

CHƯƠNG 1

HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

A- MỤC ĐÍCH, YÊU CẦU

1. Hiểu và giải thích được các thí nghiệm Faraday về cảm ứng điện từ.
2. Vận dụng được các định luật về cảm ứng điện từ để giải thích các hiện tượng cảm ứng điện từ, hiện tượng tự cảm, hồ cảm.
3. Hiểu được những ứng dụng của hiện tượng cảm ứng điện từ trong kỹ thuật.
4. Vận dụng được các định luật, công thức để giải các bài tập về hiện tượng cảm ứng điện từ.

B- CÂU HỎI ÔN TẬP NỘI DUNG TRỌNG TÂM LÝ THUYẾT

1. Mô tả thí nghiệm về hiện tượng cảm ứng điện từ. Nêu các kết luận. Phát biểu định luật Lenz về chiều của dòng cảm ứng. Nêu một ví dụ để minh họa định luật này.
2. Phát biểu định luật về suất điện động cảm ứng.
3. Phát biểu về dòng Foucault. Nêu một số tác hại và tác dụng của dòng điện này.
4. Thế nào là hiện tượng tự cảm. Biểu thức của suất điện động tự cảm và hệ số tự cảm của ống dây.
5. Trình bày hiệu ứng bề mặt và giải thích hiện tượng đó. Nêu những ứng dụng của hiện tượng này trong kỹ thuật.
6. Thế nào là hiện tượng hồ cảm. Biểu thức của suất điện động hồ cảm.
7. Biểu thức của năng lượng từ trường trong ống dây, năng lượng của một từ trường bất kỳ và mật độ năng lượng từ trường.

C - TÓM TẮT NỘI DUNG

1 - HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

1.1. Thí nghiệm Faraday

Kết luận:

- Từ thông gửi qua một mạch kín biến đổi là nguyên nhân sinh ra dòng điện cảm ứng trong mạch đó.

- Dòng điện cảm ứng chỉ tồn tại trong thời gian từ thông gửi qua mạch kín biến đổi.

- Cường độ của dòng điện cảm ứng tỷ lệ thuận với tốc độ biến đổi từ thông.

- Chiều của dòng điện cảm ứng phụ thuộc vào sự tăng hay giảm của từ thông gửi qua mạch.

Vậy :

“ Trong mọi trường hợp, khi từ thông qua mạch kín biến đổi thì trong khoảng thời gian từ thông biến đổi trong mạch xuất hiện một dòng điện , gọi là dòng điện cảm ứng”.

Hiện tượng xuất hiện dòng điện trong một mạch kín do từ thông qua nó thay đổi gây ra gọi là hiện tượng cảm ứng điện từ.

1.2. Định luật Lenz

Nội dung: *"Dòng điện cảm ứng phải có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra có tác dụng chống lại nguyên nhân sinh ra nó".*

1.3. Định luật về suất điện động cảm ứng (Định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ)

Biểu thức:
$$E_c = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (1-1)$$

Phát biểu: *Suất điện động cảm ứng có trị số bằng nhưng trái dấu với tốc độ biến thiên của từ thông gửi qua diện tích mạch điện.*

Dấu (-) trong biểu thức (1-1) nói lên dòng điện cảm ứng có chiều tuân theo định luật Lenz.

1.4. Cách tạo ra dòng điện xoay chiều

Xét khung dây có diện tích S , quay đều với vận tốc góc ω ($\omega = \text{const}$) trong từ trường đều có véc tơ cảm ứng từ \vec{B}

Giả thiết rằng ban đầu ($t = 0$), mặt khung vuông góc với véc tơ cảm ứng từ \vec{B} .

Khi đó, từ thông gửi qua khung bằng:

$$\Phi = B.S \cos \varphi = B.S \cos \omega t$$

Suất điện động xuất hiện trong khung là:

$$E_c = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\omega \sin \omega t$$

Cường độ dòng điện cảm ứng chạy qua khung sẽ bằng:

$$I_c = \frac{E_c}{R} = \frac{BS\omega}{R} \sin \omega t \quad (1-2)$$

Trong đó R là điện trở của khung, $I_0 = \frac{BS\omega}{R}$ là cường độ dòng cảm ứng cực đại xuất hiện trong khung.

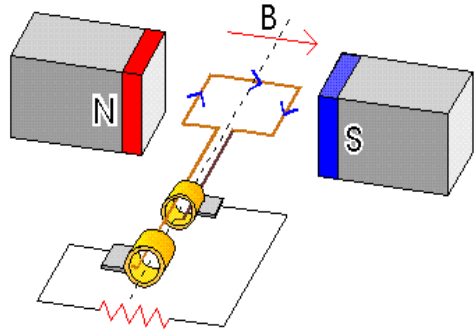
Như vậy ta có: $I_c = I_0 \sin \omega t$

Nếu khung gồm N vòng dây, cường độ dòng điện cảm ứng sẽ lớn hơn N lần:

$$I_c = \frac{NBS\omega}{R} \sin \omega t \quad (1-3)$$

Vậy, khi khung quay đều trong từ trường đều, trong khung xuất hiện một dòng điện xoay chiều biến thiên tuần hoàn theo dạng hàm sin

1.5. Dòng điện Foucault (Fucô)



Hình. Nguyên lý cơ bản của máy phát điện xoay chiều là một khung dây dẫn quay trong từ trường ngoài.

a. Định nghĩa

Khi ta đặt một vật dẫn có kích thước lớn vào trong một từ trường biến đổi theo thời gian, trong thể tích của vật dẫn đó cũng xuất hiện những dòng điện cảm ứng khép kín, gọi là dòng điện xoáy, hay dòng điện Foucault.

b. Tác hại của dòng Foucault

Trong máy biến thế và động cơ điện v.v..., lõi sắt của chúng chịu tác dụng của từ trường biến đổi, vì vậy trong lõi có các dòng điện Foucault xuất hiện. Dòng Foucault gây ra tác dụng nhiệt làm máy mau bị nóng. Do đó, một phần năng lượng bị hao phí đi một cách vô ích, hiệu suất của máy bị giảm.

Để giảm tác hại này, người ta không dùng cả khối sắt lớn làm lõi, mà dùng nhiều lá sắt mỏng cách điện ghép lại với nhau sao cho các nhát cắt song song với chiều của từ trường.

c. Lợi ích của dòng Foucault

- Trong các lò điện cảm ứng: dùng để nấu chảy kim loại, đặc biệt là nấu chảy kim loại trong chân không để tránh tác dụng của không khí xung quanh.

- Dòng Foucault còn được dùng để hãm dao động.

- Dùng trong phanh điện từ

- Máy dò kim loại được sử dụng ở bộ phận kiểm tra an ninh sân bay hoạt động bằng cách dò tìm dòng điện xoáy sinh ra trong các vật kim loại

2 - HIỆN TƯỢNG TỰ CẢM

2.1. Hiện tượng

Định nghĩa: *Hiện tượng tự cảm là hiện tượng cảm ứng xuất hiện chính trong những mạch mà ở đó có dòng điện biến đổi chạy qua.*

2.2. Suất điện động tự cảm và hệ số tự cảm

a. Biểu thức của suất điện động tự cảm

+ Từ thông qua ống $\Phi = Li$ (1-

4)

+ Suất điện động tự cảm:

$$E_{tc} = -L \frac{di}{dt} \quad (1-$$

5)

Phát biểu: *Suất điện động tự cảm tỷ lệ thuận với tốc độ biến thiên của cường độ dòng điện trong mạch.*

Dấu (-) trong biểu thức (1-6) biểu thị định luật Lenz; dấu (-) này nói rằng suất điện động tự cảm trong mạch điện sẽ chống lại bất kỳ sự biến thiên nào về dòng điện trong mạch đó.

b. Ý nghĩa và đơn vị của hệ số tự cảm

Trong hệ SI, đơn vị của hệ số tự cảm là henry, viết tắt bằng chữ H .

Vậy: *henry là hệ số tự cảm của một mạch điện kín mà khi có cường độ dòng điện là 1 ampe chạy qua thì sinh ra trong chân không một từ thông bằng 1 vébe qua mạch đó.*

c. Hệ số tự cảm của một ống dây điện thẳng

Biểu thức:
$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2 S}{\ell} = \mu_0 \mu n_0^2 S \ell = \mu_0 \mu n_0^2 V \quad (1-$$

6)

Với $V = S\ell$ là thể tích ống dây (phần có dây cuộn)

d. Hệ số tự cảm của một cuộn dây hình xoắn

Biểu thức:
$$L = \frac{N\phi_0}{I} = \frac{\mu_0 \mu N^2 S}{2\pi R} \quad (1-$$

7)

2.3. Hiệu ứng bề mặt

Định nghĩa: khi cho dòng điện cao tần (dòng điện biến đổi với tần số cao) chạy qua một dây dẫn thì do hiện tượng tự cảm, dòng điện đó hầu như không chạy ở trong lòng dây mà chỉ chạy ở lớp bề mặt của nó

Ứng dụng: tôi kim loại ở lớp ngoài.

3 - HIỆN TƯỢNG HỖ CẢM

3.1. Hiện tượng

Định nghĩa: *Hiện tượng hồ cảm là hiện tượng ảnh hưởng lẫn nhau giữa các dòng điện biến đổi chạy trong những mạch đặt gần nhau gây ra.*

3.2. Suất điện động hồ cảm

- Khi i_2 biến đổi thì ở mạch C_1 xuất hiện một suất điện động hồ cảm:

$$E_{hc1} = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M \frac{di_2}{dt} \quad (1-8)$$

Tương tự, khi i_1 biến đổi thì ở mạch C_2 cũng xuất hiện một suất điện động hồ cảm:

$$E_{hc2} = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -M \frac{di_1}{dt} \quad (1-$$

9)

M được gọi là hệ số hồ cảm, phụ thuộc vào hình dạng, kích thước của hai mạch, phụ thuộc vào vị trí tương đối giữa C_1 và C_2 và phụ thuộc vào môi trường xung quanh.

Trong hệ SI, M có đơn vị là henry (ký hiệu: H).

Hiện tượng hồ cảm được áp dụng trong các máy biến thế.

4 – NĂNG LƯỢNG TỪ TRƯỜNG

4.1. Năng lượng từ trường của ống dây điện dài

Biểu thức:
$$W = \frac{1}{2} LI^2 \quad (1-$$

10)

Đơn vị: jun (J).

4.2. Mật độ năng lượng từ trường

Biểu thức: $\omega_H = \frac{1}{2} \vec{B} \cdot \vec{H}$ (1-

11)

Đơn vị trong hệ SI là: jun/mét khối (J/m^3)

4.3. Năng lượng của một từ trường bất kỳ

Như vậy, năng lượng của từ trường bất kỳ bằng:

$$W = \int_V dW = \int_V \omega_H \cdot dV = \int_V \frac{1}{2} \vec{B} \cdot \vec{H} \cdot dV \quad (1-$$

12)

D- BÀI TẬP CHƯƠNG 1

Bài 1: Một thanh dẫn dài $\ell = 10$ cm chuyển động với vận tốc $v = 15$ m/s trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,1T$. Tìm hiệu điện thế giữa hai đầu thanh dẫn, biết thanh luôn vuông góc với đường sức từ trường và phương dịch chuyển.

Hướng dẫn:

Từ thông quét bởi thanh trong chuyển dời dx
là:

$$d\Phi = B dS \cos \alpha$$

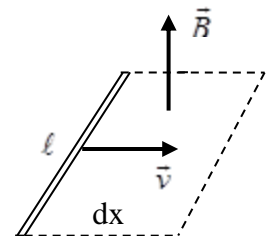
Ở đây $\cos \alpha = 1$; $dS = \ell dx$

Do đó : $d\Phi = B \ell dx$

Độ lớn suất điện động cảm ứng xuất hiện trên thanh dẫn :

$$|E_c| = \left| -\frac{d\Phi}{dt} \right| = B \ell \frac{dx}{dt} = B \ell v = 0,15 \text{ (V)}$$

Vì mạch hở nên E_c chính bằng hiệu điện thế giữa hai đầu thanh.



Hình1-14

Bài 2: Trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,05T$, người ta quay một thanh dẫn có độ dài $\ell = 1m$ với vận tốc góc không đổi bằng 20 rad/s . Trục quay đi qua một đầu thanh và song song với đường sức. Tìm suất điện động cảm ứng xuất hiện tại các đầu thanh.

Hướng dẫn:

Từ thông $d\Phi$ do thanh quét trong thời gian dt là:

$$d\Phi = BdS = B \frac{\ell^2 d\alpha}{2} = B \frac{\ell^2 \omega dt}{2}$$

Độ lớn suất điện động cảm ứng xuất hiện trong thanh là :

$$|E_c| = \left| -\frac{d\Phi}{dt} \right| = \frac{B\ell^2\omega}{2} = 0,5 \text{ (V)}$$

Bài 3: Một ống dây thẳng không có lõi sắt được cuốn 800 vòng dây. Độ dài của ống dây bằng $0,25m$, đường kính vòng dây bằng $4cm$. Cho một dòng điện $1A$ chạy qua ống dây. Tìm:

- Hệ số tự cảm của ống dây.
- Từ thông gửi qua tiết diện thẳng của ống dây.
- Năng lượng từ trường trong ống dây.

Hướng dẫn :

$$\text{a. } L = \mu_0 \mu \frac{N^2 S}{\ell} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{(800)^2 \pi \cdot (0,02)^2}{0,25} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ (H)}$$

$$\text{b. } \Phi_0 = \frac{LI}{N} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{800} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ (Wb)}$$

$$\text{c. } W = \frac{LI^2}{2} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot 1^2}{2} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ (J)}$$

Bài 4: Một khung dây điện phẳng kín hình vuông làm bằng dây đồng có tiết diện 1 mm^2 , điện trở suất của đồng là $\rho = 1,72 \cdot 10^{-8} \Omega m$. Khung dây được đặt trong một từ trường biến thiên có cảm ứng từ biến đổi theo qui luật $B = B_0 \cos \omega t$ trong đó $B_0 = 0,01T$. Chu kỳ biến thiên của cảm ứng từ là T

$= 0,02s$. Diện tích của khung $S = 25 \text{ cm}^2$. Mặt phẳng của khung vuông góc với đường sức từ trường. Tìm giá trị cực đại và sự phụ thuộc vào thời gian của các đại lượng sau:

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

Hướng dẫn:

a. Từ thông: $\Phi = BS = B_0 S \cos \omega t = B_0 S \cos \frac{2\pi}{T} t = B_0 S \cos 100\pi t \text{ (Wb)}$

Giá trị cực đại: $\Phi_{\max} = B_0 S = 0,01.25.10^{-4} = 2,5.10^{-5} \text{ (Wb)}$

Suy ra biểu thức tức thời: $\Phi = 2,5.10^{-5} \cos 100\pi t \text{ (Wb)}$

- b. Suất điện động cảm ứng xuất hiện trong khung:

$$E_c = -\frac{d\Phi}{dt} = B.S.100\pi \sin 100\pi t \text{ (V)}$$

Giá trị cực đại: $E_{c\max} = B.S.100\pi = 0,01.25.10^{-4}.100\pi = 7,85.10^{-3} \text{ (V)}$

Suy ra biểu thức tức thời: $E_{c\max} = 7,85.10^{-3} \sin 100\pi t \text{ (V)}$

- c. Dòng điện xuất hiện trong khung:

$$i = \frac{E_c}{R} = \frac{E_{\max} \sin 100\pi t}{R} \text{ (A)}$$

Thay $R = \rho \frac{\ell}{S_0} = \rho \frac{4a}{S_0}$ với a là cạnh của khung dây: $a = \sqrt{S} = 5 \text{ cm}$

Ta được: $R = 34,4.10^{-4} \Omega$

Vậy cường độ dòng điện cực đại là: $i_{\max} = \frac{E_{\max}}{R} = 2,28 \text{ (A)}$

Suy ra biểu thức tức thời: $i = 2,28 \sin 100\pi t \text{ (A)}$

Bài 5: Để đo cảm ứng từ giữa hai cực của một nam châm điện, người ta đặt vào đó một cuộn dây $N=50$ vòng, diện tích ngang mỗi vòng $S = 2 \text{ cm}^2$.

