

CHƯƠNG 1: TỪ TRƯỜNG VÀ CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

1.1. Từ trường

1.1.1. Khái niệm từ trường

Thí nghiệm chứng tỏ hai thanh nam châm có thể hút nhau hoặc đẩy nhau, tùy theo các cực đặt gần nhau của chúng có cùng tên hay khác tên. Các thanh nam châm lại có thể hút được các vụn sắt. Vì lý do đó người ta nói rằng nam châm có từ tính, và gọi tương tác giữa các nam châm là tương tác từ.

Thí nghiệm cũng chứng tỏ, dòng điện cũng có từ tính như nam châm. Vì thế, tương tác giữa các dòng điện cũng được gọi là tương tác từ.

Câu hỏi được đặt ra ở đây là: Lực tương tác giữa hai dòng điện được truyền từ dòng điện này đến dòng điện kia như thế nào? Khi chỉ có một dòng điện, tính chất của không gian xung quanh dòng điện ấy có bị biến đổi không?

Những thành tựu của vật lý học hiện đại đều xác nhận rằng, dòng điện làm cho tính chất của không gian xung quanh nó bị biến đổi. Cụ thể là bất kỳ dòng điện nào cũng đều gây ra xung quanh nó một từ trường. Từ trường thể hiện ở chỗ là, nếu đặt một dòng điện khác trong không gian của nó thì dòng điện này sẽ bị một lực từ tác dụng. Tuy nhiên, từ trường của một dòng điện luôn luôn tồn tại, dù ta không đặt một dòng điện khác trong không gian của từ trường đó để quan sát tương tác từ.

Chính thông qua từ trường mà lực từ được truyền đi từ dòng điện này tới dòng điện khác. Vận tốc truyền tương tác là hữu hạn và bằng vận tốc ánh sáng trong chân không.

1.1.2. Các đại lượng đặc trưng cho từ trường

a. Vectơ cảm ứng từ

Từ định luật tương tác giữa hai phần tử dòng điện :

$$d\vec{F} = \frac{\mu_0 \cdot \mu}{4\pi} \cdot \frac{I_0 \cdot d\vec{l}_0 \wedge (I d\vec{l} \wedge \vec{r})}{r^3}$$

Ta nhận thấy vectơ :
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot \mu}{4\pi} \cdot \frac{Id\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3} \quad (1.1)$$

Chỉ phụ thuộc vào phần tử dòng điện $I.d\vec{l}$ sinh ra từ trường và vào vị trí của điểm M tại đó đặt phần tử dòng điện $I_0.d\vec{l}_0$ mà không phụ thuộc vào phần tử dòng điện $I_0.d\vec{l}_0$ chịu tác dụng của từ trường đang xét. Vì vậy, vectơ $d\vec{B}$ được gọi là vectơ cảm ứng từ do phần tử dòng điện $I.d\vec{l}$ sinh ra tại điểm M.

Biểu thức (1.1) gọi là định luật Bio-Savart-Laplace. Định luật này được phát biểu cụ thể như sau :

Vectơ cảm ứng từ $d\vec{B}$ do một phần tử dòng điện $I.d\vec{l}$ gây ra tại điểm M, cách phần tử một khoảng r là một vectơ có :

- Gốc tại điểm M.
- Phương vuông góc với mặt phẳng chứa phần tử dòng điện $I.d\vec{l}$ và điểm M .
- Chiều sao cho ba vectơ $d\vec{l}, \vec{r}$ và $d\vec{B}$ theo thứ tự này hợp thành một tam diện thuận.

Chiều của vectơ $d\vec{B}$ cũng có thể được xác định bằng quy tắc vặn nút chai : đặt cái vặn nút chai theo phương của dòng điện, nếu quay cho vặn nút chai tiến theo chiều dòng điện thì chiều quay của cái vặn nút chai tại điểm M sẽ là chiều của vectơ cảm ứng từ tại điểm đó.

- Độ lớn dB được xác định bởi công thức :

$$dB = \frac{\mu_0 \cdot \mu}{4\pi} \cdot \frac{Idl \cdot \sin \theta}{r^2} \quad (1.2)$$

b. Vectơ cường độ từ trường

Theo công thức (1.1) , vectơ cảm ứng từ do dòng điện gây ra phụ thuộc độ từ thẩm μ của môi trường. Vì vậy, nếu ta đi từ môi trường này sang môi trường khác thì cùng với độ từ thẩm tỷ đối μ , vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ sẽ biến đổi

một cách đột ngột. Vì lẽ đó, ngoài vector cảm ứng từ $\vec{B}$ người ta còn đưa ra vector cường độ từ trường $\vec{H}$.

Vector cường độ từ trường $\vec{H}$ tại một điểm M trong từ trường là một vector bằng tỷ số giữa vector cảm ứng từ $\vec{B}$ tại điểm đó và tích $\mu\mu_0$:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0} \quad (1.3)$$

1.1.3. Từ trường của một số dòng điện đặc biệt

a. Từ trường của dòng điện chạy trong dây dẫn thẳng dài

Xét một đoạn dây dẫn thẳng AB, có dòng điện không đổi cường độ I chạy qua. Ta xác định vector cảm ứng từ $\vec{B}$ và vector cường độ từ trường $\vec{H}$ do dòng điện đó gây ra tại một điểm M nằm ngoài dòng điện.

