\rho r}{3\epsilon_0\epsilon} = \frac{(nq)r}{3\epsilon_0\epsilon} \quad (3)$$

và có phương là O_1M .

Áp dụng (3), dễ dàng xác định được

cường độ điện trường tại một điểm bất kì bên trong quả cầu điện môi.



Hình 1.30

Xét cường độ điện trường $\vec{E}_0$ tại tâm O , ta thấy (H.1.30):

$$\vec{E}_0 = \vec{E} + \vec{E}_1 + \vec{E}_2, \quad (4)$$

Trong đó $\vec{E}_1, \vec{E}_2$ tương ứng là do quả cầu O_1 (tích điện dương) và quả cầu O_2 (tích điện âm) tạo ra. Vì O_1, O_2 cách O một khoảng $\frac{l}{2}$ nên ta có :

$$E_1 = E_2 = \frac{nq}{3\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{l}{2} = \frac{nql}{6\epsilon_0\epsilon}$$

Vì vậy (H.1.30) ta có :

$$E_0 = E - E_1 - E_2 = E - \frac{nql}{3\epsilon_0\epsilon}, \quad (5)$$

Bây giờ ta tìm cường độ điện trường E_A tại điểm bất kì A (H.1.31). Kí hiệu r_1, r_2 tương ứng là khoảng cách từ A đến các tâm O_1, O_2 ta có :

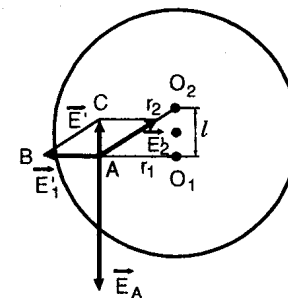
$$\vec{E}_A = \vec{E} + \vec{E}'_1 + \vec{E}'_2, \quad (6)$$

Trong đó $\vec{E}'_1$ và $\vec{E}'_2$ có phương AO_1 và AO_2 như trên hình 1.31 và có độ lớn :

$$E'_1 = \frac{nqr_1}{3\epsilon_0\epsilon}, \text{ và } E'_2 = \frac{nqr_2}{3\epsilon_0\epsilon}$$

Trước hết ta tìm vectơ:

$$\vec{E}' = \vec{E}'_1 + \vec{E}'_2$$



Hình 1.31

Hai tam giác $\widehat{AO_1O_2}$ và $\widehat{ABC}$ đồng dạng vì có góc $\widehat{ABC} = \widehat{O_1AO_2}$ và:

$$\frac{AB}{BC} = \frac{E'_1}{E'_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{O_1A}{O_2A}$$

Từ đó suy ra: $\vec{E}' // O_1O_2$, và $\frac{E'}{E'_1} = \frac{O_1O_2}{O_1A}$

$$\rightarrow E' = E'_1 \frac{O_1O_2}{O_1A} = \frac{nql}{3\epsilon_0\epsilon}$$

Kết quả là: $\vec{E}_A$ cùng phương và chiều với $\vec{E}$ và có độ lớn:

$$E_A = E - \frac{nql}{3\epsilon_0\epsilon}$$

Ta thấy độ lớn của E_A không phụ thuộc vị trí điểm A, có nghĩa là điện trường bên trong quả cầu điện môi hoàn toàn phân cực là điện trường đều.

1.35 Áp dụng định lí Oxtrôgratzki-Gaoxo ta tìm được cường độ điện trường tạo ra bởi một mặt trụ tích điện với mật độ điện dài λ :

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon r}$$

Với r là khoảng cách từ điểm tính điện trường đến trục của mặt trụ.

Kí hiệu λ_0 là mật độ điện ứng với điện trường đánh thủng lớp điện môi thứ nhất (giấy), ta có:

$$E_g = \frac{\lambda_0}{2\pi\epsilon_0\epsilon_1 R_1}$$

$$\text{suy ra: } \lambda_0 = 2\pi\epsilon_0\epsilon R_1 E_g$$

Hiệu điện thế giữa hai mặt trụ kim loại là:

$$V_1 - V_3 = -\int E dr = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon_1 R_1} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r} + \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon_2 R_2} \int_{R_2}^{R_3} \frac{dr}{r}$$

$$V_1 - V_3 = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{R_3}{R_2} \right)$$

Đặt $\lambda = \lambda_0$ ta có hiệu điện thế $U_{\max}$ ứng với sự đánh thủng điện môi:

$$U_{\max} = \epsilon_1 R_1 E_g \left(\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{R_3}{R_2} \right)$$

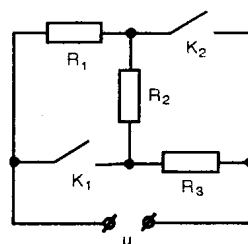
$$\rightarrow U_{\max} = 45000V$$

II. DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI - MẠCH ĐIỆN MỘT CHIỀU

A. ĐỀ BÀI TẬP

- 2.1** Giữa hai mặt trụ kim loại đồng trục, bán kính R_1, R_2 và chiều cao h , có kẹp một lớp vật liệu đồng chất có điện dẫn suất $\sigma = \frac{1}{\rho}$. Đặt vào giữa hai mặt đó một hiệu điện thế U (mặt trong có điện thế dương). Hãy tính mật độ dòng điện chạy qua lớp vật liệu đó và công suất nhiệt tỏa ra ở lớp đó.
- 2.2** Một vật dẫn đồng chất có dạng hình nón cụt có chiều cao h và bán kính các đáy là r_1 và r_2 ($r_1 < r_2$), làm bằng chất có điện trở suất ρ . Hãy tính điện trở của vật khi cho dòng điện chạy từ đáy nhỏ sang đáy kia.
- 2.3** Giữa hai bản của tụ điện phẳng là một lớp vật liệu có điện dẫn suất giảm tuyến tính theo phương vuông góc với hai bản, từ trị số σ_1 đến trị số σ_2 . Tìm điện trở của lớp vật liệu đó khi cho dòng điện chạy theo chiều từ bản có σ_1 đến bản có σ_2 . Cho biết: diện tích mỗi bản là S , khoảng cách hai bản là d .

- 2.4 Khi mở cả hai khóa K_1 , K_2 của mạch điện ở hình 2.1, công suất tỏa nhiệt của mạch là P_0 . Khi chỉ đóng khóa K_1 , công suất tỏa nhiệt là P_1 , còn khi chỉ đóng K_2 , công suất tỏa nhiệt là P_2 . Hỏi công suất tỏa nhiệt của cả đoạn mạch là bao nhiêu nếu đóng cả hai khóa?



Hình 2.1

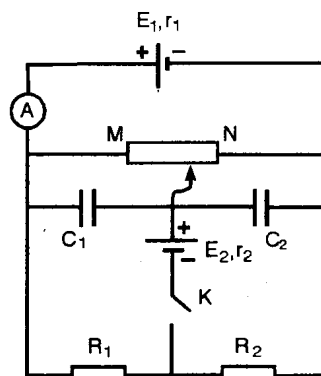
- 2.5 Cho mạch điện như hình 2.2:

$$E_1 = 1,8V, r_1 = 1,2\Omega, R_1 = 6\Omega,$$

$$R_2 = 2\Omega, C_1 = 1\mu F, C_2 = 3\mu F.$$

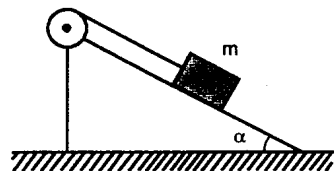
1) Khi K mở, di chuyển con chạy đến vị trí P thì điện tích hai tụ bằng nhau và bằng $2,88\mu C$. Tính R_{MN} và R_{MP} .

2) Đóng khóa K, di chuyển con chạy đến vị trí Q thì không có dòng điện qua ampe kế. Lúc đó, điện tích của tụ C_1 bằng $3,3\mu C$. Tính điện tích của tụ C_2 , R_{MQ} và E_2 . Cho biết $r_2 = 0,55\Omega$ và ampe kế, dây dẫn có điện trở không đáng kể.



Hình 2.2

- 2.6 Một động cơ điện một chiều có điện trở trong $r = 2\Omega$. Một sợi dây không co giãn có một đầu cuốn vào trục động cơ, đầu kia buộc vào một vật có khối lượng $m = 10kg$. Vật có thể trượt không ma sát trên mặt phẳng nghiêng làm với mặt phẳng ngang một góc $\alpha = 30^\circ$. (H.2.3).



Hình 2.3

Khi cho dòng điện có $I = 5A$ đi qua thì động cơ kéo vật lên theo mặt phẳng nghiêng và vận tốc không đổi $v = 3m/s$.

- 1) Tính công suất tiêu thụ điện

và hiệu suất của động cơ.

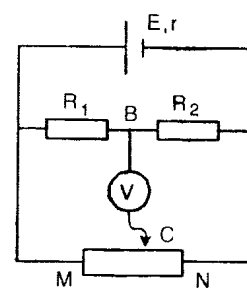
2) Bộ nguồn cung cấp cho động cơ gồm nhiều ắc quy, mỗi chiếc có suất điện động $e = 8V$ và điện trở trong $r_0 = 0,8\Omega$.

Tìm cách mắc nguồn để động cơ có thể kéo vật như trên mà dùng số ắc quy ít nhất. Tính số ắc quy đó.

Cho $g = 10m/s^2$ và xem sợi dây không có khối lượng.

- 2.7 Cho mạch điện như hình vẽ ($R_V \approx \infty$) (H.2.4):

$$E = 48V; r = 0; R_1 = 2k\Omega; R_2 = 2k\Omega; R_{MN} = 6k\Omega.$$



Hình 2.4

1) Tính số chỉ của vôn kế khi con chạy C trùng với M và khi $R_{MC} = 1,2k\Omega$. Tìm vị trí con chạy để vôn kế chỉ $4,8V$.

2) Thay R_1 bằng một vôn kế V_1 , thay R_2 bằng vôn kế V_2 . Thay vôn kế bằng vôn kế V_3 . Ba vôn kế V_1, V_2, V_3 giống hệt nhau. Điều chỉnh con chạy C để V_1 chỉ $28V$. Tính số chỉ của V_2 và V_3 . Tính hiệu điện thế trên hai phần MC và CN.

- 2.8 Mắc mạch điện theo sơ đồ hình 2.5; hai vôn kế giống nhau có điện trở R_V .

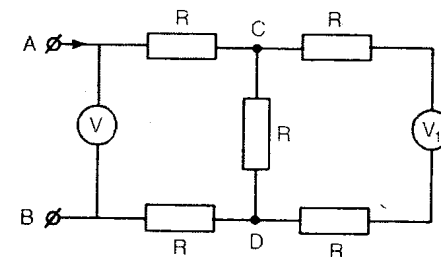
1) Biết vôn kế V chỉ U, vôn kế V_1 chỉ U_1 . Tính tỉ số $\frac{R_V}{R}$.

Áp dụng:

$$U = 126V; U_1 = 18V.$$

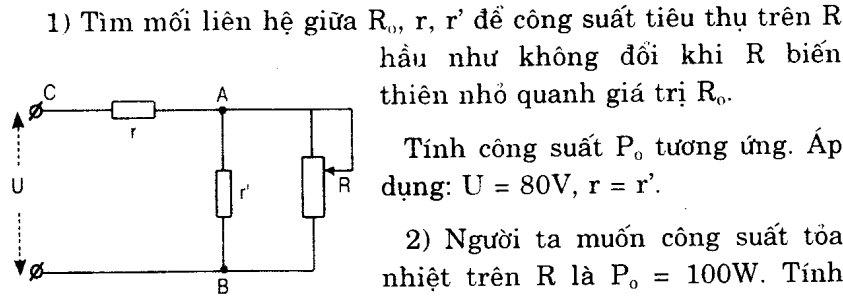
2) Trong mọi trường hợp vôn kế V chỉ giá trị U không đổi. Hỏi vôn kế U_1 có thể chỉ giá trị lớn nhất và nhỏ nhất là bao nhiêu? Trong điều kiện nào?

Áp dụng $U = 126V$.



Hình 2.5

2.9 Trong một mạng điện hiệu điện thế U : Các điện trở r , r' là không đổi, R là biến trở. (H.2.6).



Hình 2.6

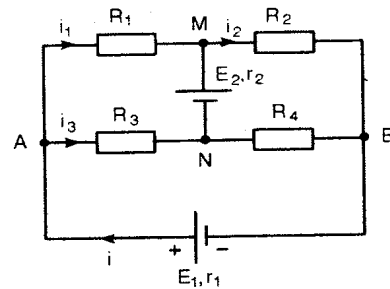
Tính công suất P_0 tương ứng. Áp dụng: $U = 80V$, $r = r'$.

2) Người ta muốn công suất tỏa nhiệt trên R là $P_0 = 100W$. Tính R_0 , r và công suất tỏa nhiệt P_1 trên toàn bộ mạng điện.

2.10 Cho mạch điện như hình vẽ

trong đó $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ (H.2.7)

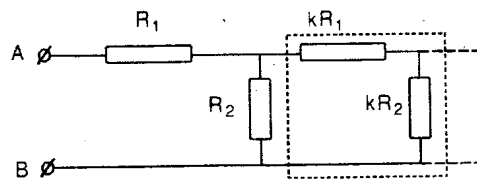
1) Chứng minh rằng cường độ dòng điện chạy qua nguồn (E_1 , r_1) không phụ thuộc vào suất điện động và điện trở trong của nguồn (E_2 , r_2).



Hình 2.7

2) Viết biểu thức tính công suất tiêu thụ tổng cộng trên bốn điện trở R_1 , R_2 , R_3 và R_4 .

2.11 Sơ đồ mạch điện gồm vô số các ô mạch như hình vẽ (H.2.8).



Hình 2.8

Điện trở của mỗi ô mạch kế tiếp bằng k lần điện trở của ô trước đó.

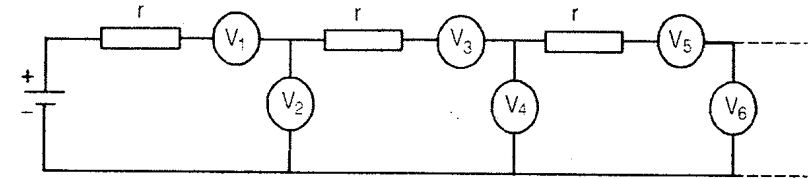
Tìm R_{AB} , nếu ở ô điện trở đầu có điện trở R_1 , R_2 . Áp dụng: $k = \frac{1}{2}$.

2.12 Một mạch điện gồm một số rất lớn ô mạng, mỗi ô gồm một điện trở và hai vôn kế. Các vôn kế đều giống nhau. Mạch điện được mắc vào nguồn điện. Cặp vôn kế đầu tiên chỉ 6V và 4V. Tìm:

1) Số chỉ của cặp vôn kế thứ hai.

2) Tổng số chỉ của các vôn kế trong mạch điện. (H.2.9).

2.13 Cho mạch điện như hình vẽ (H.2.10). Trong mạch điện có 50 ampe kế khác nhau và 50 vôn kế giống nhau.



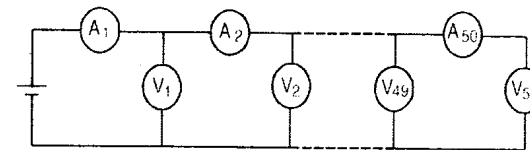
Hình 2.9

Vôn kế V_1 chỉ $U_1 = 9,6V$

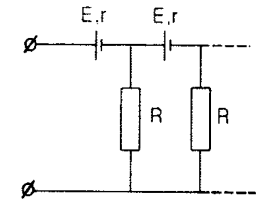
Ampe kế A_1 chỉ $I_1 = 9,5mA$.

Ampe kế A_2 chỉ $I_2 = 9,2mA$.

Xác định tổng số chỉ của các vôn kế.



Hình 2.10

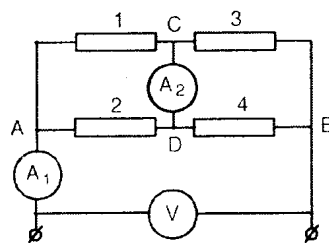


Hình 2.11

2.14 Một mạch điện là một chuỗi rất dài (coi như vô hạn) gồm các nguồn điện một chiều có suất điện động E , điện trở trong r và điện trở R . Xác định E_b và r_b của nguồn tương đương. (H.2.11)

2.15 Trong sơ đồ bên, ampe kế A_2 chỉ 2A, các điện trở có các giá trị tương ứng là: 1Ω , 2Ω , 3Ω , 4Ω .

Xác định vị trí các điện trở đó và số chỉ của ampe kế A_1 . Biết vôn kế V chỉ 10V và số chỉ các ampe kế là số nguyên. Các dụng cụ đo là lí tưởng. (H.2.12).



Hình 2.12

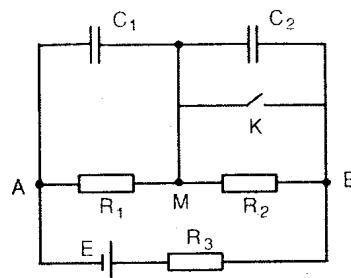
2.16 Mạch điện có sơ đồ hình 2.13.

Cho:

$$C_1 = 1\mu\text{F}; C_2 = 2\mu\text{F};$$

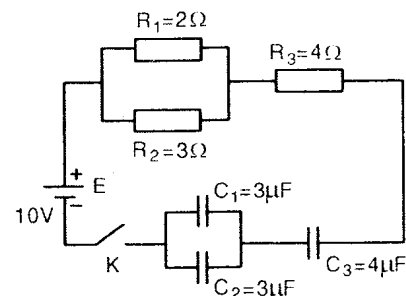
$$R_1 = R_2 = 100\Omega.$$

Khi K mở, tụ C_2 tích điện đến $q_2 = 4 \cdot 10^{-6}\text{C}$. Tính điện tích của tụ C_1 khi K đóng.



Hình 2.13

2.17 Cho mạch điện như sơ đồ H.2.14. Ban đầu khóa K mở, các tụ điện chưa tích điện. Bỏ qua điện trở trong của nguồn.



Hình 2.14

Ở thời điểm $t = 0$, bắt đầu đóng khóa K.

1) Tìm một mạch điện tương đương gồm một điện trở mắc nối tiếp với một tụ điện và mắc với nguồn điện đã cho.

2) Tìm cường độ dòng điện qua mạch ngay khi K đóng.

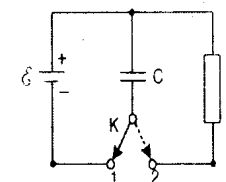
3) Tìm cường độ dòng điện qua mạch sau khi K đóng được $2,0 \cdot 10^{-5}\text{s}$.

Tính điện tích của tụ C_3 lúc đó.

2.18 Cho sơ đồ như hình vẽ (H.2.15).

1) Lúc đầu, K ở vị trí 1. Tìm sự phụ thuộc của hiệu điện thế U giữa hai bản tụ điện vào thời gian t. Tìm giá trị của U khi t rất lớn.

2) Khi hiệu điện thế U đạt tới giá trị cực đại, ta chuyển K sang vị trí 2, tụ điện sẽ phóng điện qua điện trở R. Tìm nhiệt lượng Q tỏa ra ở R trong suốt thời gian phóng điện.



Hình 2.15

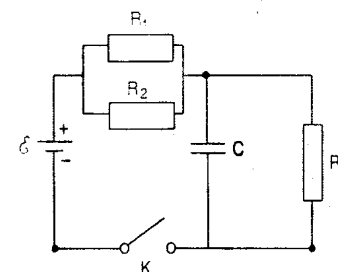
2.19 Cho mạch điện như hình vẽ (H.2.16).

Biết: $E = 3\text{V}$; $r = 0$; $C = 7\mu\text{F}$;

$$R_1 = 1\Omega; R_2 = 2\Omega; R_3 = 3\Omega.$$

Lúc đầu tụ C chưa tích điện và khóa K mở.

Sau đó, ở thời điểm $t = 0$, đóng khóa K.



Hình 2.16

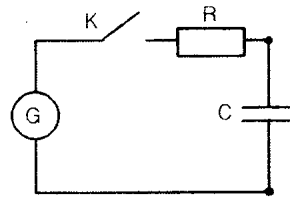
1) Xác định cường độ dòng điện qua mỗi điện trở ngay sau khi đóng khóa K.

2) Xác định cường độ dòng điện qua mỗi điện trở sau khoảng thời gian Δt đủ lớn.

3) Sau khoảng thời gian Δt nói trên, người ta lại mở khóa K (chọn lại gốc thời gian là lúc mở khóa K). Tìm cường độ dòng điện qua R_3 dưới dạng một hàm theo t. Tính thời gian để cường độ dòng điện i_R có trị số giảm xuống bằng $\frac{1}{2}$ trị số lúc bắt đầu mở khóa K.

2.20 Cho mạch điện như sơ đồ (H.2.17), trong đó G là một nguồn điện; $R = 20\text{k}\Omega$; $C = 1\mu\text{F}$. Chọn thời điểm gốc là lúc khóa K vừa đóng và gọi U_0 là hiệu điện thế ứng với lúc $t = 0$ ở hai đầu tụ điện.

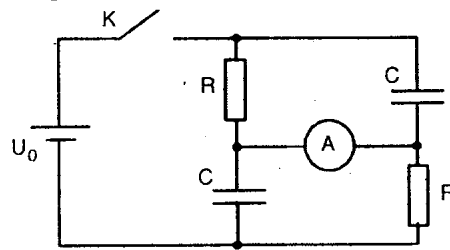
1) Giả sử G là một “nguồn hiệu thế lí tưởng” 25V, nghĩa là hiệu thế giữa hai cực của G không đổi, và lúc nào cũng bằng 25V. Tính U_C ở thời điểm t biết $U_0 = 10V$. Vẽ đồ thị của U_C theo thời gian t (trên trục thời gian, đơn vị là $T = RC$, được gọi là hằng số thời gian của mạch RC).



Hình 2.17

2) Giả sử G là một “nguồn dòng điện lí tưởng” 1mA, nghĩa là khi khóa K đóng, luôn luôn có dòng điện 1mA qua G , bất chấp cấu tạo của mạch. Tính U_C ở thời điểm t , biết rằng $U_0 = 0$. Vẽ đồ thị của U_C khi t biến thiên từ 0 đến $2T$.

2.21 Cho mạch điện như sơ đồ bên: $R = 100\Omega$; $C = 10\mu F$; $U_0 = 10V$. Khóa K đóng trong thời gian $\Delta t_1 = 1.10^{-3}s$ và K mở trong thời gian $\Delta t_2 = 20.10^{-3}s$. Với chế độ đóng, ngắt tuần hoàn như trên,



Hình 2.18

kim ampe kế gần như không rung (H.2.18).

Hãy tính số chỉ của ampe kế.

Điện trở trong của nguồn điện và điện trở của ampe kế không đáng kể.

(Đề thi Olympic Vật lí Liên bang Nga năm 1986)

2.22 Người ta dùng hai lá nhôm rất mỏng, hình chữ nhật chiều dài $a = 10cm$; chiều rộng $b = 3,14cm$ để làm một tụ điện bằng cách đặt giữa hai lá nhôm một tờ giấy tẩm parafin có hằng số điện môi $\epsilon = 3,6$ và có bề dày $d = 0,1mm$. Các lớp nhôm và giấy chồng khít lên nhau.

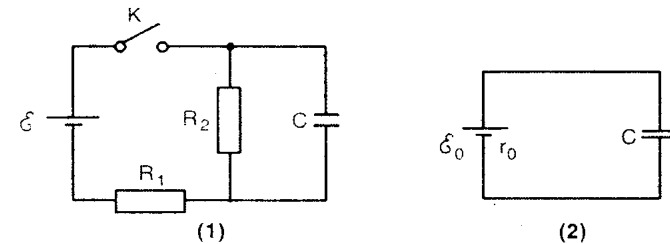
1) a) Tính điện dung của tụ điện.

b) Biết rằng lớp giấy sẽ bị cháy nếu điện trường bên trong lớp giấy đó lớn hơn trị số giới hạn $E_{max} = 10^6 V/m$.

Tính hiệu điện thế tối đa có thể thiết lập giữa hai bản của tụ điện.

2) Người ta lập một mạch điện theo sơ đồ (1), trong đó C là tụ điện được tạo thành bằng cách ghép song song 6 tụ điện vừa làm được. Cho $\mathcal{E} = 12V$; $R_1 = 100k\Omega$; $R_2 = 5R_1$. (H.2.19).

a) Coi rằng mạch điện khi khóa K được đóng lại tương đương với sơ đồ (2). Tính suất điện động và điện trở trong của nguồn điện tương đương.

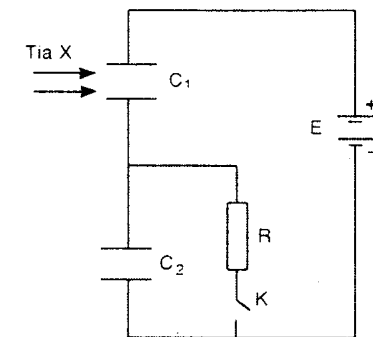


Hình 2.19

b) Tính thời gian cần thiết t_1 để hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện C bằng 5V (kể từ lúc khóa K đóng).

c) Khi hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện là 5V, người ta mở khóa K . Tính thời gian t_2 cần thiết để hiệu điện thế của tụ điện bằng 1mV. So sánh t_1 và t_2 và phác họa đồ thị của hiệu điện thế U_C của tụ điện theo thời gian.

2.23 Cho mạch điện như hình vẽ: $C_1 = 5.10^{-11}F$; $C_2 = 10.10^{-11}F$; điện môi là không khí; $E = 360V$. Chiếu tia Ronghen vào giữa hai bản cực của C_1 để ion hóa khí. Biết mỗi giây tạo ra được 12.10^6 ion dương, mỗi ion dương mang điện tích $1,6.10^{-19}C$. (H.2.20).



Hình 2.20

1) Tính hiệu điện thế U_1 , U_2 giữa hai bản cực của mỗi tụ điện

trước và sau khi chiếu tia Ronghen 16 phút 40 giây.

2) U_1 và U_2 biến thiên như thế nào trong khi chiếu tia X. Phái đo U_1 , U_2 bằng vôn kế loại gì? Giải thích.

3) Đóng khóa K và xác định R sao cho U_2 giữ không đổi trong khi chiếu tia X.

4) Nếu cho R lớn hơn hoặc nhỏ hơn giá trị của câu 3 thì U_1 , U_2 biến thiên thế nào?

2.24 Cho dòng điện một chiều chạy qua một dây dẫn có điện trở $R = 6\Omega$. Sau thời gian $t_0 = 24s$ điện lượng chạy qua tiết diện dây dẫn đó là $60C$.

Tìm nhiệt lượng tỏa ra trên dây dẫn đó trong các trường hợp sau đây:

1) Trong khoảng thời gian t_0 , cường độ dòng điện giảm tuyến tính đến trị số bằng không.

2) Dòng điện có cường độ giảm dần đến trị số bằng không, sao cho cứ sau một khoảng thời gian bằng t_0 , cường độ giảm đi một nửa và tổng điện lượng qua dây dẫn bằng $120C$.

2.25 Cho một nguồn điện một chiều (có suất điện động E , điện trở trong r), hai vôn kế có điện trở R_1 , R_2 và một hộp điện trở chuẩn.

1) Xác định suất điện động E nhờ một số tối thiểu mạch điện trong đó chỉ dùng các vôn kế, không dùng hộp điện trở.

2) Tìm hai phương trình tuyến tính ứng với hai mạch điện trong đó chỉ dùng một vôn kế nhất định và hộp điện trở, nhằm xác định E , r và điện trở trong của vôn kế đã dùng.

Lắp lần lượt hai mạch ấy, đo và vẽ hai đồ thị ứng với hai phương trình ấy. Từ đó tính ra E và hai điện trở nói trên.

3) Nêu các nguyên nhân gây ra sai số trong 1 và 2; Nguyên nhân nào ảnh hưởng nhiều nhất đến kết quả cuối cùng.

2.26 1) Áp dụng định luật Ohm cho đoạn mạch đồng chất $I = \frac{\bar{U}}{R}$

hãy chứng minh rằng, giữa mật độ dòng điện $i = \frac{I}{S}$ và cường độ điện trường E trong môi trường dẫn điện có hệ thức $i = \sigma E$, với σ là điện dẫn suất của môi trường ($\sigma = \frac{1}{\rho}$).

2) Khoảng không gian giữa hai bản của một tụ điện cầu (có bán kính a và b , với $a < b$) có chứa đầy một chất điện môi đồng nhất và đẳng hướng có hằng số điện môi ϵ . Ban đầu tụ điện không tích điện, sau đó nhờ một nguồn điện người ta tích điện cho bản trong một điện tích q_0 , rồi ngắt tụ điện khỏi nguồn. Cho biết chất điện môi không hoàn toàn cách điện mà có điện dẫn suất σ . Hãy tìm:

a) Sự phụ thuộc của điện tích bản trong q của tụ điện vào thời gian.

b) Cường độ dòng điện chạy qua chất điện môi và tìm nhiệt lượng tổng cộng tỏa ra ở điện môi.

2.27 Hai điện cực phẳng của một buồng ion hóa có diện tích $S = 100cm^2$, đặt cách nhau $d = 6,5cm$. Cứ mỗi giây tác nhân ion hóa tạo ra trong mỗi cm^3 của buồng $\Delta n_0 = 10^9$ cặp ion hóa trị 1 (dương và âm). Hệ số tái hợp các ion là $\gamma = 10^{-6}cm^3s^{-1}$. Hãy tính:

1) Số cặp ion tối đa có thể có được trong $1cm^3$ của buồng ion hóa.

2) Cường độ dòng điện bão hòa giữa các điện cực khi đặt giữa chúng hiệu điện thế $U = 20V$.

3) Khoảng thời gian kể từ khi tác nhân ion hóa ngừng hoạt động cho đến khi số ion giảm đi còn một nửa.

Hướng dẫn: Khi va chạm với nhau các ion dương và âm trao đổi electron cho nhau và trở thành các phân tử trung hòa; đó

là quá trình tái hợp. Số ion tái hợp (bị mất đi) Δn tỉ lệ với số ion dương n và số ion âm n có mặt, nghĩa là $\Delta n = \gamma n^2$, γ được gọi là hệ số tái hợp.

2.28 Khi dùng một sợi dây chì có đường kính tiết diện $d_1 = 2\text{mm}$ làm cầu chì thì nó sẽ cháy (cầu chì bị đứt) khi có dòng điện $I_1 \geq 8\text{A}$ đi qua trong một thời gian. Hỏi nếu dùng dây chì có đường kính tiết diện $d_2 = 4\text{mm}$ thì cầu chì sẽ chịu được dòng điện có cường độ lớn nhất I_2 bằng bao nhiêu? Xem rằng nhiệt lượng từ sợi dây chì tỏa ra môi trường xung quanh tỉ lệ thuận với diện tích xung quanh của sợi dây và các dây chì là đủ dài để có thể bỏ qua sự mất mát nhiệt do tiếp xúc ở hai đầu dây.

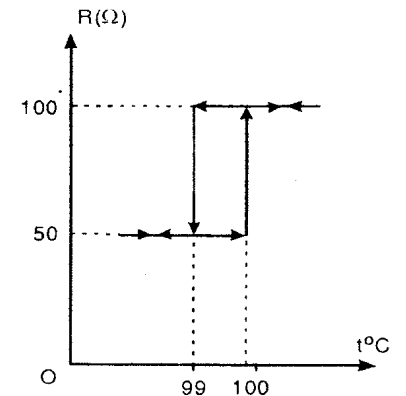
2.29 Cho một dòng điện không đổi truyền qua một nhiệt điện trở có điện trở phụ thuộc nhiệt độ tuyệt đối theo công thức $R = \frac{A}{T}$. Trong thời gian $t_1 = 10\text{s}$ nhiệt độ của nhiệt điện trở tăng từ $T_1 = 300\text{K}$ đến $T_2 = 310\text{K}$. Hỏi sau bao lâu nhiệt độ của nó tăng từ T_2 đến $T_3 = 350\text{K}$. Bỏ qua sự trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh.

2.30 Khi cho dòng điện có cường độ $I_1 = 1,4\text{A}$ đi qua một sợi dây dẫn thì sau một thời gian dây đó nóng lên đến nhiệt độ $t_1 = 55^\circ\text{C}$, còn khi cho dòng điện $I_2 = 2,8\text{A}$ đi qua dây đó thì nhiệt độ của dây tăng lên đến $t_2 = 160^\circ\text{C}$. Hỏi nếu cho dòng điện $I_3 = 5,6\text{A}$ đi qua dây đó thì nhiệt độ của dây tăng lên đến bao nhiêu? Cho biết: nhiệt lượng từ dây dẫn tỏa ra môi trường xung quanh tỉ lệ thuận với độ chênh lệch nhiệt độ giữa dây dẫn và môi trường xung quanh. Giả thiết nhiệt độ môi trường xung quanh không thay đổi và bỏ qua sự phụ thuộc của điện trở dây dẫn vào nhiệt độ.