Mặt phẳng cuộn dây vuông góc với đường sức từ trường. Cuộn dây được khép kín bằng một điện kế để đo điện lượng q phóng qua. Điện trở các điện kế $R = 2.10^3 \Omega$. Bỏ qua điện trở của cuộn dây. Tìm cảm ứng từ B giữa hai cực của nam châm biết rằng khi rút nhanh cuộn dây ra khỏi nam châm thì điện lượng phóng qua điện kế là $q = 10^{-6} C$.

Hướng dẫn:

Suất điện động trung bình xuất hiện trong khung dây bằng:

$$\overline{E} = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \frac{NBS}{\Delta t}$$

Trong đó Δt là thời gian rút cuộn dây ra khỏi nam châm. Điện lượng phóng qua điện kế bằng:

$$q = I \Delta t = \frac{\overline{E}}{R} \cdot \Delta t = \frac{NBS}{R}$$

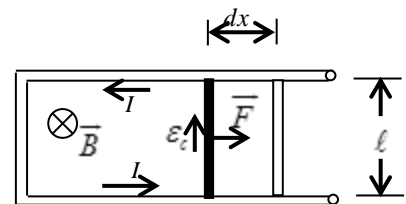
Từ đó, ta có:

$$B = \frac{qR}{SN} = \frac{10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-4} \cdot 50} = 0,2 (T)$$

Bài 6: Một thanh kim loại dài ℓ khối lượng m điện trở R , chuyển động không có ma sát trên hai thanh ray kim loại như hình (1-15). Từ trường đều \vec{B} hướng vào mặt phẳng hình vẽ. Thanh chịu tác dụng của một lực \vec{F} không đổi, hướng về bên phải và bắt đầu chuyển động từ trạng thái đứng yên. Coi hai thanh ray là dài vô hạn và bỏ qua điện trở của chúng. Tìm biểu thức xác định tốc độ giới hạn của thanh (tốc độ để gia tốc của thanh bằng không).

Hướng dẫn:

Thanh kim loại chuyển động sang phải cắt các đường sức từ. Do diện tích tăng lên nên từ thông qua mặt phẳng tạo bởi thanh kim loại và hai thanh ray tăng lên. Xét một dịch chuyển nhỏ dx , độ biến thiên từ thông qua mặt dS là:



Hình 1-15

$$d\Phi = B\ell dx$$

Từ thông biến thiên làm trong thanh kim loại xuất hiện suất điện động cảm ứng E_c . Áp dụng định luật Lenz ta tìm được chiều của suất điện động cảm ứng trong thanh kim loại và chiều dòng điện cảm ứng như hình vẽ.

$$\text{Độ lớn suất điện động cảm ứng: } |E_c| = \left| -\frac{d\Phi}{dt} \right| = B\ell \frac{dx}{dt} = B\ell v$$

$$\text{Suy ra: } I = \frac{E_c}{R} = \frac{B \cdot \ell \cdot v}{R}$$

Dòng điện chạy trong thanh kim loại nằm trong từ trường nên chịu tác dụng của lực từ. Áp dụng qui tắc bàn tay trái ta tìm được lực từ \vec{F}_t hướng sang trái.

$$F_t = BI\ell = \frac{B^2 \ell^2 v}{R}$$

Ban đầu do $F > F_t$ nên thanh chuyển động nhanh dần. nhưng v tăng thì E_c tăng, dẫn tới lực từ F_t tăng lên. Đến khi $F_t = F$ thì thanh chuyển động đều. Lúc này tốc độ của thanh đạt giá trị giới hạn $v = v_{gh}$.

Vậy, biểu thức tính tốc độ giới hạn của thanh kim loại là:

$$v_{gh} = \frac{F \cdot R}{B^2 \ell^2}$$

CHƯƠNG 2

VẬT LIỆU ĐIỆN VÀ TỪ

A- MỤC ĐÍCH, YÊU CẦU

1. Hiểu được hiện tượng phân cực điện môi. Phân biệt được hai loại phân tử điện môi: phân tử tự phân cực và phân tử không tự phân cực.
2. Nắm được mối liên hệ giữa véc tơ phân cực điện môi \vec{P}_e và mật độ điện liên kết σ'
3. Tìm được điện trường tổng hợp trong chất điện môi đồng chất và đẳng hướng.
4. Nắm được hiệu ứng áp điện và ứng dụng của nó.
5. Nghiên cứu các tính chất của vật liệu từ và những ứng dụng của nó.
6. Nắm được các kiến thức về các loại vật liệu từ, các đại lượng đặc trưng cho sự từ hóa của vật liệu từ. Hiểu được các tính chất và ứng dụng của sắt từ.

B- HƯỚNG DẪN NỘI DUNG TRỌNG TÂM LÝ THUYẾT

1. Hiện tượng phân cực điện môi là gì. Nêu sự khác nhau giữa phân tử tự phân cực và phân tử không tự phân cực.
2. Giải thích sự phân cực của các chất điện môi đồng chất và đẳng hướng.
3. Định nghĩa véc tơ phân cực điện môi. Nêu mối liên hệ giữa \vec{P}_{en} và mật độ điện mặt liên kết σ_{lk} .
4. Trình bày các tính chất của điện môi sécnhét.
5. Trình bày hiệu ứng áp điện thuận, hiệu ứng áp điện nghịch và nêu những ứng dụng của chúng.

6. Hiện tượng từ hóa là gì? Phân biệt các loại vật liệu từ: thuận từ, nghịch từ, sắt từ.

7. Khái niệm mô men từ và mô men cơ của electron, tỉ số từ cơ quỹ đạo của electron.

8. Khái niệm mô men cơ spin và mô men từ spin của electron, tỉ số từ cơ spin của electron.

9. Trình bày hiệu ứng thuận từ và hiệu ứng nghịch từ. Vì sao hiệu ứng nghịch từ được coi là một tính chất từ của nguyên tử. Hiệu ứng nghịch từ có xảy ra đối với chất thuận từ không? Nêu cấp độ lớn của cảm ứng từ χ_m của chất thuận từ và nghịch từ. Độ từ thẩm tương đối của môi trường có đặc điểm và ý nghĩa gì.

10. Định nghĩa véc tơ từ hóa \vec{J} . Thiết lập biểu thức từ trường tổng hợp trong vật liệu từ khi đặt vào trong từ trường ngoài \vec{B}_0 .

11. Khái niệm chất sắt từ. Các tính chất của sắt từ.

12. Vẽ và phân tích chu trình từ trễ.

13. Nêu tính chất của sắt từ ở nhiệt độ Currie.

14. Dựa vào những đặc điểm gì để phân biệt sắt từ cứng và sắt từ mềm. Nêu những ứng dụng của chúng.

15. Trình bày hiện tượng từ giao. Nêu ứng dụng của hiện tượng này.

16. Nêu đặc điểm nổi bật của Ferrit so với sắt từ kim loại.

17. Trình bày thuyết miền từ hóa tự nhiên. Dựa vào thuyết miền từ hóa tự nhiên để giải thích các tính chất của sắt từ như: cảm ứng từ dư, nhiệt độ currie, sự từ hóa bão hòa, chu trình từ trễ. v.v...

C – TÓM TẮT NỘI DUNG

1 - SỰ PHÂN CỰC CỦA ĐIỆN MÔI

1.1. Hiện tượng phân cực điện môi

Hiện tượng xuất hiện các điện tích liên kết trên mặt của thanh điện môi khi thanh điện môi được đặt trong điện trường ngoài gọi là hiện tượng phân cực điện môi.

Các điện tích liên kết sẽ gây ra trong điện môi một điện trường phụ \vec{E}' ngược chiều với điện trường \vec{E}_0 . Do đó điện trường tổng hợp trong chất điện môi sẽ là:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$$

1.2. Phân tử tự phân cực và phân tử không tự phân cực

a. Phân tử tự phân cực

Là loại phân tử có các electron phân bố không đối xứng quanh các hạt nhân. Do đó ngay cả khi không có điện trường ngoài \vec{E}_0 , các “trọng tâm” điện tích dương và các “trọng tâm” điện tích âm đã cách nhau một khoảng l . Mỗi phân tử được coi như một lưỡng cực điện có mô men lưỡng cực điện \vec{p}_e khác không.

b. Phân tử không tự phân cực

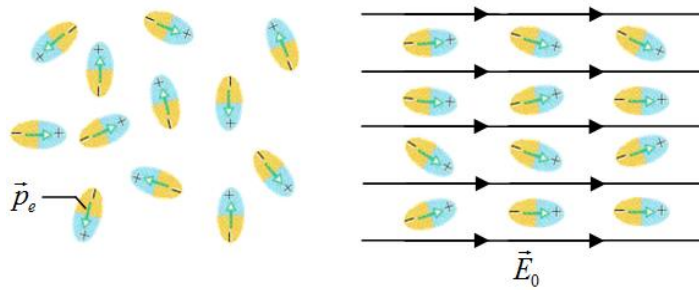
Là loại phân tử có các electron phân bố đối xứng quanh các hạt nhân. Do đó khi không có điện trường ngoài \vec{E}_0 thì các “trọng tâm” điện tích dương và “trọng tâm” điện tích âm trùng nhau: $l = 0$.

1.3. Sự phân cực điện môi

a. Sự phân cực của điện môi tạo bởi các phân tử tự phân cực

Xét một khối điện môi chứa một số lớn các phân tử tự phân cực. Khi không có điện trường ngoài \vec{E}_0 , các véc tơ mô men lưỡng cực điện phân tử \vec{p}_e sắp xếp hỗn loạn do tác dụng của chuyển động nhiệt do đó tổng các véc tơ mô men lưỡng cực phân tử trong khối điện môi bằng không. Khi đặt trong điện trường ngoài \vec{E}_0 , các véc tơ mô men lưỡng cực điện \vec{p}_e có xu hướng quay theo hướng của \vec{E}_0 , nhưng vẫn bị cản trở bởi chuyển động nhiệt

hỗn loạn. Nếu điện trường ngoài càng mạnh, nhiệt độ môi trường càng thấp thì sự định hướng của \vec{p}_e theo \vec{E}_0 càng rõ rệt. Nếu \vec{E}_0 đủ mạnh, các \vec{p}_e có thể nằm song song theo hướng của \vec{E}_0 . Trong lòng khối điện môi, các điện tích dương và âm của từng cặp véc tơ mô men lưỡng cực phân tử nằm tiếp giáp nhau sẽ trung hoà nhau nên bên trong khối điện môi không xuất hiện điện tích. Tại các mặt giới hạn của khối điện môi mà hướng của \vec{E}_0 đi vào sẽ xuất hiện điện tích âm. Còn tại mặt giới hạn mà hướng của \vec{E}_0 đi ra xuất hiện điện tích dương. Chúng không phải là các điện tích tự do như trong vật dẫn, mà là các điện tích liên kết. Khối điện môi đã bị phân cực do sự định hướng của các \vec{p}_e trong điện trường ngoài. Sự phân cực này gọi là *sự phân cực định hướng* (hình 7-1).



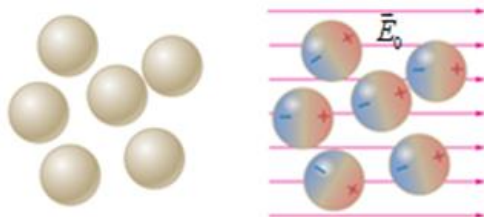
Hình 7-1

b. Sự phân cực của điện môi tạo bởi các phân tử không tự phân cực

Khi không có điện trường ngoài, các véc tơ mô men lưỡng cực điện \vec{p}_e của từng phân tử bằng không do các “trọng tâm” điện tích dương và điện tích âm trùng nhau. Khi đặt trong điện trường ngoài, lớp vỏ electron bị biến dạng: các “trọng tâm” $+q$ bị điện trường ngoài đẩy theo chiều \vec{E}_0 , các “trọng tâm” $-q$ bị hút ngược chiều \vec{E}_0 . Phân tử điện môi bây giờ trở thành một lưỡng cực điện có véc tơ mô men lưỡng cực điện \vec{p}_e nằm định hướng theo hướng của điện trường ngoài \vec{E}_0 . Kết quả trên các mặt giới hạn của khối

điện môi xuất hiện các điện tích liên kết trái dấu. Chất điện môi đã bị phân cực.

Điện trường càng mạnh thì khoảng cách l giữa các “trọng tâm” $+q$ và $-q$ trong phân tử càng lớn, \vec{p}_e càng lớn. \vec{E}_0 nhỏ lại thì \vec{p}_e cũng nhỏ lại theo, vì vậy



các phân tử này được gọi là các lưỡng

cực đàn hồi. Chuyển động nhiệt không ảnh hưởng tới sự biến dạng của lớp vỏ electron, tức là không ảnh hưởng tới sự biến dạng của lớp vỏ electron.

Quá trình phân cực của loại điện môi này là quá trình làm biến dạng lớn lớp vỏ electron vì vậy được gọi là *sự phân cực electron* (hay phân cực do biến dạng).

c. *Sự phân cực của điện môi tinh thể*

Một số điện môi tinh thể có mạng ion lập phương như NaCl, CaCl... có các mạng ion dương và âm đan xen vào nhau. Dưới tác dụng của điện trường ngoài, tất cả các ion dương của mạng sẽ dịch chuyển theo chiều của điện trường, còn các ion âm của mạng sẽ dịch chuyển theo chiều ngược lại. Kết quả khối điện môi bị phân cực. Quá trình phân cực này gọi là *phân cực ion*.

Đối với cả ba loại điện môi xét trên, khi bỏ điện trường ngoài đi thì sự phân cực điện môi cũng mất ngay.

2 - VÉC TƠ PHÂN CỰC ĐIỆN MÔI

2.1. Định nghĩa

Véc tơ phân cực điện môi \vec{P}_e tại một vị trí nào đó là một đại lượng vật lý được đo bằng tổng các véc tơ mô men lưỡng cực điện \vec{p}_e của các phân tử có trong một đơn vị thể tích khối điện môi.

Biểu thức:
$$\vec{P}_e = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{p}_{ei}}{\Delta V}$$

trong đó ΔV là thể tích khối điện môi.

Đơn vị: culông trên mét vuông (C/m^2).