Muốn vậy, ta tưởng tượng chia AB thành những phần tử nhỏ, có chiều dài dl. Theo định luật Biô – Xava – Laplatx, vector cảm ứng từ $d\vec{B}$ do phần tử đó gây ra tại M có phương vuông góc với mặt phẳng hình vẽ, có chiều xác định bởi quy tắc vắn nút chai (đối với điểm M, đó là chiều hướng vào trong hình vẽ) và có độ lớn :

$$dB = \frac{\mu_0\mu}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl \sin \theta}{r^2}$$

Theo nguyên lý chồng chất từ trường, vector cảm ứng từ $\vec{B}$ do đoạn dòng điện AB sinh ra là :

$$\vec{B} = \int_{AB} d\vec{B}$$

Vì các vector $d\vec{B}$ do các phần tử dòng điện của AB sinh ra đều có cùng phương chiều nên $\vec{B}$ cũng có cùng phương chiều như $d\vec{B}$ và có độ lớn :

$$B = \int_{AB} dB = \frac{\mu_o \mu}{4\pi} \cdot I \int_{AB} \frac{dl \cdot \sin \theta}{r^2}$$

Để tính tích phân này, ta hãy biểu diễn dl và r theo cùng một biến số θ . Trong tam giác vuông OHM, ta có :

$$\frac{l}{R} = \cot \theta \text{ và } \frac{R}{r} = \sin \theta$$

Từ đó ta suy ra :

$$dl = \frac{R d\theta}{\sin^2 \theta} \text{ và } r = \frac{R}{\sin \theta}$$

Trong biểu thức của dl ta lấy dấu cộng (+) vì độ dài dl là một số dương). Thay những giá trị ấy của dl và r vào biểu thức của B , ta có :

$$B = \frac{\mu_o \mu I}{4\pi R} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin \theta \cdot d\theta$$

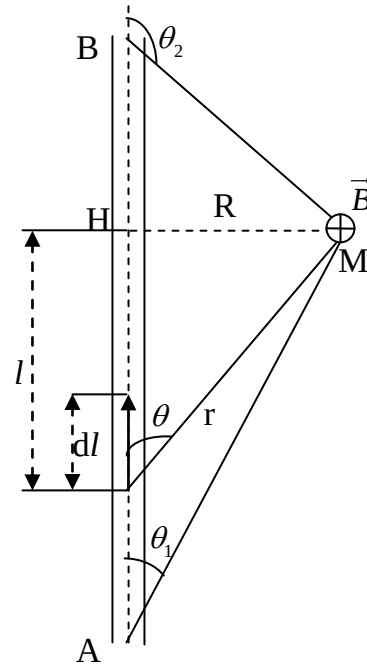
với θ_1 và θ_2 lần lượt là những góc hợp bởi dòng điện AB với các đường thẳng AM và BM nối từ điểm đầu A và điểm cuối B của đoạn dòng điện đến điểm M. Thực hiện phép tích phân, ta được :

$$B = \frac{\mu_o \mu I}{4\pi R} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (1.4)$$

Còn vector cường độ từ trường $\vec{H}$, theo định nghĩa là một vector có cùng phương chiều với vector cảm ứng từ $\vec{B}$ và có độ lớn :

$$H = \frac{I}{4\pi R} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (1.5)$$

Trường hợp dây dẫn AB dài vô hạn (tức trường hợp dòng điện thẳng dài vô hạn), $\theta_1 = 0$; $\theta_2 = \pi$, do đó :



$$B = \frac{\mu_o \mu I}{2\pi R} \text{ và } H = \frac{I}{2\pi R} \quad (1.6)$$

b. Từ trường của dòng điện tròn

Ta xác định vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ và vectơ cường độ từ trường $\vec{H}$ do dòng điện cường độ I chạy trong dây dẫn uốn thành vòng tròn bán kính R gây ra tại một điểm M nằm trên trục của dòng điện và cách tâm O của nó một đoạn h .

Ta thấy toàn bộ dòng điện tròn có thể phân thành từng cặp phần tử như $d\vec{l}_1$ và $d\vec{l}_2$, có chiều dài bằng nhau và nằm đối xứng với nhau đối với tâm O của vòng tròn. Như vậy, các vectơ cảm ứng từ $d\vec{B}_1$ và $d\vec{B}_2$ do chúng gây ra tại một điểm M trên trục của dòng điện cũng nằm đối xứng với nhau đối với trục đó. Kết quả là vectơ cảm ứng từ tổng hợp $d\vec{B}_1 + d\vec{B}_2$ của từng cặp phần tử là một vectơ nằm trên trục của dòng điện, và vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ do cả dòng điện tròn gây ra tại M cũng nằm trên trục ấy.

Bây giờ, ta tính cảm ứng từ dB do một phần tử dòng điện gây ra tại M . Ta có :

$$dB = \frac{\mu_o \mu}{4\pi} \cdot \frac{Idl \cdot \sin \theta}{r^2}$$

$$\text{Vì } \theta = \frac{\pi}{2} \text{ nên } dB = \frac{\mu_o \mu}{4\pi} \cdot \frac{Idl}{r^2}$$

Gọi dB_n là hình chiếu của vectơ $d\vec{B}$ trên trục của dòng điện và β là góc hợp bởi $d\vec{B}$ với trục ấy, ta có :

$$dB_n = dB \cdot \cos \beta = \frac{\mu_o \mu}{4\pi} \cdot \frac{IR \cdot dl}{r^3}$$

Vậy cảm ứng từ B do dòng điện tròn gây ra tại M là :

$$B = \int_{\text{ca dòng điện}} dB_n = \frac{\mu_o \mu IR}{4\pi r^3} \int_{\text{ca dòng điện}} dl$$