2.31 Trên hình 2.21 là đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của điện trở của một linh kiện vào nhiệt độ. Khi nung nóng linh kiện đến 100°C thì điện trở của nó tăng đột ngột từ trị số $R_1 = 50\Omega$ đến $R_2 = 100\Omega$. Còn khi giảm nhiệt độ linh kiện thì điện trở của nó lại giảm đột ngột từ R_2 xuống R_1 ở 99°C .

Đặt vào hai đầu linh kiện nói trên hiệu điện thế không đổi $U = 80\text{V}$, thì trong mạch hình thành một dòng điện dao động. Hãy tính chu kì dao động đó, giá trị cực đại và cực tiểu của dòng điện.

Cho biết: nhiệt độ môi trường là $t_0 = 20^\circ\text{C}$, công suất tỏa nhiệt trên bề mặt linh kiện tỉ lệ thuận với độ chênh lệch nhiệt độ giữa linh kiện và môi trường với hệ số tỉ lệ là $\alpha = 1,2\text{W/K}$. Nhiệt dung của linh kiện là 3J/K .



Hình 2.21

2.32 Theo quan điểm tĩnh điện, bề mặt Trái Đất có thể xem như một vật dẫn điện tốt. Nó mang điện tích tổng cộng Q_0 với mật độ điện tích mặt trung bình σ_0 .

1) Trong điều kiện thời tiết tốt, có một điện trường hướng xuống mặt đất E_0 mà giá trị ở sát mặt đất là vào khoảng 150V/m . Hãy suy ra mật độ điện tích mặt của mặt đất và tổng điện tích của bề mặt Trái Đất.

2) Độ lớn của điện trường hướng xuống mặt đất giảm theo chiều cao và ở độ cao 100m nó còn bằng 100V/m . Hãy tính điện lượng dư trung bình chứa trong 1m^3 không khí giữa mặt đất và độ cao 100m .

3) Mật độ điện tích thực mà đã tính được ở câu 2 là kết quả của việc mỗi đơn vị thể tích khí quyển có chứa một số ion dương và ion âm tích điện một lần với số lượng gần bằng nhau (n_+ và n_-). Ở gần mặt đất, trong điều kiện thời tiết tốt $n_+ \approx n_- \approx 6 \cdot 10^8 \text{m}^{-3}$. Những ion này chuyển động dưới tác dụng của điện trường thẳng đứng. Tốc độ của chúng tỉ lệ với cường độ điện trường $v \approx 1,5 \cdot 10^{-14} E$, trong đó v tính bằng m/s , còn E tính bằng V/m . Hỏi phải bao lâu thì chuyển động của các ion

trong khí quyển có thể trung hòa được nửa điện lượng trên mặt Trái Đất nếu không có các quá trình khác (ví dụ quá trình chiếu sáng) tác động làm duy trì điện tích ấy.

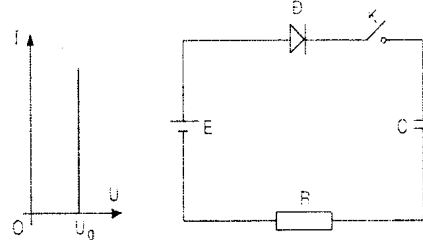
(Trích Đề thi Olympic Vật lý quốc tế năm 1993 ở Mi).

- 2.33** Điốt D có đặc tuyến vôn-ampe được mô tả như hình (a) và mắc vào mạch điện như sơ đồ (b) (H.2.22).

Khi $U \geq U_0$ (hiệu điện thế thuận): điốt mở

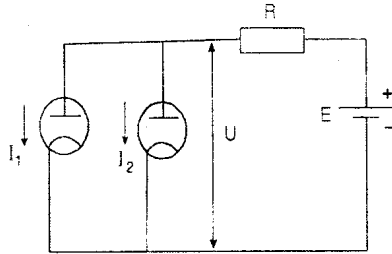
Ban đầu, K mở, tụ C chưa được tích điện.

Hỏi khi đóng khóa K, dòng điện qua mạch có cường độ bằng bao nhiêu. Tính điện lượng qua mạch sau khi đóng K và nhiệt lượng tổng cộng tỏa ra trên R?



Hình 2.22

- 2.34** Trong một khoảng giá trị của hiệu điện thế U đặt vào hai cực của một linh kiện điện tử (điốt điện tử), đặc trưng vôn-ampe được biểu thị bằng công thức: $I = aU + bU^2$ khi $U > 0$ (U là hiệu điện thế giữa anôt và catôt của điốt) với $a, b > 0$ và $I = 0$ khi



Hình 2.23

$U \leq 0$. Người ta mắc song song vào mạch trên hình 2.23 hai điốt có các thông số $a_1 = 0,06 \text{ mA/V}$; $b_1 = 0,008 \text{ mA/V}^2$, và $a_2 = 0,04 \text{ mA/V}$; $b_2 = 0,002 \text{ mA/V}^2$. Cho biết: $E = 200 \text{ V}$; $R = 10 \text{ k}\Omega$. Hãy tính công suất tiêu thụ trên hai điốt đó.

B. HƯỚNG DẪN GIẢI VÀ ĐÁP SỐ

- 2.1** Mật độ dòng điện $i = \frac{I}{S}$, với $I = \frac{U}{R}$, $S = 2\pi rh$

$$\text{Ta có: } R = \frac{1}{\sigma} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{2\pi rh} = \frac{1}{2\pi\sigma h} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

$$\text{Suy ra: } i = \frac{\sigma U}{r \ln \frac{R_2}{R_1}}$$

$$\text{Và } P = \frac{U^2}{R} = \frac{2\pi\sigma h U^2}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$

- 2.2** Chia vật dẫn thành những lớp mỏng bằng các mặt phẳng song song với đáy cách nhau dx (H.2.24), mỗi lớp có thể xem như một hình trụ có chiều cao dx và có đáy bằng πr^2 , với r tính theo công thức:

$$r = r_1 + \frac{r_2 - r_1}{h} x \quad (1)$$

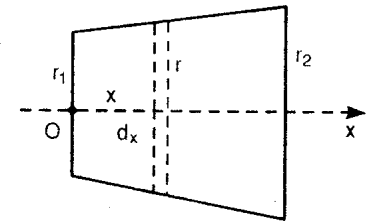
Điện trở của mỗi lớp là:

$$dR = \rho \frac{dx}{S}$$

với $S = \pi r^2$. Theo (1), ta có:

$$dr = \frac{r_2 - r_1}{h} dx \rightarrow dx = \frac{h dr}{r_2 - r_1}$$

$$\text{Do đó: } dR = \frac{\rho h dr}{(r_2 - r_1) \pi r^2} \Rightarrow R = \int_{r_1}^{r_2} dR = \frac{\rho h}{\pi r_1 r_2}$$



Hình 2.24

- 2.3** Tại điểm cách bản thứ nhất một khoảng x , điện dẫn suất của lớp vật liệu có trị số: $\sigma = ax + b$

Theo đề bài, khi $x = 0$, thì $\sigma = \sigma_1$; và khi $x = d$ thì $\sigma = \sigma_2$. Suy ra:

$$a = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{d}; b = \sigma_1;$$

Điện trở của lớp mỏng vật liệu giới hạn bởi 2 mặt phẳng cách bản thứ nhất các khoảng x và $x+dx$ là:

$$dR = \frac{1}{\sigma} \frac{dx}{S} = \frac{1}{ax+b} \frac{dx}{S}$$

Suy ra:

$$R = \int_0^d dR = \frac{d}{(\sigma_2 - \sigma_1)} \ln \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$$

2.4

* Khi mở cả hai khóa: $P_o = \frac{U^2}{R_1 + R_2 + R_3}$ (1)

* Khi chỉ đóng khóa K_1 , dòng điện chỉ qua điện trở R_3 , nên:

$$P_1 = \frac{U^2}{R_3} \quad (2)$$

* Khi chỉ đóng khóa K_2 , dòng điện chỉ qua điện trở R_1 , nên:

$$P_2 = \frac{U^2}{R_1} \quad (3)$$

* Khi đóng cả hai khóa, ba điện trở mắc song song với nhau, công suất tỏa nhiệt của toàn mạch là:

$$P = \frac{U^2}{R_1} + \frac{U^2}{R_2} + \frac{U^2}{R_3} \quad (4)$$

Từ (1) ta có: $\frac{1}{P_o} = \frac{R_1}{U^2} + \frac{R_2}{U^2} + \frac{R_3}{U^2} = \frac{1}{P_2} + \frac{1}{P_1} + \frac{R_2}{U^2}$

Hay: $\frac{R_2}{U^2} = \frac{1}{P_o} - \frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2}$

$$\Rightarrow \frac{U^2}{R_2} = \frac{P_o P_1 P_2}{P_1 P_2 - P_o P_2 - P_o P_1} = P_3 \quad (5)$$

Thay (2), (3), (5) vào (4) ta tìm được công suất tỏa nhiệt trong toàn mạch khi cả hai khóa đều đóng là:

$$P = P_1 + P_2 + \frac{P_o P_1 P_2}{P_1 P_2 - P_o P_1 - P_o P_2}$$

2.5 1) K mở, mạch điện có sơ đồ như hình 2.25.

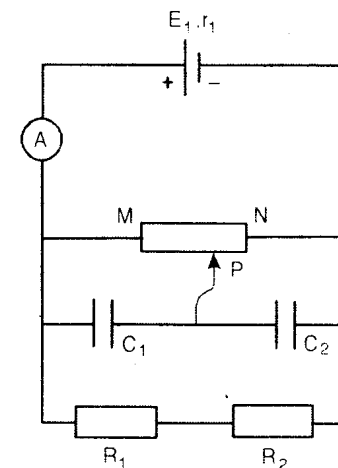
$$R_{MN} = \frac{U_{MN}}{I_{MN}} = \frac{3,84}{0,32} = 12\Omega;$$

$$\frac{R_{MP}}{R_{PN}} = \frac{U_1}{U_2} = 3 \Rightarrow R_{MP} = 9\Omega$$

$$U_1 = \frac{q_1}{C_1} = 2,88V;$$

$$U_2 = \frac{q_2}{C_2} = 0,96V;$$

$$\Rightarrow U_{MN} = U_1 + U_2 = 3,84V$$



Hình 2.25

$$I_A = \frac{-U_{MN} + E_1}{r_1} = \frac{4,8 - 3,84}{1,2} = 0,8A$$

$$* I_{R_1, R_2} = \frac{U_{MN}}{R_1 + R_2} = \frac{3,84}{8} = 0,48A$$

$$I_{MN} = I_A - I_{R_1, R_2} = 0,8 - 0,48 = 0,32A$$

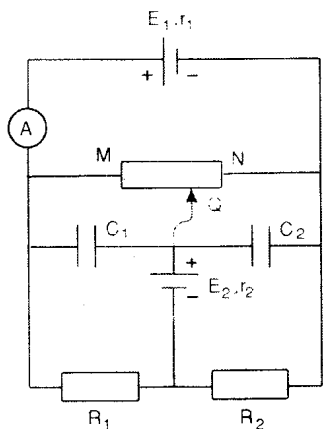
2) K đóng: mạch điện có sơ đồ như hình 2.26

$$V_Q - V_M = \frac{3,3}{1} = 3,3V$$

$$V_M - V_N = 4,8V$$

$$\Rightarrow V_Q - V_N = 3,3 + 4,8 = 8,1V$$

$$\text{Vậy } q_2 = 3,3 \cdot 8,1 = 24,3C$$



Hình 2.26

$$I_1 = \frac{3,3}{R_{MQ}} ; I_2 = \frac{8,1}{R_{MN} - R_{MQ}} = \frac{8,1}{12 - R_{MQ}}$$

$$\Leftrightarrow U_{MQ} + R_1 I_1 = U_{MQ} + R_2 I_2$$

$$3,3 + \frac{3,3}{R_{MQ}} \cdot 6 = 8,1 + \frac{8,1}{12 - R_{MQ}} \cdot 2$$

$$\Leftrightarrow 4R_2 - 78R_{MQ} + 198 = 0$$

Giải phương trình trên

$$\Rightarrow \begin{cases} R_{MQ} = 9 \\ R_{MQ} = 16,5 \text{ (loại)} \end{cases}$$

$$\text{Vậy } I = I_1 + I_2 = \frac{3,3}{3} + \frac{8,1}{9} = 2A$$

$$\Rightarrow E_2 = U_{MQ} + R_1 I_1 + R_2 I_2$$

$$\Leftrightarrow E_2 = 11V$$

2.6 1) Điện năng tiêu thụ bởi động cơ chia thành 2 phần: 1 phần biến thành cơ năng, một phần biến thành nhiệt năng làm nóng động cơ. Vì vậy công suất toàn phần của động cơ là:

$$P_{tp} = P_{cơ} + P_{nhiệt}$$

$$\text{Công suất kéo vật: } P_{cơ} = T \cdot v$$

$$\text{Trong đó lực căng } T = P \sin \alpha = \frac{mg}{2}$$

$$\Rightarrow P_{cơ} = \frac{10 \cdot 10}{2} \cdot 3 = 150W$$

$$\text{Công suất tỏa nhiệt: } P_{nhiệt} = I^2 \cdot r = 5^2 \cdot 2 = 500W$$

$$\text{Suy ra công suất toàn phần: } P_{tp} = 150 + 50 = 200W.$$

Hiệu suất động cơ:

$$H\% = \frac{P_{cơ}}{P_{tp}} \cdot 100\% = \frac{150}{200} \cdot 100\% = 75\%$$

$$H\% = 75\%$$

2) Tìm cách mắc nguồn điện.

Hiệu điện thế giữa hai đầu động cơ khi kéo vật:

$$U = \frac{P_{tp}}{I} = \frac{200}{5} = 40V$$

Ta phải mắc bộ nguồn đối xứng, nghĩa là m dãy song song giống nhau, mỗi dãy n ác quy mắc nối tiếp: $E_b = nE_o = 8n$.

$$r_b = \frac{nr_o}{m} = \frac{0,8n}{m}$$

Theo định luật Ohm với mạch kín:

$$E_b = U + Ir_b$$

$$\Leftrightarrow 8n = 40 + n \times \frac{0,8n}{m}$$

$$\Leftrightarrow 2mn = 10m + n \quad (1)$$

Vì không thể xác định chính xác số nguồn, nên phương trình (1) là phương trình vô định.

Chia hai vế của phương trình (1) cho m.n ta được:

$$(1) \Leftrightarrow 2 = \frac{10}{n} + \frac{1}{m}$$

(Vì m, n phải nguyên dương, nên ta chỉ xét nghiệm nguyên dương của phương trình vô định).

* Tổng hai số $\frac{10}{n}, \frac{1}{m}$ là một hằng số, do đó tích của hai số cực đại khi 2 số bằng nhau, nghĩa là $\frac{10}{n} \cdot \frac{1}{m}$ cực đại (do đó m.n phải cực tiểu) khi $\frac{10}{n} = \frac{1}{m}$.

$$\text{Ta có hệ phương trình: } \begin{cases} \frac{10}{n} = \frac{1}{m} \\ \frac{10}{n} + \frac{1}{m} = 2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} m = 1 \\ n = 10 \end{cases}$$

Vậy bộ nguồn gồm 1 dây và các ắc quy cần dùng là 10 cái. Bộ nguồn gồm 10 ắc quy nối tiếp nhau.

2.7

1) Đặt $R_{MC} = x$. Ta có:

$$R_1 \text{ nối tiếp } R_2 \Rightarrow I_{12} = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{48}{4} = 12\text{mA}$$

$$\Rightarrow U_1 = U_2 = 12 \cdot 2 = 24\text{V} = \frac{E}{2}$$

Dòng điện qua R_{MN} có cường độ:

$$I_{MN} = I_X = \frac{E}{R_{MN}} = 8\text{mA}$$

Do đó đoạn MC có $U_{MC} = 8x$ (V)

Trong khi C chạy trên MN, R_{MC} có giá trị x luôn thay đổi, số chỉ vôn kế có giá trị đại số:

$$U_{CB} = U_{CM} + U_{MB} = U_{MB} - U_{MC} = 24 - 8x.$$

Khi $x = 0$, vôn kế chỉ $U_{CB} = 24\text{V}$

Khi $x = 1,2\text{k}\Omega$, vôn kế chỉ $U_{CB} = 24 - 1,2 \cdot 8 = 14,4\text{V}$

Vôn kế chỉ $U_{CB} = 24 - 8x = 4,8\text{V}$

Khi $x = 2,4\text{k}\Omega$ hay $R_{CN} = 6 - x = 3,6\text{k}\Omega$.

$$\frac{R_{MC}}{R_{MN}} = \frac{2,4}{6} = \frac{2}{5}$$

Vậy con chạy C ở vị trí sao cho $R_{MC} = \frac{2}{5} R_{MN}$ thì vôn kế chỉ 4,8V.

2) Vôn kế V_2 chỉ $U_{BC} = 48 - 28 = 20\text{V}$

$$\text{Qua } V_2 \text{ có dòng điện } I_{V_2} = \frac{20}{R_V}$$

$$\text{Qua } V_1 \text{ có dòng điện } I_{V_1} = \frac{28}{R_V}$$

Nút B cho biết dòng điện qua V_3 là

$$\frac{28}{R_V} - \frac{20}{R_V} = \frac{8}{R_V}$$

$$\text{Vậy } V_3 \text{ chỉ: } R_V \cdot \frac{8}{R_V} = 8\text{V} \Rightarrow R_V = 1\text{k}\Omega$$

$$U_{MC} = U_{MB} + U_{BC} = 28 + 8 = 36\text{V}$$

$$U_{CN} = U_{MN} - U_{MC} = 48 - 36 = 12\text{V}$$

2.8 1) Đặt $n = \frac{R_V}{R} \rightarrow R_V = nR$. Ta có:

$$I_{V_1} = \frac{U_1}{R_V}$$

$$U_{CD} = I_{V_1} (2R + R_V) = I_{V_1} (2R_1 + nR) = \frac{U_1}{n} (n + 2)$$

$$I_{CD} = \frac{U_{CD}}{R} = \frac{U_1}{nR} (n + 2); \quad I_{AC} = I_{CD} + I_{V_1} = \frac{U_1}{nR} (n + 3)$$

$$U = 2RI_{AC} + U_{CD} = \frac{U_1}{n} (3n + 8) \quad (1)$$

$$\Rightarrow n = \frac{8U_1}{U - 3U_1} = \frac{8}{\frac{U}{U_1} - 3} \quad (2)$$

$$\text{Áp dụng số: } n = \frac{8}{\frac{126}{18} - 3} = 2 \Rightarrow R_V = 2R$$

$$\text{Vậy } \frac{R_V}{R} = n = 2$$

$$2) (1) \Rightarrow U_1 = \frac{nU}{3n + 8} = \frac{U}{3 + \frac{8}{n}} \cdot U = \text{const}$$

$\Leftrightarrow U_{1\max}$ khi $n = \infty$.

$\Rightarrow R_V$ rất lớn (V_1 là vôn kế lí tưởng)

$$\Rightarrow U_{1\max} = \frac{U}{3} = 42V \text{ (với } U = 126V)$$

$U_{1\min}$ khi $n = 0 \Rightarrow R_V = 0$ (thực tế không còn là vôn kế)

$$\Rightarrow U_{1\min} = 0$$

2.9

$$R_{TD} = r + \frac{r'R}{r'+R} = \frac{R(r+r') + rr'}{R+r'}$$

$$I = \frac{U}{R_{TD}} = \frac{u(R+r')}{rr'+R(r+r')} \Rightarrow U_{AB} = I \frac{Rr'}{R+r'} = \frac{URr'}{rr'+R(r+r')}$$

Công suất tỏa nhiệt trên biến trở:

$$P_R = \frac{U_{AB}^2}{R} = U^2 \left[\frac{r'}{\frac{rr'}{\sqrt{R}} + \sqrt{R}(r+r')} \right]; U, r, r' \text{ là hằng số.}$$

$$P_{R\max} = \frac{rr'}{\sqrt{R}} = \sqrt{R}(r+r')$$

$$R_0 = R = \frac{rr'}{r+r'}$$

Đây là điểm cực trị của hàm P_R , do đó khi R biến thiên quanh giá trị R_0 thì P_R hầu như không đổi bằng

$$P_0 = \frac{U^2 r'}{4r(r+r')} \text{ không phụ thuộc } R.$$

$$\text{Khi } U = 80V, r = r', \text{ ta có: } P_0 = \frac{U^2}{8r} = 100W \Rightarrow r = r' = 8\Omega$$

$$\Rightarrow R_0 = 4\Omega \Rightarrow P_t \text{ trên toàn mạch là: } P_t = \frac{U^2}{R_{TD}} = 600W$$

2.10 1) Giả sử chiều các dòng điện được vẽ như hình 2.11. Ta có:

$$+ \text{ Nút M: } I_2 = I_1 + I_5$$

$$U_{AB} = U_{AM} + U_{MB} = I_1 R_1 + I_2 R_2 = I_1 R_1 + (I_1 + I_5) R_2 \quad (1)$$

$$+ \text{ Nút N: } I_4 = I_3 - I_5$$

$$U_{AB} = U_{AN} + U_{NB} = R_3 I_3 + R_4 I_4 = R_3 I_3 + R_4 (I_3 - I_5) \quad (2)$$

Nhân (1) với $(R_3 + R_4)$; nhân (2) với $(R_1 + R_2)$ sau đó cộng lại và rút gọn ta được:

$$(R_1 + R_2 + R_3 + R_4) U_{AB} = (R_1 + R_2)(R_3 + R_4)(I_1 + I_2) + I_5(R_2 R_3 - R_4 R_1)$$

Theo giả thiết: $R_2 R_3 - R_1 R_4 = 0$.

$$\text{Do đó: } U_{AB} = \frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \cdot I$$

Mặt khác:

$$U_{AB} = E_1 - I r_1 \Rightarrow I = \frac{E_1}{\frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} + r_1} \quad (3) \text{ (đpcm)}$$

Từ giả thiết:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Leftrightarrow \frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

Tương tự như trên ta có:

$$I_5 = \frac{E_2}{\frac{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} + r_2} \quad (4)$$

Vậy công suất tổng cộng là:

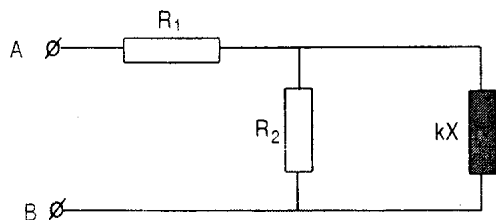
$$P = E_1 I + E_2 I_5 - R_1 I^2 - R_2 I_5^2 \quad (5)$$

Thay (3)(4) vào (5):

$$P = \frac{E_1^2 (R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{\left[\frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} + r_1 \right]^2 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)} + \frac{E_2^2 (R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{\left[\frac{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} + r_2 \right]^2 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)}$$

2.11 Gọi X là điện trở tương đương của mạch điện.

Vì mạch điện là vô hạn nên khi ta thêm vào đầu mạch một ô mạch nữa thì điện trở tương đương của toàn mạch vẫn là X , trong đó điện trở ô mạch kế tiếp bằng k lần điện trở ô trước đó (H.2.27).



Hình 2.27

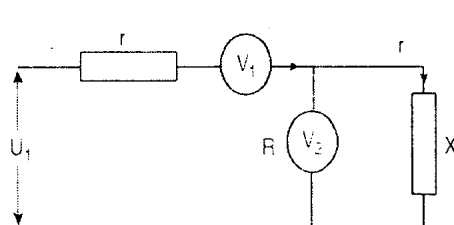
Ta có:

$$R_1 + \frac{R_2 kX}{R_2 + kX} = X$$

$$\Rightarrow R_{AB} = X = \frac{k(R_1 + R_2) - R_2 + \sqrt{kR_1 + kR_2 - R_2 - 4kR_1R_2}}{2k}$$

$$\text{Với } k = \frac{1}{2} \Rightarrow R_{AB} = X = \frac{R_1 - R_2 + \sqrt{R_1^2 + R_2 + 6R_1R_2}}{2}$$

2.12 1) Số chỉ của V_3, V_4 : (H.2.28)



Hình 2.28

Nhận xét:

$$U_1 = (2 + 4 + 6) = 12V$$

$$U_{v_1} = \frac{1}{2}U_1; \quad U_{v_2} = \frac{1}{3}U_1$$

$$\text{vậy: } U_2 = U_{v_2} = 4V$$

Nên tương tự suy ra:

$$U_{v_3} = \frac{1}{2}U_2 = 2V$$

$$U_{v_4} = \frac{1}{3}U_2 = \frac{4}{3}V$$

2) Tổng số chỉ của các vôn kế trong mạch điện:

$$\sum U_v = (4 + 6) + \left(2 + \frac{4}{3}\right) + \dots$$

$$= 10 + \frac{10}{3} + \frac{10}{3^2} + \dots + \frac{10}{3^n}$$

$$= 10 \left(1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3^2} + \dots + \frac{1}{3^n}\right)$$

$$\text{Cấp số } 1 + a + a^2 + \dots + a^n = \frac{a^{n+1} - 1}{a - 1} \text{ với } a = \frac{1}{3}$$

$$\sum U_v = 10 \left[\frac{\left(\frac{1}{3}\right)^{n+1} - 1}{\frac{1}{3} - 1} \right] = 10 \left[\frac{0 - 1}{-\frac{2}{3}} \right]$$

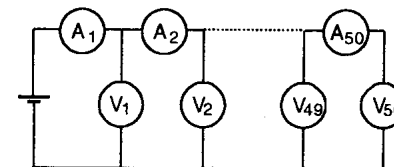
$$\sum U_v = 15V$$

2.13 Ta có (H.2.29)

$$I_1 = I_{v_1} + I_2$$

$$\Rightarrow I_{v_1} = I_1 - I_2 = 0,3mA$$

$$R_v = \frac{U_1}{I_{v_1}} = \frac{9,6}{0,3 \cdot 10^{-3}} = 32k\Omega$$



Hình 2.29

$$\sum_{i=1}^{50} U_{V_i} = \sum_{i=1}^{50} I_{V_i} \cdot R_{V_i} = R_V \sum_{i=1}^{50} I_{V_i}$$

$$\text{Mà: } \sum_{i=1}^{50} I_{V_i} = I_1$$

$$\text{Vậy: } \sum_{i=1}^{50} U_{V_i} = R I_1 = 304 \text{ V}$$

2.14 Cách 1: Phương pháp mạch hở (hai đầu A, B để hở).

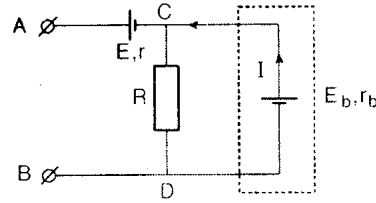
Ta tưởng tượng thêm vào đầu mạch một ô mạch, khi đó E_b , r_b của bộ nguồn không thay đổi.

Từ mạch điện (H.2.30), ta có:

$$r_b = r + \frac{r_b R}{r_b + r}$$

$$\Rightarrow r_b^2 - r_b r - R r = 0$$

$$\Rightarrow r_b = \frac{r + \sqrt{r^2 + 4rR}}{2}$$



Hình 2.30

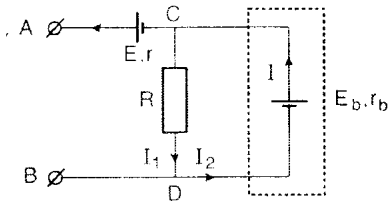
$$U_{AB} = E_b \quad (\text{mạch hở})$$

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CD} = E + U_{CD}$$

$$U_{CD} = IR = \frac{E_b}{R + r_b} R$$

$$\Rightarrow E_b = E + \frac{E_b}{R + r_b} R$$

$$\Rightarrow E_b = E \left(1 + \frac{R}{r_b} \right)$$



Hình 2.31

$$E_b = E \frac{r + \sqrt{r^2 + 4rR}}{2r} = \frac{E}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4R}{r}} \right)$$

Cách 2: Phương pháp đoản mạch (nối hai đầu A, B bằng một dây dẫn có điện trở rất nhỏ coi như bằng không).

Giả sử chiều dòng điện như trên hình 2.31.

Ta có:

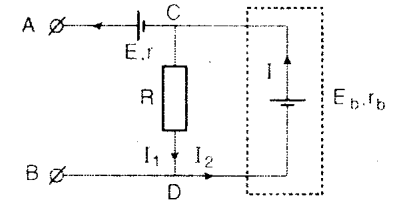
$$U_{CD} = E_b - I_2 r_b \quad (1)$$

$$U_{CD} = I_1 R \quad (2)$$

$$U_{CD} = I_o r - E \quad (3)$$

$$I_o = \frac{E_b}{r_b} \quad (4)$$

$$I_2 = I_o + I_1 \quad (5)$$



Hình 2.31

$$\text{Từ (2) và (3)} \Rightarrow I_1 = \frac{I_o r - E}{R}$$

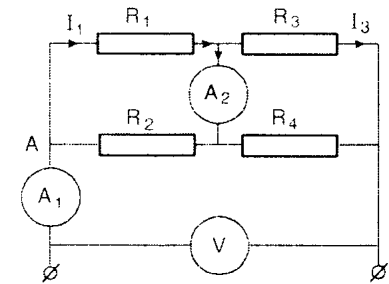
Thay vào (5):

$$I_2 = I_o + \frac{I_o r - E}{R} \quad (6)$$

$$(1) \Rightarrow E_b = \frac{E r_b}{r}$$

$$\Rightarrow E_b = \frac{E}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4R}{r}} \right)$$

2.15 Gọi R_1, R_2, R_3, R_4 là trị số tương ứng của các điện trở (H.2.32)



Hình 2.32

$$R_{AB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_{AB}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_{AB}} \cdot \frac{R_1}{R_3 + R_4}$$

$$I_{A_2} = |I_1 - I_3|$$

$$2 = \frac{10}{R_{AB}} \left| \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_1}{R_3 + R_4} \right|$$

$$\Leftrightarrow 2 = \frac{10 |R_2 R_3 - R_1 R_4|}{R_1 R_2 R_3 + R_2 R_3 R_1 + R_1 R_2 R_4 + R_1 R_3 R_4}$$

$$\Rightarrow |R_2 R_3 - R_1 R_4| = 10$$

Vậy số chỉ của A_1 cho bởi bảng kết quả sau:

$R_2(\Omega)$	$R_3(\Omega)$	$R_1(\Omega)$	$R_4(\Omega)$	$R_{AB}(\Omega)$	$I(A) = \frac{U_V}{R_{AB}}$
3	4	2	1	2	5
2	1	4	3	$\frac{25}{12}$	4,8

2.16 Khi K mở: Mạch ngoài gồm R_1, R_2, R_3 nối tiếp.

Hiệu điện thế ở hai bản tụ C_2 :

$$U_2 = \frac{q_2}{C_2} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-6}} = 2(V)$$

$$I = IR_2 = \frac{U_{MB}}{R_2} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{2}{100} = 0,02(A)$$

$$E = I(R_1 + R_2 + R_3) = 0,02 \times 300 = 6(V)$$

Khi K đóng: Mạch ngoài gồm R_1 nối tiếp R_3 :

$$I' = \frac{E}{R_1 + R_3} = \frac{6}{200} = 3 \cdot 10^{-2}$$

$$U'_1 = U_{AM} = R_1 I' = 100 \times 3 \cdot 10^{-2} = 3(V)$$

$$\Rightarrow q'_1 = C_1 U'_1 = 10^{-6} \times 3 = 3 \cdot 10^{-6} C$$

2.17 1) Hình 2.33.

$$R_o = R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 5,2 \Omega$$

$$C_o = \frac{(C_1 + C_2) C_3}{(C_1 + C_2) C_3} = 2,4 \mu F$$

$$2) I_o = \frac{E}{R_o} = \frac{10V}{5,2 \Omega} = 1,92(A)$$

$$3) I = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU}{dt}; \text{ với } U = E - IR_o$$

$$\Rightarrow \frac{dU}{dt} = -R_o \frac{dI}{dt} \Rightarrow I = C(-R_o) \frac{dI}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{dI}{I} = -\frac{1}{CR_o} dt$$

$$\ln I|_{I_o}^I = -\frac{t}{CR_o}$$

$$\ln \frac{I}{I_o} = -\frac{t}{CR_o} \Rightarrow \frac{I}{I_o} = e^{-\frac{t}{CR_o}}$$

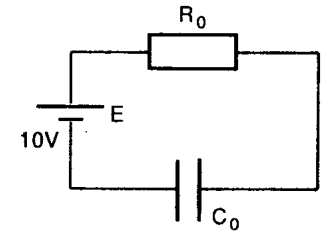
$$\Rightarrow I = I_o \cdot e^{-\frac{t}{CR_o}}$$

$$I_{(t=20\mu s)} = I_o \cdot e^{-\frac{t}{CR_o}} \text{ với } CR_o = 1,15 \cdot 10^{-5}(s)$$

$$I = 1,92 \cdot e^{-\frac{2 \cdot 10^{-5}}{1,15 \cdot 10^{-5}}} = 0,337(A)$$

Điện tích cực đại trên tụ điện tương đương:

$$Q_o = C_o U_{\max} = 2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 2,4 \cdot 10^{-5} (C)$$



Hình 2.33

Điện tích trên C_0 sau $\Delta t = 20\mu s$ là:

$$Q(t) = Q_0 (1 - e^{-t/CR_0})$$

với $Q_0 e^{-\frac{t}{CR_0}} = 2,22 \cdot 10^{-5} \exp \left\{ -\frac{2 \cdot 10^{-5}}{1,22 \cdot 10^{-5}} \right\}$

$$Q = 17,9\mu C = Q_3(t)$$

2.18 1) K ở vị trí 1:

Nguồn điện tích điện cho tụ điện C nhờ dòng điện $I = dq/dt$ với q là điện tích ở bản tụ tại thời điểm t , khi đó: $q = CU$

Ta lại có: $U = E - rI$

$$I = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU}{dt}$$

$$\Rightarrow U = E - rC \frac{dU}{dt}$$

$$\text{hay } \frac{dU}{dt} + \frac{1}{rC} U = \frac{E}{rC}$$

Giải phương trình vi phân với điều kiện ban đầu:

$$U_{(t=0)} = 0$$

ta được: $U = E \left(1 - e^{-\frac{t}{rC}} \right) \quad (1)$

Từ (1): khi $t \rightarrow \infty \rightarrow U = E$

2) Ở vị trí 2:

Tụ C phóng điện qua điện trở R với cường độ dòng điện I' .