2.2. Độ cảm điện môi và hằng số điện môi

Thực nghiệm và lí thuyết: $\vec{P}_e = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}$

Độ cảm điện môi $\chi_e = n_0 \alpha$

Ý nghĩa: χ_e chính là đại lượng đặc trưng cho *khả năng phân cực* của chất điện môi.

Trong kỹ thuật người ta ít dùng χ_e mà hay dùng một đại lượng lớn hơn χ_e một đơn vị, gọi là hằng số điện môi ϵ :

$$\epsilon = \chi_e + 1$$

Như vậy hằng số điện môi ϵ đặc trưng cho khả năng phân cực của điện môi.

2.3. Liên hệ giữa \vec{P}_e và mật độ điện mặt liên kết σ_{lk}

Biểu thức: $\sigma_{lk} = \vec{P}_e \cdot \vec{n} = P_e \cos \alpha = P_{en}$

trong đó $P_{en} = P_e \cos \alpha$ là hình chiếu của \vec{P}_e trên phương véc tơ pháp tuyến \vec{n} của mặt tại điểm ta xét

Nhận xét:

- Tại những điểm có $\vec{n} \perp \vec{P}_e$ thì $\sigma_{lk} = 0$.
- Điện tích liên kết mặt lớn nhất ở những mặt vuông góc với \vec{E}_0 (tại đó \vec{n} cùng phương \vec{E}_0 , do đó $\cos \alpha = \pm 1$ nên $\sigma_{lk} = \pm P_e$).

Đơn vị của P_e là culông trên mét vuông ($\frac{C}{m^2}$).

3 - ĐIỆN TRƯỜNG TỔNG HỢP TRONG CHẤT ĐIỆN MÔI

3.1. Cường độ điện trường tổng hợp \vec{E} trong chất điện môi

Biểu thức:
$$E = \frac{E_0}{1 + \chi_e} = \frac{E_0}{\varepsilon}$$

Với $\varepsilon = 1 + \chi_e$ được gọi là hằng số điện môi

Phát biểu: *Cường độ điện trường tổng hợp trong chất điện môi đồng chất và đẳng hướng giảm đi lần so với trong chân không.*

3.2. Véc tơ điện cảm \vec{D} trong chất điện môi

Biểu thức:
$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}_e$$

Trường hợp chất điện môi đồng nhất và đẳng hướng đồng thời điện trường \vec{E} không quá lớn
$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$$

4 - ĐIỆN MÔI SÉCNHÉT, HIỆU ỨNG ÁP ĐIỆN

4.1. Điện môi Sécnhét

Vào khoảng những năm 1930 - 1934, hai viện sĩ Cuôsatôv và Côbiêcô đã tìm thấy một hợp chất có công thức $\text{NaK}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (bictatrat K, Na ngâm nước) và chất titanat bari BaTiO_3 có những tính chất rất đặc biệt. Sau đó người ta còn tìm được một số hợp chất khác cũng có những tính chất đặc biệt tương tự. Các chất này được gọi chung là muối sécnhét hay điện môi sécnhét. Chúng có những tính chất sau:

- Hằng số ε của sécnhét có giá trị lớn, phụ thuộc vào nhiệt độ.*
- Hằng số ε của sécnhét còn phụ thuộc phức tạp vào điện trường E trong điện môi*
- Véc tơ phân cực \vec{P}_e của điện môi sécnhét không phụ thuộc bậc nhất vào điện trường*
- Vectơ phân cực \vec{P}_e của điện môi sécnhét còn phụ thuộc vào trạng thái phân cực trước đó của điện môi*

e. Nhiệt độ Curie:

Khi nhiệt độ điện môi đạt quá một giá trị T_C nào đó (gọi là nhiệt độ Curie) thì điện môi sẽ mất hết các tính chất đặc biệt trên và trở thành điện môi phân cực bình thường. Nhiệt độ T_C của một số điện môi sẽ mất tính chất đặc biệt: Titanat bari có $T_C = 133^\circ\text{C}$, niobat liti (LiNbO_3) có $T_C = 1210^\circ\text{C}$.

4.2. Hiệu ứng áp điện

a. Hiệu ứng áp điện thuận

Định nghĩa: là hiệu ứng chỉ cần làm biến dạng theo những phương đặc biệt thì các tinh thể (tuamalin, muối sắt, đường titanat bari, đặc biệt là thạch anh) cũng bị phân cực

b. Hiệu ứng áp điện nghịch

Định nghĩa: Nếu ta lại thiết lập một hiệu điện thế giữa hai tấm kim loại gắn ở hai mặt của bản thạch anh thì bản thạch anh sẽ bị nén hoặc giãn.

5 – PHÂN LOẠI CÁC VẬT LIỆU TỪ

Tất cả các chất khi đặt vào trong một từ trường ngoài \vec{B}_0 thì bên trong chúng đều xuất hiện một từ trường phụ \vec{B}' gây bởi chính các chất đó, nghĩa là đã có một quá trình từ hóa xảy ra ở trong chúng.

Vậy: Từ hóa là hiện tượng xuất hiện từ trường phụ \vec{B}' trong các chất, khi đặt nó vào trong một từ trường ngoài \vec{B}_0 (ta nói các chất bị nhiễm từ).

Trong môi trường chất lúc này tồn tại hai từ trường: từ trường ngoài \vec{B}_0 và từ trường phụ \vec{B}' . Cảm ứng từ \vec{B} tổng hợp tại một điểm trong môi trường là:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$$

Tùy theo mức độ, bản chất và sự tương tác của các chất với môi trường ngoài, người ta chia ra làm 3 loại vật liệu từ: sắt từ, thuận từ, nghịch từ.

Chất sắt từ	Chất thuận từ	Chất nghịch từ
$\vec{B'} \uparrow\uparrow \vec{B_0}$	$\vec{B'} \uparrow\uparrow \vec{B_0}$	$\vec{B'} \uparrow\downarrow \vec{B_0}$
<i>B' rất lớn so với B₀ (B' >> B₀)</i>	<i>B' nhỏ hơn B₀ rất nhiều (B' << B₀)</i>	<i>B' rất nhỏ so với B₀ (B' << B₀)</i>
<i>VD: Fe; Ni; Co, một số hợp kim....</i>	<i>VD: platin; Al; tất cả các kim loại kiềm và kiềm thổ, Oxy...</i>	<i>VD: tất cả các chất khí trừ Oxy, Au, Cu, Ag...</i>

6 – TÍNH CHẤT TỪ CỦA NGUYÊN TỬ

6.1. Mô men từ của nguyên tử

Mômen từ \vec{P}_m của nguyên tử bằng tổng các mômen từ quỹ đạo và mômen từ spin của tất cả các electron trong nguyên tử:

$$\vec{P}_m = \sum (\vec{p}_{mqđ} + \vec{p}_{ms})$$

Mômen động lượng của nguyên tử bằng tổng các mô men cơ quỹ đạo và mômen cơ spin của các electron trong nguyên tử:

$$\vec{L} = \sum (\vec{\ell} + \vec{\ell}_s)$$

Như vậy mỗi nguyên tử có một mômen từ \vec{P}_m xác định (do các hạt mang điện) và một mômen cơ \vec{L} xác định (do các hạt có khối lượng). Hai đại lượng này có quan hệ tỉ lệ thuận: $\vec{P}_m \sim \vec{L}$ theo biểu thức sau:

$$\left| \frac{\vec{P}_m}{\vec{L}} \right| \sim \frac{e}{2m} = g = \text{const}$$

Ta suy ra: *khi mô men động lượng biến thiên một lượng $\overline{\Delta L}$ thì mô men từ cũng biến thiên một lượng tương ứng:*

$$\overrightarrow{\Delta p_m} \sim -g \cdot \overrightarrow{\Delta L}$$

Tính chất này được ứng dụng để giải thích hiệu ứng nghịch từ.

6.2. Hiệu ứng nghịch từ

Khi đặt nguyên tử trong từ trường ngoài \vec{B}_0 thì trong nguyên tử sẽ xuất hiện một mômen từ phụ $\overrightarrow{\Delta p_m}$ luôn luôn ngược chiều \vec{B}_0 .

Hiệu ứng nghịch từ là một tính chất từ của nguyên tử, nó xuất hiện trong cả chất nghịch từ và chất thuận từ.

6.3. Hiệu ứng thuận từ

Bình thường, do chuyển động nhiệt nên các mômen từ của các nguyên tử sắp xếp hỗn loạn. Khi các nguyên tử đặt trong từ trường ngoài \vec{B}_0 , mômen lực từ \vec{M} có xu hướng xoay cho các \vec{P}_m cùng chiều \vec{B}_0 .

Vậy: *Hiện tượng các mômen từ của nguyên tử bị lực từ của từ trường ngoài xoay cho thuận chiều \vec{B}_0 gọi là hiệu ứng thuận từ.*

7 – TỪ TRƯỜNG TỔNG HỢP TRONG CHẤT TỪ MÔI

7.1. Chất nghịch từ và chất thuận từ

a. Chất nghịch từ

Chất nghịch từ là những chất có cấu tạo đối xứng, sao cho mô men từ của nguyên tử hay phân tử của chúng bằng không ($\vec{P}_m = 0$)

Khi đặt trong từ trường ngoài, khối nghịch từ có mômen từ phụ tổng cộng $\sum \vec{P}_m$ khác không, tương ứng với sự xuất hiện một từ trường phụ \vec{B}' ngược chiều với \vec{B}_0 .

b. Chất thuận từ

Chất thuận từ có mô men từ nguyên tử hay phân tử khác không ($\vec{P}_m \neq 0$). Thí dụ: Ôxi, nhôm, đất hiếm, kim loại kiềm ...

Bình thường do chuyển động nhiệt, các mô men từ sắp xếp hỗn loạn nên $\sum \vec{P}_m$ trong thể tích khối thuận từ luôn bị triệt tiêu.

Khi đặt trong từ trường ngoài thì tổng mômen từ $\sum \vec{P}_m$ của khối thuận từ sẽ khác không và có cùng chiều với \vec{B}_0 , tương đương với sự xuất hiện một từ trường phụ \vec{B}' cùng chiều với \vec{B}_0 .

7.2. Véc tơ từ hóa và độ cảm từ

a. Véc tơ từ hóa

Véc tơ từ hóa $\vec{J} = (\text{Tổng các mô men từ của khối vật liệu từ}) / (\text{Thể tích khối vật liệu từ } \Delta V)$

$$\vec{J} = \frac{\sum \vec{P}_m}{\Delta V}$$

Hay: *véc tơ từ hóa bằng tổng mô men từ của một đơn vị thể tích vật liệu từ.*

Đơn vị của \vec{J} là: $\frac{\text{ampe}}{\text{mét}}$ (A/m)

b. Độ tự cảm từ

Lý thuyết và thực nghiệm chứng tỏ, nếu vật liệu từ là đồng nhất và chiếm toàn bộ không gian có từ trường ngoài \vec{B}_0 thì véc tơ từ hóa \vec{J} tỉ lệ thuận với \vec{B}_0 như sau:

$$\vec{J} = \frac{\chi_m}{\mu_0} \vec{B}_0$$

Hay $\vec{J} = \chi_m \cdot \vec{H}_0$ (Do $\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}_0$)

Hệ số tỉ lệ χ_m được gọi là *độ cảm từ*. χ_m là đại lượng không thứ nguyên.

Các chất thuận từ có \vec{J} cùng chiều \vec{H}_0 nên $\chi_m > 0$.

Các chất nghịch từ có \vec{J} ngược chiều \vec{H}_0 nên $\chi_m < 0$.

7.3. Từ trường tổng hợp trong vật liệu từ

Khi đặt vật liệu từ vào từ trường ngoài \vec{B}_0 , từ trường tổng hợp trong vật liệu từ là:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$$

$$\text{Do: } \vec{J} = \frac{\vec{B}'}{\mu_0} \quad \text{Nên: } \vec{B}' = \chi_m \cdot \vec{B}_0$$

$$\text{Suy ra: } \vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' = (1 + \chi_m) \vec{B}_0$$

$$\vec{B} = \mu \vec{B}_0 = \mu_0 \mu \vec{H}$$

Trong đó μ được gọi là độ từ thẩm tương đối của vật liệu từ. Cũng giống như χ_m , μ là đại lượng không thứ nguyên.

Đối với chất thuận từ: do $\chi_m > 0$ nên $\mu > 1$; đối với chất nghịch từ $\chi_m < 0$ nên $\mu < 1$.

8 - SẮT TỪ

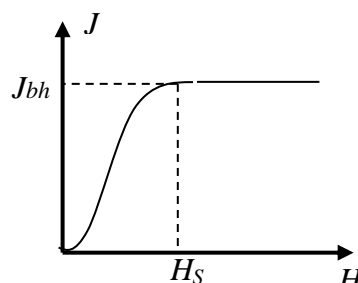
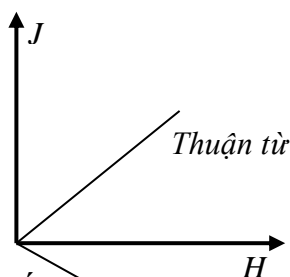
8.1. Khái niệm

Sắt từ là những chất có độ từ thẩm μ rất lớn.

VD: Fe, Ni, Co, Fe-Ni.....

8.2. Các tính chất của sắt từ

a- Độ từ hóa J của sắt từ không tỉ lệ tuyến tính với cường độ từ trường H.



Nếu ở chất thuận từ, sự phụ thuộc của J vào H là tuyến tính (hình 2-5a) thì J tăng theo H một cách tuyến tính. Đường cong phụ thuộc J của sắt từ vào H được gọi là *đường cong từ hóa cơ bản* (hình 2-5b).

Từ hình 2-5b ta thấy: Nếu khối sắt từ chưa bị từ hóa thì khi $H = 0$, độ từ hóa J cũng bằng 0. Khi H còn nhỏ, J tăng theo H , nhưng sau đó J tăng chậm lại. Khi từ trường H tăng đến một giá trị nào đó thì J đạt giá trị cực đại. Lúc này nếu tiếp tục tăng H , J cũng không tăng nữa. Sự từ hóa đã đạt tới bão hòa.

b- Sự phụ thuộc của B vào H là phức tạp.

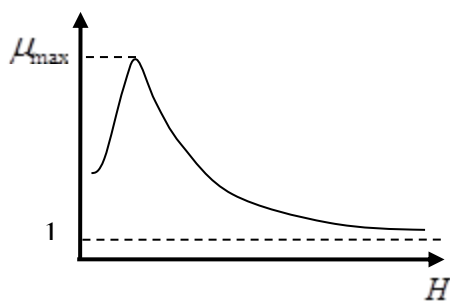
Đối với sắt từ \vec{B} cùng chiều \vec{B}_0 , nên về độ lớn:

$$B = B_0 + B' = \mu_0 H + \mu_0 J$$

Ta nhận thấy: khi J đạt giá trị cực đại thì B tăng tuyến tính với H .

c- Độ từ thẩm μ của sắt từ phụ thuộc vào từ trường ngoài.

Khi H còn nhỏ, nếu tăng H từ giá trị 0 thì độ từ thẩm μ tăng nhanh theo H . Sau đó μ tăng theo H đến giá trị cực đại μ_{\max} . Nếu tiếp tục tăng H thì μ sẽ giảm dần và khi từ trường ngoài H khá lớn thì μ tiến dần về đến đơn vị.