Nên ta có :

$$B = \frac{\mu_0 \mu I (\pi R^2)}{2\pi r^3} = \frac{\mu_0 \mu IS}{2\pi (R^2 + h^2)^{3/2}} \quad (1.7)$$

1.2. Từ thông. Định lý Oxtrogratzki – Gaux đối với từ trường

1.2.1. Từ thông

Trong từ trường, ta hãy xét một diện tích dS khá nhỏ sao cho vector cảm ứng từ tại mọi điểm của diện tích ấy có thể coi là bằng nhau. Theo định nghĩa, từ thông gửi qua diện tích dS là đại lượng về giá trị bằng :

$$d\Phi_m = \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (1.8)$$

trong đó : $\vec{B}$ là vector cảm ứng từ tại một điểm bất kỳ trên diện tích ấy, $d\vec{S}$ là một vector nằm theo phương của pháp tuyến $\vec{n}$ với diện tích đang xét, có chiều là chiều dương của pháp tuyến đó và có độ lớn bằng chính độ lớn của diện tích đó ($d\vec{S}$ còn được gọi là vector diện tích).

Nếu muốn tính từ thông gửi qua một diện tích có kích thước lớn nằm trong một từ trường bất kỳ, ta phải chia nó ra thành những phần tử diện tích khá nhỏ dS sao cho trên mỗi phần tử ấy, ta có thể coi vector cảm ứng từ $\vec{B}$ là không thay đổi. Như vậy, từ thông gửi qua diện tích lớn S sẽ được tính bằng tích phân của các từ thông gửi qua các phần tử diện tích ấy :

$$\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (1.9)$$

Trong hệ đơn vị SI, đơn vị từ thông là vécbe, ký hiệu là Wb.

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{1Wb}{1m^2} = 1W / m^2 = 1T$$

Vậy : Tesla là cảm ứng từ của một từ thông đều 1 vécbe xuyên vuông góc qua một mặt phẳng diện tích 1 mét vuông.

1.2.2. Định lý Ostrogradski đối với từ trường

Dựa vào tính chất xoáy của từ trường (tức tính khép kín của các đường cảm ứng từ), ta sẽ tính từ thông gửi qua một mặt kín S bất kỳ.

Theo quy ước, đối với một mặt kín, ta chọn chiều dương của pháp tuyến là chiều hướng ra phía ngoài mặt đó. Vì vậy, từ thông ứng với đường cảm ứng từ đi vào mặt kín là âm, từ thông ứng với đường cảm ứng từ đi ra khỏi mặt kín là dương. Vì các đường cảm ứng từ là khép kín, nên số đường đi vào mặt kín bằng số đường đi ra khỏi mặt đó. Kết quả là, từ thông ứng với các đường cảm ứng từ đi vào mặt kín và từ thông ứng với các đường đi ra khỏi mặt đó bằng nhau về trị số nhưng trái dấu. Vì vậy, từ thông toàn phần gửi qua một mặt kín bất kỳ thì bằng không. Đó là nội dung của định lý Ôxtrôgratxki – Gaox.

Dạng tích phân :
$$\iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (5.36)$$

Phát biểu: Từ thông toàn phần gửi qua một mặt kín bất kỳ thì bằng không.

Trong giải tích người ta chứng minh được rằng :
$$\oiint_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_{(V)} \text{div} \vec{B} \cdot dV$$

Trong đó V là thể tích giới hạn bởi mặt kín S. Vì vậy, ta có :
$$\int_{(V)} \text{div} \vec{B} \cdot dV = 0$$

Vì thể tích V được chọn bất kỳ nên :
$$\text{div} \vec{B} = 0 \quad (5.37)$$

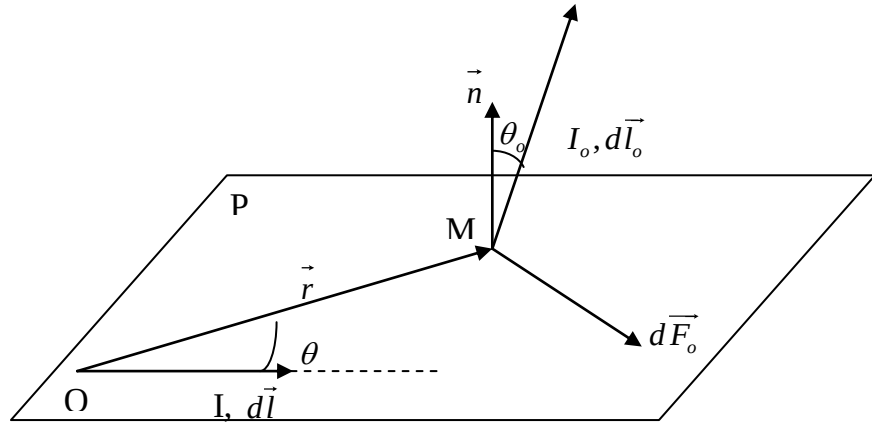
Định lý này diễn tả tính khép kín của các đường sức từ: người ta nói từ trường là trường không có nguồn.

1.3. Lực từ. Công của lực từ

1.3.1. Lực từ

a. Định luật Ampe

Định luật Ampe là định luật tương tác giữa hai phần tử dòng điện.



Hình 5-2

Phần tử dòng điện là một đoạn rất ngắn của dây dẫn có

dòng điện. Để biểu diễn nó, người ta đưa ra một vector $I.d\vec{l}$ nằm ngay trên phần tử dây dẫn có phương chiều là phương chiều của dòng điện và có độ lớn bằng $I.dl$.