Hiệu điện thế U' giữa hai bản tụ điện ở thời điểm t bất kì:

$$U' = \frac{q'}{C} \quad (a)$$

$$U' = RI'$$

Với: $I' = -\frac{dq'}{dt} = -C \frac{dU'}{dt}$ (dấu - vì q' giảm)

$$\Rightarrow U' = -RC \frac{dU'}{dt} \quad (1)$$

$$\Rightarrow \frac{dU'}{U'} = -\frac{dt}{RC} \quad (2)$$

Lấy tích phân hai vế của (2) với điều kiện ban đầu: $U' = E$

Ta được: $U' = E e^{-\frac{t}{RC}}$

Từ đó: $I' = -C \frac{dU'}{dt} = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$

Do đó, nhiệt lượng tỏa ra ở R trong suốt thời gian phóng điện là:

$$Q = \int_0^{\infty} RI'^2 dt = \frac{E^2}{R} \int_0^{\infty} e^{-\frac{2t}{RC}} dt$$

$$Q = \frac{1}{2} CE^2$$

Đó cũng chính là năng lượng mà nguồn điện đã tích cho tụ điện trong thời gian nạp điện.

2.19 1) Ở thời điểm bắt đầu đóng khóa, tụ điện coi như "vật dẫn điện" có điện trở bằng không. Vì vậy R_3 bị nối tắt.

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2}{3} \Omega$$

$$i_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{3}{1} = 3A$$

$$i_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{3}{2} = 1,5A$$

$$i_3 = 0$$

2) Sau một thời gian đủ lớn kể từ lúc đóng khóa K , tụ điện đã tích điện (đầy) và trở nên vật cách điện.

Khi đó mạch ngoài gồm R_{12} nt R_3 :

$$i_3 = \frac{E}{R_3 + R_{12}} = \frac{3}{\frac{11}{3}} = 0,82A$$

$$i_2 = \frac{E - i_3 R_3}{R_2} = 0,27A$$

$$i_1 = \frac{E - i_3 R_3}{R_1} = 0,55A$$

3) Khi mở khóa K, tụ phóng điện. Vì thế cường độ dòng điện qua mạch (chỉ có R_3) là:

$$i = i_0 \cdot e^{-\frac{t}{R_3 C}}$$

(i_0 = dòng điện lúc bắt đầu phóng)

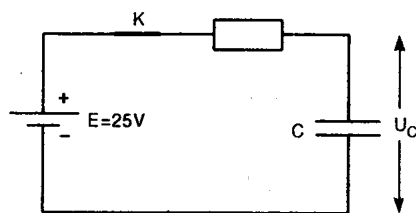
Thời gian cần thiết để: $i = \frac{1}{2} i_0$

$$i = \frac{1}{2} i_0 = i_0 \cdot e^{-\frac{t}{R_3 C}} \Rightarrow e^{-\frac{t}{R_3 C}} = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow e^{\frac{t}{R_3 C}} = 2 \Rightarrow \frac{t}{R_3 C} = \ln 2$$

$$\Rightarrow t = \ln 2 \cdot R_3 C = 0,693 \cdot 3 \cdot 7 \cdot 10^{-6} = 1,46 \cdot 10^{-5} \text{ (s)}$$

2.20 1) Trường hợp G là nguồn hiệu điện thế lí tưởng 25V (H.2.34)



Hình 2.34

$$U_C = E - Ri \quad (1)$$

$$U_C = q/C \quad (2)$$

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_C}{dt} \quad (3)$$

$$(1) \Leftrightarrow U_C = E - RC \cdot \frac{dU_C}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{dU_C}{U_C - E} = -\frac{dt}{RC} \quad (4)$$

(4) là phương trình vi phân có nghiệm tổng quát là:

$$U_C - E = A \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

Trong đó:

A là hằng số tích phân;

$$T = RC$$

Theo đề bài: lúc $t = 0$, $U_C = U_0$ vì vậy:

$$A = U_0 - E$$

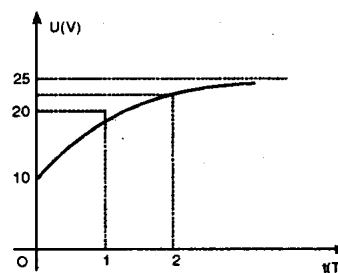
$$\Rightarrow U_C = E + (U_0 - E) e^{-\frac{t}{T}}$$

Nếu

$$E = 25V; U_0 = 10V;$$

$$R = 20k\Omega; C = 1 \mu F;$$

$$T = 2 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$



Hình 2.35

$$U_C = 25 - 15 \cdot e^{-\frac{t}{T}} (V) \\ = 25 - 15 \cdot e^{-50t} (V)$$

2) Trường hợp G là nguồn dòng điện lí tưởng $i_0 = 1mA$

Khi khóa K đóng, dòng điện qua tụ là $i_0 = 1mA$

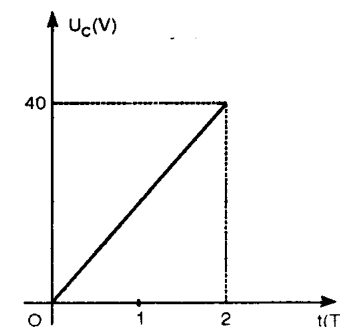
$$i = \frac{dq}{dt} = i_0$$

$$U_C = \frac{q}{C}$$

$$\Rightarrow U_C = \frac{1}{C} \int dq = \frac{1}{C} \int i_0 dt = \frac{i_0}{C} t + A'$$

(A' là hằng số tích phân)

Khi $t = 0$, $U_C = U_0 \Rightarrow A' = 0$



Hình 2.36

Vậy, $U_C = \frac{i_0}{C} t (V)$

(U_C tỉ lệ với thời gian)

Thay $i_0 = 1mA$; $C = 1\mu F$

Ta được $U_C = 10^3 t (V)$

(t tính bằng (s))

Đồ thị của U_C theo t (tính bằng T) trong khoảng thời gian từ 0 đến $T = 2.2.10^{-2} = 4.10^{-2} (s)$ (H.2.36).

2.21 Vì điện trở của nguồn điện và của ampe kế không đáng kể nên khi đóng khóa K, các tụ điện gần như lập tức được nạp điện đến hiệu điện thế: $U = U_0/2$

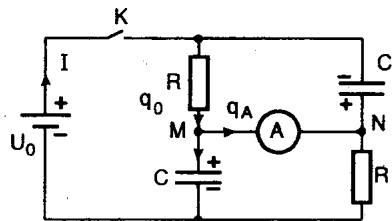
Khi khóa K mở, các tụ điện gần như phóng điện hoàn toàn. Dòng điện phóng ở thời điểm đầu tiên mở khóa:

$$I_0 = \frac{U}{R} = \frac{U_0}{2R}$$

Giả sử dòng này không đổi thì tụ điện sẽ phóng hết điện sau thời gian:

$$t = \frac{q}{I_0} = \frac{CU}{I_0} = RC \quad (i = i_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}})$$

Trong thực tế, dòng phóng điện giảm, nhưng vì thời gian mở khóa $\Delta t_2 = 20.10^{-3} s \gg \Delta t_1$ nên có thể coi rằng sau thời gian Δt_2 , tụ điện phóng hết điện.



Hình 2.37

Ta hãy tính cường độ dòng điện qua ampe kế.

Khi K đóng theo định luật bảo toàn điện tích tại điểm M, ta có:

$$q_0 = q_A + q_C$$

$$I\Delta t_1 = q_A + CU$$

với: $I = \frac{U_0}{2R}$; $U_C = \frac{U}{2}$

Trong đó:

$$\begin{cases} q_0 = I\Delta t_1 \text{ là điện tích đi vào M} \\ q_A \text{ là điện tích đi qua ampe kế} \\ q_C = CU \text{ là điện tích nạp cho tụ điện C} \end{cases}$$

$\Rightarrow$ Điện lượng đi qua (A) trong thời gian Δt_1 :

$$q_A = \frac{U_0}{2R} \Delta t_1 - C \frac{U_0}{2}$$

Khi K mở: cả hai tụ đều phóng điện qua (A), điện lượng phóng qua ampe kế trong thời gian Δt_2 là:

$$q'_A = 2 \frac{CU_0}{2} = CU_0$$

Cường độ dòng trung bình qua ampe kế (là chỉ số ampe kế)

$$\begin{aligned} I_A = I_{tb} &= \frac{q_A + q'_A}{\Delta t_1 + \Delta t_2} \\ &= \frac{-C \frac{U_0}{2} + \frac{U_0}{2R} \Delta t_1 + CU_0}{\Delta t_1 + \Delta t_2} \end{aligned}$$

$$I_A = \frac{U_0}{2R} \left(\frac{\Delta t_1 + RC}{\Delta t_1 + \Delta t_2} \right)$$

Thay số ta được:

$$I_A \approx 4.8.10^{-3} A = 4.8mA$$

2.22 1) a) Điện dung của tụ điện:

$$C_0 = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d} = \epsilon_0 \epsilon \frac{ab}{d}$$

Thay số ta được:

$$C = 10^{-9} \text{ F} = 1 \text{ nF}$$

b) Hiệu điện thế tối đa của tụ điện:

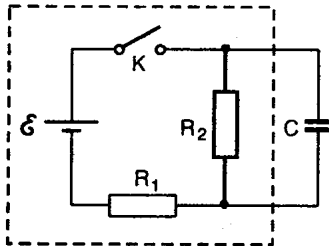
Điện trường $\vec{E}$ bên trong tụ điện là đều và có cường độ:

$$E = \frac{U_C}{d}$$

Điều kiện để tụ không hỏng: $E \leq E_{\max}$

$$\Rightarrow U_{C(\max)} = dE_{\max} = 100 \text{ V}$$

2) a) Mạch tương đương với mạch điện đã cho khi K đóng (H.2.38)

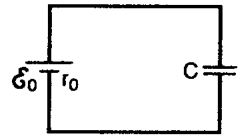


Khi K đóng, dòng điện qua tụ điện làm tăng hiệu điện thế của tụ điện. Dòng điện này được cung cấp bởi một nguồn điện tương đương có:

$$\text{Suất điện động: } E_0 = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Điện trở trong: } r_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Thay số ta được: } E_0 = 10 \text{ V, } r_0 = 500/6 \text{ k}\Omega$$



Hình 2.38

b) Thời gian t_1 để tụ tích điện đến $U_C = 5 \text{ V}$:

Vì ở thời điểm ban đầu (lúc khóa K vừa đóng) tụ điện không tích điện nên hiệu điện thế của tụ điện ở thời điểm t là:

$$U_C = E_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \text{ với } T = R_0 C$$

Muốn hiệu điện thế của tụ điện bằng U_1 ta phải nạp điện trong thời gian t , sao cho:

$$U_1 = E_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \Rightarrow t_1 = -T \ln \left(1 - \frac{U_1}{E_0} \right)$$

$$\text{Với: } R_0 = \frac{500}{6} \cdot 10^3 \Omega; C = 6 \cdot 10^{-3} \text{ F}$$

$$\Rightarrow T = R_0 C = 5 \cdot 10^{-4} \text{ (s)}$$

$$E_0 = 10 \text{ V, } U_1 = 5 \text{ V}$$

$$\text{Ta được: } t_1 = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ (s)} = 350 \text{ }\mu\text{s}$$

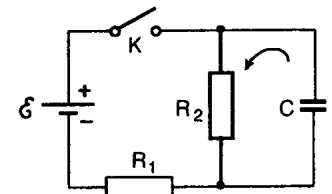
c) Tính thời gian t_2 (phóng điện) để $U_C = U_2 = 1 \text{ mV}$

Khi khóa K mở, tụ điện phóng điện qua R_2 .

Chọn thời điểm ban đầu ngay lúc khóa K vừa mở (H.2.39)

Hiệu điện thế U_C của tụ điện ở thời điểm t là:

$$U_C = A' \left(e^{-\frac{t}{T'}} \right)$$



Hình 2.39

Với $T' = R_2 C$; A' là hằng số tích phân xác định bởi điều kiện ban đầu: $t = 0$; $U_C = U_1 \Rightarrow A' = U_1$

$$\text{do đó } U_C = U_1 \left(e^{-\frac{t}{T'}} \right)$$

Muốn cho U_C có trị bằng U_2 ta phải để tụ điện phóng điện trong thời gian t_2 sao cho:

$$U_2 = U_1 \left(e^{-\frac{t_2}{T'}} \right)$$

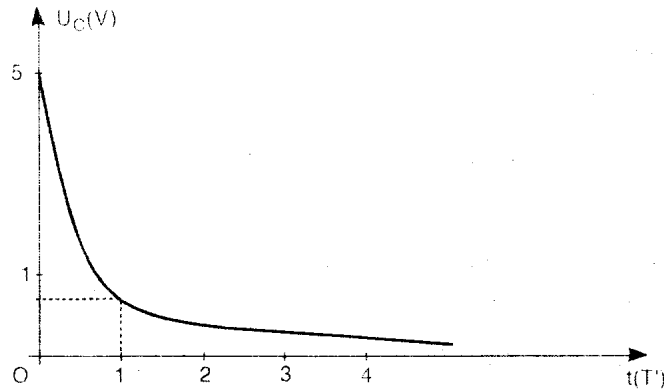
$$\Rightarrow t_2 = -T' \ln \frac{U_2}{U_1}$$

$$\Rightarrow T' = R_2 C = 500 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^3 \text{ (s)}$$

$$U_2 = 10^{-3} \text{ V}, U_1 = 5 \text{ V}$$

Ta tính được: $t_2 = 25.5 \text{ ms}; \frac{t_2}{t_1} = \frac{25.5}{0.35} \approx 73.$

Đồ thị phóng họa ở Hình 2.40.



Hình 2.40

2.23 1) Tính U_1, U_2 khi chưa chiếu tia Rơnghen:

$$U_1 + U_2 = U = 360 \quad (1)$$

$$C_1 U_1 = C_2 U_2 = C_2 (U - U_1) \quad (2)$$

Với $C_2 = 2C_1 \Rightarrow U_1 = 240 \text{ V}; U_2 = 120 \text{ V}$

2) Khi chiếu tia Rơnghen vào giữa hai bản C_1 :

Sau mỗi giây tia Rơnghen tạo ra được điện tích:

$$\Delta q = 12 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 19,2 \cdot 10^{-13} \text{ C}$$

Sau 16 phút 40 giây = 1000 giây: $Q = 19,2 \cdot 10^{-10} \text{ C}$

Vì $U_1 + U_2 = U = \text{hằng số}$ cho nên: $\Delta U_1 + \Delta U_2 = 0$

$$\Rightarrow \Delta U_2 = -\Delta U_1$$

Gọi $\Delta U = |\Delta U_1| = |\Delta U_2|$

Vậy: $Q = C_1 \Delta U_1 + C_2 \Delta U_2 = (C_1 + C_2) \Delta U$

$$\Rightarrow \Delta U = \frac{Q}{C_1 + C_2}$$

Thay số ta được: $\Delta U = 13 \text{ V}$

U_1 giảm, vì các điện tích sinh ra đã trung hòa một phần các điện tích ở hai bản cực của tụ C_1 .

$$U_1' = 240 - 13 = 227 \text{ V}$$

$$U_2' = 120 + 13 = 133 \text{ V}$$

Phải đo U_1, U_2 bằng vôn kế tĩnh điện hoặc máy đo điện tử vì các tụ điện coi như có điện trở vô cùng lớn.

3) Muốn cho U_2 không đổi, ta phải có: $U_2 = RI$

Mặt khác: $\Delta q = I \Delta t \quad (\Delta t = 1 \text{ s})$

$$\Rightarrow U_2 = R \Delta q \Rightarrow R = \frac{U_2}{\Delta q}$$

Thay số ta được: $R = 6,2 \cdot 10^{13} \Omega$

4) Khi cho R trị số lớn hơn $6,2 \cdot 10^{13} \Omega$ thì U_2 tăng dần, U_1 giảm dần. Ngược lại khi cho R trị số nhỏ hơn $6,2 \cdot 10^{13} \Omega$ thì U_2 giảm dần, U_1 tăng dần.

2.24 1) Ta có $I = at + b$. Theo đề bài khi $t = 0$ thì $I = I_0$ và khi $t = t_0$ thì $I = 0$. Suy ra:

$$I = I_0 \left(1 - \frac{t}{24} \right) \text{ (A)}$$

Điện lượng chạy qua dây dẫn trong thời gian $t_0 = 24 \text{ s}$ là:

$$q = 60 = \int_0^{24} I dt = 12 I_0 \rightarrow I_0 = 5 \text{ A}$$

Nhiệt lượng tỏa ra trên dây dẫn sau $t_0 = 24 \text{ s}$ là:

$$Q = \int_0^{24} RI^2 dt = 1200J$$

2) Theo đề bài cường độ dòng điện phụ thuộc vào thời gian t theo hàm số:

$$I = I_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{t/t_0}$$

$$\text{hay } I = I_0 e^{-at}, \text{ với } a = \frac{\ln 2}{t_0}$$

Trong đó I_0 được xác định từ điều kiện:

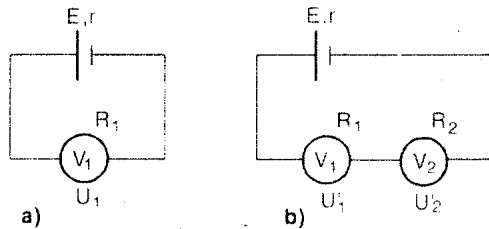
$$q = 120 = \int_0^{t_0} I dt = \frac{I_0 t_0}{\ln 2}$$

$$\rightarrow I_0 = \frac{q \ln 2}{t_0} = 5 \ln 2 \text{ (A)}$$

Nhiệt lượng tổng cộng tỏa ra trên dây dẫn là:

$$Q = \int_0^{t_0} RI^2 dt = 1264J$$

2.25 1) Xét hai mạch điện có sơ đồ như trên hình 2.41 a) và b).



Hình 2.41

Ta có phương trình:

$$E - r \frac{U_1}{R_1} = U_1 \quad (1)$$

$$E - r \frac{U_1}{R_1} = U_1' + U_2' \quad (2)$$

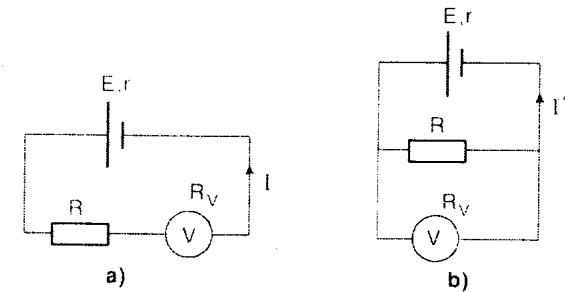
$$E - r \frac{U_2}{R_2} = U_1' + U_2' \quad (3)$$

$$I' = \frac{U_1'}{R_1} = \frac{U_2'}{R_2} \quad (4)$$

Từ đó rút ra:

$$E = \frac{U_1 U_2'}{U_1 - U_2} \quad (5)$$

2) Nếu dùng hộp điện trở với giá trị R của hộp và một vôn kế có điện trở trong R_v thì ta mắc 2 mạch như trên hình 2.42 (a và b).



Hình 2.42

Mạch thứ nhất (a) cho ta phương trình:

$$E = (r + R + R_v) I = (r + R + R_v) \frac{U}{R_v} \quad (6)$$

Phương trình này liên hệ R mà ta có thể thay đổi (nhờ hộp điện trở) và số chỉ tương ứng của vôn kế. Để có một phương trình tuyến tính ta viết (6) dưới dạng U là hàm của R :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{ER_v} R + \frac{r + R_v}{ER_v}$$

$$\text{hay } \frac{1}{U} = a_1 R + b_1 \quad (7)$$

với $a_1 = \frac{1}{ER_v}$, và $b_1 = \frac{r + R_v}{ER_v}$

Mạch thứ hai (b) cho ta:

$$E = rI + U = r \frac{E}{\frac{RR_v}{R + R_v} + r} + U = \frac{rE(R + R_v)}{RR_v + r(R + R_v)}$$

$$\rightarrow U = \frac{ERR_v}{RR_v + r(R + R_v)}$$

Chia tử số và mẫu số cho RR_v ta có:

$$U = \frac{E}{r \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_v} \right) + 1}$$

hay $\frac{1}{U} = \frac{r}{E} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_v} \right) + \frac{1}{E} = a_2 \frac{1}{R} + b_2 \quad (8)$

với $a_2 = \frac{r}{E}$, và $b_2 = \frac{r + R_v}{ER_v}$

Cho R một vài giá trị (lấy từ hộp điện trở) và đọc các số chỉ U tương ứng của vôn kế, rồi vẽ đồ thị biểu diễn $1/U$ theo R (sơ đồ a) và $1/U$ theo $1/R$. Các đồ thị này là đường thẳng (trong phạm vi sai số cho phép).

Đồ thị thứ nhất cho ta độ dốc của đường thẳng $a_1 = \frac{1}{ER_v} \quad (9)$

và tung độ ở gốc của đường thẳng $b_1 = \frac{r + R_v}{ER_v} \quad (10).$

Đồ thị thứ hai cho ta độ dốc của đường thẳng $a_2 = \frac{r}{E} \quad (11)$

Ba phương trình (9), (10), (11) cho ta tìm được E , r và R_v . Cụ thể là: Từ (9) và (11) rút ra: $R_v = 1/Ea_1$; $r = Ea_2$. Thay vào (10) ta có phương trình bậc hai để tính E (chỉ lấy nghiệm dương):

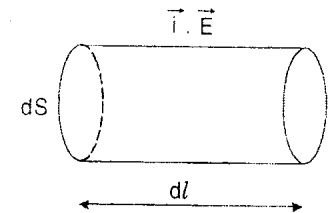
$$a_1 a_2 E^2 - b_1 E + 1 = 0$$

Tìm được E thì từ (9) và (11) tìm được R_v và r .

3) Sai số khách quan là do các dụng cụ (vôn kế, hộp điện trở) không thật chính xác.

Ở câu 1, vôn kế V_1 phải dùng hai lần nên ảnh hưởng nhiều hơn. Ở câu 2 thì hộp điện trở thường khá chính xác nên sai số chủ yếu do vôn kế gây ra.

2.26 1) Trong môi trường dẫn điện, tại điểm khảo sát ta xét một hình trụ rất nhỏ tiết diện dS , có đường sinh dài dl có phương song song với vectơ cường độ điện trường $\vec{E}$ (xem như là đều trong phạm vi hình trụ).



Hình 2.43

Điện trở của hình trụ là:

$$dR = \rho \frac{dl}{dS} = \frac{1}{\sigma} \frac{dl}{dS}$$

Cường độ dòng điện chạy qua hình trụ là: $I = idS$

Hiệu điện thế giữa hai đáy hình trụ là: $dU = Edl$

Áp dụng định luật Ohm ta có:

$$I = \frac{dU}{dR} \rightarrow i = \sigma E$$

2) a) Vì chất điện môi giữa hai bản tụ điện không hoàn toàn cách điện, nên điện tích ở bản trong có thể di chuyển qua lớp điện môi tới bản ngoài, tạo ra một dòng điện chạy trong điện môi. Cường độ dòng điện qua mặt cầu S có bán kính r ($a \leq r \leq b$) đồng tâm với các bản bằng:

$$I(r) = - \frac{dq(r)}{dt} \quad (1)$$

Trong đó $q(r)$ là tổng các điện tích tự do bên trong mặt cầu S đó. Mặt khác ta lại có:

$$I = \int i dS$$

với $i = \sigma E(r)$

Để tìm $E(r)$ ta áp dụng định lí Oxtơgratxki – Gaoxơ, ta có:

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

Từ đó:

$$I = 4\pi r^2 i = 4\pi r^2 \sigma \frac{q(r)}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$$

$$\rightarrow I = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon} q(r) \quad (2)$$

Từ (1) và (2) ta có phương trình:

$$\frac{dq(r)}{q} = -\frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon} dt$$

Lấy tích phân và chú ý rằng khi $t = 0$ thì $q = q_0$, ta có:

$$q = q_0 e^{-\frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon} t} \quad (3)$$

Biểu thức này không phụ thuộc vào r và do đó, q cũng chính là điện tích của bản trong tụ điện.

2) Cường độ dòng điện chạy trong lớp điện môi cũng chính là cường độ dòng điện $I(r)$ qua mặt cầu S . Ta có:

$$I(r) = -\frac{dq(r)}{dt} = \frac{\sigma q_0}{\epsilon_0\epsilon} e^{-\frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon} t} \quad (4)$$

(có dấu “-”, vì đây là dòng phóng điện)

Nhiệt lượng tỏa ra trong chất điện môi:

$$Q = \int_0^{\infty} RI^2 dt, \quad (5)$$

với R là điện trở của lớp điện môi.

Để tính R ta chia khối điện môi thành các lớp mỏng, giới hạn bởi hai mặt cầu bán kính r và $r + dr$. Điện trở của mỗi lớp mỏng là:

$$dR = \frac{dr}{4\pi\sigma r^2}$$

Từ đó:

$$R = \int_a^b dR = \frac{1}{4\pi\sigma} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \quad (6)$$

Thay vào (5) ta tìm được:

$$Q = \frac{q_0^2}{8\pi\epsilon_0\epsilon} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$$

2.27 1) Khi có tác nhân ion hóa hoạt động, trong chất khí có sự tạo thành ion (dương và âm), đồng thời với sự tái hợp ion. Số ion tái hợp (bị mất đi) mỗi giây bằng: $\Delta n = \gamma n^2$. Do đó số cặp ion tối đa n_0 có thể có được trong 1cm^3 của buồng ion hóa được xác định từ điều kiện cân bằng động giữa sự ion hóa và sự tái hợp:

$$\Delta n = \Delta n_0 \rightarrow \Delta n_0 = \gamma n_0^2$$

$$\rightarrow n_0 = \sqrt{\frac{\Delta n_0}{\gamma}} = 3,2 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^{-3}$$

2) Cường độ dòng điện đạt trị số bão hòa khi toàn bộ số ion do tác nhân ion hóa tạo thành đều đi đến các điện cực.

Mật độ dòng điện bão hòa là:

$$i_{bh} = q \Delta n_0 \cdot d = e \cdot \Delta n_0 \cdot d$$

Cường độ dòng điện bão hòa là:

$$I_{bh} = i_{bh} \cdot S = e \cdot An_0 \cdot dS \approx 1,04 \cdot 10^{-7} \text{ A}$$

3) Kí hiệu dn là số cặp ion bị trung hòa do tái hợp trong 1 đơn vị thể tích và trong thời gian dt , ta có:

$$dn = -\gamma n^2 dt$$

(có dấu “-” là do số ion bị giảm đi)

Lấy tích phân với giả thiết chọn gốc thời gian ($t = 0$) là lúc tác nhân ion hóa ngừng hoạt động, ta rút ra:

$$t = \frac{n_0 - n}{\gamma n_0^2}$$

Khi số cặp ion giảm đi còn một nửa, $n = \frac{n_0}{2}$, ta có:

$$t = \frac{1}{\gamma n_0} = \frac{1}{3,2} \approx 0,03s$$

2.28 Dòng điện lớn nhất mà dây chì chịu được có thể xác định được nhờ điều kiện là: khi có cân bằng nhiệt, nhiệt độ dây chì bằng nhiệt độ nóng chảy của chì. Nhiệt lượng mà dây chì tỏa ra môi trường xung quanh trong 1 giây là: $Q = S_{xq} f(t)$, với S_{xq} là diện tích xung quanh của sợi dây và $f(t)$ là hàm số biểu diễn sự phụ thuộc của Q vào nhiệt độ t của dây chì khi có cân bằng nhiệt.

Đối với sợi dây chì thứ nhất ta có:

$$R_1 I_1^2 = S_{xq1} f(t)$$

$$\text{với: } R_1 = \rho \frac{l_1}{S_1}; \quad \rho = \rho_0 (1 + \alpha t_n)$$

S_1 là tiết diện của sợi dây chì thứ nhất, và:

$$S_1 = \pi \frac{d_1^2}{4}; \quad S_{xq1} = \pi d_1 l_1;$$

t_n là nhiệt độ nóng chảy của chì.

Suy ra:

$$\frac{4\rho_0 (1 + \alpha t_n) l_1 I_1^2}{\pi d_1^2} = \pi l_1 d_1 f(t_n) \quad (1)$$

Tương tự đối với sợi dây thứ hai ta có:

$$\frac{4\rho_0 (1 + \alpha t_n) l_2 I_2^2}{\pi d_2^2} = \pi l_2 d_2 f(t_n) \quad (2)$$

Từ (1) và (2) suy ra:

$$\frac{I_1^2}{I_2^2} = \frac{d_1^3}{d_2^3} \rightarrow I_2 = I_1 \sqrt{\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3} \approx 23A$$

2.29 Trong thời gian nhỏ dt có thể xem như điện trở của nhiệt điện trở là không đổi và nhiệt độ tăng dT rất nhỏ.

Kí hiệu cường độ dòng điện là I_0 ta có:

$$CdT = I_0^2 R dt = I_0^2 \frac{A}{T} dt$$

Với C là nhiệt dung của nhiệt điện trở. Từ đó:

$$dt = \frac{C}{I_0^2 A} T dT$$

Thời gian để nhiệt độ tăng từ T_1 tới T_2 là:

$$t_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C}{I_0^2 A} T dT = \frac{C(T_2^2 - T_1^2)}{2I_0^2 A} \quad (1)$$

Tương tự, thời gian nhiệt độ tăng từ T_2 tới T_3 là:

$$t_2 = \frac{C(T_3^2 - T_2^2)}{2I_0^2 A} \quad (2)$$

Từ (1) và (2) suy ra:

$$t_2 = t_1 \frac{(T_3^2 - T_2^2)}{T_2^2 - T_1^2} \approx 43s$$

2.30 Khi có cân bằng nhiệt (khi đó nhiệt độ sợi dây dẫn không tăng nữa) ta có: $RI^2 = k(t - t_0)$.

Với: k là hệ số tỉ lệ, không phụ thuộc cường độ dòng điện;

t và t_0 là nhiệt độ sau cùng và nhiệt độ ban đầu của sợi dây.

Theo đề bài ta có:

$$RI_1^2 = k(t_1 - t_0)$$

$$RI_2^2 = k(t_2 - t_0)$$

$$RI_3^2 = k(t_3 - t_0)$$

Từ đó rút ra: $t_3 = 580^\circ\text{C}$

2.31 Giả sử khi đặt vào linh kiện hiệu điện thế $U = 80\text{V}$, nhiệt độ của nó đạt đến trị số t_1 và điện trở của nó vẫn là R_1 ; ta có:

$$\frac{U^2}{R_1} = \alpha(t_1 - t_0) \rightarrow t_1 = t_0 + \frac{U^2}{\alpha R_1} = 126,6^\circ\text{C} > 100^\circ\text{C}$$

Như vậy, sẽ có sự tăng đột ngột của điện trở linh kiện từ R_1 đến R_2 ở 100°C .