Hình 2-7

Thực vậy: Từ biểu thức: $B = \mu B_0$ ta rút ra:

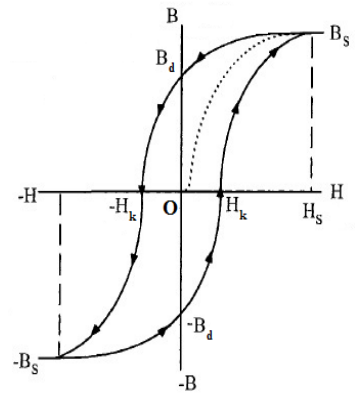
$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{\mu_0 (H + J)}{\mu_0 H} = 1 + \mu_0 \frac{J}{B_0}$$

Khi H khá lớn J đạt tới giá trị bão hòa không đổi, thì khi H tăng nữa, tỉ số $\frac{J}{H}$ sẽ tiến tới không và μ tiến tới 1.

d- Chất sắt từ có tính từ dư.

Đây là đặc tính khác biệt, nổi bật của sắt từ. Đó là sau khi bỏ từ trường ngoài đi, sắt từ vẫn còn từ tính, nghĩa là vẫn còn độ từ dư.

Đường cong khép kín ($B_s B_d - H_K - B_s - B_d H_K B_s$) gọi là *chu trình từ trễ* tương ứng với một chu trình từ hóa lõi sắt từ. Hiện tượng từ trễ là một tính chất điển hình của các vật liệu sắt từ. Nó nói lên sự từ hóa của các chất sắt từ không những phụ thuộc vào cường độ từ trường từ hóa tại một thời điểm nào đó, mà còn phụ thuộc vào sự từ hóa trước đó của chất sắt từ.



Hình 2-8. Chu trình từ trễ của mẫu sắt từ.

e- Nhiệt độ Curie

Thực nghiệm chứng tỏ khi nung nóng khối sắt từ thì cảm ứng từ dư của nó giảm. Nhiệt độ tới một giá trị T_c nào đó thì tính từ dư mất hẳn. Nhiệt độ đó gọi là nhiệt độ Curie hay điểm Curie. Nếu nhiệt độ cao hơn nhiệt độ Curie thì sắt từ trở thành chất thuận từ.

f- Hiện tượng từ giảo

Khi bị từ hóa thì kích thước và hình dạng khối sắt từ bị thay đổi. Đó là hiện tượng từ giảo.

Người ta cũng phát hiện thấy hiện tượng từ giảo nghịch: khi khối sắt từ chịu một biến dạng cơ học thì trạng thái từ hóa của vật sẽ thay đổi.

Hiệu ứng từ giảo được ứng dụng để đo siêu âm. Ngoài ra còn được ứng dụng để chế tạo các thiết bị role, bộ rung, bộ lọc, thiết bị ổn định. v.v. Các thiết bị này có độ chính xác cao và được dùng trong các sơ đồ kiểm tra tự động và điều chỉnh.

g- Ferrit

Ferrit có điện trở suất rất lớn và độ bền rất cao. Đó là các chất bán dẫn sắt từ - hợp chất hóa học của oxit sắt Fe_2O_3 , oxit của một hoặc vài kim loại hóa trị hai như Li, Zn, Cu, Ni, Co, Mn. v.v...

Các ferrit có nhiều ứng dụng trong vô tuyến định vị, thông tin đa đường, máy tính điện tử cực nhanh.

Phân loại sắt từ:

Tùy theo các đặc điểm và hình dạng của chu trình từ trễ (B_d và H_K) người ta phân biệt hai loại sắt từ: sắt từ cứng và sắt từ mềm.

Sắt từ cứng là các vật liệu từ có từ trường khử H_K lớn, chu trình từ trễ rộng, cảm ứng từ dư tương đối cao và bền vững nên hay được dùng làm nam châm vĩnh cửu. Nam châm này có thể giữ được từ tính mạnh trong thời gian lâu dài.

Sắt từ mềm có từ trường khử từ H_K nhỏ, chu trình từ trễ hẹp. Cảm ứng từ dư của loại này rất lớn nhưng lại dễ khử, nên hay được dùng để chế tạo các nam châm điện, máy điện, mô tơ điện, dùng trong ổ nhớ của máy tính...

Thuộc về sắt từ cứng có manhetit (FeO , Fe_2O_3), thép thường, thép crôm, thép vonfram, thép côban, tungsten...

Thuộc về sắt từ mềm có: sắt tinh khiết, sắt non, sắt silic...

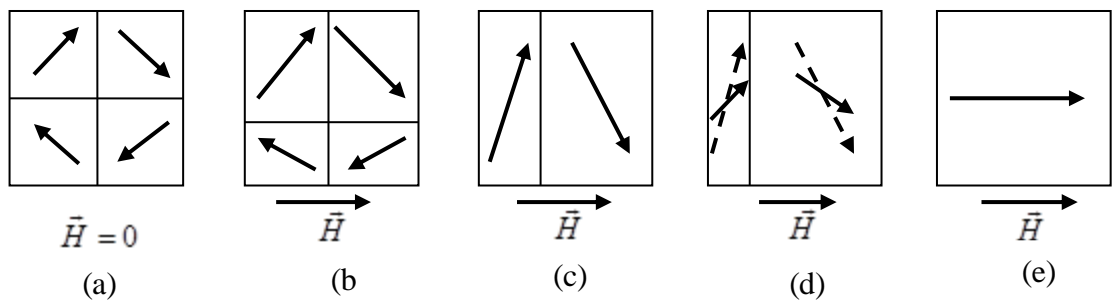
8.3. Sơ lược lí thuyết miền từ hóa tự nhiên.

a. Nội dung

Theo Vaix, chất sắt từ được cấu tạo bằng vô số các miền nhỏ có kích thước dài khoảng từ $10^{-2} \div 10^{-3}(m)$ đã tự từ hóa đến bão hòa. Trong các miền này, sự từ hóa không phải do các mômen từ của nguyên tử được quyết định như đối với các chất thuận từ và nghịch từ mà là do các mômen từ spin của các electron quyết định.

b. Giải thích các tính chất của sắt từ

Giả sử khối sắt từ có cấu trúc miền như hình (2-10) được đặt trong từ trường ngoài. Khi chưa có từ trường ngoài, độ từ hóa tổng hợp của các mômen từ spin của các electron trong khối sắt từ bằng không, khối sắt từ chưa có từ tính.

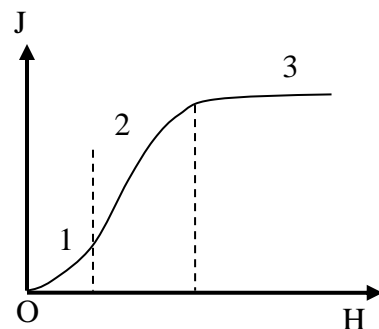


Hình 2-10

Khi tăng dần từ trường, quá trình từ hóa của sắt từ được chia làm 2 giai đoạn:

- Giai đoạn 1: Giai đoạn dịch chuyển ranh giới giữa các miền khi từ trường ngoài H còn nhỏ, miền nào có mômen từ spin (được biểu diễn bằng mũi tên) lập với \vec{H} một góc tù thì bị thu hẹp lại (hình 2-10b)

Như vậy, mô men từ spin tổng hợp của khối sắt từ khác không. Độ từ hóa J của khối sắt từ tăng chậm theo H thể hiện trên đoạn 1 của đường cong từ hóa



Hình 2-11. Đường cong từ hóa của mẫu sắt từ. Đoạn (3) ứng với độ từ hóa J đạt giá trị cực đại.

trên hình (2-11).

Tiếp tục tăng H , các miền thuận lợi về năng lượng (năng lượng nhỏ) sẽ được mở rộng ra cho đến khi các miền không thuận lợi về năng lượng không còn nữa; J tăng nhanh theo H (đoạn 2).

- Giai đoạn 2: Giai đoạn quay mômen từ spin mỗi miền theo hướng của \vec{H} . Tiếp tục tăng H , mômen từ spin của toàn khối sắt từ quay theo hướng của \vec{H} (hình 2-10d), tới khi H đủ mạnh các mômen từ của khối sắt từ đều song song với \vec{H} thì sự từ hóa đạt tới trạng thái bão hòa. Lúc này, độ từ hóa J đạt giá trị cực đại (đoạn trên đường cong từ hóa hình 2- 11).

Khi giảm từ trường ngoài, do lực cản trở giữa các miền nên mức độ trật tự giữa các miền giảm chậm. Khi bỏ trường ngoài đi ($H = 0$), mômen từ spin và do đó vectơ từ hóa \vec{J} vẫn giữ lại sự định hướng nào đó mà không trở lại trạng thái hỗn độn như lúc đầu. Đó chính là nguyên nhân của tính từ dư của sắt từ.

D - BÀI TẬP CHƯƠNG 2

Bài tập 1. Có hai mặt phẳng song song vô hạn mang điện trái dấu có mật độ điện mặt bằng nhau. Người ta lấp đầy giữa hai mặt phẳng đó một lớp thủy tinh dày 3 mm ($\epsilon = 7$). Hiệu điện thế giữa hai mặt phẳng trên là 1000 V. Xác định mật độ điện mặt liên kết ở trên mặt chất điện môi.

Hướng dẫn giải:

Ta có

$$\sigma_{lk} = P_n = D_n - \epsilon_0 E_n$$

Vì hai mặt phẳng mang điện rộng vô hạn và mật độ điện đều nên các véc tơ \vec{D} và \vec{E} đều vuông góc với hai mặt phẳng. Ta có:

$$D_n = D, E_n = E \Rightarrow \sigma_{lk} = D - \epsilon_0 E$$

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

$$\sigma_{lk} = \varepsilon_0 (\varepsilon - 1) E = \varepsilon_0 (\varepsilon - 1) \frac{U}{d} = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6 \cdot \frac{1000}{3 \cdot 10^{-3}} = 1,77 \cdot 10^{-5} \text{ C/m}^2$$

Bài tập 2. Hai bản tụ của một tụ điện phẳng cách nhau một đoạn $d = 1 \text{ cm}$. Hiệu thế U giữa hai bản bằng 300 V . Khoảng không gian giữa hai bản tụ được lấp đầy bằng một bản thủy tinh có $\varepsilon = 6$, dày $d_1 = 0,5 \text{ cm}$ và một bản parafin có $\varepsilon = 2$, dày $d_2 = 0,5 \text{ cm}$. Tìm:

- Cường độ điện trường trong mỗi lớp điện môi.
- Hiệu điện thế giữa hai mặt của mỗi lớp.
- Điện dung của tụ điện, cho biết diện tích của mỗi bản tụ là $S = 100 \text{ cm}^2$.
- Mật độ điện tích trên mỗi bản tụ.

Hướng dẫn giải:

Gọi $E_1, U_1, \varepsilon_1, d_1$ và $E_2, U_2, \varepsilon_2, d_2$ là điện trường, hiệu điện thế giữa hai mặt của lớp điện môi, hằng số điện môi và bề dày của các lớp. Ta có: $\varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_2 E_2$ và $E_1 d_1 + E_2 d_2 = U$. Từ các biểu thức này ta rút ra:

$$\text{a. } E_1 = \frac{\varepsilon_2 U}{\varepsilon_1 d_2 + \varepsilon_2 d_1} = 1,5 \cdot 10^4 \text{ V/m}; E_2 = \frac{\varepsilon_1 E_1}{\varepsilon_2} = 4,5 \cdot 10^4 \text{ V/m}$$

$$\text{b. } U_1 = 75 \text{ V}; U_2 = 225 \text{ V}$$

$$\text{c. Điện dung } C \text{ của hệ là: } C = C_1 C_2 / (C_1 + C_2) \text{ với } C_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_1 S / d_1, C_2 = \varepsilon_0 \varepsilon_2 S / d_2$$

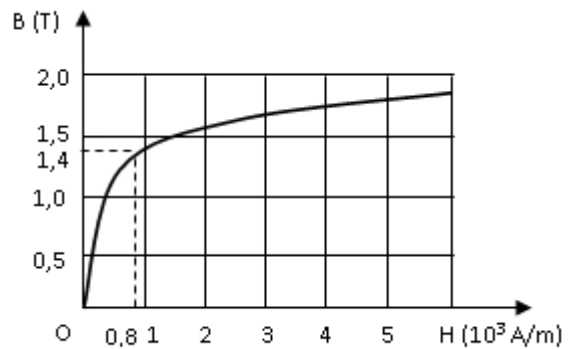
$$\text{Vậy : } C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 \varepsilon_2 S}{\varepsilon_2 d_1 + \varepsilon_1 d_2} = 2,66 \cdot 10^{-11} \text{ F}$$

$$\text{d. Điện tích trên mỗi bản tụ bằng: } q = \sigma S = C_1 U_1 = C_2 U_2 = CU. \text{ Do đó:}$$

$$\sigma = \frac{CU}{S} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}^2$$

Bài 3: Một ống dây hình trụ thẳng có lõi sắt gồm $N = 500$ vòng, tiết diện ngang của ống $S = 20\text{cm}^2$, hệ số tự cảm của ống $L = 0,28H$, dòng điện chạy qua ống $I = 5A$. Tìm:

- Độ từ thẩm của lõi sắt
- Mật độ năng lượng từ trường trong ống dây.



Đường cong từ hoá $B = f(H)$ được cho trên hình vẽ.

Hướng dẫn:

- Từ công thức $\Phi = NBS = LI$, ta tìm được:

$$B = \frac{LI}{NS} = 1,4\text{ T}$$

Từ đồ thị $B = f(H)$, ta tìm được $B = 1,4(T)$ ứng với $H = 0,8 \cdot 10^3 (A/m)$

Vậy độ từ thẩm của lõi sắt bằng:

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

- Mật độ năng lượng từ trường trong ống dây:

$$\omega = \frac{1}{2} B \cdot H = \frac{1}{2} 1,4 \cdot 0,8 \cdot 10^3 = 5,6 \cdot 10^4 (J/m^3)$$

Bài 4: Người ta quấn $N = 200$ vòng dây quanh một ống dây hình trụ thẳng dài $\ell = 50\text{cm}$. Tiết diện của ống là $S = 10\text{cm}^2$. Cho một dòng điện là $I = 5A$ chạy qua. Trong ống dây có lõi sắt với độ từ thẩm μ . Tìm:

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

Cho biết từ thông gửi qua tiết diện thẳng của ống dây bằng $\Phi_0 = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$

Hướng dẫn:

Ta có: $\Phi_0 = BS$

Trong đó Φ_0 là từ thông gửi qua tiết diện ngang của ống, không phải từ thông gửi qua cả ống dây.