Ta xét hai dòng điện hình dạng bất kỳ, nằm trong chân không, và có cường độ lần lượt là I và I_0 . Trên hai dòng điện đó, lấy hai phần tử dòng điện $I.d\vec{l}$ và $I_0.d\vec{l}_0$. Đặt $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$ và gọi θ là góc giữa phần tử $I.d\vec{l}$ và vector $\vec{r}$. Vẽ mặt phẳng P chứa phần tử $I.d\vec{l}$ và điểm M, vẽ pháp tuyến $\vec{n}$ đối với mặt phẳng p tại điểm M. Gọi θ_0 là góc giữa phần tử dòng điện $I_0.d\vec{l}_0$ và vector $\vec{n}$.

Định luật Ampe được phát biểu như sau: Từ lực do phần tử dòng điện $I.d\vec{l}$ tác dụng lên phần tử dòng điện $I_0.d\vec{l}_0$ cùng đặt trong chân không là một vector $\overrightarrow{dF_0}$:

+ Có phương vuông góc với mặt phẳng chứa phần tử $I_0.d\vec{l}_0$ và pháp tuyến $\vec{n}$.

+ Có chiều sao cho ba vector $\overrightarrow{dl_0}$, $\vec{n}$ và $\overrightarrow{dF_0}$ theo thứ tự đó, hợp thành một tam diện thuận.

+ Và có độ lớn bằng:

$$dF_0 = k \cdot \frac{I.dl \cdot \sin \theta \cdot I_0.dl_0 \cdot \sin \theta_0}{r^2} \quad (5.5)$$

Trong hệ SI, $k = \frac{\mu_0}{4\pi}$ với $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{henry}}{\text{met}}$ gọi là hằng số từ.

Định luật Ampe có thể được biểu diễn bằng biểu thức vector sau đây :

$$\vec{dF}_0 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I_0 \cdot \vec{dl}_0 \wedge (I \cdot \vec{dl} \wedge \vec{r})}{r^3} \quad (5.6)$$

Thí nghiệm chứng tỏ rằng : Nếu hai dòng điện i và i_0 cùng đặt trong một môi trường đồng chất nào đó , thì từ lực tăng lên μ lần so với từ lực

$$\vec{dF} = \frac{\mu_0 \cdot \mu}{4\pi} \cdot \frac{I_0 \cdot \vec{dl}_0 \wedge (I \cdot \vec{dl} \wedge \vec{r})}{r^3} \quad (5.7)$$

Trong đó μ được gọi là độ từ thẩm của môi trường.

b. Tác dụng của từ trường lên một phần tử dòng điện

Theo định luật Ampe, một phần tử dòng điện $I_0 \vec{dl}_0$ đặt tại một điểm M trong từ trường có cảm ứng từ $\vec{dB}$ sẽ chịu một từ lực:

$$d\vec{F} = I_0 \vec{dl}_0 \wedge d\vec{B}$$

Nếu ta đặt một phần tử dòng điện $I \vec{dl}$ tại một điểm M trong từ trường, ở đó vector cảm ứng từ là $\vec{B}$ thì phần tử đó sẽ chịu một từ lực là:

$$d\vec{F} = I \vec{dl} \wedge \vec{B}$$

Từ lực này gọi là lực Ampe, có phương vuông góc với phần tử dòng điện $I \vec{dl}$ và từ trường $\vec{B}$, có chiều sao cho ba vector $\vec{dl}, \vec{B}$ và $d\vec{F}$ theo thứ tự đó, hợp thành một tam diện thuận và có độ lớn bằng:

$$dF = I \cdot dl \cdot B \cdot \sin \alpha$$

Với α là góc hợp bởi dòng điện và từ trường.

Để xác định chiều của lực Ampe, ta có thể dùng quy tắc bàn tay trái sau đây: nếu bàn tay trái đặt theo phương của dòng điện để dòng điện đi từ cổ tay

đến đầu các ngón tay, và để từ trường xuyên vào lòng bàn tay, thì chiều của ngón tay cái đang ra là chiều của từ lực.

1.3.2. Công của lực từ

Khi dòng điện chuyển động trong từ trường, từ lực tác dụng lên dòng điện sẽ sinh công. Để tính công của từ lực, ta xét một thanh kim loại AB, dài l , có thể trượt trên hai dây kim loại song song của một mạch điện. Giả sử mạch điện này nằm trong một từ trường đều và vuông góc với vectơ cảm ứng từ $\vec{B}$ của từ trường. Lực Ampe tác dụng lên thanh có độ lớn bằng:

$$F = I.l.B$$

Khi thanh dịch chuyển một đoạn nhỏ ds , công của lực Ampe là:

$$dA = F.ds = I.l.B.ds = I.B.dS$$

trong đó $dS = l.ds$ là diện tích quét bởi đoạn dòng điện AB khi dịch chuyển. Nhưng:

$B.ds = d\Phi_m$ là từ thông gửi qua diện tích bị quét. Vì vậy, ta có:

$$dA = I.d\Phi_m$$

Nếu thanh AB dịch chuyển một đoạn hữu hạn, từ vị trí 1 đến vị trí 2, và trong khi đó, cường độ dòng điện qua thanh có thể coi như không thay đổi, thì công của lực Ampe là:

$$A = \int_1^2 I.d\Phi_m = I.\int_1^2 d\Phi_m = I.\Delta\Phi_m$$

Trong đó $\Delta\Phi_m$ là từ thông gửi qua diện tích bị quét. Nếu gọi Φ_{m1} là từ thông gửi qua diện tích lúc đầu của mạch điện, Φ_{m2} là từ thông gửi qua diện tích lúc sau của mạch, ta sẽ có:

$$\Delta\Phi_m = \Phi_{m2} - \Phi_{m1}$$

Với $\Phi_{m2} - \Phi_{m1}$ là độ biến thiên của từ thông gửi qua diện tích của mạch điện.