Khi điện trở là $R_2 = 100\Omega$, giả sử nhiệt độ tiếp theo mà linh kiện đạt đến là t_2 và điện trở vẫn là R_2 ; ta có:

$$\frac{U^2}{R_2} = \alpha(t_2 - t_0) \rightarrow t_2 = t_0 + \frac{U^2}{\alpha R_2} = 73,3^\circ\text{C} < 99^\circ\text{C}$$

Điều đó chứng tỏ lại có sự giảm đột ngột của điện trở từ R_2 đến R_1 ở 99°C . Quá trình tương tự được lặp lại và trong mạch có hình thành dòng điện dao động.

Kí hiệu T_1 là thời gian mà nhiệt độ của linh kiện tăng từ 99°C đến 100°C , ta có:

$$\frac{U^2}{R_1} T_1 = C \Delta t^0 + \alpha(t - t_0) T_1$$

với $\Delta t^0 = 1^\circ\text{C}$; $t = 99,5^\circ\text{C}$

$$\rightarrow T_1 = \frac{C \Delta t^0}{\frac{U^2}{R_1} - \alpha(t - t_0)} \approx 0,092(s)$$

Tương tự, kí hiệu T_2 là thời gian mà nhiệt độ linh kiện giảm từ 100°C xuống 99°C ; ta có:

$$\frac{U^2}{R_2} T_2 + C \Delta t^0 = \alpha(t - t_0) T_2$$

$$\rightarrow T_2 = \frac{C \Delta t^0}{\alpha(t - t_0) - \frac{U^2}{R_2}} = 0,095(s)$$

Vậy chu kì dao động của dòng điện là:

$$T = T_1 + T_2 = 0,19s$$

Giá trị cực đại và cực tiểu của cường độ dòng điện là:

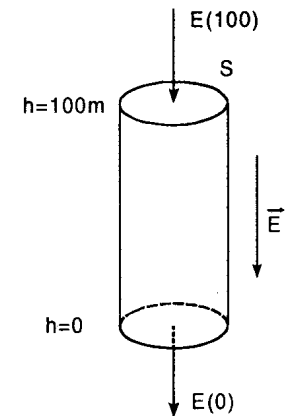
$$I_{\max} = \frac{U}{R_1} = 1,6A$$

$$I_{\min} = \frac{U}{R_2} = 0,8A$$

2.32 1) Áp dụng định lí Oxtrogratzki - Gauss tìm được cường độ điện trường ở gần sát mặt đất:

$$E_0 = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0}$$

$$\rightarrow \sigma_0 = -\epsilon_0 E_0 = -8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 150$$



Hình 2.44

$$= -1,3 \cdot 10^{-9} \text{ C/m}^2$$

(có dấu trừ, vì điện trường hướng về mặt đất)

Từ đó:

$$Q = 4\pi R^2 \sigma_0 = -4\pi (6,4 \cdot 10^6)^2 \cdot 1,3 \cdot 10^{-9} \\ = -6,7 \cdot 10^5 \text{ C}$$

2) Xét hình trụ tiết diện đáy là S, các mặt đáy nằm ở các độ cao 0 và 100m, đường sinh thẳng đứng (H.2.44).

Áp dụng định lý O - G ta có:

$$E(0)S - E(100)S = \frac{\rho_{tb} \cdot 100S}{\epsilon_0} \\ \text{suy ra: } \rho_{tb} = \frac{[E(0) - E(100)] \epsilon_0 S}{100S} \\ \rightarrow \rho_{tb} = 4,42 \cdot 10^{-12} \text{ C/m}^3$$

3) Ta biết mật độ dòng điện i có biểu thức: $i = nqv$; với n là số hạt tải điện trong đơn vị thể tích; v là vận tốc của hạt. Ở đây có hai loại hạt tải điện mang điện tích $\pm e$. Vì điện trường hướng xuống dưới nên các ion dương di chuyển về mặt đất, làm trung hòa điện tích trên mặt đất, còn ion âm di chuyển lên trên.

Ta chỉ xét ion dương, chọn chiều dương hướng xuống mặt đất, ta có:

$$i = n_+ ev = 1,44 \cdot 10^{-14} E$$

$$\text{với: } E = -\frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Mặt khác:

$$i = \frac{I}{S} = \frac{1}{S} \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{q}{S} = \frac{d\sigma}{dt}$$

Vì vậy ta có phương trình:

$$\frac{d\sigma}{dt} = -1,44 \cdot 10^{-14} \frac{\sigma}{\epsilon_0} \approx -\frac{\sigma}{600} \\ \rightarrow \frac{d\sigma}{\sigma} = -\frac{dt}{600}$$

Lấy tích phân, với chú ý rằng khi $t = 0$, $\sigma = \sigma_0$, ta có:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{t}{600}}$$

nếu $\sigma = \frac{\sigma_0}{2}$, ta tìm được: $t = 600 \ln 2 = 415 \text{ s}$.

2.33 Xét trường hợp: $E > U_0$

Gọi I_0 là cường độ dòng điện qua mạch ngay sau khi K đóng:

$$E = U_0 + RI_0 \Rightarrow I_0 = \frac{E - U_0}{R}, \text{ sau đó dòng này giảm đến bằng}$$

không khi: $U_C = E - U_0$.

Dòng điện này tích điện cho tụ điện đến khi hiệu điện thế ở 2 đầu tụ bằng:

$$U_C = (E - U_0)$$

Điện tích trên tụ là:

$$q = CU_C = C(E - U_0)$$

Trong thời gian tích điện, công do dòng điện thực hiện:

$$A = qE = C(E - U_0)E$$

Ta lại có:

$$A_D = qU_0 = C(E - U_0)U_0$$

$$W_C = \frac{q^2}{2C} = \frac{C(E - U_0)^2}{2}$$

Do đó, nhiệt lượng tổng cộng tỏa ra trên R xác định bởi định luật bảo toàn năng lượng:

$$\begin{aligned} A &= Q + A_D + W_C \\ \Rightarrow Q &= A - A_D - W_C \\ &= C(E - U_0)E - C(E - U_0)U_0 - \frac{1}{2}C(E - U_0)^2 \\ Q &= \frac{1}{2}C(E - U_0)^2 \end{aligned}$$

Cũng có thể áp dụng công thức $Q = \int_0^I Ri^2 di$.

2.34 Dòng điện qua diôt điện tử là dòng các electron được phát xạ nhiệt từ catốt khi catốt bị đốt nóng. Do sự có mặt giữa điện tích không gian giữa anốt và catốt, nên đặc trưng vôn – ampe của diôt điện tử là không tuyến tính và có dạng phức tạp: với hiệu điện thế nhỏ cường độ tăng khi hiệu điện thế thuận ($U_{AK} > 0$) tăng; sau đó đến một giá trị xác định của hiệu điện thế, dòng điện đạt giá trị bão hòa.

Trong một khoảng giá trị của hiệu điện thế thuận, cường độ dòng điện phụ thuộc vào hiệu điện thế theo công thức nêu trong đề bài.

Để tính được công suất tiêu thụ trên hai điôt P_d , ta áp dụng định luật bảo toàn năng lượng: Công suất P_E của nguồn điện bằng tổng công suất trên điôt P_d và trên điện trở P_R .

$$P_E = P_d + P_R$$

$$\text{với } P_E = EI; P_R = RI^2$$

(I là cường độ dòng điện chạy qua nguồn)

Theo định luật Ohm ta có:

$$I_0 = \frac{E - U}{R}$$

(U là hiệu điện thế giữa hai cực của điôt)

Mặt khác ta lại có: $I = I_1 + I_2 = (a_1 + a_2)U + (b_1 + b_2)U^2$

Từ đó, ta có phương trình cho U:

$$(a_1 + a_2)U + (b_1 + b_2)U^2 = \frac{E - U}{R}$$

Giải ra ta được (loại nghiệm $U < 0$):

$$U = \frac{-\left(a_1 + a_2 + \frac{1}{R}\right) + \left[\left(a_1 + a_2 + \frac{1}{R}\right)^2 + \frac{4E(b_1 + b_2)}{R}\right]^{\frac{1}{2}}}{2(b_1 + b_2)}$$

Từ đó:

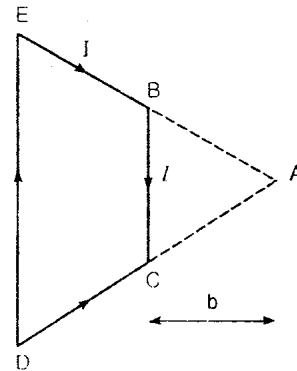
$$P_d = P_E - P_R = \frac{(E - U)U}{R}$$

Thay số ta được $U = 35,8V$, và $P_d \approx 0,6W$.

III. TỪ TRƯỜNG, CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

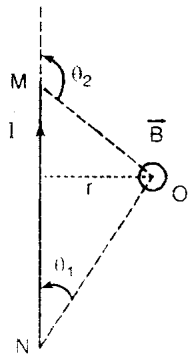
A. ĐỀ BÀI TẬP

- 3.1 Một dây dẫn được uốn thành một hình thang cân có dòng điện cường độ $I = 3,14\text{A}$ chạy qua (H.3.1), tỉ số chiều dài 2 đáy $\frac{ED}{BC} = 2$, với $BC = l = 40\text{cm}$, và khoảng cách từ A (giao điểm của các đường kéo dài của hai cạnh EB và DC) đến BC là $h = 10\text{cm}$. Xác định cảm ứng từ tại A trong không khí.



Hình 3.1

Cho biết cảm ứng từ B do một đoạn dây dẫn MN mang dòng điện I gây ra tại điểm O là một vectơ có phương vuông góc với mặt phẳng MOB, có chiều hướng vào phía sau mặt giấy (H.3.2) và có độ lớn:



Hình 3.2

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

với μ là độ từ thẩm của môi trường :

$\mu_n = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{H/m}$ là hằng số từ;

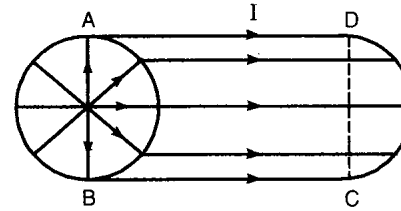
r là khoảng cách từ O đến đoạn dây dẫn;

Các góc θ_1, θ_2 như trên hình (là góc giữa $\overline{NM}$ và các bán kính vectơ $\overline{NO}$ và $\overline{MO}$).

Nếu O nằm trên đường thẳng MN thì $B = 0$.

- 3.2 Một dòng cường độ $I = 8\text{A}$ chạy trong khung dây dẫn có dạng một tam giác đều cạnh $a = 60\text{cm}$. Xác định cảm ứng từ tại tâm của tam giác.

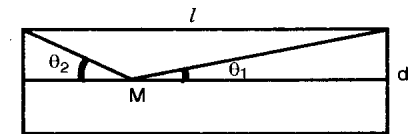
- 3.3 Trên một lõi hình trụ tròn, bằng gỗ, chiều cao h , đường kính đáy $AB = d$, người ta quấn bốn vòng dây dẫn hình chữ nhật, mặt phẳng của hai vòng dây kế tiếp hợp với nhau góc $\alpha = \pi/4$. Cho dòng điện cường độ I chạy trong các vòng dây như trên hình vẽ (H.3.3). Xác định cảm ứng từ tổng hợp do các vòng dây đó gây ra tại trung điểm M của trục lõi.



Hình 3.3

- 3.4 Tìm tỉ số chiều dài l và đường kính d của một ống dây điện dài (xôlênoit) sao cho có thể dùng công thức tính cảm ứng từ của ống dây dài vô hạn để tính cảm ứng từ tại tâm của ống dây đó mà không sai quá 0,5%.

Cho biết: Cảm ứng từ do ống dây gây ra tại điểm M bất kì trên trục ống có độ lớn:



Hình 3.4

$$B = \frac{\mu\mu_0 n I}{2} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2)$$

với n là số vòng dây quấn trên một đơn vị chiều dài của ống; θ_1, θ_2 là góc xác định vị trí của M (H.3.4).

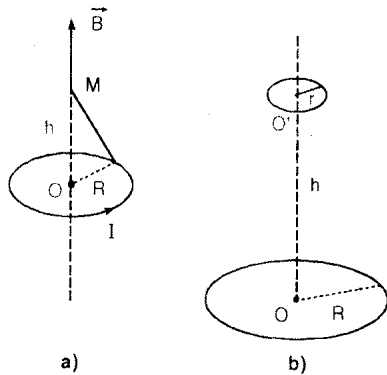
- 3.5 1) Hãy chứng minh rằng vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ của từ trường tạo nên bởi một vòng dây bán kính R , có dòng điện cường độ I chạy qua tại một điểm M trên trục Oz của vòng (trục qua tâm O và vuông góc với mặt phẳng của vòng) thì hướng theo trục Oz và có độ lớn: $B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}}$,

với h là khoảng cách OM; μ_0 là hằng số từ (H.3.5.a).

2) Hai vòng dây có bán kính lần lượt là r và R ($r \ll R$) được đặt sao cho chúng có cùng một trục và tâm của hai vòng dây cách nhau là h (H.3.5.b). Cường độ dòng điện trong một vòng dây là I_1 , trong vòng dây kia là I_2 . Tính lực tương tác giữa hai vòng dây.

3) Tính hệ số hồ cảm giữa hai vòng dây ở vị trí như câu 2).

4) Hai vòng dây làm bằng chất siêu dẫn, vòng lớn có hệ số tự cảm L_2 , vòng nhỏ có hệ số tự cảm L_1 . Hai vòng có vị trí



Hình 3.5

tương ứng như ở câu b, với $h = R$, cường độ dòng điện trong vòng lớn là I_2 , trong vòng nhỏ là I_1 , dòng điện trong hai vòng cùng chiều. Nếu giữ nguyên trục của vòng nhỏ (trùng với trục của vòng lớn) đưa vòng nhỏ lại gần làm cho tâm của chúng trùng nhau ($h=0$) thì cường độ dòng điện trong vòng nhỏ sẽ có giá trị I'_1 bằng bao nhiêu?

(Trích Đề thi đội tuyển quốc gia tham dự kì thi Olympic Vật lý Quốc tế năm 1997)

3.6 Một khung dây hình chữ nhật cạnh $a = 5\text{cm}$, $b = 10\text{cm}$ được đặt sao cho cạnh b song song với một dây dẫn thẳng dài và cũng nằm trong mặt phẳng của khung dây dẫn. Cạnh b của khung gần dây dẫn hơn cách dây một đoạn $x_0 = 2.5\text{cm}$. Cho biết dây dẫn thẳng mang dòng điện $I_1 = 10\text{A}$; khung dây mang dòng điện $I_2 = 2\text{A}$. Hãy tính công cần thực hiện trong hai trường hợp sau:

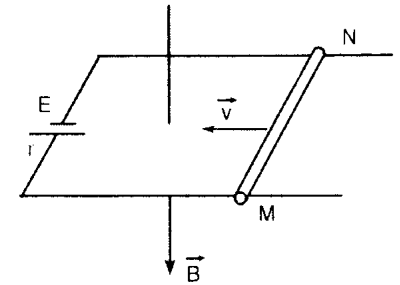
1) Tịnh tiến khung một đoạn a theo phương vuông góc với dây dẫn.

2) Quay khung 180° xung quanh cạnh b xa dây dẫn hơn. Giả thiết trong khi khung chuyển động, dòng điện trong khung và trong dây dẫn thẳng đều không đổi.

3.7 Trong một thiết bị dùng để xác định thành phần các đồng vị (phổ kế khối lượng) của nguyên tố kali, các ion dương kali của hai đồng vị, được tích điện như nhau, có số khối (nguyên tử lượng) $A_1 = 39$ và $A_2 = 41$, được tăng tốc trong điện trường rồi đi vào từ trường đều $\vec{B}$ vuông góc với hướng chuyển động của chúng. Trong quá trình thí nghiệm, do sự không hoàn hảo của thiết bị tăng tốc, hiệu điện thế có trị số biến đổi từ $U_0 - \Delta U$ đến $U_0 + \Delta U$. Muốn cho các chùm hạt đồng vị kali không chong chéo lên nhau thì độ sai lệch tương đối của hiệu điện thế $\frac{\Delta U}{U_0}$

chỉ cho phép tối đa bằng bao nhiêu? Bỏ qua tác dụng của trọng lực.

3.8 Một thanh kim loại MN, chiều dài $MN = l$, điện trở R , khối lượng $m = 100\text{g}$, đặt vuông góc với hai thanh ray song song nằm ngang và nối với nguồn điện có suất điện động E . Hệ thống đặt trong từ trường đều có cảm ứng từ $\vec{B}$ hướng thẳng đứng xuống dưới và độ lớn B . Hệ số ma sát giữa thanh MN và các thanh ray bằng k . Bỏ qua điện trở các thanh ray, điện trở tại các chỗ tiếp xúc. (H.3.6)



Hình 3.6

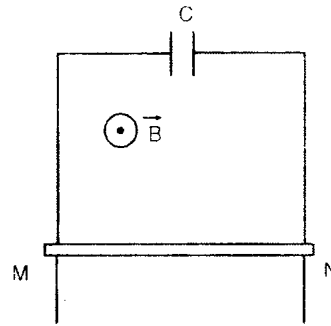
Mô tả chuyển động của thanh MN. Giải thích vì sao thanh MN chuyển động sang trái với gia tốc biến đổi nhưng sau đó lại chuyển động với vận tốc không đổi. Tính vận tốc đó?

3.9 Hai thanh kim loại song song, thẳng đứng, một đầu nối với một tụ điện C. Một đoạn dây dẫn MN, độ dài l , khối lượng m , tì vào hai thanh kim loại, tự do trượt không ma sát xuống dưới và luôn luôn vuông góc với hai thanh kim loại đó. Toàn bộ hệ thống đặt trong một từ trường đều có vectơ cảm ứng từ

$\vec{B}$ vuông góc với mặt phẳng hai thanh kim loại (H.3.7). Bỏ qua điện trở mạch.

1) Tính gia tốc a của MN và sự biến đổi năng lượng trong mạch.

2) Bây giờ đặt hai thanh kim loại nghiêng với mặt phẳng nằm ngang một góc α . Độ lớn và chiều của cảm ứng từ $\vec{B}$ vẫn như cũ. Ban đầu MN được thả từ vị trí cách đầu dưới của thanh kim loại một đoạn a . Tìm thời gian để MN bắt đầu rời khỏi thanh kim loại và vận tốc của MN khi đó.



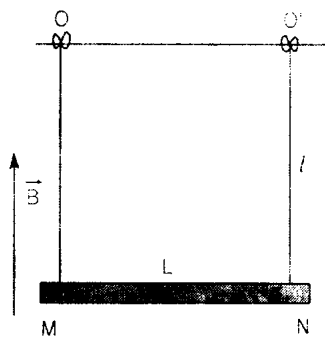
Hình 3.7

3.10 Cho một bản kim loại khối lượng m diện tích S ; bề dày d chuyển động thẳng đứng với vận tốc v trong từ trường đều có vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ song song với mặt đất. Mặt của bản kim loại song song với vectơ $\vec{B}$ và vuông góc với mặt đất.

1) Tìm độ lớn của điện tích xuất hiện trên bản.

2) Cho bản rơi thẳng xuống. Tìm gia tốc rơi của bản.

3.11 Thanh cứng MN dẫn điện có chiều dài l và khối lượng m được



Hình 3.8

treo bằng hai dây không trọng lượng với xà ngang (H.3.8). Hệ thống đặt trong một từ trường đều có cảm ứng từ $\vec{B}$ hướng thẳng đứng lên trên. Cho dòng điện I_0 chạy qua mạch trong thời gian ngắn Δt . Xác định độ lệch cực đại của thanh MN so với mặt phẳng thẳng đứng.

3.12 Một hạt tích điện bay vào trong một môi trường. Hạt chịu lực cản của môi trường tỉ lệ

với vận tốc và đi được một đoạn $l_0 = 10\text{cm}$ thì dừng lại. Khi tạo ra trong môi trường một từ trường đều có cảm ứng từ $\vec{B}$ vuông góc với vận tốc đầu thì hạt đó chuyển động cong và dừng lại tại một điểm cách điểm đầu $l_1 = 6\text{cm}$.

Hỏi nếu độ lớn của cảm ứng từ $\vec{B}$ giảm còn một nửa thì nó dừng lại cách điểm đầu l_2 bằng bao nhiêu?

3.13 Một đĩa kim loại hình tròn, bán kính R , bề dày d ($d \ll R$) rơi trong từ trường đều có vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ song song với mặt đất. Tính gia tốc của đĩa. Biết rằng khi rơi, đĩa chỉ chuyển động tịnh tiến và trục của đĩa luôn luôn vuông góc với $\vec{B}$.

3.14 1) Hãy chứng tỏ không thể có từ trường tăng theo trục Z nếu từ trường này chỉ có thành phần theo Z . Xét một ống trụ có chứa các đường cảm ứng từ, hãy chứng tỏ:

$$B_r = \frac{r}{2} \frac{dB_z}{dz}$$

2) Một vòng dây tròn điện trở R , bán kính r , khối lượng m rơi vào từ trường không đều, có các đường sức đối xứng xung quanh trục hình trụ. Tâm của vòng tròn nằm trên trục hình trụ, còn mặt phẳng vòng tròn vuông góc với các đường cảm ứng từ. Cảm ứng từ biến thiên dọc theo trục z ($\frac{dB_z}{dz} \neq 0$).

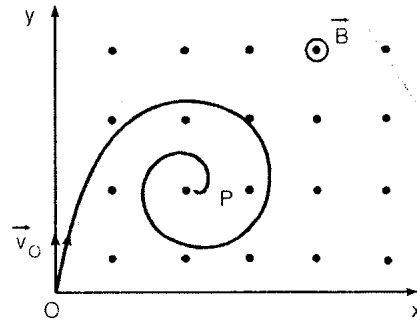
Viết phương trình biểu thị chuyển động rơi của vòng dây trong từ trường. Vẽ đồ thị biểu diễn sự biến thiên của vận tốc theo thời gian. Tìm vận tốc cuối của vòng dây.

(Trích Đề thi chọn Đội tuyển Olympic Vật lý Canada tháng 3/2000)

3.15 Trong miền không gian phẳng xOy ở phía $y > 0$ có một từ trường đều $\vec{B}$, $\vec{B}$ có phương z , chiều hướng ra phía ngoài mặt phẳng hình vẽ (H.3.9). Một hạt mang điện tích q , khối lượng m , chuyển động dọc theo trục y với vận tốc ban đầu $\vec{v}_0$ đi vào

miền không gian đó. Khi chuyển động trong miền không gian đó hạt chịu tác dụng của lực cản tỉ lệ với vận tốc: $\vec{F}_c = -\alpha \vec{v}$.

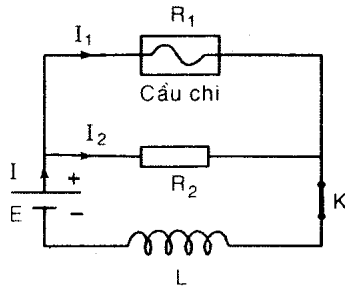
Lực cản này có trị số lớn sao cho hạt luôn luôn ở trong miền không gian đó. Sau khi vào trong miền không gian đó hạt chuyển động theo một quỹ đạo “xoắn ốc”, đi đến điểm P.



Hình 3.9

Hãy xác định vị trí điểm P. Bỏ qua tác dụng của trọng lực.

- 3.16** Cho mạch điện có sơ đồ như hình 3.10. Cầu chì có điện trở $R_1 \approx 0$ và chỉ chịu được dòng điện đi qua nó có cường độ nhỏ hơn $I_{\max} = 3A$. Người ta đóng khóa K lúc $t = 0$. Hỏi sau bao lâu cầu chì sẽ bị đứt? Cho biết nguồn điện không đổi $E = 10V$, điện trở trong r nhỏ không đáng kể, cuộn dây L thuần cảm có độ tự cảm $L = 5H$. Bỏ qua điện trở khóa K và các dây nối.



Hình 3.10

- 3.17** Hai vòng dây siêu dẫn giống nhau được đặt đồng trục xa nhau; mặt phẳng các vòng dây vuông góc với trục chung của hai vòng. Mỗi vòng có hệ số tự cảm L , có dòng điện I cùng chiều chạy qua. Cho hai vòng dây tịnh tiến lại gần nhau.

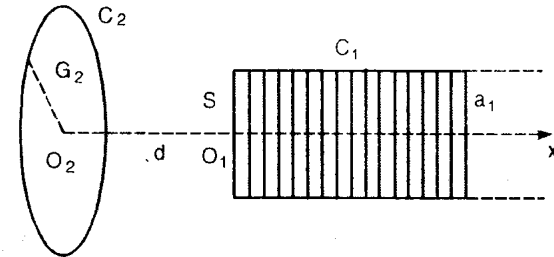
- 1) Tìm cường độ dòng điện trong mỗi vòng khi chúng sát nhau.
- 2) So sánh năng lượng trước và sau của hệ.

- 3.18** Một ống dây bán vô hạn C_1 (là một nửa của một ống dây dài vô hạn) có trục O_1x , mặt giới hạn là S, các vòng dây có bán kính a_1 , số vòng dây trên một đơn vị chiều dài là n . Đặt đồng

trục với C_1 , trước C_1 , một vòng dây dẫn phẳng hình tròn C_2 có tâm O_2 , bán kính a_2 , cách C_1 một khoảng $O_1O_2 = d$, với $d \gg a_1$, $d \gg a_2$. Vòng dây C_2 có điện trở R và hệ số tự cảm L .

- 1) Chứng minh rằng, hệ số hồ cảm M giữa C_1 và C_2 có biểu

$$\text{thức: } M = \frac{\mu_0 \pi n a_1^2 a_2^2}{4d^2}$$

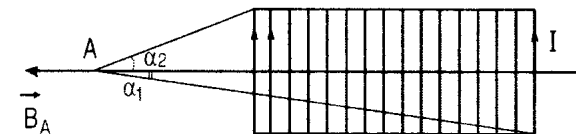


Hình 3.11

- 2) Người ta nối hai đầu ống dây C_1 với một nguồn điện không đổi để tạo ra dòng điện cường độ I_1 chạy qua ống dây. Hãy mô tả hiện tượng xảy ra ở C_2 khi đó. Tính điện lượng tổng cộng Q đã chạy qua tiết diện thẳng dây dẫn C_2 .

Cho biết cảm ứng từ do một ống dây mang dòng điện I gây ra tại điểm A bên ngoài ống, nằm trên trục ống có biểu thức (H.3.12): $B_A = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$

với n là số vòng dây trên một đơn vị chiều dài ống dây.



Hình 3.12

- 3.19** Một dây dẫn bằng đồng, tiết diện đều được uốn thành một vòng tròn đường kính $d = 40 \text{ cm}$. Thả vòng rơi trong một từ

trường đều có cảm ứng từ B biến thiên theo độ cao H theo quy luật:

$$B = B_0(1 + aH) \text{ với } B_0 = 0,2 \text{ T; } a = 0,8.$$

Giả thiết trong khi rơi, mặt phẳng vòng dây luôn luôn nằm ngang. Tìm vận tốc rơi đều của vòng dây.

Bỏ qua sức cản của không khí, cho biết khối lượng riêng và điện trở suất của đồng là:

$$D = 8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3; \rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}.$$

B. HƯỚNG DẪN GIẢI VÀ ĐÁP SỐ

3.1 Cảm ứng từ do các cạnh BE và CD gây ra tại A bằng không.

Do đó cảm ứng từ do toàn bộ khung dây BCED là: $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$; với $\vec{B}_1, \vec{B}_2$ là vectơ cảm ứng từ do hai đáy BC và ED gây ra tại A.

Suy ra: $\vec{B}$ có phương vuông góc với mặt phẳng khung dây, có chiều hướng ra phía trước mặt giấy tùy thuộc chiều dòng điện và có độ lớn ($\mu = 1$):

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Il}{b\sqrt{l^2 + 4b^2}} \approx 2,25 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

3.2 Nhận xét rằng ba đoạn dây dẫn (ba cạnh tam giác) gây ra cảm ứng từ như nhau (cùng phương, chiều và độ lớn). Do đó, vectơ $\vec{B}$ vuông góc với mặt phẳng khung dây, có chiều tùy thuộc chiều dòng điện và có độ lớn:

$$B = 3 \cdot \frac{\mu_0 I}{4\pi r} \cdot \left(\cos \frac{\pi}{6} + \cos \frac{\pi}{6} \right)$$

$$\text{với } r = \frac{a}{2} \tan \frac{\pi}{6}. \text{ Suy ra: } B = \frac{9\mu_0 I}{2\pi a} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

3.3 Cảm ứng từ tại M do mỗi vòng dây gây ra (M là tâm vòng dây) có phương vuông góc với mặt phẳng vòng dây và có độ lớn:

$$B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = \frac{2\mu_0 I}{\pi} \frac{\sqrt{h^2 + d^2}}{hd}$$

Vectơ cảm ứng từ tổng hợp $\vec{B}$ hợp với mặt phẳng chứa vòng dây ABCD (H.3.3) góc $22^\circ 30'$ ($\pi/8$) và có độ lớn:

$$B = 2B_1 \left(\sin \frac{\pi}{8} + \sin \frac{3\pi}{8} \right) \approx \frac{5,23\mu_0 I}{\pi hd} \sqrt{h^2 + d^2}$$

3.4 Với ống dây dài vô hạn, $\theta_1 = \theta_2 = 0$, ta có:

$$B_x = \mu\mu_0 nI \quad (1)$$

Đối với ống dây đang xét, tại trung điểm O của ống dây ta có:

$$\cos \theta_1 = \cos \theta_2 = \frac{l}{\sqrt{l^2 + d^2}}$$

$$\text{với } d \ll l \text{ thì: } \cos \theta_1 = \cos \theta_2 \approx 1 - \frac{d^2}{2l^2}$$

$$\text{và } B_0 \approx \mu\mu_0 nI \left(1 - \frac{d^2}{2l^2} \right) \quad (2)$$

Nếu áp dụng công thức (1) để tính cảm ứng từ tại O thì sai số (tương đối) mắc phải là:

$$\frac{\Delta B}{B_x} = \frac{B_x - B_0}{B_x} = \frac{d^2}{2l^2}$$

Muốn cho sai số không vượt quá 0,5% ta phải có:

$$\frac{d^2}{2l^2} \leq 0,005 \rightarrow \frac{l}{d} \geq 10$$

3.5 1) Vì lí do đối xứng vectơ $\vec{B}$ nằm trên trục Oz của vòng dây: Chia vòng dây thành các phần tử có chiều dài dl , tìm cảm ứng từ $d\vec{B}$ do mỗi phần tử đó gây ra tại M. Xét cặp 2 phần tử đối xứng đối với O ta thấy tổng các vectơ cảm ứng từ do 2 phần tử đó gây ra: $d\vec{B} = d\vec{B}_1 + d\vec{B}_2$ có phương trên trục Oz ($d\vec{B}_1$ và $d\vec{B}_2$ đối xứng với nhau đối với Oz). Như vậy chỉ cần xét thành phần dB_z của $d\vec{B}$ trên trục Oz, và từ đó ta tìm được $B = \sum dB_z$. Cụ thể là xét phần tử tại A thì vectơ cảm ứng từ $d\vec{B}$ do nó gây ra tại M có phương vuông góc với MA (H.3.13) và có độ lớn:

$$dB = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi r^2}, \text{ với } r^2 = h^2 + R^2$$

$$\text{từ đó: } dB_z = dB \cos \alpha = dB \frac{R}{r} = \frac{\mu_0 IR dl}{4\pi(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

Cảm ứng từ $\vec{B}$ do vòng dây mang dòng điện I gây ra tại điểm M có độ lớn:

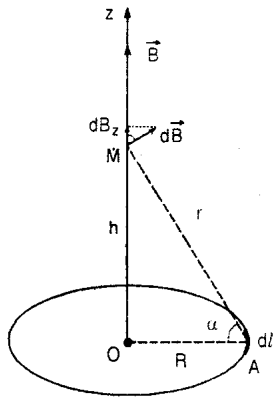
$$B = \sum dB_z = \int dB_z = \frac{\mu_0 IR}{4\pi(R^2 + h^2)^{3/2}} \int dl$$

Với: $\int dl = 2\pi R$ Do đó:

$$B = \frac{\mu_0 IR^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}} \quad (1)$$

2) Gọi $p_m = I_2 S_2 = \pi r^2 I_2$ là mômen từ của vòng dây 2 (bán kính r). Vì $r \ll R$ nên cảm ứng từ do vòng dây 1 (bán kính R) gây ra tại mọi điểm của vòng dây 2 được

xem như đều có độ lớn bằng B tính theo công thức (1). Từ đó lực từ do vòng dây 1 tác dụng lên vòng dây 2 có cường độ là:



Hình 3.13

$$F = \left| p_m \frac{dB}{dh} \right| = \frac{3\pi\mu_0 I_1 I_2 h r^2 R^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}} \quad (2)$$

Lực từ do vòng dây 2 tác dụng lên vòng dây 1 cũng có cường độ như trên (theo định luật III Newton).