Cảm ứng từ: $B = \mu_0 \mu \frac{N}{\ell} I$

Vậy ta được: $\mu = \frac{\Phi_0 \ell}{\mu_0 S N I} = 640$

Hệ số tự cảm của ống dây bằng:

$$L = \mu \mu_0 \frac{N^2 S}{\ell} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 640 \cdot (200)^2 \cdot 10 \cdot 10^{-4}}{0,5} \approx 6,4 \cdot 10^{-2} (H)$$

Bài 5: Một ống dây hình xuyên có tiết diện đủ nhỏ (kích thước của lõi rất nhỏ so với bán kính trung bình của vòng xuyên) gồm $N = 500$ vòng dây cuốn trên lõi sắt. Bán kính trung bình của vòng xuyên là $r = 8\text{cm}$. Cường độ dòng điện chạy trong dây dẫn là $I = 0,5\text{A}$. Cảm ứng từ bên trong vòng xuyên $B = 1,07 \text{ T}$. Tìm:

- Cường độ từ trường H bên trong vòng xuyên.
- Độ từ thẩm μ của lõi sắt.
- Độ từ hóa J của lõi sắt.

Hướng dẫn:

a. Cường độ từ trường bên trong vòng xuyên: $H = \frac{NI}{\ell}$

trong đó ℓ là chu vi vòng xuyên. Ta có:

$$H = \frac{NI}{\ell} = \frac{NI}{2\pi r} = \frac{500 \cdot 0,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 10^{-2}} = 500 (A/m)$$

b. Độ từ thẩm:
$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{1,07}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 500} = 1700$$

c. Độ từ hóa:
$$J = \frac{B}{\mu_0} - H = \frac{1,07}{4\pi \cdot 10^{-7}} - 500 = 0,85 \cdot 10^6 \text{ (A/m)}$$

CHƯƠNG 3

ĐIỆN TỪ TRƯỜNG

A - MỤC ĐÍCH, YÊU CẦU

1. Nghiên cứu các luận điểm của Maxwell, khái niệm trường điện từ và hệ phương trình Maxwell.

2. Nắm được nội dung, biểu thức toán học của các luận điểm Maxwell; ý nghĩa của hệ phương trình Maxwell; nắm được khái niệm trường điện từ và biểu thức năng lượng của trường điện từ.

B – CÂU HỎI ÔN TẬP NỘI DUNG TRỌNG TÂM LÝ THUYẾT

1. Phát biểu luận điểm thứ nhất của Maxwell. Phân biệt sự khác nhau giữa trường tĩnh điện \vec{E} và điện trường xoáy \vec{E}^* .

2. Thành lập phương trình Maxwell-Faraday dạng tích phân. Nêu ý nghĩa của phương trình Maxwell-Faraday.

3. Phát biểu luận điểm thứ 2 của Maxwell. Viết biểu thức mật độ dòng điện dịch

4. Nêu ý nghĩa của dòng điện dịch. Nêu sự giống nhau và khác nhau giữa dòng điện dịch và dòng điện dẫn. Có thể có dòng điện dịch cũng như dòng điện dẫn trong một dây dẫn không? Giải thích?

5. Thành lập phương trình Maxwell-Ampère dạng tích phân. Nêu ý nghĩa của phương trình Maxwell-Ampère.

6. Hệ các cặp phương trình Maxwell. Nêu ý nghĩa của hệ phương trình Maxwell.

7. Khái niệm trường điện từ. Biểu thức tính mật độ năng lượng trường điện từ và biểu thức tính năng lượng trường điện từ trong thể tích V của miền không gian có trường điện từ.

C - TÓM TẮT NỘI DUNG

1 - LUẬN ĐIỂM MAXWELL THỨ NHẤT. ĐIỆN TRƯỜNG XOÁY

1.1. Phát biểu luận điểm

+ Phát biểu luận điểm: “Mọi từ trường biến thiên theo thời gian đều làm xuất hiện một điện trường xoáy”

+ So sánh điện trường tĩnh và điện trường xoáy:

Điện trường tĩnh \vec{E}	Điện trường xoáy \vec{E}^*
<ul style="list-style-type: none">+ Do điện tích đứng yên gây ra+ Đường sức không khép kín+ Tại mỗi điểm \vec{E} không đổi	<ul style="list-style-type: none">+ Do từ trường biến thiên theo thời gian sinh ra+ Đường sức là những đường cong khép kín, vây quanh các đường sức từ+ Tại mỗi điểm \vec{E}^* thay đổi theo thời gian

1.2. Phương trình Maxwell-Faraday (Biểu thức toán học của luận điểm I)

+ Phương trình Maxwell – Faraday dạng tích phân:

$$\int_{(L)} \vec{E}^* d\vec{\ell} = - \int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

+ Phương trình Maxwell – Faraday dạng vi phân: $\text{rot} \vec{E}^* = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

Phương trình Maxwell – Faraday cho ta mối quan hệ giữa cường độ điện trường xoáy \vec{E}^* và sự biến đổi theo thời gian của cảm ứng từ \vec{B} tại một điểm nào đó.

2 - LUẬN ĐIỂM MAXWELL THỨ HAI. DÒNG ĐIỆN DỊCH

2.1. Phát biểu luận điểm

Phát biểu luận điểm thứ hai của Maxwell: “Mọi điện trường biến thiên theo thời gian đều làm xuất hiện một từ trường biến thiên theo thời gian”.

So sánh	Dòng điện dẫn	Dòng điện dịch
Nguồn gốc	Là dòng chuyển dời có hướng của các hạt mang điện	Được sinh ra khi có điện trường biến thiên theo thời gian
Hiệu ứng Joule-Lenx	Gây toả nhiệt theo hiệu ứng Joule-Lenx	Không gây toả nhiệt
Chịu T/d từ trường ngoài	Không chịu tác dụng của từ trường ngoài	Có chịu tác dụng của từ trường ngoài
Giống nhau	Trong mạch điện xoay chiều dòng điện dẫn và dòng điện dịch cùng chiều, cùng độ lớn, đều tạo ra từ trường	

2.2. Biểu thức của mật độ dòng điện dịch \vec{J}_d

Biểu thức mật độ dòng điện dịch: $\vec{J}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

Cường độ dòng điện dịch qua diện tích S bất kì: $I_d = \int_S \vec{J}_d d\vec{S}$

2.3. Phương trình Maxwell-Ampère

a. Dòng điện toàn phần

Véc tơ mật độ dòng điện toàn phần của dòng điện này bằng tổng véc tơ mật độ dòng điện dịch và dòng điện dẫn:

$$\vec{J}_{tp} = \vec{J} + \vec{J}_d$$

Hay $\vec{J}_{tp} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

Biểu thức cường độ dòng điện toàn phần là:

$$I_{tp} = \int_S \vec{J}_{tp} \cdot d\vec{S} = \int_S (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot d\vec{S}$$

Trong đó S là diện tích tiết diện của dây dẫn có dòng điện chạy qua.

b. Phương trình Maxwell-Ampère

+ Phương trình Maxwell-Ampère dạng tích phân:

$$\int_{L \text{ kín}} \vec{H} d\vec{l} = \int_S (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot d\vec{S}$$

S là tiết diện thẳng của dây có chu vi là đường cong kín (L).

+ Phương trình Maxwell-Ampère dạng vi phân: $\text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

Phương trình Maxwell-Ampère biểu diễn mối liên hệ định lượng giữa cường độ từ trường H vào các dòng điện dẫn và dòng điện dịch gây ra từ trường đó.

3 - TRƯỜNG ĐIỆN TỪ VÀ HỆ PHƯƠNG TRÌNH MAXWELL

3.1. Trường điện từ

Từ trường biến thiên theo thời gian và điện trường biến thiên theo thời gian không tách biệt nhau mà thống nhất lại thành một trường điện từ.

Trường điện từ là một dạng đặc biệt của vật chất. Như mọi trường vật chất khác, trường điện từ cũng mang năng lượng. Mật độ năng lượng của trường điện từ bằng tổng mật độ năng lượng điện trường và mật độ năng lượng từ trường:

$$\omega = \omega_E + \omega_H = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0 \mu}$$

Do $\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$ và $\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$ nên ta được: $\omega = \frac{1}{2} \vec{D} \vec{E} + \frac{1}{2} \vec{B} \vec{H}$

Từ đó ta có biểu thức năng lượng trường điện từ W trong thể tích V của miền không gian có trường:

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

3.2. Hệ các cặp phương trình Maxwell

a. Cặp thứ nhất:

- Phương trình Maxwell-Faraday:

Dạng tích phân: $\int_{(L kín)} \vec{E}^* \cdot d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$

Dạng vi phân: $\text{rot} \vec{E}^* = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

- Phương trình của định lý O-G cho từ trường:

Dạng tích phân: $\int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$

Dạng vi phân: $\text{div} \vec{B} = 0$

Cặp phương trình này cho thấy: mọi từ trường biến thiên theo thời gian đều làm xuất hiện một điện trường xoáy \vec{E}^* và từ thông có tính bảo toàn (từ thông đi vào mặt kín S về độ lớn bằng từ thông đi ra khỏi mặt kín đó), tức là từ trường không có nguồn, trong tự nhiên không có từ tích.

b. Cặp thứ hai:

- Phương trình Maxwell-Ampère:

Dạng tích phân: $\int_{L \text{ kín}} \vec{H} d\vec{l} = \int_S (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S}$

Dạng vi phân: $\text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

- Phương trình của định lý O-G đối với điện trường:

Dạng tích phân: $\int_{S \text{ kín}} \vec{D} d\vec{S} = q$

Dạng vi phân: $\text{div} \vec{D} = \rho$

Cặp phương trình này nói lên: mọi điện trường \vec{D} biến thiên theo thời gian đều làm xuất hiện một từ trường \vec{H} và điện trường có nguồn (nguồn của điện trường là điện tích).

Hệ phương trình Maxwell mô tả các quy luật cơ bản của hiện tượng điện và từ. Nói một cách tổng quát, các phương trình Maxwell là ngang hàng với các định luật Newton về chuyển động và những định luật của

hiệu ứng nhiệt động lực học. Sự tổng hợp điện từ trường của Maxwell đã dẫn tới sự phát triển của lý thuyết tương đối và của lý thuyết vật lý lượng tử.

D - BÀI TẬP CHƯƠNG 3

Bài 1. Một tụ điện có hằng số điện môi $\epsilon = 6$ được mắc vào một hiệu điện thế xoay chiều $U = U_0 \cos \omega t$ với $U_0 = 300V$, chu kỳ $T = 0,01s$. Tìm biểu thức của mật độ dòng điện dịch, biết rằng hai bản tụ cách nhau $0,4cm$.

Hướng dẫn:

Theo định nghĩa:
$$\vec{J}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \epsilon_0 \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Trong đó $E = \frac{U_0}{d} \cos \omega t$

Do đó
$$J_d = -\frac{\epsilon_0 \epsilon U_0}{d} \omega \sin \omega t = -\frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6 \cdot 300 \cdot 200\pi}{4 \cdot 10^{-3}} \sin 200\pi t$$

Vậy: $J_d = -2,5 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 200\pi t \text{ (A / m}^2 \text{)}$

Bài 2. Điện trường trong một tụ điện phẳng biến đổi theo quy luật $E = E_0 \sin \omega t$ với $E_0 = 200V/cm$ và tần số $f = 50Hz$, khoảng cách giữa hai bản $d = 2cm$, điện dung của tụ điện $C = 2000 pF$. Viết biểu thức và tìm giá trị cực đại của dòng điện dịch.

Hướng dẫn:

Điện trường biến thiên giữa hai bản tụ làm xuất hiện một dòng điện dịch, dòng điện này nối tiếp với dòng điện dẫn biến thiên nối ở hai bản nên hai dòng điện bằng cùng chiều và cùng độ lớn. Do đó cường độ cực đại của hai dòng điện bằng nhau. Ta viết được cường độ của dòng điện dịch bằng

$$i_d = \frac{dq}{dt} = \frac{C \cdot du}{dt} = \frac{C \cdot d(d \cdot E)}{dt} = C \frac{d}{dt} (d \cdot E_0 \sin 2\pi f t)$$

$$i_d = C \cdot d \cdot E_0 \cdot 2\pi f \cdot \cos(2\pi f \cdot t)$$

Thay số ta được:

$$i_d = 2000.10^{-12}.2.200.2\pi.50.\cos(100\pi.t) = 2,513.10^{-4}.\cos(100\pi.t)(A)$$

Vậy dòng điện dịch cực đại là:

$$|i_d|_{\max} = C.d.E_0.2\pi f = 2000.10^{-12}.2.200.2\pi.50 = 2,513.10^{-4} A$$

CHƯƠNG 4

DAO ĐỘNG ĐIỆN TỪ VÀ SÓNG ĐIỆN TỪ

A. MỤC ĐÍCH

+ Nghiên cứu các loại dao động điện từ, sóng điện từ và các tính chất tổng quát của sóng điện từ.

B. YÊU CẦU

+ Nắm được đặc điểm của các loại dao động điện từ và các ứng dụng của chúng.

+ Nắm được các tính chất của sóng điện từ

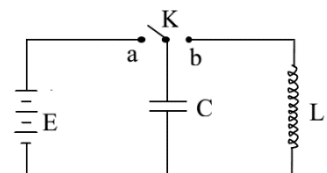
+ Vận dụng kiến thức để giải các bài tập về mạch dao động

C. TÓM TẮT NỘI DUNG

1 – DAO ĐỘNG ĐIỆN TỪ ĐIỀU HÒA

1.1 – Mạch dao động điện từ LC

Cấu tạo: Tụ điện có điện dung C đã được tích điện nối tiếp cuộn cảm có độ tự cảm L tạo thành mạch kín



Nguyên tắc hoạt động dựa trên hiện tượng tự cảm

1.2 – Phương trình của dao động điện từ riêng không tắt

Năng lượng của mạch dao động:

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \text{const}$$

Lấy đạo hàm 2 vế lần thứ nhất ta được:

$$\frac{2.q.q'}{2C} + \frac{2Li.i'}{2} = 0 \Rightarrow \frac{q.i}{C} + Li.i' = 0 \Leftrightarrow \frac{q}{C} + Li' = 0$$

Lấy đạo hàm 2 vế lần 2 ta được: $\frac{q'}{C} + Li'' = 0 \Rightarrow i'' + \frac{1}{LC}.i = 0$

$$\text{Vậy:} \quad i'' + \omega^2.i = 0 (*) \quad \text{Với:} \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad (4.1)$$

$$\text{Nghiem của phương trình (*) là: } i = I_0.\cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (4.2)$$

+ *Nhận xét:*

- Chu kì dao động riêng của dao động điện từ điều hòa:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC} \quad (4.3)$$

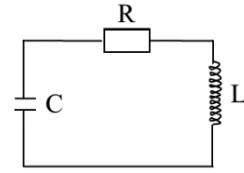
$$\text{- Tần số dao động riêng: } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.4)$$

+ *Kết luận:* Các đại lượng điện trường và từ trường trong mạch đều thực hiện dao động cùng tần số góc riêng ω_0

2 – DAO ĐỘNG ĐIỆN TỪ TẮT DẦN

2.1 – Mạch dao động RLC

Cấu tạo: tụ điện có điện dung C, cuộn dây có hệ số tự cảm L, điện trở R



Tích điện cho tụ, để tụ phóng điện qua cuộn dây. Trong mạch có sự chuyển hóa giữa năng lượng điện trường và từ trường. Nhưng do có sự tỏa nhiệt trên điện trở R

Mạch dao động tắt dần là mạch dao động mà biên độ của các đại lượng i , q , u , W_L , W_C giảm dần theo thời gian.