Tóm lại, ta có:

$$A = I . (\Phi_{m2} - \Phi_{m1})$$

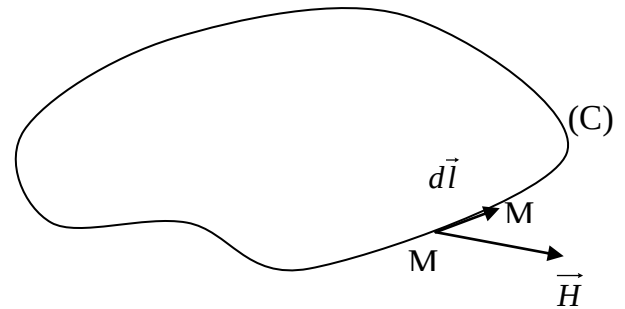
Người ta đã chứng minh được rằng các công thức trên cũng đúng cho một mạch điện bất kỳ dịch chuyển trong một từ trường bất kỳ. Vậy: Công của từ lực trong sự dịch chuyển một mạch điện bất kỳ trong từ trường bằng tích giữa cường độ dòng điện trong mạch và độ biến thiên của từ thông qua diện tích của mạch đó.

1.3.3. Định lý Ampe về lưu số của vector cường độ từ trường:

Tính chất xoáy của từ trường còn được thể hiện trong định lý Ampe về dòng điện toàn phần.

a. Lưu số của vector cường độ từ trường

Giả sử có một đường cong kín bất kỳ (C) nằm trong một từ trường bất kỳ. Gọi $d\vec{l}$ là vector chuyển dời ứng với một đoạn vô cùng nhỏ $\overline{MM'}$ trên đường cong, và $\vec{H}$ là vector cường độ từ trường trên đoạn ấy. Theo định nghĩa :



Hình 5-4

Lưu số của vector cường độ từ trường dọc theo đường cong kín (C) là đại lượng về giá trị bằng tích phân của $\vec{H} . d\vec{l}$ dọc theo toàn bộ đường cong đó :

$$\oint_{(C)} \vec{H} . d\vec{l} = \oint_{(C)} H . dl . \cos(\vec{H}, d\vec{l}) \quad (5.38)$$

b. Định lý Ampe về dòng điện toàn phần

Trường hợp đường cong (C) bao quanh dòng điện I, chứng minh được :

$$\oint_{(C)} \vec{H} . d\vec{l} = I \quad (5.39)$$

Theo lập luận trên, $I > 0$ nếu dòng điện nhận chiều dương (tức chiều dịch chuyển trên đường cong) làm chiều quay thuận xung quanh nó, $I < 0$ trong trường hợp ngược lại.

Trường hợp đường cong (C) không bao quanh dòng điện, tương tự ta cũng chứng minh được :

$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = 0 \quad (5.40)$$

Định lý Ampe về dòng điện toàn phần: Lưu số của vector cường độ từ trường dọc theo một đường cong kín (C) bất kỳ (một vòng) bằng tổng đại số cường độ của các dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó :

$$\oint_{(C)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{i=1}^n I_i \quad (5.41)$$

trong đó : I_i sẽ mang dấu dương ($I_i > 0$) nếu dòng điện thứ i nhận chiều dịch chuyển trên đường cong (C) làm chiều quay thuận xung quanh nó ; I_i sẽ mang dấu âm ($I_i < 0$) nếu dòng điện thứ i nhận chiều dịch chuyển trên đường cong (C) làm chiều quay nghịch xung quanh nó.

Ý nghĩa của định lý về dòng điện toàn phần : Nó nói lên rằng, từ trường không phải là một trường thế mà là một trường xoáy.

1.4. Hiện tượng cảm ứng điện từ

1.4.1. Thí nghiệm và định nghĩa hiện tượng cảm ứng điện từ

Lấy một ống dây điện và mắc nối tiếp nó với một điện kế G thành một mạch kín. Phía trên ống dây, ta đặt một thanh nam châm BN. Thí nghiệm chứng tỏ rằng nếu đưa thanh nam châm vào lòng ống dây thì kim của điện kế sẽ bị lệch đi, trong ống dây xuất hiện một dòng điện, dòng điện đó chính là dòng điện cảm ứng. Nếu rút thanh nam châm ra, dòng điện cảm ứng có chiều ngược lại. Di chuyển thanh nam châm càng nhanh, cường độ I_C của dòng điện cảm ứng càng lớn. Đang di chuyển, bỗng giữ thanh nam châm đứng lại, dòng điện cảm ứng mất ngay. Nếu thay nam châm bằng một ống dây có dòng điện,

hoặc giữ thanh nam châm và dịch chuyển ống dây, ta cũng có những kết quả tương tự như trên.

Qua thí nghiệm đó, Faraday đã rút ra những kết luận tổng quát sau đây: Sự biến đổi của từ thông qua mạch kín là nguyên nhân sinh ra dòng điện cảm ứng trong mạch đó. Dòng điện cảm ứng ấy chỉ tồn tại trong thời gian từ thông gửi qua mạch thay đổi. Cường độ dòng điện cảm ứng tỉ lệ thuận với tốc độ biến đổi của từ thông. Chiều của dòng điện cảm ứng phụ thuộc vào từ thông gửi qua mạch tăng hay giảm.