3) Từ thông ϕ do vòng dây 1 gửi qua vòng dây 2, theo lập luận như ở câu 2, có độ lớn là:

$$\phi_{12} = B_1 S_2 = B \pi r^2 = \frac{\mu_0 \pi R^2 r^2 I_1}{2(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

Theo định nghĩa của hệ số hỗ cảm, ta có hệ số hỗ cảm M_{12} giữa hai vòng dây đó là:

$$M \equiv M_{12} = \frac{\phi_{12}}{I_1} = \frac{\mu_0 \pi R^2 r^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}} \quad (3)$$

4) Vòng dây siêu dẫn có điện trở $R = 0$, nên từ thông ϕ gửi qua vòng dây thỏa mãn hệ thức:

$$E_c = -\frac{d\phi}{dt} = R_0 \Delta I = 0 \quad (4) \Rightarrow \phi = \text{const}$$

Nghĩa là từ thông ϕ gửi qua vòng dây siêu dẫn có trị số luôn không đổi.

Áp dụng lần lượt cho vòng dây 1 và 2 ở trạng thái ban đầu (khi chúng cách nhau h) và trạng thái sau (khi tâm của chúng trùng nhau $h = 0$), ta có:

$$L_2 I_2 + M_1 I_1 = L_2 I_2' + M_2 I_1' \quad (5)$$

$$L_1 I_1 + M_1 I_2 = L_1 I_1' + M_2 I_2' \quad (6)$$

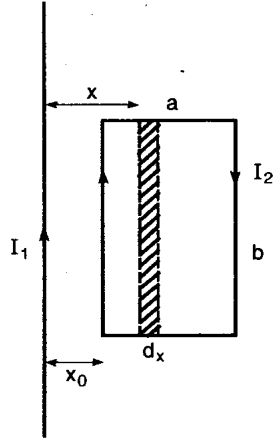
trong đó I_1' , I_2' lần lượt là cường độ dòng điện trong vòng 2 và vòng 1 khi $h = 0$; còn M_1 , M_2 là hệ số hỗ cảm giữa hai vòng

lần lượt ứng với $h = R$, và $h = 0$: $M_1 = \frac{\mu_0 \pi r^2}{4\sqrt{2}R}$; $M_2 = \frac{\mu_0 \pi r^2}{2R}$

Từ (5) và (6) ta tìm được:

$$I'_1 = \frac{(L_1 L_2 - M_1 M_2) I_1 + L_2 (M_1 - M_2) I_2}{L_1 L_2 - M_2^2}$$

3.6 1) Công của ngoại lực làm dịch chuyển khung dây được xác định bằng công thức:



$$A = I_2 (\Phi_1 - \Phi_2) \quad (1)$$

Trong đó Φ_1, Φ_2 tương ứng là từ thông gửi qua khung dây khi khung ở vị trí ban đầu và ở vị trí cuối.

Cảm ứng từ do dòng điện I_1 chạy trong dây dẫn thẳng dài gây ra tại một điểm trên khung dây cách dây dẫn một khoảng x có độ lớn (H.3.14):

$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x}$$

Hình 3.14

Từ thông gửi qua một diện tích nhỏ cạnh dx của khung là:

$$d\Phi = BdS = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x} b dx$$

từ đó:

$$\Phi_1 = \frac{\mu_0 I_1 b}{2\pi} \int_{x_0}^{x_0+a} \frac{dx}{x} = \frac{\mu_0 I_1 b}{2\pi} \ln \left| \frac{x_0 + a}{x_0} \right| \quad (2)$$

$$\Phi_2 = \frac{\mu_0 I_1 b}{2\pi} \int_{x_0+a}^{x_0+2a} \frac{dx}{x} = \frac{\mu_0 I_1 b}{2\pi} \ln \left| \frac{x_0 + 2a}{x_0 + a} \right| \quad (3)$$

Do đó ta có:

$$A = \frac{\mu_0 I_1 I_2 b}{2\pi} \ln \left| \frac{(x_0 + a)^2}{x_0 (x_0 + 2a)} \right| = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ J}$$

2) Trong trường hợp quay khung dây 180° quanh cạnh b xa dây dẫn hơn thì Φ_1 vẫn được tính theo công thức (1), còn khi tính Φ_2 thì cần chú ý rằng, ở vị trí mới vectơ pháp tuyến với mặt khung ngược chiều so với trường hợp trên, do đó ta có:

$$\Phi'_2 = -\Phi_2 = \frac{\mu_0 I_1 b}{2\pi} \ln \left| \frac{x_0 + a}{x_0 + 2a} \right|$$

Như vậy ta tìm được:

$$A' = I_2 (\Phi'_2 - \Phi_1) = \frac{\mu_0 I_1 I_2 b}{2\pi} \ln \left| \frac{x_0 + 2a}{x_0} \right|$$

$$\rightarrow A' = 6,4 \cdot 10^{-7} \text{ J}$$

3.7 Khi các ion đi vào khu vực có từ trường $\vec{B}$, do tác dụng của lực từ mỗi ion chuyển động tròn đều (vì $\vec{v} \perp \vec{B}$). Kí hiệu m, q, R lần lượt là khối lượng, điện tích và bán kính chuyển động của ion, ta có:

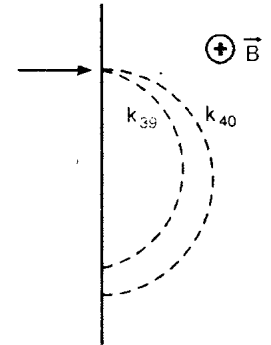
$$\frac{mv^2}{R} = qvB \rightarrow R = \frac{mv}{qB} \quad (1)$$

Mặt khác, ion được tăng tốc trong điện trường có hiệu điện thế U :

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

Từ (1) và (2) ta có: $R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$

Để thu được những quỹ đạo riêng biệt cho các ion kali với 2 loại đồng vị có khối lượng m_1, m_2 , ta phải có:



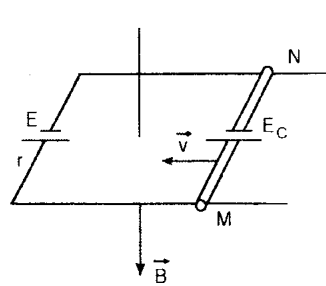
Hình 3.15

$$(U_0 + \Delta U)m_1 < (U_0 - \Delta U)m_2$$

$$\rightarrow \frac{\Delta U}{U_0} < \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} = \frac{A_2 - A_1}{A_2 + A_1} = 0,025$$

$$\rightarrow \frac{\Delta U}{U} < 2,5\%$$

3.8 Chiều và cường độ dòng điện qua MN (H.3.16):



Hình 3.16

Khi nối với nguồn, trong mạch có dòng điện I:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

Vì điện trở của các thanh ray và dây dẫn không đáng kể nên cường độ dòng điện I không phụ thuộc vào vị trí của thanh MN.

Dòng điện I nằm trong từ trường $\vec{B}$ nên chịu tác dụng của lực từ $\vec{F}$. Lực này có phương vuông góc với mặt phẳng chứa thanh MN và $\vec{B}$, có chiều xác định theo quy tắc bàn tay trái:

$$F = BIl = B \frac{E}{R + r} l$$

Lực từ F làm cho thanh MN chuyển động sang trái.

Thanh MN chuyển động cắt vuông góc các đường cảm ứng từ nên ở hai đầu thanh có suất điện động cảm ứng E_C :

$$E_C = Bvl \quad (\sin(\vec{v}, \vec{B}) = 1)$$

Áp dụng quy tắc bàn tay phải, ta xác định được chiều dòng điện cảm ứng I_C trong mạch hướng từ $N \rightarrow M$ (H.3.16)

Khi đó thanh MN chịu thêm tác dụng của:

- Lực $\vec{F}'$ ngược chiều với $\vec{F}$ (theo quy tắc bàn tay trái) và có độ lớn:

$$F' = B I_C l = B \cdot \frac{E_C}{R + r} l = \frac{B^2 l^2 v}{R + r} \quad (F' \text{ tăng theo } v)$$

- Lực ma sát $\vec{F}_{ms}$ cùng phương và ngược chiều với $\vec{F}$, có độ lớn:

$$F_{ms} = kmg$$

Áp dụng định luật II Newton:

$$F - F' - F_{ms} = ma$$

$$Bl \frac{E}{R + r} - \frac{B^2 l^2 v}{R + r} - kmg = ma$$

$$a = \frac{Bl(E - Blv)}{m(R + r)} - kg \quad (1)$$

(1) cho thấy khi v tăng thì a giảm.

Gia tốc a triệt tiêu khi:

$$\frac{Bl(E - Blv_{\max})}{m(R + r)} = kg \quad (1)$$

$$\rightarrow v_{\max} = \frac{EBl - kmg(R + r)}{B^2 l^2}$$

3.9 1) Khi đoạn dây dẫn MN bắt đầu trượt, trong mạch giới hạn bởi MN và hai thanh kim loại xuất hiện suất điện động cảm ứng. Lực từ tác dụng lên MN là: $F = BIl$, trong đó:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{C \Delta E_C}{\Delta t} = CBl \frac{\Delta v}{\Delta t} = CB/a$$

Phương trình chuyển động của MN:

$$P - F = ma$$

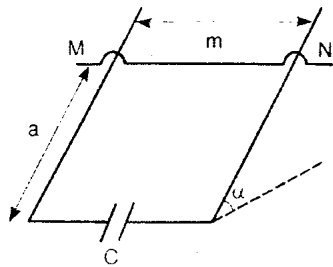
$$\Rightarrow a = \frac{mg}{m + CB^2 l^2}$$

Khi MN đi xuống, thế năng trọng trường của AB chuyển hóa thành động năng của MN và năng lượng điện trường trong tụ điện.

2) Khi hai thanh kim loại nghiêng góc α so với mặt phẳng nằm ngang, xét theo phương chuyển động, phương trình chuyển động của AB là: (H.3.17)

$$P \sin \alpha - F \sin \alpha = ma$$

$$\Rightarrow a = \frac{mg \sin \alpha}{m} + CB^2 l^2 \sin \alpha$$



Hình 3.17

Thời gian khi AB rời khỏi hai thanh kim loại:

$$d = \frac{at^2}{2}$$

$$\Rightarrow t = \sqrt{\frac{2d}{mg \sin \alpha (m + CB^2 l^2 \sin \alpha)}}$$

Vận tốc của AB khi đó bằng:

$$v = at = \sqrt{\frac{2dmg \sin \alpha}{m + CB^2 l^2 \sin \alpha}}$$

3.10 1) Tại thời điểm bản có vận tốc v thì lực Lorenx tác dụng vào bản:

$$F_L = evB \quad (1)$$

Các electron dịch sang trái làm xuất hiện điện trường $\vec{E}$ và hiệu điện thế: $U = Ed \quad (2)$

Các electron chịu thêm lực điện trường:

$$F_e = eE = e \frac{U}{d} \quad (3)$$

Điện tích trên hai mặt bản là:

$$q = CU = \frac{\epsilon_0 S}{d} U \quad (4)$$

2) Dòng điện chạy qua bản: $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$

Lực từ tác dụng lên dòng điện là:

$$F_t = BId$$

($\vec{F}_t$ hướng lên theo quy tắc bàn tay trái)

Vậy gia tốc của bản, (H.3.18) tính theo định luật II Newton:

$$ma = mg - F_t$$

$$\Rightarrow a = g - \frac{F_t}{m} \quad (5)$$

$$\text{Khi } F_e = F_L \Rightarrow \frac{eU}{d} = evB$$

$$\Rightarrow U = Bvd \Rightarrow q = \epsilon_0 BvS \Rightarrow I = \epsilon_0 BaS$$

$$\Rightarrow F = \epsilon_0 B^2 S da$$

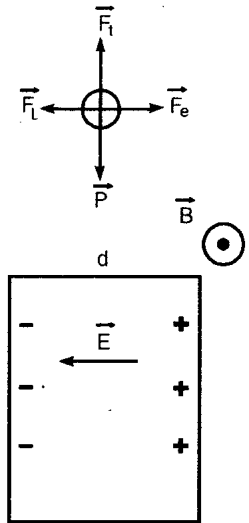
$$\text{Từ (5)} \Rightarrow a = g - \frac{\epsilon_0 B^2 d S a}{m} \rightarrow a = \frac{g}{1 + \frac{\epsilon_0 B^2 S d}{m}}$$

3.11 Trong khoảng thời gian nhỏ Δt , lực từ tác dụng lên thanh MN là: $F = I_0 B l$

Trong thời gian này, thanh nhận được động lượng:

$$p = mv = F \Delta t = I_0 B l \Delta t$$

Động năng của thanh:



Hình 3.18

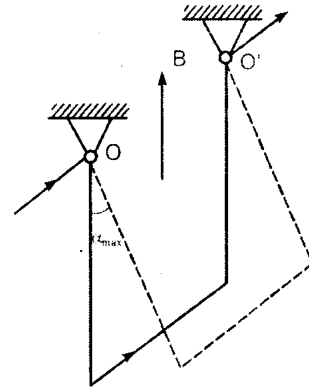
$$E_d = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} = \frac{I_0^2 B^2 l^2 \Delta t^2}{2m}$$

Ở vị trí giới hạn, thế năng của thanh là: (H.3.19)

$$E_t = mgl(1 - \cos \alpha_{\max}) = 2mgl \frac{\sin^2 \alpha_{\max}}{2}$$

Định luật bảo toàn năng lượng cho ta:

$$\frac{I_0^2 B^2 l^2 \Delta t^2}{2m} = 2mgl \sin^2 \frac{\alpha_{\max}}{2} \Rightarrow \sin \frac{\alpha_{\max}}{2} = \frac{I_0 B \Delta t}{2m\sqrt{gl}}$$



Hình 3.19

3.12 Phương trình định luật II Newton:

$$m\vec{a} = -k\vec{v} + q[\vec{v} \wedge \vec{B}]$$

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = -k\vec{v} + q[\vec{v} \wedge \vec{B}]$$

$$\Leftrightarrow m d\vec{v} = -k\vec{v} dt + q[\vec{v} dt \wedge \vec{B}]$$

$$m d\vec{v} = -k d\vec{r} + q[d\vec{r} \wedge \vec{B}]$$

$$\int_0^t m \vec{v} = -k \int_0^t d\vec{r} - q \vec{B} \wedge \int_0^t d\vec{r} \quad (\text{vì } d\vec{r} \wedge \vec{B} = -\vec{B} \wedge d\vec{r})$$

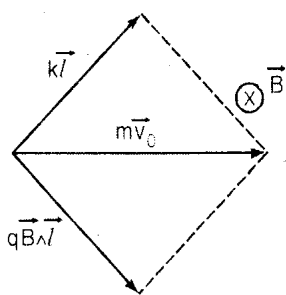
$$\Leftrightarrow -m\vec{v}_0 = -k\vec{l} - q\vec{B} \wedge \vec{l}$$

$$m\vec{v}_0 = -k\vec{l} + q\vec{B} \wedge \vec{l}$$

Từ giản đồ vectơ (H.3.20):

$$m^2 v_0^2 = k^2 l^2 + q^2 B^2 l^2$$

$$\Rightarrow l = \frac{mv_0}{\sqrt{k^2 + q^2 B^2}}$$



Hình 3.20

$$\text{Khi } B = 0: l_0 = \frac{mv_0}{k} = 10\text{cm} \quad (1)$$

$$\text{Khi } B = B: l_1 = \frac{mv_0}{\sqrt{k^2 + q^2 B^2}} = 6\text{cm} \quad (2)$$

$$\text{Khi } B' = B/2: l_2 = \frac{mv}{\sqrt{k^2 + q^2 \frac{B^2}{4}}} \quad (3)$$

Từ (1) (2) và (3) ta có:

$$l_0^2 k^2 = (mv_0)^2 \quad (4)$$

$$(k^2 + q^2 B^2) l_1^2 = (mv_0)^2 \quad (5)$$

$$\left(k^2 + \frac{q^2 B^2}{4}\right) l_2^2 = (mv_0)^2 \quad (6)$$

$$\text{Từ (4) và (5)} \Rightarrow k^2 l_0^2 = (k^2 + q^2 B^2) l_1^2$$

$$\Rightarrow l_0^2 = \left[1 + \left(\frac{qB}{k}\right)^2\right] l_1^2$$

$$\Rightarrow \left(\frac{qB}{k}\right)^2 = \frac{l_0^2}{l_1^2} - 1 = \frac{16}{9}$$

Thế vào (6) ta được:

$$\left(1 + \frac{q^2 B^2}{4k^2}\right) l_2^2 = \left(\frac{mv_0}{k}\right)^2 = l_0^2$$

$$\left(1 + \frac{4}{9}\right) l_2^2 = l_0^2$$

$$\Rightarrow l_2 = \frac{3l_0}{\sqrt{13}} = 8,32\text{cm}$$

3.13 Ở thời điểm t, đĩa có vận tốc v. Đĩa rơi cắt các đường cảm ứng từ, trong đĩa xuất hiện suất điện động cảm ứng là: $E_C = Bvd$.

Giữa hai mặt đĩa có hiệu điện thế $u = E_C = Bvd$. Khi đó đĩa tương đương với một tụ điện có điện dung là:

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}, \text{ với } S = \pi R^2$$

Điện tích của tụ này ở thời điểm t là:

$$q = Cu = \epsilon_0 SBv$$

Trong đĩa có một dòng điện:

$$i = \frac{dq}{dt} = \epsilon_0 SB \frac{dv}{dt} = \epsilon_0 SBa$$

Với a là gia tốc của đĩa.

Dòng điện trong đĩa làm đĩa chịu tác dụng của lực từ $\vec{F}$ ngược hướng với trọng lực $\vec{P}$:

$$F = BId = \epsilon_0 SB^2 d \cdot a$$

Gia tốc a của đĩa được xác định bằng định luật II Newton:

$$a = \frac{P - F}{m} = \frac{mg - \epsilon_0 SB^2 da}{m}$$

Từ đó:

$$a = \frac{g}{1 + \frac{\epsilon_0 R^2 \pi B^2 d}{m}}$$

3.14 1) Nếu cảm ứng từ tăng dần theo trục z thì mật độ đường cảm ứng từ ngày càng tăng theo trục z (H.3.21a). Khi đó, ngoài thành phần cảm ứng từ theo trục z (B_z) còn có thành phần cảm ứng từ xuyên tâm (B_r).

Xét mặt nón hình trụ bán kính tiết diện là r , chiều cao Δz (H.3.21b). Từ thông qua hai đáy bằng:

$$\Phi_1 = \pi r^2 [B(z + \Delta z) - B(z)]$$

$$\rightarrow \Phi_1 = \pi r^2 \frac{dB_z}{dz} \Delta z$$

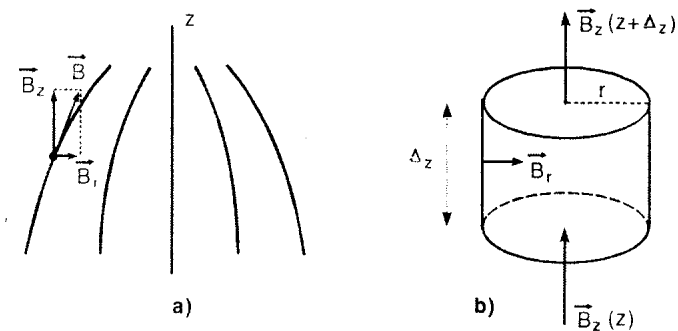
Từ thông qua mặt bên:

$$\Phi_2 = -2\pi r \Delta z \cdot B_r$$

Theo định lí Gaoxơ, từ thông qua mặt kín bất kì bằng không, do đó ta có:

$$\Phi_1 + \Phi_2 = 0$$

$$\Rightarrow B_r = \frac{r}{2} \frac{dB_z}{dz} \quad (1)$$



Hình 3.21

2) Độ biến thiên của từ thông qua mặt vòng dây theo thời gian:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \pi r^2 \frac{dB_z}{dt} = \pi r^2 \frac{dB_z}{dz} \frac{dz}{dt}$$

$$\rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = \pi r^2 v \frac{dB_z}{dz}$$

với $v = \frac{dz}{dt}$ là vận tốc của vòng dây.

Độ lớn của suất điện động cảm ứng và cường độ dòng điện trong vòng dây là:

$$E_C = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = \pi r^2 v \frac{dB_z}{dz}$$

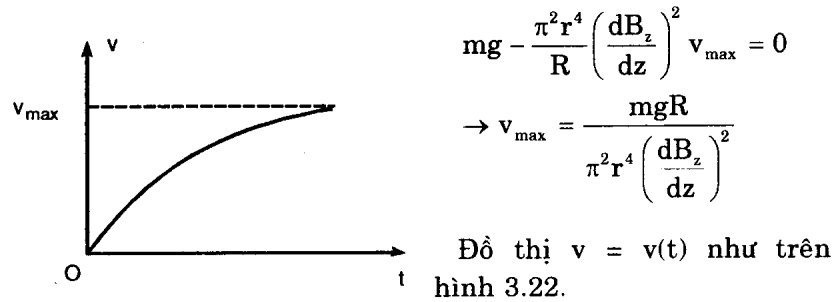
$$I = \frac{E_C}{R} = \frac{\pi r^2 v}{R} \frac{dB_z}{dz}$$

Lực từ tác dụng lên vòng dây có hướng từ dưới lên do thành phần B_r tạo nên (chú ý đến (1)):

$$F = B_r I l = 2\pi r I B_r = \pi r^2 I \frac{dB_z}{dz}$$

$$\rightarrow F = \frac{\pi^2 r^4}{R} \left(\frac{dB_z}{dz} \right)^2 v$$

Ta thấy vận tốc của vòng dây tăng dần (từ trị số $v = 0$) và đến một lúc nào đó $\frac{dv}{dt} = 0 \rightarrow$ vận tốc vòng dây đạt trị số cực đại $v_{\max}$, mà:



Hình 3.22

3.15 Hợp lực tác dụng lên hạt gồm: Lực cản $\vec{F}_c$ và lực Lorenxơ:

$$\vec{F} = -\alpha \vec{v} + q[\vec{v} \wedge \vec{B}] \quad (1)$$

Hạt chỉ chuyển động trong mặt phẳng xOy , vì vậy vận tốc $\vec{v}$ có thành phần theo phương z .

Hình chiếu của lực F lên 2 trục x và y là:

$$F_x = -\alpha v_x + qBv_y \quad (2)$$

$$F_y = -\alpha v_y - qBv_x \quad (3)$$

Suy ra:

$$\frac{mdv_x}{dt} = -\alpha \frac{dx}{dt} + qB \frac{dy}{dt}$$

$$\frac{mdv_y}{dt} = -\alpha \frac{dy}{dt} - qB \frac{dx}{dt}$$

Từ đó ta lại có:

$$m\Delta v_x = -\alpha \Delta x + qB\Delta y \quad (4)$$

$$m\Delta v_y = -\alpha \Delta y - qB\Delta x \quad (5)$$

Kí hiệu: tọa độ của điểm P là Δx và Δy ;

vận tốc ban đầu của hạt là $\vec{v}_0 = (0, v_0, 0)$,

vận tốc cuối của hạt là $\vec{v} = (0, 0, 0)$.

Giải hệ phương trình (4) và (5) với $\Delta v_x = 0$ và $\Delta v_y = -v_0$ ta được:

$$\Delta x = \frac{mqBv_0}{\alpha^2 + (qB)^2}; \Delta y = \frac{\alpha mv_0}{\alpha^2 + (qB)^2}$$

3.16 Áp dụng định luật Ohm cho mạch kín (R là điện trở toàn

$$\text{mạch}): E - L \frac{dI}{dt} = RI \rightarrow \frac{dI}{dt} + \frac{R}{L} I = \frac{E}{L} \quad (1)$$

Phương trình (1) có nghiệm:

$$I = \frac{E}{R} \left[1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right], \quad (2)$$

$$\text{Trong đó: } R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Từ đó, dòng điện chạy qua cầu chì là I_1 , tính theo công thức:

$$I = I_1 \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Thay các biểu thức trên vào (2) ta có:

$$I_1 = \frac{E}{R_1} \left[1 - e^{-\frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)L} t} \right] \quad (3)$$

Vì $R_1 \approx 0$, ta có:

$$1 - e^{-\frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)L} t} \approx \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)L} t \approx \frac{R_1 t}{L}$$

Và từ đó:

$$I_1 = \frac{Et}{L} \rightarrow t = \frac{I_1 L}{E} \quad (4)$$

Thay vào (4), $I_1 = I_{\max} = 3$ (A) ta được thời gian sau khi đóng cầu chì bị đứt: $t_{\max} = 1,5$ s.

3.17 1) Do các vòng dây là siêu dẫn nên chúng không có điện trở. Vì vậy, nếu đưa các vòng dây lại gần nhau, sự gia tăng suất điện động có thể làm cho dòng điện tăng lên vô hạn.

Khi các vòng dây còn ở xa nhau, từ thông qua mỗi vòng dây là: $\Phi_i = LI_i$ với $i = 1, 2$ và $I_1 = I_2 = I$.

Khi đưa các vòng dây lại sát nhau, do tác dụng hỗ cảm mà có thêm từ thông qua mỗi vòng dây (vì hai vòng dây giống nhau nên khi hai vòng dây sát nhau $M = L$), do đó từ thông qua mỗi vòng dây khi đó bằng:

$$\Phi_f = LI' + LI' = 2LI'$$

Với I' là cường độ dòng điện qua mỗi vòng dây khi đó.

Để tránh dòng điện tăng vô hạn ta phải có:

$$\Phi_i = \Phi_f \rightarrow I' = \frac{I_i}{2} = \frac{I}{2}$$

2) Độ biến thiên năng lượng của hệ:

$$\Delta W = W_f - W_i$$

$$\text{với: } W_i = \frac{1}{2} LI_1^2 + \frac{1}{2} LI_2^2 = LI^2$$

$$W_f = \frac{1}{2} LI'^2 + \frac{1}{2} LI'^2 + MI'I' = 2LI'^2 = \frac{LI^2}{2}$$

$$\text{Từ đó: } \Delta W = -\frac{LI^2}{2}$$

Đó chính là năng lượng cần thiết để đưa các vòng dây lại gần nhau. Trong trường hợp này: $\Delta W < 0$, vì các vòng dây hút nhau.

3.18 1) Giả sử có dòng điện I chạy qua ống dây C_1 , tìm từ thông do C_1 gửi qua C_2 .

Cảm ứng từ do C_1 gây ra tại tâm O_2 của C_2 là:

$$B_{02} = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

trong đó $\alpha_1 = 0$ (vì ống dây C_1 bán vô hạn) $\rightarrow \cos \alpha_1 = 1$, và:

$$\cos \alpha_2 = \frac{d}{\sqrt{a_1^2 + d^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{a_1}{d}\right)^2}} \approx 1 - \frac{a_1^2}{2d^2}$$

Vì $a_1 \ll d$, suy ra:

$$B_{02} = \frac{\mu_0 n I}{4} \frac{a_1^2}{d^2}$$

Vì $a_2 \ll d$ nên cảm ứng từ do C_1 gây ra tại mọi điểm trên mặt giới hạn bởi C_2 đều có thành phần trên trục $O_2 x$ có độ lớn

xấp xỉ bằng B_{02} . Do đó từ thông do C_1 gửi qua C_2 là: $\Phi = B_{02} \pi a_2^2$.

$$\text{Từ đó hệ số hồ cảm là: } M = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu_0 n \pi a_1^2 a_2^2}{4 d^2} \quad (1)$$

2) Trong thời gian thiết lập dòng điện I_1 trong C_1 , từ thông do C_1 gửi qua C_2 biến thiên, trong C_2 xuất hiện suất điện động hồ cảm I_2 , ngoài ra do I_2 biến thiên nên trong C_2 lại xuất hiện suất điện động tự cảm.

Vì vậy áp dụng định luật Ohm ta có:

$$\begin{aligned} -M \frac{dI_1}{dt} - L \frac{dI_2}{dt} &= RI_2 \\ \rightarrow RI_2 dt &= -M dI_1 - L dI_2 - R dq \end{aligned} \quad (2)$$

Với $dq = I_2 dt$ là điện lượng chạy qua tiết diện dây dẫn C_2 trong thời gian dt .

Khi cường độ dòng điện trong C_1 đã đạt đến trị số I_2 (xem như khi $t = \infty$) thì từ thông do C_1 gửi qua C_2 không còn biến thiên nữa, từ đó trong C_2 không còn có suất điện động hồ cảm, suất điện động tự cảm và không còn có điện lượng chạy qua tiết diện dây dẫn C_2 .

Kí hiệu Q là điện lượng tổng cộng đã chạy qua tiết diện dây dẫn C_2 , từ (2) ta có:

$$RQ = -M\Delta I_1 - L\Delta I_2$$

Trong đó:

$$\Delta I_2 = I_2(t = \infty) - I_2(t = 0) = 0 - 0 = 0;$$

$$\Delta I_1 = I_1(t = \infty) - I_1(t = 0) = 0 - 0 = 0;$$

Suy ra:

$$Q = -\frac{MI}{R} = -\frac{\mu_0 \pi n a_1^2 a_2^2}{4 R d^2} I$$

Dấu trừ trong biểu thức của Q liên quan đến chiều dòng điện trong C_1 và C_2 , chứng tỏ: dòng điện cảm ứng trong C_2 có xu hướng chống lại sự biến thiên của từ thông mà ống dây C_1 đã gây ra nó.

3.19 Suất điện động cảm ứng xuất hiện trong vòng dây có độ lớn là:

$$E_c = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \frac{\pi d^2}{4} B_0 a \left| \frac{\Delta H}{\Delta t} \right|$$

Kí hiệu $v = \left| \frac{\Delta H}{\Delta t} \right|$ là vận tốc rơi đều của vòng dây, ta có:

$$E_c = \frac{\pi d^2}{4} B_0 a v$$

Dòng điện chạy trong vòng dây là:

$$I = \frac{E_c}{R} = \frac{\pi d^2 B_0 a v}{4 R} \quad (1)$$

Với R là điện trở vòng dây, $R = \rho \frac{\pi d}{S}$;

S là tiết diện dây dẫn.

Khi vòng dây rơi đều, động năng của nó không thay đổi, do đó độ biến thiên thế năng bằng nhiệt lượng tỏa ra của vòng dây, ta có: $mg\Delta H = I^2 R t$ (2)

Với ΔH là độ cao mà vòng rơi được trong thời gian t .

Vì $\frac{\Delta H}{t} = v$, nên từ (2) ta có: $mgv = I^2 R$ (3)

Thay biểu thức (1) của I vào (3) rút ra:

$$v = \frac{16mgR}{\pi^2 d^4 B_0^2 a^2} = \frac{16gD\rho}{d^2 B_0^2 a^2}$$

Vì $m = \pi d S D$. Thay số ta được: $v \approx 5,9 \text{ m/s}$.

PHẦN HAI

QUANG HỌC

A. ĐỀ BÀI TẬP

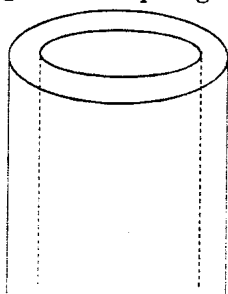
4.1 Cho một bán cầu, bán kính R làm bằng một chất trong suốt và có chiết suất n , đặt trong không khí. Một tia tới SI thẳng góc với mặt phẳng của bán cầu, cách trục bán cầu một đoạn x .

1) Muốn tia sáng đi vào bán cầu, bị phản xạ toàn phần tại mặt cầu thì x phải thỏa mãn điều kiện gì?

2) Cho biết sau p lần phản xạ trên mặt cầu tia sáng ló ra thẳng góc với mặt phẳng của bán cầu. Tính x và xác định giá trị nhỏ nhất của p , khi $n = \sqrt{2}$.

4.2 Một lăng kính thủy tinh chiết suất $n > 1$ đặt trong không khí có góc lệch cực tiểu $D_{\min}$ bằng nửa góc chiết quang. Xác định góc chiết quang A của lăng kính đó. Giá trị chiết suất n phải thỏa mãn điều kiện gì? Áp dụng số:

$$n = \sqrt{2}.$$



Hình 4.1

4.3 Một ống mao dẫn bằng thủy tinh, chiết suất $n=1,732$, đường kính ngoài $D=3,464\text{mm}$, đường kính trong $d=2,00\text{mm}$ chứa thủy ngân (H.4.1, hình đã được phóng tương ứng để nhìn rõ). Vỏ ngoài của ống có khắc các vạch chia, dài 1mm và cách nhau 1mm . Ống được quan sát từ phía bên, và

được đặt đủ xa mắt để các tia sáng từ mọi điểm của ống tới mắt đều có thể coi gần đúng là những tia song song.

1) Xác định giá trị đường kính d' của ảnh của cột thủy ngân mà mắt nhìn thấy.