4.2.2 – Phương trình dao động điện từ tắt dần

$$\text{Năng lượng của mạch dao động: } W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \text{const}$$

Độ giảm năng lượng trong mạch chính bằng nhiệt lượng tỏa ra trên điện trở:

$$-dW = i^2.R.dt$$

$$\Rightarrow \frac{2.q.q'}{2C} + \frac{2Li.i'}{2} = -i^2.R \Rightarrow \frac{q.i}{C} + L.i.i' + i^2.R = 0 \Rightarrow \frac{q}{L.C} + i' + i.\frac{R}{L} = 0$$

$$\text{Lấy đạo hàm lần 2 ta được: } i'' + \omega^2.i + 2\beta.i = 0$$

$$\text{Với: } \frac{R}{2L} = \beta \quad (\beta \text{ hệ số tắt dần}) \quad \text{và} \quad \frac{1}{LC} = \omega_0^2$$

(4.5)

$$\text{Ta có: } i = I_0 e^{-\beta t} . \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

(4.6)

$$\text{Tần số góc của dao động tắt dần: } \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} < \omega_0$$

(4.7)

Chu kì dao động tắt dần lớn hơn chu kì dao động riêng: $T > T_0$

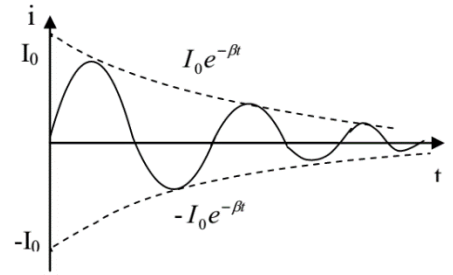
2.3 – Nhận xét

Biên độ dao động điện từ tắt dần:

$$I = I_0 e^{-\beta t}$$

Tính chất tắt dần của dao động điện từ riêng được đặc trưng bởi giảm lượng loga:

$$\delta = \ln \frac{I_0 \cdot e^{-\beta t}}{I_0 \cdot e^{-\beta(1+T)}} = \beta T \quad (4.8)$$



Điều kiện (4.7) có nghiệm: $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$

Điện trở tới hạn của mạch:

$$R_h = 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad (4.9)$$

Nếu $R \geq R_h$: trong mạch không có dao động

3 – DAO ĐỘNG ĐIỆN TỪ CƯỜNG BỨC

3.1 – Hiện tượng

Để duy trì dao động trong mạch RLC người ta sử dụng một nguồn điện cưỡng bức.

Khi dao động tắt dần trong mạch không còn nữa, trong mạch lúc này chỉ có dao động điện từ có tần số bằng tần số của nguồn cưỡng bức. Đó là dao động điện từ cưỡng bức

3.2 – Phương trình dao động điện từ cưỡng bức

Năng lượng của nguồn xoay chiều bù đắp phần năng lượng đã mất do tỏa nhiệt trên điện trở R và phần năng lượng do bức xạ sóng điện từ ở tụ điện C và cuộn cảm L:

$$e \cdot i \cdot dt = i^2 \cdot R \cdot dt + dW$$

$$e.i = i^2.R + \frac{q.i}{C} + L.i.i' \Leftrightarrow e = i.R + \frac{q}{C} + L.i'$$

$$E_0.\sin(\Omega t) = \frac{q}{C} + L.i' + i.R$$

Lấy đạo hàm hai vế phương trình ta có:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2\beta \frac{di}{dt} + \omega_0^2 i = \frac{E_0 \Omega}{L} \cos \Omega t \quad (4.10)$$

Phương trình dao động điện từ không tắt dần:

$$i = I_0 \sin(\Omega t + \Phi) \quad (4.11)$$

Trong đó:

$$\text{- Biên độ: } I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (4.12)$$

$$\text{- Pha ban đầu } \Phi: \tan \Phi = \frac{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}{R} \quad (4.13)$$

$$\text{Tổng trở: } Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

3.3 – Hiện tượng cộng hưởng điện từ

Hiện tượng cộng hưởng điện từ là hiện tượng biên độ dòng điện cường bức đạt cực đại khi tần số của nguồn xoay chiều kích thích Ω bằng tần số riêng ω_0 của mạch dao động.

$$\text{Điều kiện: } \Omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4.14)$$

3.4 - Ảnh hưởng của hiện tượng cộng hưởng điện

Tác hại: cường độ dòng điện càng lớn thì tổn thất năng lượng càng lớn

Ứng dụng rộng rãi trong KHKT vô tuyến điện truyền hình, thu – phát sóng, khuếch đại sóng điện từ.

4 – SÓNG ĐIỆN TỪ

4.1 – Sự tạo thành sóng điện từ

Sóng điện từ: là sự lan truyền điện từ trường trong không gian theo thời gian dưới dạng sóng

4.2 - Phương trình sóng điện từ

Phương trình truyền sóng của điện trường \vec{E} :

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \mu \epsilon_0 \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (4.15)$$

Vận tốc truyền sóng:
$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \sqrt{\mu \epsilon}} = \frac{c}{\sqrt{\mu \epsilon}}$$
 (4.16)

Phương trình truyền sóng của từ trường \vec{B} :
$$\nabla^2 \vec{B} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0$$
 (4.17)

4.3 – Các tính chất của sóng điện từ

Sóng điện từ truyền được trong mọi môi trường kể cả chân không

Vận tốc truyền sóng trong chân không là lớn nhất, $v = c = 3.10^8$ m/s.
Trong môi trường chiết suất n thì vận tốc $v = c/n$

Sóng điện từ mang năng lượng

Sóng điện từ là sóng ngang, \vec{E} , \vec{B} và phương truyền sóng tạo thành 1 tam diện thuận.

Năng lượng sóng điện từ.

- Mật độ năng thông P (W/m^2): $\vec{P} = \omega \vec{v}$ (4.18)

- Mật độ năng lượng điện trường: $\omega = \frac{1}{v} EH$ (4.19)

$\Rightarrow \vec{P} = \vec{E} \wedge \vec{H}$ (4.20)

Sóng điện từ phẳng đơn sắc: là sóng có nguồn ở rất xa, mặt trực giao là mặt phẳng. Điện trường và từ trường thì biến thiên với tần số f không đổi.

4.4 – Phổ sóng điện từ

Bước sóng điện từ: $\lambda = v.T$

Phân loại sóng điện từ theo tần số:

Tên sóng	Bước sóng trong không khí (m)	Nguồn phát chủ yếu hiện nay
Sóng vô tuyến điện	10^{-3} trở lên	Khung dao động LC
Tia hồng ngoại	$7,5.10^{-7} \div 10^{-3}$	Kích thích điện tử lớp ngoài của nguyên tử.
Ánh sáng nhìn thấy	$4.10^{-7} \div 7,5.10^{-7}$	
Tia tử ngoại	$10^{-9} \div 4.10^{-7}$	
Tia Rơn ghen	$10^{-12} \div 10^{-9}$	Kích thích điện tử lớp trong của nguyên tử.
Tia gamma	$10^{-13} \div 10^{-12}$	Kích thích hạt nhân nguyên tử.

D. BÀI TẬP CHƯƠNG 4

Bài 1: Cho một mạch điện LC. Biểu thức hiệu điện thế trên các bản cực của tụ điện có dạng: $u = 50 \cos 10^4 \pi t$ (V). Điện dung C của tụ bằng $0,1 \mu F$. Tìm:

a. Chu kỳ dao động T_0 của mạch.

b. Hệ số tự cảm của mạch.

- c. Biểu thức của cường độ dòng điện trong mạch.
 d. Bước sóng tương ứng với mạch dao động đó.

Hướng dẫn:

a. Chu kỳ dao động của mạch LC: $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2\pi}{10^4 \pi} = 2 \cdot 10^{-4} (s)$

b. Do $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ nên $L = \frac{T_0^2}{4\pi^2 C} = 10,15 mH$

c. Ta có: $q = Cu$ nên

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} = -C \cdot 50 \cdot 10^4 \cdot \pi \cdot \sin 10^4 \pi t (A)$$

Vậy $i = -0,157 \cdot \sin 10^4 \pi t (A)$

d. Bước sóng: $\lambda = c \cdot T = 3 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 6 \cdot 10^4 (m)$

Bài 2: Mạch dao động gồm một tụ điện có điện dung $C = 7 \mu F$, một cuộn dây có hệ số tự cảm $L = 0,23 H$ và điện trở $R = 40 \Omega$. Tụ điện được tích một điện lượng $q_0 = 5,6 \cdot 10^{-4} C$. Tìm:

- a. Chu kỳ dao động của mạch.
 b. Giảm lượng lôga của các dao động.
 c. Phương trình biểu diễn sự biến thiên của hiệu điện thế trên hai bản tụ.
 d. Giá trị hiệu điện thế tại các thời điểm $T/2$; T .

Hướng dẫn:

a. Tần số góc riêng: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0,23 \cdot 7 \cdot 10^{-6}}} = 788,11 (rad / s)$

Hệ số tắt dần: $\beta = \frac{R}{2L} = \frac{40}{2 \cdot 0,23} = 86,96$

Tần số góc dao động tắt dần: $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = 783,3 (rad / s)$

Chu kỳ dao tắt dần: $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2 \cdot 3,14}{783,3} \approx 8,02 \cdot 10^{-3} (s)$

b. Giảm lượng lôga: $\delta = \beta T = 86,96 \cdot 8,02 \cdot 10^{-3} = 0,697$

c. Chọn thời điểm ban đầu thỏa mãn: $q = Q_0 e^{-\beta t} \cos \omega t$

Biểu thức hiệu điện thế trên hai bản cực của tụ điện là:

$$u = \frac{q}{C} = \frac{Q_0}{C} e^{-\beta t} \cos \omega t$$

Vậy: $u = U_0 e^{-\beta t} \cos \omega t = 80 \cdot e^{-86,96t} \cos 250\pi t (\text{V})$

d. Ta có: $u = 80 \cdot e^{-86,96t} \cos \frac{2\pi}{T} t (\text{V})$

Tại thời điểm $t_1 = \frac{T}{2}$ ta có: $u_1 = 80 \cdot e^{-86,96t} \cos \pi = -56,45 (\text{V})$

Tại thời điểm $t_2 = T$ ta có: $u_2 = 80 \cdot e^{-86,96t} \cos 2\pi = 39,83 (\text{V})$

CHƯƠNG 5

QUANG HỌC SÓNG

A - MỤC ĐÍCH, YÊU CẦU

1. Nắm được những cơ sở về quang học sóng như: Nội dung thuyết điện từ về ánh sáng của Maxwell, định luật Malus, nguyên lý chồng chất các sóng, nguyên lý Huyghen - Fresnel

2. Nghiên cứu các hiện tượng giao thoa, nhiễu xạ, phân cực... dựa trên bản chất sóng điện từ của ánh sáng.

3. Hiểu và giải thích được các hiện tượng giao thoa, nhiễu xạ, phân cực ánh sáng. Vận dụng được phương pháp quan sát vân giao thoa ánh sáng để giải các bài tập về giao thoa, nhiễu xạ.

4. Vận dụng được phương pháp quan sát giao thoa ánh sáng để giải các bài tập về giao thoa, nhiễu xạ.

5. Nắm được ứng dụng của hiện tượng giao thoa trong việc đo lường và kiểm tra độ phẳng, độ cong, độ nhẵn của các bề mặt.

B – CÂU HỎI ÔN TẬP NỘI DUNG TRỌNG TÂM LÝ THUYẾT

1. Phát biểu nội dung thuyết điện từ về ánh sáng của Maxwell. Thiết lập phương trình sóng ánh sáng. Nêu sự khác nhau giữa sóng cầu và sóng phẳng.

2. Phát biểu nguyên lý chồng chất các sóng, nguyên lý Huyghen - Fresnel và định luật Malus về quang lộ.

3. Điều kiện để có giao thoa ánh sáng. Định nghĩa nguồn kết hợp. Định nghĩa hiện tượng giao thoa ánh sáng.

4. Trong thí nghiệm 2 khe I-âng: Xác định điều kiện để vân giao thoa cực đại, cực tiểu. Biểu thức xác định vị trí của các vân giao thoa. Bề rộng một vân giao thoa – khoảng vân.

5. Hình ảnh giao thoa, công thức xác định vị trí giao thoa cực đại, cực tiểu, khoảng vân, bán kính vân giao thoa, ứng dụng trong thí nghiệm giao thoa bản mỏng hình nêm và bản mỏng cho vân tròn Newton.

6. Định nghĩa hiện tượng nhiễu xạ. Điểm khác nhau giữa hai hiện tượng nhiễu xạ và giao thoa.

7. Định nghĩa hiện tượng phân cực. Phân biệt ánh sáng tự nhiên, ánh sáng phân cực toàn phần, ánh sáng phân cực một phần.

C - TÓM TẮT NỘI DUNG

1- CƠ SỞ CỦA QUANG HỌC SÓNG.

1. Thuyết điện từ về ánh sáng của Maxwell:

Ánh sáng thấy được là những sóng điện từ truyền trong chân không với bước sóng λ_0 có giá trị nằm trong khoảng từ $0,40\mu\text{m}$ đến $0,76\mu\text{m}$.

* Phương trình sóng ánh sáng:

Phương trình sóng ánh sáng phẳng đơn sắc có dạng:

$$x = A_0 \cos(\omega_0 t - 2\pi \frac{nd}{\lambda_0}) = A_0 \cos(\omega_0 t - 2\pi \frac{L}{\lambda_0})$$

Đại lượng $L = n.d$ là quang lộ của sóng ánh sáng truyền đi trên đoạn đường d trong môi trường chiết suất n .

* Khái niệm quang lộ:

$$L = c.\tau = c.d/v = n.d.$$

2. Định lý Malus

Quang lộ của các tia sáng nằm giữa hai mặt trực giao của một chùm sáng luôn bằng nhau.

3. Nguyên lý chồng chất các sóng

Khi các sóng ánh sáng giao nhau, từng sóng ánh sáng riêng biệt không bị các sóng khác làm nhiễu loạn và vẫn tiếp tục truyền đi như trước. Dao động sáng tại điểm giao nhau sẽ bằng tổng các dao động sáng thành phần tại điểm đó.

4. Nguyên lý Huyghen – Fresnel.

- Mỗi điểm trong không gian nhận được sóng ánh sáng từ nguồn sáng thực S truyền tới sẽ trở thành một nguồn sáng thứ cấp phát ra các sóng ánh sáng về phía trước nó.

- Nguồn sáng thứ cấp có biên độ và pha dao động đúng bằng biên độ và pha dao động sáng do nguồn sáng thực S gây ra tại vị trí của nguồn sáng thứ cấp đó.

- Dao động sáng tại điểm M bất kì nằm ngoài mặt kín Σ bao quanh nguồn sáng thực S sẽ bằng tổng các dao động sáng do những nguồn sáng thứ cấp nằm trên mặt kín Σ gây ra tại điểm M .

2 – GIAO THOA ÁNH SÁNG

2.1 – Điều kiện để có giao thoa ánh sáng

+ Để có giao thoa ánh sáng của hai hay nhiều sóng sáng chồng chất thì chúng phải là những nguồn kết hợp cùng tần số và có hiệu số pha không phụ thuộc thời gian.