1.4.2. Các định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ

a. Định luật Lenx

Nghiên cứu hiện tượng cảm ứng điện từ, Lenx đã tìm ra định luật tổng quát về chiều của dòng điện cảm ứng, gọi là định luật Lenx: Dòng điện cảm ứng phải có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra có tác dụng chống lại nguyên nhân đã sinh ra nó.

b. Định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ

Sự xuất hiện của dòng điện cảm ứng chứng tỏ trong mạch có một suất điện động. Suất điện động ấy được gọi là suất điện động cảm ứng.

Để tìm biểu thức của suất điện động cảm ứng, ta hãy dịch chuyển một vòng dây dẫn kín (C) trong từ trường để từ thông gửi qua vòng dây thay đổi. Giả sử trong thời gian dt , từ thông gửi qua vòng dây biến thiên một lượng $d\Phi_m$ và dòng điện cảm ứng xuất hiện trong vòng dây có cường độ I_C . Khi đó công của lực từ tác dụng lên dòng điện cảm ứng là :

$$dA = I_C \cdot d\Phi_m$$

Theo định luật Lenx, từ lực tác dụng lên dòng điện cảm ứng phải ngăn cản sự dịch chuyển của vòng dây vì sự dịch chuyển này là nguyên nhân sinh ra dòng điện cảm ứng. Vì vậy, công của từ lực tác dụng lên dòng điện cảm ứng là công cản. Và do đó, để dịch chuyển vòng dây, ta phải tốn một công dA' , về trị số bằng công cản đó :

$$dA' = -dA = -I_C \cdot d\Phi_m$$

Theo định luật bảo toàn năng lượng, công dA' này được chuyển thành năng lượng của dòng điện cảm ứng. Vì năng lượng của dòng điện cảm ứng là $E_C \cdot I_C \cdot dt$, trong đó E_C là suất điện động cảm ứng, nên ta có :

$$E_C \cdot I_C \cdot dt = -I_C \cdot d\Phi_m$$

Từ đó ta suy ra :

$$E_C = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$

Đó là biểu thức của suất điện động cảm ứng mà ta phải tìm. Biểu thức ấy nói lên nội dung cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ : Suất điện động cảm ứng luôn luôn bằng về trị số, nhưng trái dấu với tốc độ biến thiên của từ thông gửi qua diện tích của mạch điện.

1.4.3. Hiện tượng tự cảm

a. Thí nghiệm về hiện tượng tự cảm

Xét một mạch điện gồm một ống dây điện có lõi sắt và một điện kế mắc song song với ống dây, cả hai lại mắc nối tiếp với một nguồn điện một chiều và một ngắt điện K. Giả sử ban đầu mạch điện đã đóng kín, kim của điện kế nằm ở một vị trí a nào đó.

Nếu ngắt mạch điện, ta thấy kim điện kế lệch về quá số không rồi mới quay trở lại số không đó. Nếu đóng mạch điện, ta thấy kim điện kế vượt lên quá vị trí a lúc nãy rồi mới quay trở lại vị trí đó. Ta hãy giải thích các hiện tượng trên.

Khi ngắt mạch, nguồn điện ngừng cung cấp năng lượng để duy trì dòng điện trong mạch. Vì vậy, phần dòng điện qua điện kế giảm ngay về không. Nhưng phần dòng điện qua cuộn dây, khi giảm về không, lại làm cho từ thông gửi qua chính cuộn dây đó giảm xuống. Kết quả là trong cuộn dây xuất hiện một dòng điện cảm ứng cùng chiều với dòng điện ban đầu để chống lại sự giảm của dòng điện này. Dòng điện cảm ứng chạy qua điện kế theo chiều từ B sang A. Và vì vậy, kim điện kế lệch quá về số không rồi mới trở lại số không đó.

Còn khi đóng mạch, dòng điện qua điện kế và cuộn dây đều tăng lên từ giá trị không, nhưng dòng điện qua ống dây đang tăng ấy lại gây ra trong cuộn dây dòng điện cảm ứng ngược chiều với nó. Dòng điện cảm ứng này một phần rẽ qua điện kế theo chiều từ A sang B và do đó làm cho kim điện kế vượt quá vị trí a rồi mới trở về vị trí đó.

Thí nghiệm này chứng tỏ : nếu ta làm thay đổi cường độ dòng điện trong một mạch điện để từ thông do chính dòng điện đó gửi qua diện tích của mạch thay đổi, thì trong mạch cũng xuất hiện dòng điện cảm ứng. Vì dòng điện này là do sự cảm ứng của dòng trong mạch sinh ra nên nó được gọi là dòng điện tự cảm, còn hiện tượng nói trên được gọi là hiện tượng tự cảm.