2) Xác định bản chất (thật hay ảo), vị trí, chiều và độ lớn của ảnh các vạch chia và khoảng cách giữa chúng.

4.4 Đặt một vật sáng AB vuông góc với trục chính của một thấu kính hội tụ L_2 có tiêu cự f_2 ; trên màn E đặt cách vật AB một đoạn $a=7,2.f_2$ ta thu được ảnh của vật.

1) Tìm độ phóng đại của ảnh đó.

2) Giữa vật AB và màn E cố định. Tịnh tiến thấu kính L_2 dọc theo trục chính đến vị trí cách màn E 20cm . Đặt thêm một thấu kính L_1 (tiêu cự f_1) đồng trục với L_2 vào trong khoảng giữa AB và L_2 , cách AB một khoảng 16cm thì thu được một ảnh cùng chiều và cao bằng AB hiện lên trên màn E. Tìm các tiêu cự f_1 và f_2 .

3) Bây giờ giữ vật AB cố định, còn màn E thì tịnh tiến ra xa AB đến vị trí mới cách vị trí cũ 23cm . Tìm khoảng cách giữa hai thấu kính và vị trí mới của chúng để qua hệ thấu kính vật cho một ảnh hiện trên màn E có cùng chiều và cao gấp 8 lần vật AB.

4.5 Để quan sát phía sau xe người lái xe ô tô dùng một hệ thống chiếu hậu như sau: Anh ta gắn vào kính sau của xe một thấu kính phân kì L có tiêu cự 75cm và đường kính vành 18cm . Một gương phẳng tròn nhỏ G có kích thước thích hợp được gắn vuông góc với trục chính của L , ở phía trước lái xe, cho phép anh ta quan sát phần đường sau xe qua thấu kính L . Gương G cách thấu kính L 180cm và mắt người lái xe cách G 60cm .

1) Xác định ảnh của một vật nhỏ AB ở sau xe, cách L 4cm , cho bởi quang hệ chiếu hậu nói trên.

2) Giải thích và xác định thị trường của hệ thống nói trên.

3) Tính góc của thị trường khi:

a) Hệ chiếu hậu gồm L và G.

b) Hệ chiếu hậu chỉ có G. Giả thiết kính sau xe có cùng kích thước như L và L có trục chính nằm ngang.

Xem như mắt nằm trên trục chính.

4) Tính phần diện tích nhìn thấy được trong một mặt phẳng thẳng đứng ở phía sau xe, cách L 15m, trong các trường hợp a và b ở trên.

4.6 Hai thấu kính hội tụ L_1, L_2 giống nhau, độ tụ 5 điốp, được đặt đồng trục (trục chính nằm ngang), cách nhau 60cm. Đặt trong khoảng giữa hai thấu kính một chậu đựng nước có hai thành đối diện trong suốt vuông góc với trục chính thấu kính; bề dày thành chậu không đáng kể, hai thành đó cách nhau 40cm và ở vị trí đối xứng đối với trung điểm của khoảng cách giữa L_1 và L_2 . Đặt một điểm sáng S trên trục chính, trước L_1 và cách L_1 1m.

1) Phải nhúng một màn vào trong chậu tại đâu để thu được ảnh trên màn.

2) Rút màn ra. Xác định ảnh cuối cùng cho bởi hệ.

3) Tịnh tiến chậu nước dọc theo trục chính, có nhận xét gì về các ảnh của S.

4) Quay chậu quanh trục nằm ngang sao cho hai thành bên nghiêng đi góc 8° so với mặt phẳng thẳng đứng (vị trí cũ) và chậu vẫn nằm ở vị trí chính giữa L_1, L_2 .

Xác định vị trí của các ảnh lần lượt tạo ra.

4.7 Một kính thiên văn gồm hai thấu kính có độ tụ 100 điốp và 1 điốp đặt đồng trục.

1) Trong số hai thấu kính đó, thấu kính nào được dùng làm vật kính.

2) Hướng quang trục của kính về phía một ngôi sao kép A,B có khoảng cách góc $3 \cdot 10^{-4}$ rad. Mắt một quan sát viên đặt tại tiêu điểm ảnh của thị kính, nhìn thấy rõ, không phải điều tiết ảnh A'B' của ngôi sao kép đó tại vị trí trước mắt 21cm.

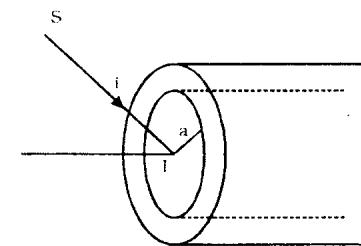
a) Mắt quan sát viên có tật gì ?

b) Tính khoảng cách giữa hai thấu kính, độ bội giác của kính và góc trông của ngôi sao kép nhìn qua kính.

3) Chứng minh rằng độ bội giác không phụ thuộc sự ngắm chừng của quan sát viên và có trị số $G = \frac{f_1}{f_2}$ như trường hợp hệ vô tiêu (f_1, f_2 là tiêu cự vật kính và thị kính). Giải thích tại sao.

4) Bây giờ người ta chụp ảnh ngôi sao kép AB trên một tấm phim, đặt vuông góc với quang trục ở sau thị kính 25cm. Tính bề dài của kính thiên văn khi đó và khoảng cách A'B' của ngôi sao kép trên phim.

4.8 Một sợi cáp quang hình trụ rất dài, hai đầu phẳng và vuông góc với trục sợi cáp, bằng thủy tinh chiết suất n_1 , được bao xung quanh bằng một hình trụ đồng trục, bán kính lớn hơn nhiều so với bán kính a của sợi cáp, bằng thủy tinh chiết suất n_2 , với $n_2 < n_1$. Một tia sáng SI tới một đầu của sợi cáp quang dưới góc i , khúc xạ trong sợi cáp, và sau nhiều lần phản xạ toàn phần ở mặt tiếp xúc giữa hai lớp thủy tinh, có thể ló ra khỏi đầu kia.



Hình 4.2

1) Tính giá trị lớn nhất i_m mà i không được vượt quá để tia sáng không truyền sang lớp vỏ ngoài.

2) Sợi cáp (cùng với lớp bọc) được uốn cong cho trục của nó làm thành một cung tròn, bán kính R . Góc i bây giờ là bao nhiêu ?

Cho biết: $n_1=1,50$; $n_2=1,48$; $a=0,2$ mm ; $R=5$ cm.

Chú ý:

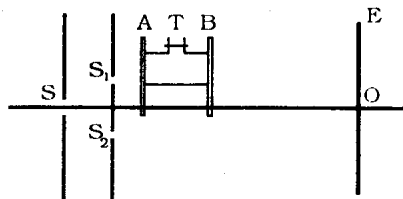
1) Chỉ xét tia sáng nằm trong mặt phẳng chứa trục của sợi cáp.

2) Chỉ cần cho biết giá trị chính xác $\sin$, $\cos$ hoặc $\tan$ của i_m .

(Trích Đề thi chọn học sinh giỏi quốc gia môn Vật lý năm học 2000 – 2001).

4.9 Trong thí nghiệm giao thoa Iâng, khoảng cách hai khe $S_1S_2=1$ mm và khoảng cách từ S_1S_2 đến màn E là $D=2$ m, người ta chiếu sáng khe S với bức xạ có bước sóng $\lambda=0,5893$ μm trong chân không.

1) Tính khoảng vân quan sát được trên màn.



Hình 4.3

2) Đặt trước khe S_1 một ống T có chiều dài 20cm được đóng kín bởi hai tấm kính rất mỏng, phẳng, song song A, B có kích thước đủ chắn trước khe S_2 (H. 4.3). Trên màn E quan sát thấy gì khi ống T thông với bên ngoài?

3) Hút hết không khí để tạo chân không bên trong ống T .

a) Hệ vân giao thoa trên màn E bây giờ như thế nào?

b) Cho biết trong quá trình hút khí ra khỏi ống T , người ta thấy có 99 vân sáng dịch chuyển qua tâm O của màn E và khi

trong ống T hoàn toàn là chân không thì tại O có một vân tối. Tìm chiết suất của không khí trong điều kiện thí nghiệm.

c) Chiếu sáng khe S bằng ánh sáng trắng (có các bước sóng $0,4\mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,75 \mu\text{m}$) và đặt khe ống chuẩn trực của máy quang phổ tại O , song song với các khe S_1, S_2 . Hỏi quang phổ thu được sẽ như thế nào? Giả sử chiết suất không khí có cùng một giá trị với mọi bức xạ.

4.10 Trong thí nghiệm giao thoa Iâng, khe S cách S_1S_2 1m và cách màn E 2m, $S_1S_2=0,6$ mm. Chiếu sáng S bằng bức xạ $\lambda=0,6\mu\text{m}$.

1) Xác định vị trí các vân sáng.

2) Khoét một khe nhỏ C (song song với khe S) tại vị trí vân sáng trung tâm O trên màn E và đặt mắt quan sát sau khe. Hỏi mắt sẽ quan sát thấy gì trong các trường hợp:

a) Di chuyển khe S (tịnh tiến trong mặt phẳng P_1 song song với mặt phẳng P_2 chứa S_1, S_2) theo phương S_1S_2 một đoạn $x_S=2,5$ mm.

b) Khe S di chuyển qua lại dọc theo phương S_1S_2 , trong mặt phẳng P theo phương trình $x_S=2\sin\pi t$ (mm).

4.11 Trong thí nghiệm giao thoa Iâng, $S_1S_2=0,5$ mm, màn quan sát E cách S_1S_2 một khoảng D .

1) Chiếu sáng khe S bằng bức xạ $\lambda=0,546 \mu\text{m}$. Tính khoảng vân phụ thuộc vào D , khi D biến thiên từ 40cm đến 90cm.

2) Chiếu sáng khe S đồng thời bằng hai bức xạ λ_1, λ_2 mà $6\lambda_1=5\lambda_2$. Mô tả hiện tượng quan sát được trên màn E .

Hiện tượng đó có quan sát được với bức xạ phát ra bởi hơi natri không? Biết quang phổ vạch của natri gồm hai bước sóng $\lambda_1=0,5890\mu\text{m}$ và $\lambda_2=0,5896 \mu\text{m}$.

3) Khe S được chiếu với ánh sáng của hơi natri. Khe này rất nhỏ. Người ta dịch chuyển tịnh tiến S theo phương song song

với S_1S_2 cho đến khi một vân tối chiếm chỗ một vân sáng kế nó.

a) Tính độ dời b của S . Cho biết $D=50$ cm và S cách S_1S_2 50cm.

b) Nếu khoét rộng dần khe S cho đến khi bề rộng của S bằng $2b$, thì trên màn E sẽ quan sát thấy gì ?

4) Bây giờ chiếu khe S (bề rộng rất nhỏ) với ánh sáng trắng ($0,40\mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,75\mu\text{m}$), bỏ màn E và đặt tại vị trí của E khe của ống chuẩn trực của một máy quang phổ, sao cho khe này song song và cách vân sáng trung tâm O một đoạn 1cm. Chứng tỏ rằng, sẽ thu được quang phổ có những vân tối và các tần số tương ứng với các vân tối này hợp thành một cấp số cộng. Hỏi cấp số cộng đó có bao nhiêu số hạng và tính công sai của nó?

Khi đưa dần khe của ống chuẩn trực lại gần vân trung tâm O người ta sẽ quan sát được gì ?

4.12 Trong thí nghiệm giao thoa với lưỡng lăng kính Fresnel, khoảng cách từ khe S đến lưỡng lăng kính là $d_1=0,5\text{m}$, từ lưỡng lăng kính đến màn quan sát E là $d_2=2\text{m}$. Đầu tiên người ta chiếu sáng S bằng bức xạ $\lambda_1=0,546\mu\text{m}$, rồi đo khoảng cách giữa hai vân sáng bậc 10 ở hai bên vân sáng trung tâm, thu được 1,82 cm. Sau đó người ta thay bức xạ λ_1 bằng bức xạ λ_2 và cũng đo như trên thì được 1,40cm.

1) Tính λ_2 .

2) Biết chiết suất của lưỡng lăng kính là $n=1,5$, tính góc chiết quang của mỗi lăng kính và số vân quan sát được đối với các bức xạ λ_1 và λ_2 .

3) Bây giờ đặt trước một trong hai lăng kính một bản trong suốt, chiết suất $n=1,532$, thì thấy vân trung tâm của hệ ứng với bức xạ λ_2 bị dịch chuyển 2,66mm.

Hỏi vân trung tâm đã bị dịch chuyển theo chiều nào và bản có độ dày bằng bao nhiêu ?

4) Bỏ bản trong suốt đi và thay bức xạ λ_2 bằng ánh sáng trắng (có bước sóng $0,40\mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,75\mu\text{m}$). Tìm bước sóng của các bức xạ trong ánh sáng trắng cho vân tối trên màn E tại vị trí cách vân sáng trung tâm 2,8mm. Giả sử chiết suất của lăng kính có trị số như nhau đối với các bức xạ trong ánh sáng trắng.

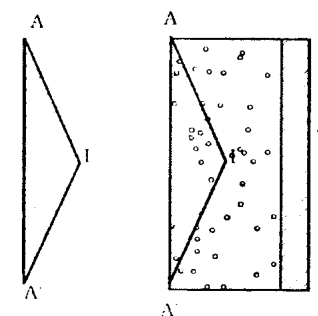
4.13 Trong thí nghiệm giao thoa với lưỡng lăng kính Fresnel, khoảng cách từ khe S đến lưỡng lăng kính là $d=1,20\text{m}$, và cách màn quan sát E một đoạn cũng bằng d . Bức xạ dùng trong thí nghiệm là ánh sáng phát ra từ đèn hơi natri, có bước sóng $\lambda=0,589\mu\text{m}$ ứng với chiết suất $n=1,53$ của lăng kính.

1) Tính góc chiết quang A của lăng kính, biết rằng trường giao thoa trên màn E chứa đúng 20 vân. Vân đó là vân sáng hay vân tối. Tính khoảng vân.

2) Phía sau lăng kính, cách lăng kính 1m người ta đặt một thấu kính hội tụ có độ tụ 4điốp, và đặt màn quan sát E ở vị trí mới cách lăng kính 3m. Trên màn quan sát thấy gì? Tính khoảng vân.

3) Bây giờ bỏ thấu kính hội tụ nói trên và ghép sát với lưỡng lăng kính một thấu kính phẳng lồi cùng chất thủy tinh như lưỡng lăng kính, bán kính mặt lồi 50cm. Giải thích sự tạo thành vân giao thoa trên màn E và tính khoảng vân.

4.14 Một học sinh muốn làm thí nghiệm giao thoa ánh sáng nhưng chỉ có: Một lưỡng lăng kính AIA' , bằng thủy tinh chiết suất $n=1,50$, hai góc chiết quang A và A' (H.4.4) đều bằng $5''$; một khe hẹp có độ rộng



Hình 4.4

$h=0,02\text{mm}$; một kính lúp tiêu cự $f=4\text{cm}$ và một đèn natri D phát ra bức xạ đơn sắc, có bước sóng $\lambda=589\text{nm}$. Đầu tiên học sinh đó đặt đèn D cho ánh sáng rọi qua khe F và đi tới lưỡng lăng kính. Khe F cách đều A và A' một khoảng $d=20\text{cm}$. Đặt kính lúp cách A, A' một khoảng $d'=1,04\text{ cm}$ để quan sát vân giao thoa.

1) Hãy giải thích tại sao quan sát qua kính lúp học sinh đó không trông thấy vân giao thoa (tuy F hoàn toàn song song với cạnh I của lưỡng lăng kính).

2) Theo gợi ý của thầy, học sinh đó đặt tấm thủy tinh T có 2 mặt song song để làm với lưỡng lăng kính thành một cái chậu, rồi đổ chất lỏng chiết suất $n' < n$ vào (H.4.4).

a) Chứng minh rằng để quan sát được vân giao thoa, T không cần phải song song với mặt AA'.

b) Để quan sát được vân, n' phải có giá trị ít nhất là bao nhiêu?

c) Tính khoảng vân i và góc trông khoảng vân đó qua kính lúp, khi $n'=1,42$. Cho biết: $f'=3.10^{-4}\text{rad}$.

(Trích Đề thi chọn học sinh giỏi quốc gia năm học 2000 – 2001)

4.15 Người ta chia đôi một thấu kính hội tụ (có tiêu cự $f=25\text{cm}$ và đường kính chu vi (vành thấu kính) 6cm) theo một mặt phẳng đi qua quang tâm O và tách hai nửa thấu kính sao cho hai quang tâm O_1, O_2 của chúng đối xứng nhau qua trục chính cũ và $O_1O_2=1,5\text{mm}$. Đặt một khe F rất nhỏ trên trục chính, cách hai nửa thấu kính 50cm , khi đó ta có 2 ảnh F_1, F_2 . Chiếu khe F bằng bức xạ có bước sóng λ : trên màn quan sát E cách lưỡng thấu kính $3,5\text{ m}$ ta quan sát được hệ vân giao thoa với khoảng vân bằng $0,54\text{mm}$.

1) Xác định khoảng cách tối thiểu từ màn E đến lưỡng thấu kính để có thể quan sát được vân giao thoa trên màn.

Tìm bước sóng λ .

Xác định số vân sáng tối trên màn E đặt cách lưỡng thấu kính $3,5\text{m}$.

2) Bây giờ chiếu sáng khe F đồng thời bởi hai bức xạ có bước sóng :

$\lambda = 0,54\mu\text{m}$ (màu lam) và $\lambda_2= 0,63\mu\text{m}$ (màu da cam).

Xác định những vị trí hoàn toàn tối trên màn E.

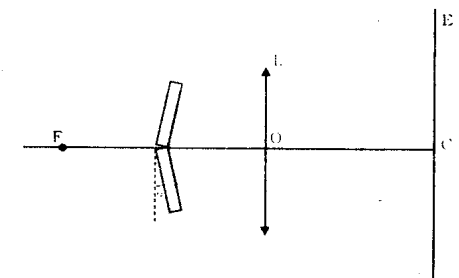
3) a) Chiếu sáng khe F chỉ bằng bức xạ λ_1 và đặt khe của ống chuẩn trực của máy quang phổ song song và cách vân trung tâm $3,6\text{mm}$ thì quang phổ thu được có dạng thế nào ?

b) Chiếu khe F với ánh sáng trắng (có bước sóng $0,40\mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,75\mu\text{m}$) thì trên quang phổ thu được có bao nhiêu vân tối? Số vân đó thay đổi như thế nào nếu thay đổi khoảng cách O_1O_2 giữa hai nửa thấu kính? Xác định số vân khi $O_1O_2=1\text{mm}$.

4.16 Phía sau một thấu kính hội tụ L (có tiêu cự 20cm và đường kính chu vi (vành thấu kính) 2cm), đặt một màn E vuông góc với trục chính thấu kính .Người ta chia đôi một bản mặt song song (có bề dày $e=2,4\text{cm}$ và chiết suất $n=1,5$) và ghép 2 nửa thành một nhị diện tù có góc bằng $(\pi - 0,125)$ rad, sau đó đặt nhị diện trước thấu kính như trên hình 4.5. Một khe rất nhỏ F đặt trên trục chính thấu kính, phía trước nhị diện và cách thấu kính một khoảng $l=30,8\text{cm}$. Chiếu sáng khe F với bức xạ $\lambda=0,5\mu\text{m}$.

1) Xác định vị trí hai ảnh F_1', F_2' của khe F tạo bởi quang hệ "nhị diện + thấu kính" trên và tính khoảng cách a giữa chúng.

2) Phải đặt màn E cách thấu kính một khoảng tối thiểu bằng bao nhiêu để quan sát được các vân giao thoa trên màn E ?



Hình 4:5

3) Đặt màn E cách thấu kính $l'=1,2\text{m}$. Tính khoảng vân.

4) Ngay phía sau ảnh F_1' của F người ta đặt một bản thủy tinh mỏng (dày $8\mu\text{m}$, chiết suất $n=1,5$) theo phương vuông góc với trục chính. Hệ vân trên màn E thay đổi như thế nào?

4.17 Hai gương phẳng Fresnel đủ rộng làm với nhau một góc α bằng $20'$ ($1'=3.10^{-4}\text{ rad}$) được chiếu sáng bằng một khe rất hẹp S song song với cạnh chung A của 2 gương, đặt cách A một khoảng $l=10\text{cm}$ và phát ra ánh sáng đơn sắc bước sóng $\lambda=600\text{nm}$. Hệ vân giao thoa được quan sát trên một màn P đặt cách A một khoảng $D=100\text{cm}$ vuông góc với tia nằm giữa chùm tia giao thoa.

1) Vẽ sơ đồ thí nghiệm, tính khoảng cách i giữa 2 vân sáng liên tiếp và số vân N quan sát được.

2) Đặt giữa A và P một thấu kính hội tụ O tiêu cự 10cm , trục chính trùng với đường vuông góc hạ từ A xuống P và cách A một khoảng x .

a) Tính i và N theo x .

b) Để quan sát được vân giao thoa thì x phải thỏa mãn điều kiện gì? Với giá trị nào của x thì i cực đại? Tính giá trị cực đại i_{max} ấy.

c) Tính i và N với các giá trị $x=10\text{cm}$ và $x=80\text{cm}$.

4.18 Một đèn hơi thủy ngân dùng để chiếu sáng một tế bào quang điện có catốt bằng kali (công thoát $A=2,2\text{eV}$).

Cho biết bước sóng của các bức xạ do đèn hơi thủy ngân phát ra có các trị số $\lambda_1=577\text{nm}$; $\lambda_2=546\text{nm}$;

$$\lambda_3=491,6\text{nm}; \lambda_4=436\text{nm}; \lambda_5=405\text{nm}.$$

1) Hỏi bức xạ nào do đèn phát ra có thể tạo được dòng quang điện?

2) Tính vận tốc ban đầu cực đại của các quang electron và hiệu điện thế tương ứng.

4.19 Catốt xêsi (có công thoát $A=1,6\text{eV}$) của một tế bào quang điện chân không được chiếu sáng với bức xạ đơn sắc có bước sóng $\lambda=0,55\mu\text{m}$.

1) Tính giới hạn quang điện và vận tốc ban đầu cực đại của các quang electron.

2) Catốt này nhận được một công suất chiếu sáng 1W . Tính cường độ dòng quang điện bão hòa trên lý thuyết.

Phép đo thực tế cho thấy cường độ dòng bão hòa nhỏ hơn giá trị lý thuyết khoảng 1000 lần. Hãy giải thích tại sao?

3) Điện kế dùng để đo dòng quang điện có độ nhạy đến 10^{-9}A . Diện tích catốt của tế bào quang điện là 6cm^2 . Hãy tính bằng W/m^2 công suất bức xạ nhỏ nhất của ánh sáng mà ta có thể phát hiện được nhờ tế bào quang điện này và so sánh nó với công suất bức xạ Mặt Trời mà ta nhận được (cỡ 1kW/m^2).

4.20 Chiếu sáng hơi thủy ngân bằng một chùm sáng gồm các photon có năng lượng 6eV .

1) Hỏi từ hơi thủy ngân có thể bứt ra các electron do hiệu ứng quang điện không? Cho biết các mức năng lượng đầu tiên của nguyên tử thủy ngân là: $E_1=-10,4\text{eV}$ (mức cơ bản);

$$E_2=-5,54\text{eV}; E_3=-3,73\text{eV}; E_4=-1,5\text{eV}.$$

Tính bước sóng của các photon kích thích và giới hạn quang điện của thủy ngân.

2) Người ta dùng một chùm electron có động năng 6eV bắn vào hơi thủy ngân. Khi có một va chạm giữa electron và nguyên tử thủy ngân thì năng lượng hấp thụ được bởi nguyên tử là bao nhiêu?

Tính động năng và vận tốc của electron sau va chạm.

B. HƯỚNG DẪN GIẢI VÀ ĐÁP SỐ

- 4.1 1) Tia tới SI thẳng góc với mặt phẳng của bán cầu, tiếp tục đi vào trong bán cầu mà không đổi hướng, tới gặp mặt cầu tại I_1 với góc tới i .

Muốn có phản xạ toàn phần tại I_1 thì phải có $i \geq i_{gh}$, hay:

$$\sin i \geq \sin i_{gh} \rightarrow \frac{x}{R} \geq \frac{1}{n} \rightarrow x \geq \frac{R}{n}.$$

2) Với góc tới i thì khi phản xạ toàn phần tại I_1 góc lệch của tia tới II_1 và tia phản xạ I_1I_2 là $D_1 = \pi - 2i$.

Như vậy mỗi lần phản xạ toàn phần tia sáng bị lệch một góc D_1 . Cuối cùng, theo đề bài tia ló JR thẳng góc với mặt phẳng bán cầu, do đó góc lệch tổng cộng sau p lần phản xạ toàn phần sẽ bằng: $D = \pi = pD_1$

$$\text{Suy ra: } \pi = p(\pi - 2i) \rightarrow i = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2p}$$

Vì $\sin i = \frac{x}{R}$, ta có:

$$x = R \sin i = R \cos \frac{\pi}{2p}$$

Ngoài ra, vì theo trên $x \geq \frac{R}{n}$, nên ta có:

$$R \cos \frac{\pi}{2p} \geq \frac{R}{n} \rightarrow \cos \frac{\pi}{2p} \geq \frac{1}{n}$$

với $n = \sqrt{2}$ ta được:

$$\cos \frac{\pi}{2p} \geq \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow \frac{\pi}{2p} \leq \frac{\pi}{4}$$

Từ đó $p \geq 2$.

4.2 Theo đề bài:

$$D_m = \frac{A}{2} \Rightarrow i_m = \frac{D_m + A}{2} = \frac{3A}{4}, \text{ và } r_m = \frac{A}{2}$$

Từ đó:

$$\sin i_m = n \sin r_m \rightarrow n \sin \frac{A}{2} = \sin \frac{3A}{4}$$

Đặt $\alpha = \frac{A}{4}$, ta có: $n \sin 2\alpha = \sin 3\alpha = \sin(\alpha + 2\alpha)$

$$\rightarrow 2n \sin \alpha \cos \alpha = \sin 2\alpha \cos \alpha + \sin \alpha \cos 2\alpha$$

$$\rightarrow 2n \cos \alpha = 4 \cos^2 \alpha - 1$$

$$\rightarrow 4 \cos^2 \alpha - 2n \cos \alpha + 1 = 0$$

Ta có nghiệm:

$$\cos \alpha = \frac{n \pm \sqrt{n^2 + 4}}{4}$$

$$\text{Vì } 0 < A < \pi \rightarrow 0 < \alpha = \frac{A}{4} < \frac{\pi}{4} \rightarrow \cos \alpha > 0$$

nên loại nghiệm âm và:

$$\cos \alpha = \frac{n + \sqrt{n^2 + 4}}{4}$$

Từ đó ta tìm được:

$$A = 4\alpha = 4 \arccos \left(\frac{n + \sqrt{n^2 + 4}}{4} \right)$$

Điều kiện về n :

$$\text{Vì } 0 < \alpha < \frac{\pi}{4} \rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} < \cos \alpha < 1$$

$$\rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} < \frac{n + \sqrt{n^2 + 4}}{4} < 1$$

$$\text{với } \frac{n + \sqrt{n^2 + 4}}{4} < 1 \rightarrow n < 1,5$$

$$\text{với } \frac{\sqrt{2}}{2} < \frac{n + \sqrt{n^2 + 4}}{4} \rightarrow n > \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Vì theo đề bài $n > 1$ nên chỉ cần có: $n < 1,5$

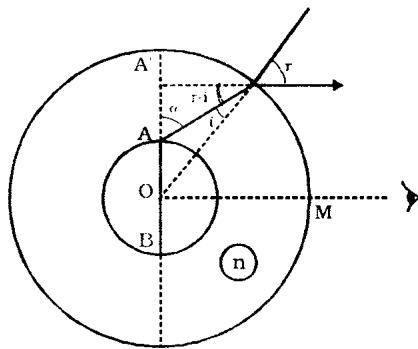
Áp dụng số:

$$n = \sqrt{2} \rightarrow \cos \alpha = \frac{\sqrt{2} + \sqrt{6}}{4} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\rightarrow \cos \alpha = \sin 45^\circ \cdot \cos 60^\circ + \sin 60^\circ \cos 45^\circ = \cos 15^\circ$$

$$\rightarrow \alpha = 15^\circ, \text{ và } A = 4\alpha = 60^\circ$$

- 4.3 1) Xét một mặt phẳng tiết diện ngang P của ống, chứa tâm nhìn ngang OM của mắt (H.4.6). Kí hiệu A, B là hai đầu đường kính của cột thủy ngân. Các tia sáng từ mọi điểm của cột thủy



Hình 4.6

ngân tới mắt đều nằm trong mặt phẳng P và song song với nhau (theo đề bài). Tia sáng AI, xuất phát từ A đi tới thành trong của ống, ló ra ngoài ống theo phương IR, dưới góc r . Tia IR song song với OM, và vuông góc với AB tại A'; OA' là ảnh của bán kính OA của cột thủy ngân, mà mắt nhìn thấy.

Trong tam giác OAI ta có:

$$\frac{OA}{\sin i} = \frac{OI}{\sin \alpha} = \frac{OI}{\cos(r-i)} \quad (1)$$

với: $\sin r = n \sin i$ (2)

Độ phóng đại của ảnh là:

$$\frac{d'}{d} = \frac{OA'}{OA} = \frac{OI \cdot \sin r}{OA} = \frac{OI \cdot n \sin i}{OA}$$

$$\rightarrow k = \frac{d'}{d} = n \cos(r-i)$$

Từ (1) ta lại có:

$$OA \cos(r-i) = OI \sin i$$

$$\rightarrow \sqrt{1 - \sin^2 r} \cdot \sqrt{1 - \sin^2 i} = n \sin^2 i - \frac{D}{d} \sin i \quad (3)$$

$$\text{với: } \frac{D}{d} = \frac{3,464}{2} = 1,732 = n, \text{ thì:}$$

$$(3) \rightarrow -2n^2 \sin^3 i + (2n^2 + 1) \sin^2 i - 1 = 0$$

$$(1 - \sin i)(2n^2 \sin^2 i - \sin i - 1) = 0$$

Phương trình có nghiệm (chú ý $\sin i \neq 1$):

$$\sin i_1 = \frac{1}{2} \text{ và } \sin i_2 = -\frac{1}{3}$$

Loại nghiệm âm, ta có:

$$\sin i = \frac{1}{2} \rightarrow i = 30^\circ, \text{ và: } \sin r = n \sin i = \frac{1,732}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \rightarrow r = 60^\circ$$

$$\text{Từ đó: } d' = kd = d \cdot n \cos(r-i) = \frac{3d}{2} = 3\text{mm.}$$

2) Kí hiệu r là bán kính cột thủy ngân và R là bán kính ngoài của ống. Theo phương ngang, cột này tác dụng như một gương cầu lõm tiêu cự $f = -\frac{r}{2}$. Vật AB (vạch chia) đặt trước gương, cách gương một khoảng $d_1 = R - r$, và gương cho một ảnh ảo cách gương:

$$d'_1 = \frac{d_1 f}{d_1 - f} = -\frac{(R-r)r}{2R-r}$$

Ảnh này dùng làm vật cho lưỡng chất cầu R cách lưỡng chất cầu một đoạn d_2 :

$$d_2 = d'_1 + (r - R) = -\frac{2R(R-r)}{2R-r}$$

Vật này cho ảnh cách lưỡng chất cầu một đoạn d_3 sao cho (công thức lưỡng chất cầu):

$$\frac{n}{d_2} - \frac{1}{d_3} = \frac{n-1}{-R}$$

Suy ra:

$$d_2 = \frac{2R(r-R)}{nr + 2(R-r)} = -0,5145\text{mm}$$

Khoảng cách giữa ảnh các vạch bằng khoảng cách giữa các vạch tức là bằng 1mm. Còn chiều ngang (độ lớn) của ảnh các vạch chia bằng: $l' = l|k_1 \cdot k_2|$, với $l=1\text{mm}$

$$k_1 = \left| \frac{d'_1}{d_1} \right| = \frac{r}{2R-r}$$

Trong đó:

$$k_2 = n \left| \frac{d_3}{d_2} \right| = \frac{n(2R-r)}{nr + 2(R-r)}$$

$$\text{Suy ra: } l' = \frac{nr}{nr + 2(R-r)} \cdot 1(\text{mm}) \approx 0,542\text{mm}$$

4.4 1) Độ phóng đại của ảnh. Theo đề bài:

$$a = d + d' = 7,2f_2 = d + \frac{df_2}{d-f_2}$$

$$\rightarrow d^2 - 7,2f_2 d + 7,2f_2^2 = 0$$

Phương trình có nghiệm: $d_1 = 6f_2$ và $d_2 = 1,2f_2$

$$\text{Độ phóng đại: } k = \frac{f_2}{f_2 - d} \rightarrow k_1 = -\frac{1}{5}, \text{ và } k_2 = -5$$

2) Sơ đồ tạo ảnh:

$$AB \xrightarrow[d_1 d'_1]{L_1} A_1 B_1 \xrightarrow[d_2 d'_2]{L_2} A_2 B_2$$

Theo đề bài: $d_1 = 16\text{cm}$; $d'_2 = 20\text{cm}$.

$$\text{Suy ra: } a = 7,2f_2 = 16 + l + 2 \rightarrow l = 7,2f_2 - 36$$

$$\rightarrow d_2 = l - d'_1 = (7,2f_2 - 36) - \frac{d_1 f_1}{d_1 - f_1} = \frac{d'_2 f_2}{d'_2 - f_2}$$

$$\rightarrow \frac{20f_2}{20 - f_2} = 7,2f_2 - 36 - \frac{16f_1}{16 - f_1} \quad (1)$$

Mặt khác theo đề bài:

$$k = 1 = \frac{f_1}{16 - f_1} \cdot \frac{20 - f_2}{f_2}$$

$$\rightarrow \frac{f_1}{16 - f_1} = \frac{f_2}{20 - f_2} \quad (2)$$

Từ (1) và (2) ta suy ra:

$$\frac{20f_2}{20 - f_2} = (7,2f_2 - 36) - \frac{16f_2}{20 - f_2}$$

$$-f_2^2 - 20f_2 + 100 = 0$$

$$\rightarrow f_2 = 10\text{cm}$$

Thay vào (2) ta tìm được $f_1 = 8\text{cm}$.