+ Những điểm có hiệu số pha thỏa mãn điều kiện:
 $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = \pm 2k\pi$, với $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

=> được gọi là những cực đại giao thoa

+ Những điểm có hiệu số pha thỏa mãn điều kiện:

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = \pm(2k-1)\pi, \text{ với } k = 1, 2, 3 \dots$$

=> được gọi là những cực tiểu giao thoa

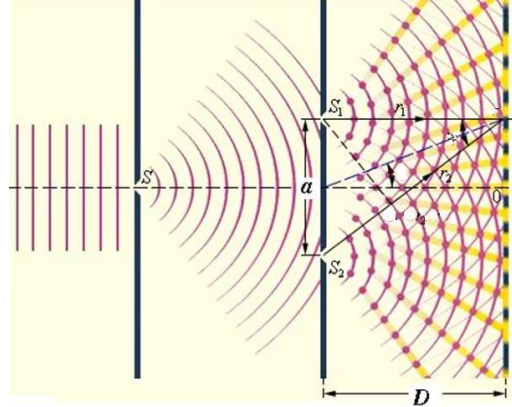
2.2 – Giao thoa ánh sáng bằng

khe I-ang

a. Thí nghiệm:

+ Hình ảnh giao thoa

+ **Kết luận.** Giao thoa ánh sáng cho bởi 2 khe I-ang xuất hiện trên màn là hệ vân sáng và tối xen kẽ nhau và đối xứng với nhau qua vân sáng trung tâm



b. Hình dạng và vị trí cực đại, cực tiểu.

+ Vị trí cực đại: $y_s = \pm k \frac{\lambda_0 \cdot D}{a} = \pm ki \quad (6.1)$

($k = 0, 1, 2, 3 \dots$)

$k = 0$ là vân sáng ở trung tâm vùng giao

thoa

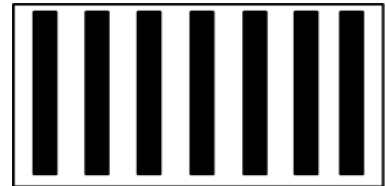
$k = n$ là vân sáng thứ n hoặc bậc n

+ Vị trí cực tiểu: $y_t = \pm(2k-1) \frac{\lambda_0 \cdot D}{2a} = \pm(2k-1) \frac{i}{2} \quad (6.2)$

($k = 1, 2, 3 \dots$)

$k = n$ là vân sáng thứ n

+ Khoảng vân: $i = \frac{\lambda_0 \cdot D}{a} \quad (6.3)$



c. Hệ vân giao thoa khi dùng ánh sáng trắng.

+ Ánh sáng trắng là ánh sáng có λ_0 từ $0,4\mu\text{m} - 0,76\mu\text{m}$

+ Hình ảnh giao thoa:

Vân trung tâm là một vân sáng trắng.

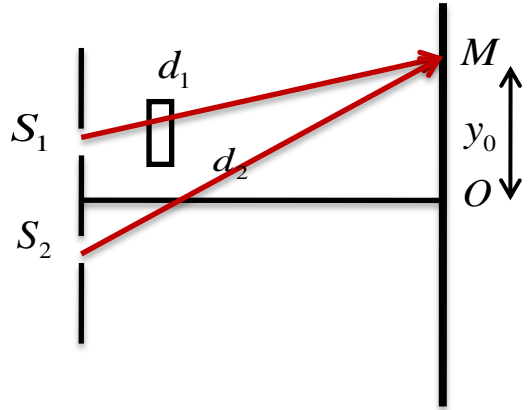
Hệ vân còn lại có các vân sáng chồng lên nhau tạo thành dải màu sắc như màu cầu vồng

d. Sự dịch chuyển của hệ vân giao thoa.

+ Khi đặt bản mỏng độ dày e , chiết suất n vào sau một trong hai khe I âng.

⇒ Hệ vân dịch chuyển một

đoạn: $y_0 = (n-1) \frac{eD}{a}$ (6.4)



2.3 – Giao thoa ánh sáng bằng bản mỏng có độ dày thay đổi Vân cùng độ dày.

+ Cực đại giao thoa nằm tại các vị trí ứng với độ dày d

$$L_1 - L_2 = 2.d.\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda_0}{2} = \pm k\lambda_0 \quad (6.5)$$

+Cực tiểu giao thoa nằm tại các vị trí ứng với độ dày d

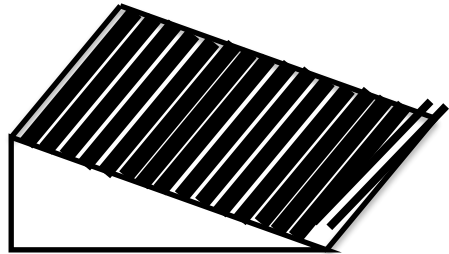
$$L_1 - L_2 = 2.d.\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda_0}{2} = \pm(2k-1)\frac{\lambda_0}{2} \quad (6.6)$$

a. Bản mỏng hình nêm

+ Cực tiểu giao thoa – vân tối:

$$d = k \frac{\lambda_0}{2}; (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (6.7)$$

$k = 0$ là vân tối trùng với cạnh nêm



+ Cực đại giao thoa – vân sáng:

$$d = (2k-1) \frac{\lambda_0}{4} (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (6.8)$$

+ Khoảng vân: $i = \frac{\lambda_0}{2\alpha}$ (6.9)

b. Bản mỏng cho vân tròn

Niuton

+ Cực tiểu giao thoa – vân tối:

$$d = k \frac{\lambda_0}{2}; (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (6.10)$$

+ Cực đại giao thoa – vân sáng:

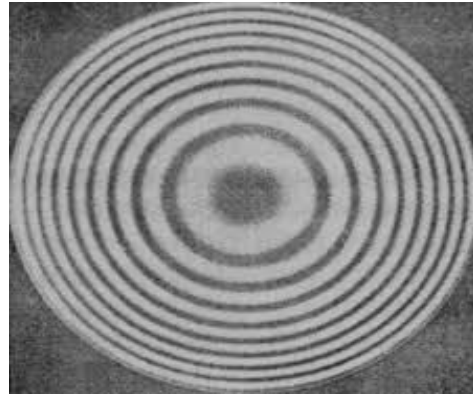
$$d = (2k - 1) \frac{\lambda_0}{4}; (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (6.11)$$

+ Khoảng vân:

$$i = (\sqrt{k+1} - \sqrt{k}) \sqrt{R \cdot \lambda_0} \quad (6.12)$$

+ Bán kính vân tối thứ k:

$$r_k = \sqrt{k R \cdot \lambda_0}$$



2.4 - Ứng dụng của hiện tượng giao thoa ánh sáng

+ Bản mỏng hình nêm ứng dụng kiểm tra độ dày, độ phẳng của tấm kính.

+ Bản mỏng cho vân tròn Newton ứng dụng kiểm tra độ cong của mặt cầu.

3. – NHIỀU XẠ ÁNH SÁNG

3.1 – Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

+ Hiện tượng: *các tia sáng bị lệch khỏi phương truyền thẳng khi qua các vật chắn sáng có kích thước nhỏ được gọi là hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng*

3.2 – Phương pháp đo cầu Fresnel và nhiễu xạ Fresnel

+ Bán kính các đới cầu Fresnel:

$$r_k = \sqrt{\frac{R \cdot b \cdot \lambda_0}{R + b}} \sqrt{k} \quad (6.13)$$

+ Diện tích các đới cầu:

$$\Delta \Sigma = \frac{\pi \cdot R \cdot b \cdot \lambda_0}{R + b} \quad (6.14)$$

+ Đới cầu là những nguồn sáng thứ cấp và thỏa mãn điều kiện nguồn kết hợp.

+ Biên độ sóng sáng tổng hợp: $A = \frac{A_1}{2} \pm \frac{A_k}{2}$

(6.15)

(+ với đối cầu thứ k lẻ và ngược lại)

3.3 – Nhiễu xạ ánh sáng của các sóng phẳng

a. Nhiễu xạ ánh sáng qua khe hẹp.

+ Giải thích hiện tượng nhiễu xạ qua khe hẹp

- Cực đại nhiễu xạ trung tâm: $\sin \varphi = 0$

- Cực tiểu nhiễu xạ bậc k: $\sin \varphi = \pm \frac{\lambda_0}{b}; \pm 2 \frac{\lambda_0}{b}; \pm 3 \frac{\lambda_0}{b} \dots$ (6.16)

- Cực đại nhiễu xạ bậc k: $\sin \varphi = \pm 1,5 \frac{\lambda_0}{b}; \pm 2,5 \frac{\lambda_0}{b}; \pm 3,5 \frac{\lambda_0}{b} \dots$ (6.17)

Trong đó: b là độ rộng của khe hẹp

+ Cường độ sáng của cực đại nhiễu xạ:

$$I_{\varphi} = A_{\varphi}^2 = A_0^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \frac{\sin^2 \left(\frac{\pi}{\lambda_0} b \cdot \sin \varphi \right)}{\left(\frac{\pi}{\lambda_0} b \cdot \sin \varphi \right)} \quad (6.18)$$

- Cực đại nhiễu xạ trung tâm: $I_{\varphi \rightarrow 0} = I_0 = A_0^2$

b. Nhiễu xạ ánh sáng gây bởi các sóng phẳng truyền qua các cách tử

+ Cực tiểu nhiễu xạ: $\sin \varphi = \pm k \frac{\lambda_0}{b}$ ($k = 1, 2, 3, \dots$) (6.19)

+ Cực đại nhiễu xạ: $\sin \varphi = \pm m \frac{\lambda_0}{d}$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) (6.20)

Trong đó: b là độ rộng của khe hẹp; d là khoảng cách giữa 2 khe ($d > b$)

+ Quang phổ nhiễu xạ ánh sáng trắng.

+ Ứng dụng : đo bức sóng ánh sáng đơn sắc, phân tích quang phổ nhiễu xạ...

4 – PHÂN CỰC ÁNH SÁNG

4.1 – Ánh sáng tự nhiên và ánh sáng phân cực

- + Ánh sáng tự nhiên là ánh sáng có vectơ cường độ điện trường dao động đều theo mọi phương vuông góc với các tia sáng.
- + Ánh sáng phân cực toàn phần là ánh sáng có vectơ cường độ điện trường chỉ dao động theo 1 phương xác định.
- + Ánh sáng phân cực một phần là ánh sáng có vectơ cường độ điện trường vẫn dao động theo tất cả các phương vuông góc với tia sáng, nhưng có phương dao động mạnh phương dao động yếu.

4.2 – Định luật Malus về phân cực ánh sáng

+ Phát biểu: *khi cho một chùm sáng tự nhiên truyền qua hệ hai bản tinh thể tuamali dày có quang trục hợp với nhau một góc α , thì cường độ sáng nhận được ở phía sau hệ hai bản tinh thể này sẽ thay đổi tỷ lệ với $\cos^2 \alpha$*

+ Biểu thức:
$$I_2 = I_1 \cdot \cos^2 \alpha \quad (6.22)$$

+ Nhận xét:

- I_{\max} khi 2 quang trục của 2 kính phân cực song song
- I_{\min} khi 2 quang trục của 2 kính phân cực vuông góc

D. BÀI TẬP CHƯƠNG 5

Bài 1: Trong thiết bị giao thoa Young, khoảng cách giữa hai khe hẹp là $a = 1,2 \text{ mm}$ và khoảng cách từ màn ảnh đến mặt phẳng của hai khe hẹp là $D = 1,5 \text{ m}$. Toàn bộ thiết bị giao thoa đặt trong không khí, chiết suất của không khí là $n_0 = 1$. Ánh sáng đơn sắc màu xanh chiếu vào hai khe hẹp có bước sóng $\lambda_1 = 540 \text{ nm}$. Tìm khoảng cách giữa vân sáng thứ nhất và vân sáng thứ 3 nằm ở hai phía khác nhau so với vân trung tâm.

Hướng dẫn:

+ Vị trí vân sáng thứ nhất: $y_1 = +k \frac{\lambda D}{a} = +1 \cdot \frac{0,54 \cdot 1,5}{1,2} = +0,675 (\text{mm})$

+ Vị trí vân sáng thứ 3, khác phí vân sáng thứ nhất:

$$y_3 = -k \frac{\lambda D}{a} = \pm 3 \cdot \frac{0,54 \cdot 1,5}{1,2} = \pm 2,025 (mm)$$

+ Khoảng cách giữa vân sáng thứ nhất và vân sáng thứ 3 nằm ở hai phía khác nhau so với vân trung tâm:

$$\Delta y = |y_3 - y_1| = 2,7 (mm)$$

Bài 2: Trong thí nghiệm Iâng về giao thoa ánh sáng, khoảng cách giữa hai khe là 1,5mm, khoảng cách từ hai khe đến màn là 2,4 m. Người ta chiếu đồng thời hai bức xạ đơn sắc $\lambda_1 = 0,48 \mu m$ và $\lambda_2 = 0,64 \mu m$ vào hai khe. Khoảng cách ngắn nhất giữa các vị trí mà vân sáng hai bức xạ trùng nhau là

Hướng dẫn:

+ Khi 2 bức xạ cho vân sáng trùng nhau thì

$$y_{k_1}^1 = y_{k_2}^2 \Rightarrow k_1 \frac{\lambda_1 D}{a} = k_2 \frac{\lambda_2 D}{a} \Rightarrow \frac{k_1}{k_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{4}{3}$$

+ Khoảng cách 2 bức xạ trùng nhau liên tiếp, gần nhất là:

$$y_{\min} = \pm 4 \cdot \frac{\lambda_1 D}{a} = \pm 3 \cdot \frac{\lambda_2 D}{a} = \pm 3,072 (mm)$$

Bài 3: Một chùm sáng đơn sắc song song bước sóng $\lambda = 0,5 \mu m$ được chiếu vuông góc với một nêm không khí có góc nghiêng α rất nhỏ. Khoảng cách giữa 5 vân tối liên tiếp trên mặt nêm là 1,2 cm. Tính góc nghiêng α .

Hướng dẫn:

+ Khoảng cách giữa 5 vân tối liên tiếp

$$\Leftrightarrow 4i = 1,2 \cdot 10^{-2} (m) \Rightarrow i = 3 \cdot 10^{-3} (m)$$

$$+ \text{ADCT: } i = \frac{\lambda}{2\alpha} \Rightarrow \alpha = \frac{\lambda}{2i} = \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} = 8,33 \cdot 10^{-5} (rad)$$

Bài 4: Cho một chùm sáng đơn sắc song song chiếu vuông góc với mặt phẳng của bản mỏng không khí nằm giữa bản thủy tinh phẳng đặt tiếp xúc với mặt cong của một thấu kính phẳng – lồi. Bán kính mặt lồi thấu kính là $R = 8,0 m$. Quan sát hệ vân tròn Newton qua chùm sáng phản xạ và đo

được bán kính vân tối thứ tư là $r_4 = 4,5 \text{ mm}$. Hãy xác định bước sóng λ_0 của chùm sáng đơn sắc. Coi tâm của hệ vân tròn Newton là vân số 0

Hướng dẫn:

$$+ADCT: r_4 = \sqrt{k.R.\lambda_0} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{r_4^2}{k.R} = \frac{(4,5.10^{-3})^2}{4.8,0} = 0,63(\mu m)$$

CHƯƠNG 6

QUANG LƯỢNG TỬ

A - MỤC ĐÍCH, YÊU CẦU

1. Nghiên cứu các hiện tượng ánh sáng dựa trên khái niệm lượng tử năng lượng và lượng tử ánh sáng.
2. Nghiên cứu các ứng dụng trong khoa học kỹ thuật đo lường, tự động hóa và một số lĩnh vực khác.
3. Hiểu được bản chất sóng - hạt của ánh sáng
4. Vận dụng được kiến thức để giải thích các hiện tượng như hiệu ứng quang điện, hiệu ứng Compton
5. Vận dụng được kiến thức để giải các bài tập liên quan

B - CÂU HỎI ÔN TẬP NỘI DUNG TRỌNG TÂM LÝ THUYẾT

1. Các khái niệm về bức xạ nhiệt, lượng tử năng lượng và lượng tử ánh sáng, các hiện tượng như hiệu ứng quang điện, hiệu ứng Compton.