Một cách tổng quát khi trong một mạch kín có dòng điện biến đổi theo thời gian thì trong mạch sẽ xuất hiện hiện tượng tự cảm.

b. Suất điện động tự cảm

Suất điện động gây ra dòng điện tự cảm được gọi là suất điện động tự cảm. Theo định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ, biểu thức của suất điện động tự cảm là :

$$E_{tc} = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

Trong đó Φ_m là từ thông do chính dòng điện trong mạch gửi qua diện tích của mạch đó. Dễ dàng thấy rằng từ thông Φ_m tỉ lệ thuận với cảm ứng từ B do dòng điện trong mạch sinh ra, và cảm ứng từ đó lại tỉ lệ thuận với cường độ I của dòng điện trong mạch. Do đó từ thông Φ_m tỉ lệ thuận với cường độ dòng điện I đó :

$$\Phi_m = L.I$$

Trong đó L và hệ số tỉ lệ phụ thuộc hình dạng, kích thước của mạch điện, và phụ thuộc tính chất của môi trường trong đó ta đặt mạch. L được gọi là độ tự cảm của mạch điện.

$$E_{tc} = -\frac{d(LI)}{dt}$$

Bình thường, mạch điện đứng yên và không thay đổi hình dạng nên $L = \text{const}$ và từ đó :

$$E_{tc} = -L \frac{dI}{dt}$$

Công thức này chứng tỏ : Trong mạch điện đứng yên và không thay đổi hình dạng, suất điện động tự cảm luôn luôn tỉ lệ thuận nhưng trái dấu với tốc độ biến thiên cường độ dòng điện trong mạch.

1.4.4. Hiện tượng hồ cảm

a. Hiện tượng

Giả sử có hai mạch điện kín (C_1) và (C_2) đặt cạnh nhau, trong đó có các dòng điện cường độ I_1 và I_2 chạy qua. Nếu ta làm biến đổi cường độ dòng điện chạy trong các mạch đó thì từ thông do mỗi mạch sinh ra và gửi qua diện tích của mạch kia sẽ thay đổi theo. Kết quả là, trong cả hai mạch đều xuất hiện dòng điện cảm ứng. Hiện tượng đó được gọi là hiện tượng hồ cảm và các dòng điện cảm ứng đó được gọi là các dòng điện hồ cảm.

b. Suất điện động hồ cảm. Độ hồ cảm

Suất điện động gây ra dòng điện hồ cảm được gọi là suất điện động hồ cảm. Biểu thức của nó cũng được tính theo định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ, nghĩa là :

$$E_{hc} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$

Với Φ_m là từ thông gửi qua mạch điện (C_1) hoặc (C_2) mà ta xét.

Gọi Φ_{m12} là từ thông do dòng điện I_1 sinh ra và gửi qua diện tích của mạch (C_2) ; Φ_{m21} là từ thông do dòng điện I_2 sinh ra và gửi qua diện tích của mạch (C_1). Dễ dàng nhận thấy rằng : từ thông Φ_{m12} do dòng điện I_1 sinh ra thì tỉ lệ thuận với I_1 :

$$\Phi_{m12} = M_{12} \cdot I_1$$

Với M_{12} là một hệ số tỉ lệ, gọi là độ hồ cảm của hai mạch (C_1) và (C_2). Còn từ thông Φ_{m21} do dòng điện I_2 sinh ra thì tỉ lệ thuận với I_2 :

$$\Phi_{m21} = M_{21} \cdot I_2$$

Với M_{21} là một hệ số tỉ lệ, cũng được gọi là độ hồ cảm của hai mạch (C_2) và (C_1). Hai hệ số hồ cảm M_{12} và M_{21} đều phụ thuộc vào hình dạng, kích thước, vị trí tương hồ của hai mạch và phụ thuộc vào tính chất của môi trường trong đó đặt các mạch. Người ta đã chứng minh được : $M_{12} = M_{21} = M$

Do đó, suất điện động hồ cảm xuất hiện trong mạch (C_2) là :

$$E_{hc2} = - \frac{d\Phi_{m12}}{dt} = -M \cdot \frac{dI_1}{dt}$$

Và suất điện động hồ cảm xuất hiện trong mạch (C_1) là :

$$E_{hc1} = - \frac{d\Phi_{m21}}{dt} = -M \cdot \frac{dI_2}{dt}$$

Độ hồ cảm M có cùng thứ nguyên với độ tự cảm L , và có đơn vị là Henry (H).

1.5. Năng lượng từ trường

1.5.1. Năng lượng của từ trường của ống dây điện

Cho một mạch điện gồm có ống dây, khóa K và nguồn có suất điện động E . Giả sử ban đầu, mạch đã được đóng kín, trong mạch có dòng điện không đổi I . Khi ấy toàn bộ điện năng do nguồn điện sinh ra đều biến thành nhiệt. Điều này là đúng khi trong mạch có dòng điện không đổi nhưng không đúng trong lúc đóng mạch hoặc ngắt mạch. Thực vậy, khi đóng mạch, dòng điện i tăng dần từ giá trị không đến giá trị ổn định, cực đại I . Trong quá trình ấy, trong mạch xuất hiện dòng điện tự cảm i_{tc} ngược chiều với dòng điện chính i_0 do nguồn phát ra, làm cho dòng điện toàn phần trở trong mạch $i = i_0 - i_{tc}$ nhỏ hơn i_0 . Kết quả là chỉ có một phần điện năng do nguồn sinh ra là biến thành nhiệt mà thôi. Trái lại, khi ngắt mạch, dòng điện chính giảm đột ngột từ giá trị I

về không. Do đó trong mạch xuất hiện dòng điện tự cảm cùng chiều với dòng điện đó, làm cho dòng điện toàn phần trong mạch lớn lên và giảm chậm lại, nhiệt lượng tỏa ra trong mạch lúc này lớn hơn năng lượng do nguồn điện sinh ra.