3) Ta có:

$$\overline{AA_2} = 7,2f_2 + 23 = 95\text{cm}$$

$$\rightarrow d_1 + l + d'_2 = 95 \rightarrow d'_2 = 95 - (l + d_1) \quad (3)$$

Mặt khác, theo đề bài:

$$k = 8 = \frac{f_1}{f_1 - d_1} \frac{f_2 - d_2'}{f_2}$$

$$\rightarrow \frac{8}{8 - d_1'} = \frac{10 - d_2'}{10} = 8$$

$$\rightarrow d_2 = 10(d_1 - 7) \quad (4)$$

Từ (3) và (4) rút ra: $l = 165 - 11d_1$

$$\rightarrow d_2 = l - d_1 = (165 - 11d_1) - \frac{8d_1}{d_1 - 8} \quad (5)$$

Mặt khác (chú ý đến (4)):

$$d_2 = \frac{d_2' f_2}{d_2' - f_2} = \frac{10d_2'}{d_2' - 10} = \frac{10(d_1 - 7)}{d_1 - 8} \quad (6)$$

Đối chiếu (5) và (6) ta được:

$$(165 - 11d_1) - \frac{8d_1}{d_1 - 8} = \frac{10(d_1 - 7)}{d_1 - 8}$$

$$\rightarrow 11d_1^2 - 235d_1 + 1250 = 0$$

Phương trình có hai nghiệm (vị trí mới của L_1):

$$d_{11} = \frac{125}{11} = 11,4\text{cm}; d_{12} = 10\text{cm}.$$

Từ đó có hai giá trị của l :

$$l_1 = 165 - 11d_{11} = 40\text{cm} \quad \text{và} \quad l_2 = 165 - 11d_{12} = 55\text{cm}$$

Cả hai kết quả đều thích hợp vì đều có $l < 95\text{cm}$.

Tương ứng có hai vị trí mới của L_2 cách AB :

$$\overline{AO_2} = d_{11} + l_1 = 51,4\text{cm}$$

$$\text{và} \quad \overline{AO_2} = d_{12} + l_2 = 65\text{cm}$$

4.5 1) Sơ đồ tạo ảnh

$$AB \xrightarrow[d_1 d_1]{L_1} A_1 B_1 \xrightarrow[d_2 d_2]{G} A_2 B_2 \equiv A' B'$$

$$d_1 = 4\text{m} \rightarrow d_1' = \frac{d_1 f}{d_1 - f} = -\frac{12}{19} = -0,63\text{m}$$

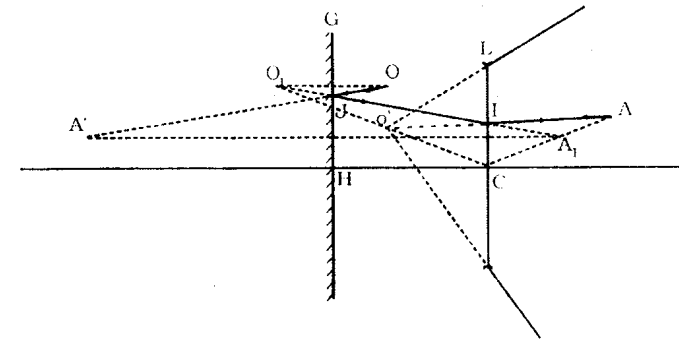
$A_1 B_1$ ở trước L 0,63m, trước gương G là: $0,63 + 1,8 = 2,43\text{m}$.

$A' B'$ đối xứng với $A_1 B_1$ ở sau gương G cũng 2,43m và là ảnh ảo.

Độ phóng đại:

$$k = -\frac{d_1'}{d_1} = \frac{16}{19} \rightarrow A_1 B_1 = \frac{16}{19} AB$$

$$\rightarrow A' B' = A_1 B_1 = \frac{16}{19} AB$$



Hình 4.7

2) Mắt O của lái xe sẽ nhìn thấy một điểm A ở phía sau xe nếu tia sáng tới từ A qua hệ chiếu hậu đi đến được mắt O (H. 4.7). Xét tia tới AI phát ra từ A (được mắt O nhìn thấy qua hệ chiếu hậu). Tia này đến L , ló ra khỏi L theo tia IJ (đường IJ kéo dài sẽ qua ảnh A_1 của A tạo bởi L). Tia IJ gặp gương G phản xạ theo tia JO để đến mắt O (đường OJ kéo dài sẽ qua A' là ảnh của A tạo bởi hệ, cũng là ảnh của A_1 tạo bởi G). Áp

dụng tính thuận nghịch của chiều truyền ánh sáng đối với tia sáng này ta có: tia tới là OJ đến G, phản xạ theo JI, tia phản xạ này phải có đường kéo dài qua ảnh O_1 của O tạo bởi G). Tia JI đến L cho tia ló IA, tia ló này phải có đường kéo dài qua O' , là ảnh của O_1 tạo bởi L và cũng là ảnh của O tạo bởi hệ.

Như vậy điều kiện để vật A nằm trong thị trường của hệ chiếu hậu là tia tới AI phải có đường kéo dài qua ảnh O' của mắt O tạo bởi hệ chiếu hậu "G + L". Do đó thị trường của hệ chiếu hậu chính là phần hình nón sau L (đối với lái xe) có đỉnh là O' và mặt bên tựa lên vành của thấu kính (H. 4.7). Ta xác định vị trí của O' . O_1 đối xứng với O' qua G nên ở sau G 0,6m và cách thấu kính L một khoảng $d=0,6 + 1,8=2,4\text{m}$. Từ đó O' cách thấu kính:

$$d' = \frac{df}{d-f} = -\frac{4}{7} = -0,57\text{m}$$

3) a) Kí hiệu α là góc thị trường, D là đường kính của vành thấu kính. Theo hình 4.7 và theo kết quả câu 2 ta có:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} &= \frac{D}{2}; d' = \frac{D}{2d'} = \frac{0,18.7}{8} \\ \rightarrow \frac{\alpha}{2} &\approx 9^\circ \rightarrow \alpha = 18^\circ \end{aligned}$$

b) Thị trường trong trường hợp này chỉ là thị trường của gương phẳng G. Đó là hình nón đỉnh O_1 (O_1 là ảnh của O tạo bởi G) và mặt bên tựa lên vành gương. Nhưng thị trường này bị giới hạn bởi kính sau của xe có cùng kích thước với L. Như vậy thực tế thị trường là hình nón đỉnh O_1 mặt bên tựa lên vành thấu kính. O_1 cách thấu kính một khoảng $O_1C=0,6 + 1,8=2,4\text{m}$.

Do đó góc thị trường α' bằng:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\alpha'}{2} &= \frac{D}{2}; O_1C = \frac{0,18}{2.2,4} = 0,0375 \\ \rightarrow \frac{\alpha'}{2} &= 2^\circ 8' 30'' \rightarrow \alpha' = 4^\circ 17' \end{aligned}$$

Ta thấy so với trường hợp trên thị trường đã thu nhỏ hơn xấp xỉ 4 lần.

4) Hình nón thị trường xét ở câu 3 sẽ cắt mặt phẳng khảo sát theo một mặt hình tròn đường kính D' , có tâm C' nằm trên đường thẳng nối đỉnh hình nón (O' hay O_1) với quang tâm của thấu kính L. Ta có:

$$\frac{D'}{D} = \frac{O'C'}{O'C}, \text{ hay } \frac{D'}{D} = \frac{O_1C'}{O_1C}$$

a) Hệ chiếu hậu gồm L + G. Đỉnh hình nón thị trường là O' . Ta có:

$$O'C' = O'C + CC' = \frac{4}{7} + 15 = \frac{109}{7} \text{ m}$$

Từ đó:

$$\begin{aligned} \frac{D'}{0,18} &= \frac{\frac{109}{7}}{\frac{4}{7}} = \frac{109}{4} \\ \rightarrow D' &= \frac{109 \times 0,18}{4} = 4,91\text{m} \end{aligned}$$

Diện tích quan sát được là: $S_1 = \pi \frac{D'^2}{4} \approx 18,9\text{m}^2$.

b) Hệ chiếu hậu chỉ có G. Đỉnh hình nón thị trường là O_1 .

Ta có:

$$O_1C=2,4\text{m}; O_1C'=2,4 + 15=17,4\text{m}$$

Từ đó:

$$\frac{D'}{0,18} = \frac{17,4}{2,4} \rightarrow D' = \frac{17,4 \cdot 0,18}{2,4} = 1,305\text{m}$$

và : $S_2 = \pi \frac{D'^2}{4} = 1,34\text{m}^2$

Cần chú ý rằng, trên thực tế một phần của S_1 , S_2 có thể nằm ở dưới mặt đường, do đó diện tích thực sự quan sát được có thể nhỏ hơn các trị số tính được ở trên.

4.6 Ta có: $f_1 = f_2 = \frac{1}{D} = 20\text{cm}$

1) Nhúng màn vào trong chậu sẽ thu được ảnh tạo ra theo sơ đồ:

$$S \xrightarrow[d_1, d'_1]{L_1} S_1 \xrightarrow[d]{LCP} S_2$$

Ta có:

$$d_1 = 1\text{m} \rightarrow d'_1 = \frac{d_1 f_1}{d_1 - f_1} = 25\text{cm}$$

S_1 ở sau L_1 cách L_1 25cm. S_1 là vật đối với lưỡng chất phẳng “không khí – nước” (mặt phân cách là thành thứ nhất của chậu nước). Thành thứ nhất của chậu cách L_1 một khoảng $\frac{60-40}{2} = 10\text{cm}$. Do đó S_1 cách thành chậu một

khoảng (S_1 nằm trong chậu nước): $d_2 = d'_1 - 10 = 15\text{cm}$. Ảnh S_2 của S_1 tạo bởi lưỡng chất phẳng, nằm cách thành chậu một đoạn d'_2 :

$$\frac{d_2}{d'_2} = \frac{1}{n} \rightarrow d'_2 = n d_2 = \frac{4}{3} \cdot 15 = 20\text{cm}$$

Như vậy S_2 nằm tại trung điểm M của $O_1 O_2$ (O_1, O_2 là các quang tâm của L_1, L_2). S_2 là ảnh thật vì S_1 (nằm trong nước) là vật ảo của lưỡng chất phẳng.

Vậy phải nhúng màn ảnh tại M để hứng ảnh S_2 của S.

2) S_2 lại là vật đối với lưỡng chất phẳng có mặt phân cách là thành thứ hai của chậu; S_2 cũng cách thành này một đoạn $d_3 = 20\text{cm}$. Ảnh S_3 của S_2 tạo bởi lưỡng chất phẳng này cách thành này một đoạn d'_3 :

$$\frac{d_3}{d'_3} = \frac{n}{1} \rightarrow d'_3 = \frac{d_3}{n} = \frac{20}{\frac{4}{3}} = 15\text{cm}$$

S_3 là vật đối với thấu kính L_2 , cách L_2 một đoạn:

$$d_4 = d'_3 + 10 = 25\text{cm}$$

(vì thành thứ hai cách L_2 10cm)

Ảnh cuối cùng S_4 tạo bởi hệ cách L_2 một khoảng d'_4 :

$$d'_4 = \frac{d_4 f_2}{d_4 - f_2} = 100\text{cm}$$

Ảnh cuối cùng S_4 tạo bởi hệ là ảnh thật cách L_2 100cm.

3) Tuy vị trí S_2 phụ thuộc vào vị trí của chậu (do khoảng cách từ S_1 tới thành thứ nhất của chậu thay đổi theo vị trí của chậu) nhưng khoảng cách $S_1 S_3$ luôn luôn không đổi, vì $S_1 S_3$ chính là độ dịch chuyển ảnh của S_1 qua chậu nước, được xem là một bản mặt song song:

$$S_1 S_3 = e \left(1 - \frac{1}{n} \right) = 40 \left(1 - \frac{1}{\frac{4}{3}} \right) = 10\text{cm}$$

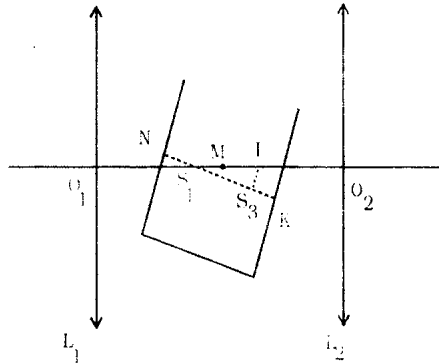
Như vậy S_3 ở sau O_1 một đoạn:

$$O_1 S_3 = O_1 S_1 + S_1 S_3 = 25 + 10 = 35\text{cm}$$

$$\rightarrow O_2 S_3 = O_1 O_2 - O_1 S_3 = 60 - 35 = 25\text{cm}$$

Nghĩa là S_3 luôn luôn cách L_2 25cm. Và, do đó ảnh cuối cùng S_4 tạo bởi hệ luôn cách L_2 một khoảng $d'_4 = 100\text{cm}$, nghĩa là ảnh cuối cùng của S tạo bởi hệ là không thay đổi khi tịnh tiến chậu nước dọc theo trục chính.

4) Khi quay chậu đi một góc $8''$ thì pháp tuyến của bản mặt song song “nước” không còn đồng trục với trục chính. Ảnh S_1 của S tạo bởi L_1 vẫn nằm trên trục chính. Nhưng các ảnh S_2, S_3 thì nằm trên pháp tuyến HK vẽ từ S_1 vuông góc với hai thành chậu.



Hình 4.8

Nhưng S_3 cách trục chính một đoạn IS_3 và S_3 cách L_2 một đoạn IO_2 .

Theo hình 4.8, ta có: $S_3 = S_1 S_3 \sin 8'' = 1.39 \text{ cm}$

$$S_1 I = S_1 S_3 \cos 8'' = 9.9 \text{ cm}$$

$$O_2 I = O_1 O_2 - (O_1 S_1 + S_1 I) = 60 - (25 + 9.9) \rightarrow O_2 I = 25.1 \text{ cm}$$

Do đó, S_3 cách L_2 một đoạn $d = O_2 I = 25.1 \text{ cm}$.

Ảnh S' của S_3 tạo bởi L_2 , tức là ảnh cuối cùng tạo bởi hệ, cách L_2 một đoạn d' :

$$d' = \frac{d f_2}{d - f_2} = 98.43 \text{ cm}$$

Vậy, bây giờ ảnh cuối cùng tạo bởi hệ là ảnh thật ở sau L_2 cách L_2 một đoạn $O_2 I' = d' = 98.43 \text{ cm}$. Ảnh S' ở phía bên kia trục chính (so với S_3), cách trục chính một đoạn $S'I'$, mà:

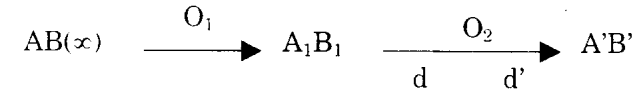
$$\frac{S'I'}{S_3 I} = \frac{d'}{d} = \frac{98.43}{25.1} = 3.92$$

$$\rightarrow S'I' = 3.92 \cdot S_3 I = 3.92 \cdot 1.39 \approx 5.45 \text{ cm}$$

$$4.7 \quad 1) f_1 = \frac{1}{1} \text{ m} = 100 \text{ cm}; f_2 = \frac{1}{100} \text{ m} = 1 \text{ cm}$$

Thấu kính có tiêu cự lớn f_1 được dùng làm vật kính.

2) a) Sơ đồ tạo ảnh:



Mắt không phải điều tiết nên $A'B'$ phải nằm ở điểm cực viễn. Theo đề bài, điểm cực viễn cách mắt 21 cm (ở gần). Vậy mắt quan sát viên có tật cận thị.

b) $A'B'$ ở trước mắt (tại F'_2) là 21 cm, nên $A'B'$ ở trước O_2 (thị kính) là $21 - 1 = 20 \text{ cm}$, ta có: $d' = -20 \text{ cm}$.

$$\text{Vị trí } A_1 B_1: d = \frac{d' f_2}{d' - f_2} \approx 0.95 \text{ cm}$$

Vì AB ở rất xa (xem như ở xa vô cùng) nên $A_1 B_1$ ở tại F'_1 (tiêu điểm ảnh của vật kính), sau O_1 cách O_1 100 cm. Do đó khoảng cách hai thấu kính là:

$$O_1 O_2 = 100 + d = 100.95 \text{ cm}$$

Độ bội giác của kính tính theo công thức: $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$

với α' là góc trông AB qua kính thiên văn (cũng là góc trông của $A'B'$) và α là góc trông AB (ở ∞);

Theo đề bài $\alpha = 3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$. Vì mắt đặt tại F'_2 ta có:

$$\alpha' \approx \tan \alpha' = \frac{A'B'}{A'F'_2}$$

$$\text{Ngoài ra: } \alpha \approx \tan \alpha = \frac{A_1 B_1}{f_1}$$

Do đó: $G = \frac{A'B'}{A'F'_2} \cdot \frac{f_1}{A_1B_1}$

Trong đó: $\frac{A'B'}{A_1B_1} = \left| \frac{d'}{d} \right| = \frac{f_2 - d'}{f_2}$

Suy ra: $G = \frac{f_2 - d'}{f_2} \cdot \frac{f_1}{A'F'_2}$

Theo trên: $f_2 - d' = 1 - (-20) = 21\text{cm}$

$A'F'_2 = 21\text{cm}$ (theo đề bài)

Từ đó: $G = \frac{21}{1} \cdot \frac{100}{21} = 100$

Góc trông của ngôi sao kép nhìn qua kính thiên văn là:

$\alpha' = G \cdot \alpha = 100 \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 0,03\text{rad}$

3) Xét thị kính O_2 . Mắt đặt tại F'_2 nên độ bội giác của O_2 , xem như kính lúp là: $G_2 = \frac{D}{f_2} = \frac{\alpha'}{A_1B_1} D$

(A_1B_1 là vật đối với O_2).

Suy ra: $\alpha' = \frac{A_1B_1}{f_2}$

Biết $\alpha = \frac{A_1B_1}{f_1}$ tìm được: $G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{A_1B_1}{f_2} \cdot \frac{f_1}{A_1B_1} = \frac{f_1}{f_2}$

Sở dĩ có kết quả này là vì mắt đặt tại F'_2 nên α' không đổi và không phụ thuộc vào sự ngắm chừng, do đó, dù điểm cực viễn ở xa vô cực (mắt thường) hay ở gần (mắt cận thị), cũng chỉ tương ứng với những vị trí ngắm chừng khác nhau mà thôi, không ảnh hưởng đến độ bội giác.

4) Theo đề bài: $d' = 25\text{cm}$

$d = \frac{d'f_2}{d' - f_2} = 1,04\text{cm}$

A_1B_1 ở trước O_2 1,04cm. Bề dài kính thiên văn:

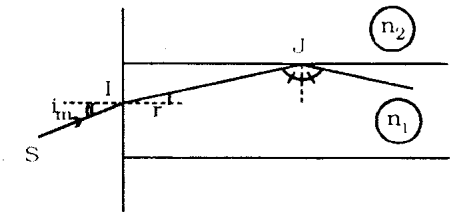
$O_1O_2 = 100 + d = 101,04\text{cm}$

Khoảng cách $A'B'$ là: $\frac{A'B'}{A_1B_1} = \left| \frac{d'}{d} \right| = 24$

với $A_1B_1 = f_1 \cdot \alpha = 100 \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 0,03\text{cm}$

Từ đó: $A'B' = 24 \cdot 0,03 = 0,72$

- 4.8 1) Góc tới i_m lớn nhất của tia tới SI ứng với tia khúc xạ IJ tới mặt tiếp xúc của hai lớp thủy tinh dưới góc giới hạn phản xạ toàn phần $\wedge$, tức là góc khúc xạ tại I:



Hình 4.9

$r = \frac{\pi}{2} - \wedge$

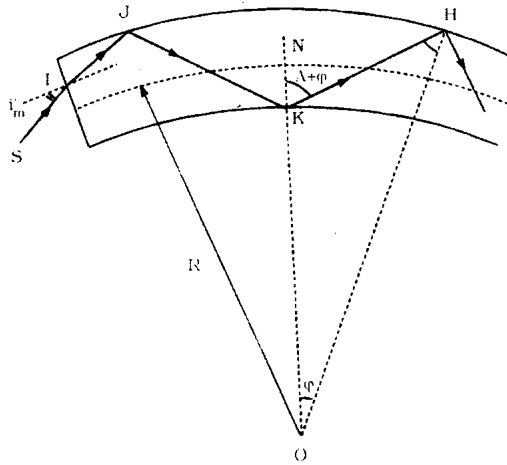
Do đó ta có:

$\cos r = \sin \wedge = \frac{n_2}{n_1}$

Từ đó: $\sin i_m = n_1 \sin r = n_1 \sqrt{1 - \cos^2 r} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

$\sin i_m \approx 0,24413 \rightarrow i_m \approx 14^\circ 8'$

- 2) Góc tới i'_m lớn nhất bây giờ của tia tới SI là ứng với tia KH tới mép ngoài của hình vành khăn dưới góc giới hạn phản xạ toàn phần $\wedge$ (H.4.10). Trong tam giác OKH ta có:



Hình 4.10

$$\frac{\sin K}{OH} = \frac{\sin H}{OK}$$

với $K = \angle NKH = \angle + \varphi$; $H = \angle KHO = \angle$

$OH = R + a$; $OK = R - a$ (với R là bán kính cung tròn mà sợi cáp uốn thành).

Từ đó:

$$\frac{\sin(\angle + \varphi)}{R + a} = \frac{\sin \angle}{R - a}$$

$$\rightarrow \sin(\angle + \varphi) = \sin \angle \frac{R + a}{R - a} = \frac{n_2}{n_1} \frac{(R + a)}{(R - a)}$$

Có thể xem như: $r' = \frac{\pi}{2} - (\angle + \varphi)$ (vì $a \ll R$) nên:

$$\cos r' = \sin(\angle + \varphi) = \frac{n_2}{n_1} \frac{R + a}{R - a}$$

Do đó ta có:

$$\sin i'_m = n_1 \sin r' = n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2} \left(\frac{R + a}{R - a} \right)^2}$$

$$\sin i'_m = \sqrt{n_1^2 - n_2^2 \left(\frac{R + a}{R - a} \right)^2} < \sin i_m$$

Thay số ta được:

$$\sin i'_m \approx 0,1558$$

$$\rightarrow i'_m = 8^\circ 58' \approx 9^\circ$$

4.9 1) Khoảng vân: $i = \lambda \frac{D}{a} = 1,2 \text{mm}$

2) Khi ống T thông với bên ngoài, ảnh hưởng của các tấm kính A và B đối với ánh sáng đi từ S_1 và S_2 đến một điểm M bất kì trên màn E là như nhau, do đó hiệu đường đi không thay đổi, và vì vậy hệ vân giao thoa trên màn không thay đổi.

3) a) Khi đã tạo chân không trong ống T, đường đi d_2 của ánh sáng từ S_2 đến điểm M bất kì trên màn E giữ nguyên không đổi. Nhưng đường đi d_1 của ánh sáng từ S_1 đến M gồm phần $d_1 - l$ truyền trong không khí với vận tốc v ($l = 20 \text{cm}$) và đoạn l truyền trong chân không (trong ống T) với vận tốc c (không xét đến phần truyền qua các bản thủy tinh A, B là rất nhỏ và là như nhau đối với d_1 và d_2). Thời gian truyền từ S_1 đến M là:

$$\frac{d_1 - l}{v} + \frac{l}{c} = \frac{d_1 - l}{v} + \frac{l}{nv} \quad (\text{vì } n = \frac{c}{v})$$

$$\text{hay: } \frac{1}{v} \left[d_1 - l \frac{n-1}{n} \right]$$

Như vậy, nếu xem như ánh sáng từ S_1 chỉ truyền trong không khí đến M (để so sánh với d_2) thì đường đi này có trị

$$\text{số: } d'_1 = d_1 - l \frac{n-1}{n}$$

Vị trí của vân sáng trung tâm mới O' ứng với hiệu đường đi $d'_1 - d_2 = 0 \rightarrow d_1 - d_2 = \frac{l(n-1)}{n}$ (1)

Mặt khác dễ dàng chứng minh rằng: $d_1 - d_2 = \frac{ax}{D}$ (2)

Với $x = OO'$. Vì theo (1), $d_1 > d_2$ nên $x > 0$, nghĩa là O' ở về phía S_2 (phía không có ống T).

Từ (1) và (2) tìm được: $x = \frac{l(n-1)}{n} \cdot \frac{D}{a}$

Vậy, sau khi tạo chân không trong ống T hệ vân giao thoa đã dời về phía S_2 một đoạn $x = \frac{l(n-1)}{n} \cdot \frac{D}{a}$.

b) Trong quá trình hệ vân dịch chuyển, đã có 99 vân sáng dịch chuyển qua tâm O của màn E , và cuối cùng tại O có một vân tối, điều đó chứng tỏ độ dời tổng cộng của hệ vân bằng 98,5 khoảng vân, ta có:

$$x = 98,5i = 98,5 \frac{\lambda D}{a} = \frac{l(n-1)}{n} \cdot \frac{D}{a}$$

$$\rightarrow 1 - \frac{1}{n} = 98,5 \frac{\lambda}{l} \rightarrow n = 1,00029$$

c) Khi dùng ánh sáng trắng, khe chuẩn trực đặt tại O , ta sẽ thu được một quang phổ vân, các vân ứng với các bức xạ cho vân tối tại O . Còn vân trung tâm mới tại O là vân sáng (cho mọi bước sóng). Vị trí của vân tối (so với vân sáng trung tâm O') được xác định bởi công thức:

$$O'O = x = \left(x + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda D}{a}$$

Mặt khác theo câu b: $x = 98,5i_1 = 98,5 \frac{\lambda_1 D}{a}$, với $\lambda_1 = 0,5893 \mu\text{m}$

Từ đó:

$$\left(k + \frac{1}{2}\right) \lambda = 98,5 \lambda_1$$

$$\rightarrow \lambda = \frac{116,0921}{2k+1} (\mu\text{m})$$

Theo đề bài $0,40 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,75 \mu\text{m}$;

suy ra với k là số nguyên: $77 \leq k \leq 144$

Như vậy có tất cả 68 trị số của k ứng với 68 vân trên quang phổ với các bước sóng tương ứng là: $\lambda \approx \frac{116,09}{2k+1} (\mu\text{m})$

trong đó $k = 77; 78; \dots; 144$.

4.10 1) Khoảng vân: $i = \lambda \frac{D}{a} = 1 \text{mm}$

Vị trí vân sáng bậc k : $x = ki = k (\text{mm})$

2) a) Khi tịnh tiến khe S trong mặt phẳng P_1 thì hệ vân di chuyển ngược chiều. Kí hiệu I là trung điểm của S_1S_2 ; S' là vị trí mới của S và O' là vị trí mới của vân sáng trung tâm thì 3 điểm S', I, O' luôn luôn thẳng hàng. Vì theo đề bài, P_2 cách đều P_1 và E nên độ dịch chuyển của hệ vân là:

$$OO' = SS' = x_S = 2,5 \text{mm} = 2,5i$$

Vì độ dịch chuyển của hệ vân có giá trị là $2,5i$ nên khi đặt mắt tại khe C ta thấy có 3 vân sáng di chuyển qua C và cuối cùng tại C có vân tối.

b) Khi S dao động điều hòa theo phương trình $x_S = 2 \sin \pi t$ (mm) thì hệ vân trên màn E cũng dời đoạn x_S nhưng theo chiều ngược lại.

Trong một chu kì, tính từ vị trí ban đầu, khe S di chuyển tổng cộng độ dài $4.2 = 8 \text{mm}$, trong đó có 2mm đi lên, 4mm đi xuống; rồi 2mm đi lên (giả sử ban đầu S tịnh tiến đi lên).

Trong khi đó, hệ vân sẽ dời xuống 2mm (mắt thấy 2 vân sáng chạy xuống); dời lên 4mm (mắt thấy 4 vân sáng chạy

lên); rồi dời xuống 2mm (mắt thấy 2 vân sáng chạy xuống). Như vậy trong một chu kỳ mắt thấy có 8 vân sáng chạy qua: 4 vân theo chiều này và 4 vân theo chiều ngược lại.

4.11 1) Khoảng vân: $i = \lambda \frac{D}{a} = 1,092 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

Với $40 < D < 50 \text{ cm}$ thì: $0,437 \text{ mm} \leq i \leq 0,983 \text{ mm}$

2) Khi chiếu sáng khe S bởi 2 bức xạ λ_1, λ_2 ta có hai hệ thống vân giao thoa chồng lên nhau. Các vân sáng cũng như các vân tối của hai hệ đó có thể chồng lên nhau (trùng nhau).

Các vân sáng của chúng trùng nhau khi:

$$k_1 \lambda_1 \frac{D}{a} = k_2 \lambda_2 \frac{D}{a} \rightarrow k_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} k_1 = \frac{5}{6} k_1 \quad (1)$$

Suy ra các trị số thích hợp của k_1, k_2 :

$$k_1=6 ; k_2=5$$

$$k_1=12 ; k_2=10$$

$$k_1=18 ; k_2=15 \dots\dots\dots$$

Nghĩa là các vân sáng bậc 6, 12, 18.... (bội số của 6) của bước sóng λ_1 sẽ trùng với các vân sáng bậc 5, bậc 10, 15... (bội số của 5) của bước sóng λ_2 . Số vân trùng nhau được giới hạn bởi bề rộng của trường giao thoa. Bây giờ ta xét các vân tối chúng trùng nhau nếu:

$$(2k_1 + 1) \frac{\lambda_1 D}{2a} = (2k_2 + 1) \frac{\lambda_2 D}{2a}$$

$$\rightarrow (2k_1 + 1) \frac{5}{6} = (2k_2 + 1)$$

$$\rightarrow 10k_1 = 12k_2 + 1$$

Vì k_1, k_2 là các số nguyên nên hệ thức (2) không thể xảy ra. Nghĩa là các vân tối của hai hệ vân giao thoa đó không trùng nhau được, do đó trên màn không quan sát được vân tối.

Với 2 bước sóng của natri ta có: $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{0,5890}{0,5896} \neq \frac{5}{6}$

nên hiện tượng khảo sát ở trên không thể xảy ra được.

Chú ý là: λ_1, λ_2 rất gần bằng nhau, chỉ sai khác $\frac{6 \cdot 10^{-4}}{0,5896} \approx 10^{-3}$, do đó nếu chấp nhận sai số $\frac{1}{1000}$ thì ta có thể

coi như chỉ có 1 bức xạ của natri với bước sóng là trung bình cộng của λ_1, λ_2 nghĩa là: $\lambda = 0,5893 \mu\text{m}$.

3) a) Khi dịch chuyển S đến vị trí mới S' thì hệ vân cũng dời theo, vân trung tâm sẽ đến vị trí O' sao cho S', I, O' thẳng hàng (I là trung điểm của $S_1 S_2$). Ta có:

$$\frac{SS'}{OO'} = \frac{D'}{D}, \text{ với } D' \text{ là khoảng cách từ S đến } S_1 S_2. \text{ Vì theo đề}$$

bài, $D = D' = 50 \text{ cm}$ nên $SS' = OO' \rightarrow b = OO'$.

Vì, theo đề bài, vân tối đến chiếm chỗ vân sáng kề nó, nên độ dịch chuyển của hệ vân $OO' = \frac{i}{2} = \frac{\lambda D}{2a} \approx 0,29 \text{ mm}$.