2. Trình bày thuyết lượng tử Planck, thuyết photon Einstein, các định luật về quang điện. Vận dụng thuyết lượng tử ánh sáng để giải thích các định luật quang điện.

3. Vận dụng thuyết lượng tử ánh sáng để giải thích hiệu ứng Compton.

C - TÓM TẮT NỘI DUNG

1 – BỨC XẠ NHIỆT

1.1 – Bức xạ nhiệt cân bằng

+ Dạng bức xạ do các nguyên tử và phân tử bị kích thích bởi tác dụng nhiệt được gọi là bức xạ nhiệt.

+ Khi nhiệt độ của vật không đổi theo thời gian thì bức xạ nhiệt của vật cũng không đổi và được gọi là bức xạ nhiệt cân bằng

1.2 – Định luật Kirchhoff về bức xạ cân bằng.

+ Phát biểu: *tỉ số giữa hệ số phát xạ đơn sắc $r_{\lambda,T}$ và hệ số hấp thụ đơn sắc $a_{\lambda,T}$ của một vật bất kì ở trạng thái bức xạ nhiệt cân bằng không phụ thuộc vào bản chất của vật đó, mà chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ T của nó và bước sóng λ của chùm bức xạ đơn sắc đang xét.*

+ Biểu thức:
$$\frac{r_{\lambda,T}}{a_{\lambda,T}} = \varepsilon_{\lambda,T} \quad (1)$$

$\varepsilon_{\lambda,T}$ - Hàm số phổ biến, phụ thuộc vào λ , T

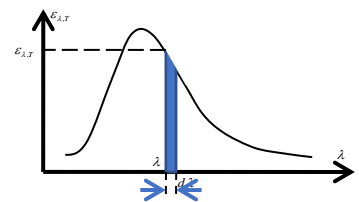
+ Nhận xét: Vật đen tuyệt đối $a_{\lambda,T} = 1$

$r_{\lambda,T} = \varepsilon_{\lambda,T}$: *hàm phổ biến chính là hệ số phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối*

1.3 – Các định luật phát xạ của vật đen tuyệt đối

a. Đường đặc trưng phổ phát xạ của vật đen tuyệt đối

+ Năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối được xác định theo công thức:



$$\varepsilon_T = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \varepsilon_{\lambda,T} d\lambda \quad (2)$$

b. Định luật Stefan – Boltzmann

+ Phát biểu: *Năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối tỷ lệ thuận với lũy thừa bậc 4 của nhiệt độ tuyệt đối*

+ Biểu thức: $\varepsilon_T = \sigma T^4$ (3)

Trong đó σ là hằng số Stefan – Boltzmann: $\sigma = 5,6703.10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{độ}$

c. Định luật Wien

+ Phát biểu: *Đối với vật đen tuyệt đối, bước sóng λ_m của chùm bức xạ đơn sắc mang nhiều năng lượng nhất tỉ lệ nghịch với nhiệt độ tuyệt đối.*

+ Biểu thức: $\lambda_m = \frac{b}{T}$ (4)

Trong đó b là hằng số Wien: $b = 2,8978.10^{-3} \text{m} \cdot \text{độ}$

2 – THUYẾT LƯỢNG TỬ PLANCK

2.1 – Phát biểu thuyết lượng tử Planck

+ Phát biểu: *Các nguyên tử và phân tử của các chất phát xạ và hấp thụ năng lượng 1 cách gián đoạn, nghĩa là năng lượng do chúng phát xạ hay hấp thụ chỉ có thể bằng 1 bội nguyên lần của 1 năng lượng nhỏ năng lượng xác định ε , gọi là lượng tử năng lượng.*

+ Lượng tử năng lượng: $\varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda}$ (5)

Trong đó: h là hằng số Planck $h = 6,625.10^{-34} \text{J.s}$

c là vận tốc sóng ánh sáng truyền trong chân không $c = 3.10^8 \text{m/s}$

+ Hệ số phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối: $\varepsilon_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$ (6)

Trong đó: k là hằng số Boltzmann $k = 1,38.10^{-23} \text{J/độ}$

2.2 – Thành công của thuyết lượng tử năng lượng

+ Công thức Planck cho phép ta vẽ họ những đường cong đặc trưng phổ phát xạ của vật đen tuyệt đối hoàn toàn phù hợp với thực nghiệm.

+ Từ công thức Planck có thể tìm lại được công thức phát xạ của vật đen tuyệt đối.

+ Dựa trên công thức Planck, ta tìm được năng suất phát xạ toàn phần của vật đen lý tưởng tại một nhiệt độ T nào đó

3 – HIỆU ỨNG QUANG ĐIỆN

3.1 – Hiệu ứng quang điện

+ Hiệu ứng quang điện là hiện tượng các electron được giải phóng ra khỏi bề mặt của bản kim loại khi được chiếu bởi một chùm sáng thích hợp tới mặt bản kim loại đó.

3.2 – Các định luật quang điện

+ **Định luật về giới hạn quang điện:** đối với mỗi kim loại xác định hiệu ứng quang điện chỉ xảy ra khi bước sóng của chùm sáng kích thích nhỏ hơn hoặc bằng 1 giá trị xác định gọi là giới hạn quang điện:

$$\lambda < \lambda_0. (\lambda_0: \text{giới hạn quang điện của kim loại}).$$

+ **Định luật về dòng quang điện bão hòa:** cường độ quang điện bão hòa tăng tỉ lệ thuận với cường độ sáng của chùm sáng chiếu tới.

+ **Định luật động năng cực đại của quang electron:** $W_{đ0max}$ của các quang electron tỉ lệ với tần số của chùm sáng rọi tới và không phụ thuộc vào cường độ sáng của chùm sáng đó.

3.3 – Sự bất lực của thuyết điện từ về ánh sáng

+ Không giải thích được vì sao có giới hạn quang điện.

+ Không giải thích được tại sao $W_{đ0max}$ không phụ thuộc vào cường độ sáng mà chỉ phụ thuộc vào tần số ánh sáng.

+ Theo thuyết điện từ cổ điển để xuất hiện electron quang điện đầu tiên cần mấy chục phút, thực tế thì thời gian này rất nhỏ.

4 – THUYẾT PHÔTÔN ÁNH SÁNG EINSTEIN

4.1 – Thuyết lượng tử ánh sáng Einstein

+ Ánh sáng gồm những hạt rất nhỏ gọi là photon (hay lượng tử ánh sáng). Mỗi photon mang 1 lượng tử năng lượng: $\varepsilon = hf$

Trong đó: h là hằng số Planck $h = 6,625.10^{-34} J.s$

f là tần số của ánh sáng

+ Trong chân không cũng như các môi trường khác, photon truyền đi với cùng vận tốc xác định $c = 3.10^8 \text{ m/s}$

+ Cường độ của chùm sáng tỉ lệ với số photon phát ra từ nguồn sáng trong một đơn vị thời gian.

4.2 – Giải thích các định luật quang điện

+ Từ Công thức Einstein: $\mathcal{E} = A + \frac{1}{2}m.v_{0\text{max}}^2$

A: Công giải phóng electron ra khỏi kim loại

a. Giải thích định luật về giới hạn quang điện: Khi có hiệu ứng quang điện tức là các electron bật ra khỏi bề mặt kim loại. Do đó các hạt photon phải truyền cho electron 1 động năng. $W_d \geq 0$.

Theo công thức Einstein: $\mathcal{E} = A + W_d \Rightarrow W_d = \mathcal{E} - A \geq 0 \Leftrightarrow \frac{hc}{\lambda} - A \geq 0$

$$\Rightarrow \frac{hc}{\lambda} \geq A \text{ hay } \lambda \leq \frac{hc}{A}$$

Đặt $\lambda_0 = \frac{hc}{A} \Rightarrow \lambda \leq \lambda_0$. λ_0 : giới hạn quang điện.

b. Giải thích định luật về dòng quang điện bão hòa: Theo thuyết photon của Einstein Cường độ của chùm sáng tỉ lệ với số photon phát ra từ nguồn sáng trong 1 đơn vị thời gian. Khi cường độ ánh sáng kích thích tăng, số photon tăng \Rightarrow số electron bật ra khỏi kim loại nhiều \Rightarrow Cường độ dòng quang điện I càng lớn theo công thức: $I = n_e \cdot e$; (n_e là số e bật ra khỏi bề mặt kim loại trong 1s)

c. Giải thích định luật động năng cực đại của quang electron:

Theo công thức Einstein suy ra được:

$$W_{d\text{max}} = \mathcal{E} - A \Leftrightarrow W_{d\text{max}} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0} = h.f - h.f_0$$

$\Rightarrow W_{d\text{max}}$ tỉ lệ với tần số f của chùm sáng tới:

$$\Rightarrow W_{d\text{max}} = \frac{1}{2}m.v_{\text{max}}^2$$

Cường độ sáng tỉ lệ thuận với lượng hạt photon có trong chùm sáng. Số lượng hạt photon nhiều sẽ làm tăng số lượng electron bật ra khỏi bề mặt kim loại chứ không thay đổi vận tốc của electron

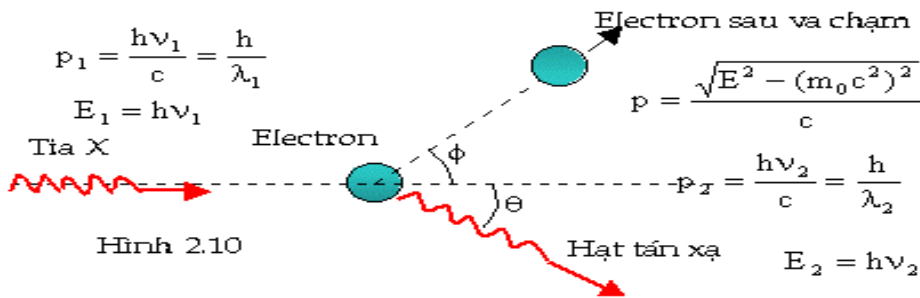
⇒ W_{dmax} không phụ thuộc vào cường độ sáng của ánh sáng tới.

d. Kết luận: Ánh sáng có lưỡng tính sóng hạt

5 – HIỆU ỨNG COMPTON

5.1 – Hiệu ứng Compton

+ **Hiệu ứng Compton:** là hiện tượng biến thiên của bước sóng ánh sáng khi tán xạ trên các electron tự do.



5.2 – Công thức cho hiệu ứng Compton

+ Công thức mô tả hiệu ứng Compton:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \varphi) \quad (7)$$

+ Lưỡng tính sóng – hạt của ánh sáng thể hiện:

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}; p = mc = \frac{h}{\lambda} \quad (8)$$

+ Hiệu ứng Compton là 1 bằng chứng thực nghiệm xác nhận trọn vẹn tính sóng-hạt của ánh sáng: Hiệu ứng quang điện đã xác nhận ánh sáng có cấu tạo gián đoạn, gồm những hạt photon mang năng lượng nhưng một đặc trưng quang trọng của hạt là động lượng thì phải đến hiệu ứng Compton mới được xác định đầy đủ.

D - BÀI TẬP CHƯƠNG 6

Bài tập 1. Tìm công suất bức xạ của một cửa sổ lò nung, cho biết nhiệt độ của lò bằng $t = 727^{\circ}\text{C}$, diện tích cửa sổ bằng 250 cm^2 . Coi lò là vật đen tuyệt đối.

Giải

Theo định luật Stefan – Boltzmann; $\varepsilon_T = \sigma \cdot T^4$,

Trong đó $T = t + 273 = 1000\text{ K}$

$$P = \varepsilon_T \cdot S = \sigma \cdot T^4 \cdot S = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1000^4 \cdot 250 \cdot 10^{-4} = 1417,5\text{ W} \approx 1,42\text{ kW}$$

Bài tập 2. Chiếu ánh sáng vào bản kim loại của một tế bào quang điện làm bật các electron ra khỏi bề mặt bản kim loại. Biết hiệu điện thế cản là 3V , hiệu ứng quang điện của kim loại đó bắt đầu xảy ra với ánh sáng có tần số $f_0 = 6 \cdot 10^{14}\text{ Hz}$. Tìm công thoát của electron khỏi kim loại và tần số của ánh sáng kích thích.

Giải

Vì hiệu ứng quang điện bắt đầu xảy ra với $f_0 = 6 \cdot 10^{14}\text{ Hz}$ nên công thoát A của electron bằng $A = h \cdot f_0 = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 6 \cdot 10^{14} = 3,972 \cdot 10^{-19}\text{ J}$ (1)

Gọi f là tần số của ánh sáng chiếu tới bản kim loại, ta có:

$$h \cdot f = A + \frac{mv_{\text{omax}}^2}{2} \quad (2)$$

Để cản các electron quang điện không đến được anot, cần phải tác dụng một điện trường có hiệu thế cản U_c sao cho

$$eU_c = \frac{mv_{\text{omax}}^2}{2} \quad (3)$$

Kết hợp (2) và (3) ta viết được $h \cdot f = A + e \cdot U_c$ và rút ra tần số của ánh sáng kích thích là: $f = \frac{A + e \cdot U_c}{h} = \frac{3,972 \cdot 10^{-19} + 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3}{6,62 \cdot 10^{-34}} = 13,25 \cdot 10^{14}\text{ Hz}$

Bài tập 3. Công thoát của kim loại dùng làm catốt của tế bào quang điện $A = 2,48\text{ eV}$. Tìm:

- Giới hạn quang điện của tấm kim loại đó.
- Vận tốc ban đầu cực đại của các quang electron khi catốt được chiếu bằng ánh sáng đơn sắc bước sóng $\lambda = 0,36\text{ }\mu\text{m}$.

Hướng dẫn:

$$\text{a. } A = \frac{hc}{\lambda_0} \rightarrow \lambda_0 = \frac{hc}{A} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2,48 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ (m)}$$

$$\text{b. } \frac{hc}{\lambda} = A + \frac{m_e v_{0\max}^2}{2}$$

$$\Rightarrow v_{0\max} = \sqrt{\frac{2}{m_e} \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right)} = \sqrt{\frac{2}{9,1 \cdot 10^{-31}} \left(\frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{0,36 \cdot 10^{-6}} - 2,48 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \right)} = 584193 \text{ (m/s)}$$