Vậy $b = 0,29 \text{ mm}$

b) Khi khoét rộng khe S, ta xem như khe này được hợp bởi vô số khe S' rất hẹp kế tiếp nhau; mỗi khe hẹp này cho một hệ vân giao thoa mà vân sáng trung tâm nằm ở O'. Nếu S' cách xa trung điểm của khe S mở rộng một đoạn x_S thì O' cũng cách xa O một đoạn x_S (theo trên). Với $x_S = b = \frac{i}{2}$ thì khi khe S có bề rộng $b = 2i$ các vân sáng của các hệ vân do các điểm S' tạo nên sẽ kế tiếp sát nhau nên chúng át cả các vân tối. Khi đó trên màn E cường độ sáng tại mọi điểm là như nhau, nghĩa là ta không quan sát được hiện tượng giao thoa.

4) Khi dùng ánh sáng trắng chiếu sáng khe S, thì mỗi ánh sáng đơn sắc trong thành phần của ánh sáng trắng sẽ cho một hệ vân giao thoa, và tại chỗ đặt khe của ống chuẩn trực

là vị trí của một số vân tối của các hệ vân đó. Các vân tối này để lại những vạch đen trên nền quang phổ liên tục (vì các bức xạ đơn sắc khác lại cho vân sáng tại vị trí đặt khe đó), nghĩa là ta thu được quang phổ vân, trên đó có các vân tối (vạch đen). Để tìm số vân tối ta áp dụng công thức xác định vân tối:

$$x_t = (2k + 1) \frac{\lambda D}{2a}, \text{ với } x_t = 1 \text{ cm (theo đề bài).}$$

Vì $0,4 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,75 \mu\text{m}$, ta rút ra:

$$0,4 \leq \frac{20}{2k + 1} \leq 0,75 \rightarrow (k \text{ là số nguyên}) \quad 13 \leq k \leq 24$$

Như vậy có tất cả 12 vân tối ứng với $k=13, 14, \dots, 24$

Tần số f của các vân đó là:

$$f = \frac{c}{\lambda} = 15.12(2k + 1) \text{ (Hz)}$$

Ta thấy f hợp thành một cấp số cộng mà công sai là:

$$s = 15 \cdot 10^{12} \cdot 2 = 3 \cdot 10^{13} \text{ Hz}$$

và có 12 số hạng ứng với k từ 13 đến 24.

Khi đưa dần khe của ống chuẩn trực lại gần vị trí của vân trung tâm O thì trị số x_t giảm dần, kéo theo các giới hạn trên và dưới của k giảm theo: số vân tối trong quang phổ giảm. Cho đến khi khe đó đến đúng vị trí của vân trung tâm thì ta thu được một quang phổ liên tục của ánh sáng trắng (vì vân sáng trung tâm là một vân sáng trắng đa sắc như nguồn S).

4.12 1) Theo đề bài, đối với bức xạ λ_1 ta có:

$$20i_1 = 1,82 \text{ cm} \rightarrow i_1 = 0,91 \text{ mm}$$

$$\text{và đối với bức xạ } \lambda_2: 20i_2 = 1,4 \text{ cm} \rightarrow i_2 = 0,70 \text{ mm}$$

$$\text{Từ đó: } \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{0,70}{0,91} \rightarrow \lambda_2 = \lambda_1 \cdot \frac{70}{91} = 0,42 \mu\text{m}$$

$$2) \text{ Ta có: } S_1 S_2 = a = 2d_1. A(n-1) = 500A \text{ (mm)}$$

$$\text{Từ } i_1 = \lambda_1 \frac{D}{a}, \text{ suy ra: } a = \frac{\lambda_1 D}{i_1} = 1,5 \text{ mm}$$

$$\text{Từ đó: } A = \frac{a}{500} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

Bề rộng của trường giao thoa trên màn:

$$\frac{MN}{S_1 S_2} = \frac{d_2}{d_1} \rightarrow MN = 4a = 6 \text{ mm}$$

Với bức xạ λ_1 , số khoảng vân trong nửa trường giao thoa bằng: $\frac{MN}{2i_1} = 3,29$

Như vậy, mỗi bên có 3 vân sáng, thêm vân sáng trung tâm và tổng cộng có 7 vân sáng.

+ Tương tự, đối với bức xạ λ_2 : $\frac{MN}{2i_2} = 4,28$: tổng cộng có 9 vân sáng.

3) Bản mặt song song làm đường đi ánh sáng qua nó tăng thêm một lượng $e(n-1)$ (e là độ dày của bản), do đó vân sáng trung tâm dịch chuyển một đoạn x về phía có bản mặt song song, được xác định bởi:

$$d_2 - d_1 = \frac{ax}{D} = e(n-1)$$

$$\rightarrow x = e(n-1) \frac{D}{a}$$

$$\text{Theo đề bài } x = 2,66 \text{ mm ta được: } e = \frac{xa}{(n-1)D} = 3 \mu\text{m}$$

$$4) \text{ Vị trí vân tối: } x_t = (2k + 1) \frac{\lambda D}{a}$$

Theo đề bài $x_t = 2,8 \text{ mm}$. Suy ra: $(2k + 1) \lambda = 3,36 \mu\text{m}$

Với $0,4 \leq \lambda \leq 0,8 \mu\text{m}$, ta được (k là số nguyên): $2 \leq k \leq 3$

Như vậy chỉ có 2 bức xạ cho vân tối, có bước sóng:

$$\lambda_1 = \frac{3,36}{2k+1} = \frac{3,36}{5} = 0,672 \mu\text{m}$$

$$\lambda_2 = \frac{3,36}{7} = 0,480 \mu\text{m}$$

4.13 1) Bề rộng của trường giao thoa trên màn E: $MN=2d(n-1)A$.
Dễ dàng thấy rằng ta có: $MN=S_1S_2=a$.

Trong vùng MN có 20 vân. Như vậy vân đó phải là vân tối, vì số vân sáng bao giờ cũng là số lẻ (do có vân sáng trung tâm O). Giữa 20 vân tối có 19 khoảng vân nên: $MN=19i$.

Suy ra:

$$\begin{aligned} 2d(n-1)A &= 19 \frac{\lambda D}{a} \\ \rightarrow 2d(n-1)A &= 19\lambda \frac{2d}{2d(n-1)A} \\ \text{vì } D &= 2d \rightarrow A^2 = \frac{19\lambda}{2d(n-1)^2} \end{aligned}$$

Thay số ta được: $A = 4 \cdot 10^{-3} \text{ rad} = 14'$

$$\text{Khoảng vân: } i = \frac{\lambda D}{a} = \frac{\lambda 2d}{2d(n-1)A} = 0,28 \text{ mm}$$

2) Hai ảnh S_1, S_2 của S tạo bởi lưỡng lăng kính, có vai trò như 2 vật đối với thấu kính, cho 2 ảnh S'_1, S'_2 tạo bởi thấu kính. Hai ảnh này là 2 nguồn kết hợp (vì đều là ảnh của S tạo bởi hệ lưỡng lăng kính + thấu kính), chúng gây ra hiện tượng giao thoa quan sát trên màn E.

Kí hiệu d_1 là khoảng cách từ S_1S_2 đến thấu kính ta có, theo đề bài: $d_1=d+1=2,2 \text{ m}$

Khoảng cách từ $S'_1S'_2$ đến thấu kính là:

$$\begin{aligned} d'_1 &= \frac{d_1 f}{d_1 - f}, \text{ với } f = \frac{1}{4} \text{ m} = 25 \text{ cm} \\ \rightarrow d'_1 &= 28,2 \text{ cm} \end{aligned}$$

Ta có:

$$|k| = \frac{S'_1 S'_2}{S_1 S_2} = \frac{f}{d_1 - f} \rightarrow S'_1 S'_2 = a_1 \approx 0,64 \text{ mm}$$

Khoảng cách từ $S'_1S'_2$ đến màn E là: $D_1=3 - (1+d'_1)=1,718 \text{ m}$

$$\text{Khoảng vân trên màn quan sát: } i_1 = \lambda \frac{D_1}{a_1} = 1,58 \text{ mm}$$

$$3) \text{ Tiêu cự của thấu kính phẳng lồi: } \frac{1}{f'} = (n-1) \frac{1}{R} = 94,3 \text{ cm}$$

Các ảnh S_1S_2 đóng vai trò vật đối với thấu kính, cho ta 2 ảnh $S''_1S''_2$ cách thấu kính (và lưỡng lăng kính) d'_0 :

$$d'_0 = \frac{d_0 f'}{d_0 - f'}, \text{ với } d_0=d=1,2 \text{ m} \rightarrow d'_0=4,41 \text{ m}$$

Ngoài ra:

$$|k_0| = \frac{S''_1 S''_2}{S_1 S_2} = \frac{d'_0}{d_0 - f'} = \frac{f'}{d_0 - f'} \rightarrow S''_1 S''_2 = a_2 = 18,4 \text{ mm}$$

Các ảnh S''_1, S''_2 tác dụng như hai nguồn kết hợp, cách lưỡng lăng kính một đoạn $d'_0=4,41 \text{ m}$; trong khi đó màn E lại chỉ cách xa lưỡng kính 3m, nghĩa là màn E ở phía trước các nguồn kết hợp một đoạn: $D_2=4,41 - 3=1,41 \text{ m}$

Các chùm tia ló ra khỏi hệ lưỡng lăng kính + thấu kính vẫn có một phần chung. Các sóng ánh sáng trong phần chung này, xem như tạo bởi hai nguồn kết hợp ảo $S''_1S''_2$, giao thoa với nhau và phần chung này là trường giao thoa tạo ra trên màn E các vân giao thoa quan sát được.

Khoảng vân thu được trên màn: $i_2 = \lambda \frac{D_2}{a_2} = 0,045\text{mm}$

4.14 1) Giải thích tại sao không trông thấy vân giao thoa.

Ta có: $i = \frac{\lambda D}{a}$

với $a = 2d(n-1)A = 18\text{mm}$

$D = d + d' = 0,2 + 1,0 = 1,2\text{m} \rightarrow i = 0,039\text{mm}$

Khe F không vô cùng hẹp, mà có độ rộng hữu hạn $h = 0,02\text{mm}$. Mỗi dải trên khe tác dụng như một khe hẹp độc lập, và cho ta một hệ vân giao thoa có cùng khoảng vân i , nhưng tâm O, O' của hai hệ vân nằm cách nhau một khoảng:

$$OO' = x \frac{d'}{d} = x \frac{1,0}{0,2} = 5x$$

với x là khoảng cách giữa hai dải.

Hai hệ vân ứng với 2 dải ở hai mép khe cách nhau:

$OO' = 5h = 5 \cdot 0,02 = 0,1\text{mm}$

Ta thấy khoảng này lớn gấp xấp xỉ hơn 2,5 lần khoảng vân i , do đó ta không quan sát được vân giao thoa.

2) a) Lăng kính A bây giờ chỉ làm lệch tia sáng một góc Δ , với:

$$\Delta = (n-1)A - (n'-1)\alpha$$

Lăng kính A' cũng chỉ làm lệch tia sáng một góc Δ' , với:

$$\Delta' = (n-1)A' - (n'-1)\alpha'$$

Khoảng cách a giữa hai ảnh F_1, F_2 của nguồn F bây giờ là:

$$a' = d[(n-1)A - (n'-1)\alpha + (n-1)A' - (n'-1)\alpha']$$

$$= d[2(n-1)A - (n'-1)(\alpha + \alpha')]$$

$$a' = d[2(n-1)A - (n'-1)2A] = 2d(n-n')A$$

Khoảng vân bây giờ là: $i' = \frac{\lambda(d+d')}{2d(n-n')A} = \frac{n-1}{n-n'}i$

Ta thấy i tăng theo một thừa số không phụ thuộc α , tức là tấm T không nhất thiết phải song song với AA' (như mô tả trên hình 4.11).

b) Để quan sát được vân giao thoa cần có điều kiện:

$$i' = \frac{n-1}{n-n'}i > OO' = 0,1\text{mm}$$

nghĩa là phải có: $n - n' < \frac{(n-1)i}{OO'} = 0,1963 \rightarrow n' > 1,3037$

c) Với $n' = 1,42$ ta có: $i = \frac{5,89}{24} \approx 0,25\text{mm}$

Góc trông khoảng vân qua kính lúp là:

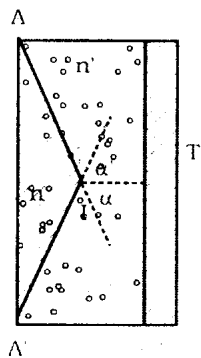
$$\text{tg} \alpha \approx \alpha = \frac{i}{f} = 0,00613\text{rad} \rightarrow \alpha = 20'$$

4.15 1) Khoảng cách hai ảnh F_1, F_2 tới thấu kính là:

$$d' = \frac{df}{d-f}, \text{ với } d=50\text{cm}; f=25\text{cm} \rightarrow d'=50\text{cm}$$

Vì $d=d'=50\text{cm}$ nên: $a = F_1F_2 = 2O_1O_2 = 3\text{mm}$

Bằng cách vẽ hai chùm tia sáng từ F tới hai nửa thấu kính và xét phần giao nhau của hai chùm sáng ló ra khỏi hai nửa thấu kính, sẽ tìm thấy rằng hai chùm này xem như phát ra từ F_1, F_2 bắt đầu giao thoa nhau tại điểm I trên quang trục FO. Như vậy phải đặt màn E ngoài đoạn OI mới quan sát được vân giao thoa. Ta có:



Hình 4.11

$$\frac{OI}{OI-50} = \frac{6 + O_1O_2}{F_1F_2} \rightarrow OI = 52.56\text{cm}$$

Bước sóng λ được xác định từ công thức:

$$i = \frac{\lambda D}{a} \rightarrow \lambda = \frac{ia}{D}, \text{ với } i=0,54\text{mm}$$

Theo đề bài : $a=3\text{mm}$; $9=3,5 - d'=3\text{m} \rightarrow \lambda=0,54\mu\text{m}$

Bề rộng MN của trường giao thoa trên màn E: $\frac{MN}{O_1O_2} = \frac{FC}{FO}$,

với C là giao điểm của quang trục FO và màn E (là vị trí vân sáng trung tâm trên màn E).

Trong đó: $FC=d+350=400\text{m}$; $FO=d=50\text{cm}$

Suy ra: $MN=1,2\text{cm}$

Số khoảng vân trong nửa trường giao thoa: $\frac{MN}{2i} = 11,11$

Như vậy mỗi bên vân trung tâm có 11 vân sáng, nghĩa là số vân sáng quan sát được trên màn E là $2.11 + 1 = 23$ vân sáng. Còn số vân tối là $2.11 = 22$

2) Vị trí vân tối:
$$x_i = (2k+1) \frac{\lambda D}{2a}$$

Vị trí hoàn toàn tối trên màn E là vị trí mà tại đó các vân tối của hai bức xạ λ_1, λ_2 trùng nhau:

$$(2k_1+1) \frac{\lambda_1 D}{2a} = (2k_2+1) \frac{\lambda_2 D}{2a} \rightarrow k_1 = 1,4k_2 + 0,2$$

Vì k_1, k_2 là các số nguyên, nên từ hệ thức này ta suy ra:

$$k_2=2;7;12;17\ldots$$

Nhưng bề rộng nửa trường giao thoa chỉ bằng: $MN/2=0,6\text{cm}$, nên phải có:

$$x_i = (2k_2+1) \frac{\lambda_2 D}{2a} \leq 6(\text{mm}) \rightarrow k_2 \leq 9$$

Như vậy chỉ có 2 trị số $k_2=2$ và $k_2=7$ là thích hợp.

Với $k_2=2$ thì $k_1=3 \rightarrow x_1 = (2k_1+1) \frac{\lambda_1 D}{2a} = 1,575(\text{mm})$

Với $k_2=7$ thì $k_1=10 \rightarrow x_2=4,725\text{mm}$

Như vậy có tất cả 4 vị trí hoàn toàn tối trên màn, đối xứng nhau qua vân sáng trung tâm và cách xa vân này các khoảng x_1 và x_2 .

3) a) Với bức xạ λ_1 khoảng vân là: $i_1 = \frac{\lambda_1 D}{a} = 0,45\text{mm}$

Theo đề bài, vị trí đặt khe chuẩn trực:

$$x = 3,6\text{mm} = 8.0,45 = 8i_1 \text{ ứng với vị trí một vân sáng.}$$

Do đó trong máy quang phổ sẽ thu được một quang phổ vạch phát xạ có bước sóng $\lambda_1=0,45\mu\text{m}$

b) Khi chiếu khe F bằng ánh sáng trắng ta thu được quang phổ vân, vân tối trong quang phổ ứng với vân tối ở vị trí của khe chuẩn trực: $x_i = (2k+1) \frac{\lambda D}{2a}$

Kí hiệu $O_1O_2=b$ thì $a=F_1F_2=2.O_1O_2=2b$. Từ đó:

$$x_i = (2k+1) \frac{\lambda D}{4b} = 3,6\text{mm} \rightarrow \lambda = \frac{4bx_i}{(2k+1)D} = \frac{4,8b}{2k+1} (\mu\text{m})$$

vì $0,45\mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,75\mu\text{m}$, nên suy ra:

$$3,2b - 0,5 \leq k \leq 6b - 0,5$$

Với $b=1,5\text{mm}$ thì ta được: $4,8 \leq k \leq 8,5$

Vì k là số nguyên nên ta có: $5 \leq k \leq 8$

Nghĩa là ứng với 4 vân tối.

Khi khoảng cách $b=O_1O_2$ thay đổi, các trị số giới hạn của k sẽ thay đổi và số vân tối cũng thay đổi theo.

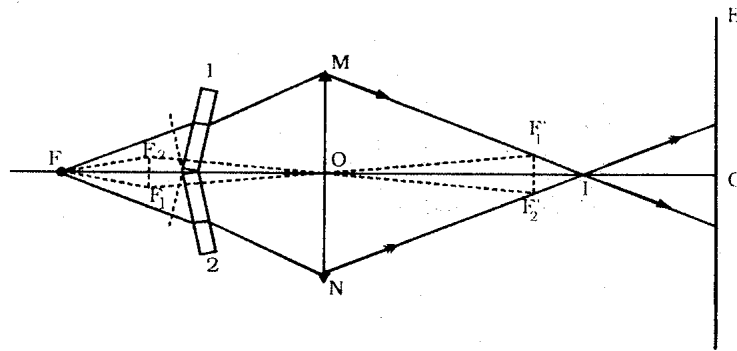
Vì số hạng 3,2b biến thiên theo b chậm hơn là số hạng 6b, nên khi b tăng lên, cận trên của k tăng nhanh hơn cận dưới; do đó số những giá trị của k giữa hai cận đó cũng tăng, nghĩa là số vân tối tăng; số vân tối tăng đồng biến với b .

Khi $b=1\text{mm}$ thì ta có: $2,7 \leq k \leq 5,5$

Nghĩa là $k=3,4,5$: có 3 vân tối.

Như vậy khi b giảm từ $1,5\text{mm}$ xuống 1mm thì số vân tối giảm từ 4 xuống còn 3.

- 4.16** 1) Nhị diện được xem như hợp bởi hai bản mặt song song, mỗi bản mặt song song cho khe F một ảnh. Hai ảnh F_1, F_2 nằm trên đường thẳng góc với mỗi bản mặt về từ F , cách xa F theo chiều truyền ánh sáng một đoạn (H.4.12)



Hình 4.12

$$FF_1 = FF_2 = e \left(1 - \frac{1}{n} \right) = 8\text{mm}$$

Góc F_1FF_2 có trị số bằng: $\alpha = \pi - (\pi - 0,125) = 0,125\text{rad}$

Vì góc α nhỏ nên ta có: $F_1F_2 = FF_1 \cdot \alpha \text{ (rad)} \approx 1\text{mm}$

F_1F_2 cách F một đoạn xấp xỉ bằng FF_1 , tức là bằng 8mm .

Do đó, F_1F_2 cách thấu kính một đoạn: $d=l - 8(\text{mm})=30\text{cm}$

Mặt khác, F_1 và F_2 được xem là vật đối với thấu kính, do đó chúng cho hai ảnh F'_1, F'_2 cách thấu kính một khoảng d' tính

$$\text{theo công thức: } d' = \frac{df}{d-f} = \frac{30 \cdot 20}{30-20} = 60\text{cm} > 0$$

Hai ảnh F'_1, F'_2 là ảnh thật. Ta có:

$$\frac{F'_1F'_2}{F_1F_2} = \frac{d'}{d} \rightarrow a = F'_1F'_2 = 2F_1F_2 = 2\text{mm}$$

2) Hai ảnh F'_1, F'_2 được xem là hai nguồn kết hợp. Trường giao thoa được xác định bởi phần chung của hai chùm tia ló khỏi thấu kính (hai chùm tia này xuất phát từ F , tới hai bản mặt song song 1 và 2 và sau đó tới thấu kính..., ló ra khỏi thấu kính). Hai tia ngoài biên (tới rìa thấu kính) của hai chùm này đi qua F'_1, F'_2 và giao nhau tại I trên trục chính, điểm I chính là vị trí từ đó hai chùm ló giao nhau và tạo nên trường giao thoa. Như vậy, muốn quan sát được các vân giao thoa, màn E phải đặt cách thấu kính một khoảng ít nhất bằng OI . Từ hình 4.12 ta có:

$$\frac{IO}{IH} = \frac{MN}{F'_1F'_2} = \frac{IO}{IO-d'} \rightarrow IO = 66,67\text{cm}$$

3) Màn E cách $F'_1F'_2$ là: $D=l' - d' = 120 - 60 = 60\text{cm}$

$$\text{Suy ra khoảng vân: } i = \frac{\lambda D}{a} = 0,15\text{mm}$$

4) Hệ vân trên màn dịch chuyển về phía F'_1 một đoạn:

$$x = e(n-1) \frac{D}{a} = 1,2\text{mm}$$

- 4.17** 1) Sơ đồ thí nghiệm như trên hình 4.13.

Khoảng cách giữa hai ảnh S_1, S_2 của khe S : $S_1S_2 = a \approx 2l\alpha = 1,2\text{mm}$.

Khoảng cách từ S_1, S_2 tới màn P là $l + D$, vậy khoảng vân là:

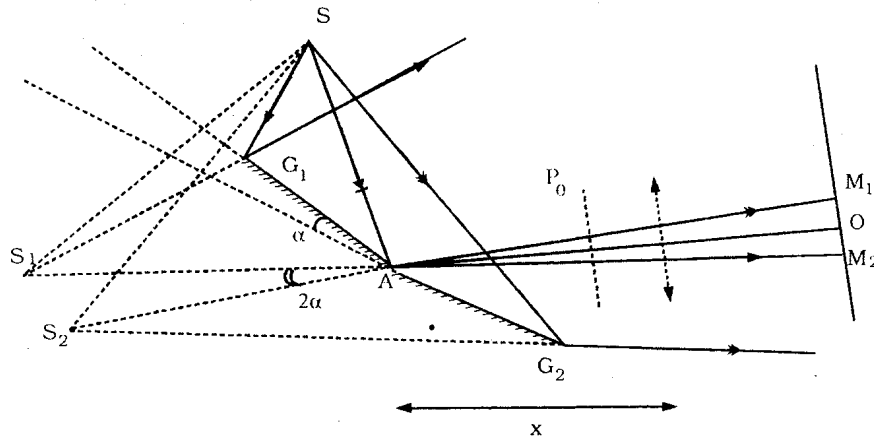
$$i = \frac{\lambda(1+D)}{a} = 0,55\text{mm}$$

Bề rộng của trường giao thoa trên màn P là M_1M_2 :

$$M_1M_2 = a \frac{D}{l} = 12\text{mm}$$

Số vân quan sát được:

$$N = \frac{M_1M_2}{i} = \frac{12}{0,55} = 21,8 \rightarrow N=21\text{vân}$$



Hình 4.13

2) a) Hệ vân mà ta quan sát được trên mặt phẳng P bây giờ là ảnh thật của một hệ vân nằm trong mặt phẳng P_0 (có ảnh thật là P). Kí hiệu d là khoảng cách từ P_0 đến thấu kính và d' là khoảng cách từ thấu kính đến P. Theo đề bài:

$$d'=100-x \text{ và } d = \frac{d'f}{d'-f} = \frac{(100-x) \cdot 10}{90-x} (\text{cm})$$

Khoảng cách D_0 từ A đến P_0 là:

$$D_0 = x - d = \frac{-x^2 + 100x + 1000}{90-x} (\text{cm})$$

Khoảng vân i_0 trong P_0 là:

$$i_0 = \frac{\lambda(1+D_0)}{a} = \frac{10^{-2}(-x^2 + 90x - 100)}{2(90-x)} (\text{mm})$$

Khoảng vân i quan sát được trong P là:

$$i = i_0 \frac{d'}{d} = \frac{10^{-3}}{2}(-x^2 + 90x - 100) \quad (1)$$

(i được tính ra mm, khi tính x bằng cm)

Số vân N quan sát được là:

$$N = \frac{2D_0\alpha}{i_0} = 2,4 \left[1 + \frac{10(90-x)}{x^2 - 90x + 100} \right]$$

b) Để quan sát được vân giao thoa trên màn P thì i phải có trị số dương. Muốn vậy x phải ở trong khoảng hai nghiệm x_1, x_2 của phương trình: $-x^2 + 90x - 100 = 0$ hay: $1,1 < x < 88,9\text{cm}$.

(Khi $x=1,125\text{cm}$ thì 2 ảnh của S_1, S_2 ở đúng trên P còn khi $x=88,875\text{cm}$ thì ảnh của A ở đúng trên P, và không có vân giao thoa).

Khoảng vân i cực đại khi: $-2x_m + 90 = 0 \rightarrow x_m = 45\text{cm}$

$$\text{Khi đó: } i_{\max} = \frac{1,925}{2} = 0,96\text{mm}$$

c) Khi $x=10\text{cm}$ thì $i=0,35\text{mm}$

$$\text{và } N = 2,4 \frac{15}{7} \rightarrow N \approx 5\text{vân}$$

Khi $x=80\text{cm}$ thì $i=0,35\text{mm}$

$$\text{và } N = 2,4 \frac{8}{7} \rightarrow N \approx 2\text{vân}$$

4.18 1) Giới hạn quang điện của kali :

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A} = 564,2\text{nm}$$

Điều kiện để có hiện tượng quang điện là: $\lambda \leq \lambda_0$.

Như vậy chỉ có các bức xạ $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$ là gây ra được hiện tượng quang điện.

$$2) \text{ Ta có: } v_{0\max} = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right)}$$

$$\text{Với: } \lambda_2 = 546\text{nm}, \quad v_{02} = 1,60 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

$$\lambda_3 = 491,6\text{nm}, \quad v_{03} = 3,40 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

$$\lambda_4 = 436\text{nm}, \quad v_{04} = 4,80 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

$$\lambda_5 = 405\text{nm}, \quad v_{05} = 5,55 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

Ta thấy: ứng với λ_5 , các quang electron có động năng ban đầu lớn nhất.

Vì vậy muốn có hiệu điện thế hãm triệt tiêu được dòng quang điện do các bức xạ $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$ tạo ra phải có:

$$U_h = \frac{mV_{05}^2}{2e} \approx 0,865\text{V}$$

4.19 1) Giới hạn quang điện và vận tốc ban đầu cực đại.

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A} = 0,69\mu\text{m}$$

$$v_{0\max} = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right)} \approx 4,03 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

2) Số photon N tới đập vào mặt catot mỗi giây là:

$$P = N \frac{hc}{\lambda} \rightarrow N = \frac{P\lambda}{hc}$$

Khi toàn bộ N electron (mỗi photon làm bật ra 1 electron) bật ra từ catot đều được hút về anốt, ta có dòng điện bão hòa lí thuyết là: $I_0 = Ne = \frac{P\lambda e}{hc} = 0,443\text{A}$.

Phép đo đã chứng tỏ cường độ dòng bão hòa nhỏ hơn trị số lí thuyết vừa tính 1000 lần, điều đó có nghĩa là: cứ 1000 photon tới đập vào mặt catot thì chỉ có một photon tương tác được với 1 electron và làm cho nó bật khỏi catot.

3) Theo trên cường độ dòng bão hòa thực tế đo được là:

$$I_{bh} = \frac{I_0}{1000} = 0,443\text{mA} = \frac{P\lambda e}{hc} \cdot 10^{-3}$$

Điện kế dùng để đo cường độ dòng quang điện có độ nhạy là 10^{-9}A , nghĩa là nó chỉ đo được cường độ dòng bão hòa có trị số $I \geq 10^{-9}\text{A}$.

Suy ra nhờ tế bào quang điện này chỉ phát hiện được công suất bức xạ P tạo nên $I \geq 10^{-9}\text{A}$, nghĩa là phải có:

$$P \geq 2,257 \cdot 10^{-6} \text{ W}$$

Công suất này nhận được trên diện tích 6cm^2 của catot, do đó công suất tương ứng trên diện tích 1m^2 sẽ là:

$$\frac{2,257 \cdot 10^{-6}}{6} \cdot 10^4 = 3,76 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$$

So sánh với công suất bức xạ Mặt Trời thì công suất này nhỏ hơn: $\frac{1000}{3,76 \cdot 10^{-3}} \approx 2,66 \cdot 10^5$ lần

4.20 1) Ở trạng thái cơ bản, mức năng lượng thấp nhất của nguyên tử thủy ngân là $-10,4\text{eV}$. Điều đó có nghĩa là: muốn bật electron (của nguyên tử thủy ngân) từ hơi thủy ngân, cần phải thực hiện một công bằng $10,4\text{eV}$ để đưa electron từ quỹ đạo dừng cơ bản (gần hạt nhân nhất) ra khỏi nguyên tử, tức là ra xa vô cực. Ở đây, năng lượng kích thích chỉ là 6eV , nên

không thể bứt electron ra khỏi hơi thủy ngân, nghĩa là không có hiện tượng quang điện.

Bước sóng của photon kích thích:

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda} = 6\text{eV} \rightarrow \lambda = 2,07\mu\text{m}$$

Còn giới hạn quang điện của thủy ngân là:

$$\frac{hc}{\lambda_0} = A = 10,4\text{eV} \rightarrow \lambda_0 = 0,119\mu\text{m}$$

(Ta thấy $\lambda > \lambda_0$ nên không thể có hiệu ứng quang điện như lập luận ở trên).

2) Khi va chạm với các electron của chùm electron nguyên tử thủy ngân chỉ nhận đúng phần năng lượng vừa đủ để đưa nó từ mức năng lượng cơ bản E_1 lên mức năng lượng kích thích. Theo đề bài: $E_2 - E_1 = 10,4 - 5,54 = 4,86\text{eV}$

$$E_3 - E_1 = 10,4 - 3,73 = 6,67\text{eV}$$

$$E_4 - E_1 = 10,4 - 1,56 = 8,84\text{eV}$$

Như vậy sau khi va chạm với các electron, nguyên tử thủy ngân sẽ chuyển từ mức cơ bản $E_1 = -10,4\text{eV}$ lên mức $E_2 = -5,54\text{eV}$ (vì năng lượng của electron chỉ là 6eV) và hấp thụ (nhận được) từ electron một năng lượng $4,86\text{eV}$.

Do đó, sau va chạm này, động năng của electron chỉ còn là:

$$E_d = 6 - 4,84 = 1,14\text{eV}$$

và vận tốc của electron sau va chạm đó bằng:

$$v = \sqrt{\frac{2E_d}{m}} = 6,37 \cdot 10^5 \text{ m/s.}$$

MỤC LỤC

	Trang
<i>Phần một: ĐIỆN HỌC</i>	3
I. Tĩnh điện học	3
A. Đề bài tập	3
B. Hướng dẫn giải & đáp số	16
II. Dòng điện không đổi - Mạch điện một chiều	55
A. Đề bài tập	55
B. Hướng dẫn giải & đáp số	68
III. Từ trường; cảm ứng điện từ	108
A. Đề bài tập	108
B. Hướng dẫn giải & đáp số	116
<i>Phần hai: QUANG HỌC</i>	136
A. Đề bài tập	136
B. Hướng dẫn giải & đáp số	148

Chịu trách nhiệm xuất bản :

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập NGUYỄN QUÝ THAO

Biên tập nội dung:

HOÀNG MINH TÂM

Biên tập tái bản:

VŨ DƯƠNG HÀ

Biên tập kĩ thuật:

TRẦN THÀNH TOÀN

Trình bày bìa:

NGUYỄN THU YÊN

Sửa bản in:

HOÀNG MINH TÂM

CÁC BÀI TOÁN VẬT LÝ CHỌN LỌC THPT: ĐIỆN HỌC - QUANG HỌC

Mã số: 8H753t6 - CNH

In 2.000 bản, khổ 14,3x20,3cm tại Cty Cổ phần in Phan Văn Măng-LA.

ĐC: 409- Quốc lộ I, Phường 4, Thị xã Tân An.

Số xuất bản: 03-2006/CXB/154-1859/GD. Số in: 0044/GC.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 03 năm 2006.