Vậy rõ ràng là, khi đóng mạch, một phần điện năng do nguồn điện sinh ra được tiềm tàng dưới một dạng năng lượng nào đó để khi ngắt mạch, phần năng lượng này tỏa ra dưới dạng nhiệt trong mạch. Vì khi đóng mạch, dòng điện trong mạch tăng thì từ trường trong ống dây cũng tăng theo, cho nên phần năng lượng được tiềm tàng đó chính là năng lượng từ trường của ống dây điện.

Áp dụng định luật Ôm cho mạch điện trong quá trình dòng điện đang được thành lập, ta có :

$$E + E_{ic} = R.i$$

Trong đó R là điện trở của toàn mạch. Vì $E_{ic} = -L.\frac{di}{dt}$ nên phương trình trên trở thành :

$$E - L.\frac{di}{dt} = R.i$$

$$\text{Hay } E = R.i + L.\frac{di}{dt}$$

Nhân cả hai vế với idt ta có :

$$E.i.dt = R.i^2.dt + L.i.di$$

Nhìn phương trình này, ta thấy ở vế trái chính là năng lượng do nguồn điện sinh ra trong khoảng thời gian dt , năng lượng này một phần tỏa thành nhiệt trong mạch (Ri^2dt), còn một phần được tiềm tàng dưới dạng năng lượng từ trường :

$$dW_m = L.i.di$$

Vậy trong cả quá trình thành lập dòng điện, phần năng lượng của nguồn điện được tiềm tàng dưới dạng năng lượng từ trường là :

$$W_m = \int_0^{W_m} dW_m = \int_0^I L di = \frac{1}{2} LI^2$$

1.5.2. Năng lượng của từ trường bất kỳ

Lý thuyết và thực nghiệm chứng tỏ rằng: Năng lượng từ trường được phân bố trong khoảng không gian của từ trường. Như ta đã biết, từ trường của ống dây điện thẳng và dài là từ trường đều và có thể coi như chỉ tồn tại trong thể tích của ống dây đó. Nếu gọi $V = l.S$ là thể tích của ống dây thì mật độ năng lượng từ trường của ống dây điện là:

$$\omega_m = \frac{W_m}{V} = \frac{\frac{1}{2}.L.I^2}{V} = \frac{\frac{1}{2}(\mu.\mu_0.\frac{n^2.S}{l}).I^2}{l.S} = \frac{1}{2}.\mu.\mu_0.\frac{n^2}{l^2.I^2} \quad (5.56)$$

Biết rằng cảm ứng từ B trong ống dây điện là:

$$B = \mu.\mu_0.\frac{n}{l}.I$$

Do đó, ta có:

$$\omega_m = \frac{1}{2}.\frac{B^2}{\mu_0.\mu} \quad (5.57)$$

Người ta chứng minh được rằng, công thức trên cũng áp dụng được cho một từ trường bất kỳ. Vì vậy, để tính năng lượng của một từ trường bất kỳ, ta chia không gian của từ trường đó thành những phần thể tích vô cùng nhỏ dV sao cho trong mỗi thể tích ấy, ta có thể coi cảm ứng từ B là đều. Như vậy, năng lượng từ trường trong mỗi thể tích dV ấy là:

$$dW_m = \omega_m.dV = \frac{1}{2}.\frac{B^2}{\mu_0.\mu}.dV \quad (5.58)$$

Do đó năng lượng của một từ trường bất kỳ bằng:

$$W_m = \int_V dW_m = \int_V \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu_0 \cdot \mu} \cdot dV \quad (5.59)$$

Phép tích phân trên phải được thực hiện cho toàn bộ không gian của từ trường.

Mà:
$$H = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu}$$

Do đó, biểu thức trên còn được viết dưới dạng:

$$W_m = \frac{1}{2} \int_V B.H.dV \quad (5.60)$$

BÀI TẬP

I. Từ trường của một số dòng điện chạy trong các dây dẫn có hình dạng đặc biệt

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

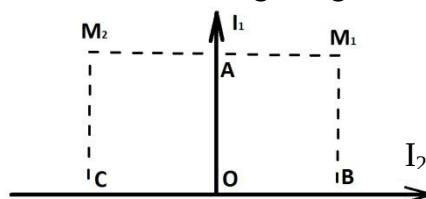
($H = 39,8A/m$)

Bài 2: Tìm cường độ từ trường gây ra tại điểm M bởi một đoạn dây dẫn thẳng AB có dòng điện $I = 20A$ chạy qua biết M nằm trên trung trực của AB và cách AB 5cm và nhìn AB dưới một góc 60° ?

($h = 31,8A/m$)

Bài 3: Hai dòng điện thẳng dài vô hạn đặt thẳng góc với nhau và nằm trong cùng một mặt phẳng. Xác định vector cường độ từ trường tổng hợp tại các điểm M_1 và M_2 , biết rằng: $I_1 = 2A$, $I_2 = 3A$, $AM_1 = AM_2 = 1cm$, $BM_1 = CM_2 = 2cm$.

($H(M_1) = 8A/m$, $H(M_2) = 55,8A/m$)



Bài 4: Một dây dẫn được uốn thành hình chữ nhật, có các cạnh $a = 16cm$ và $b = 30cm$, có dòng điện cường độ $I = 6A$ chạy qua. Xác định vector cường độ từ trường tại tâm của khung dây.

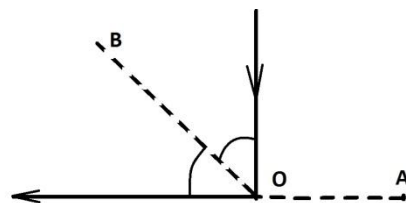
($H = 27,1A/m$)

Bài 5: Một dây dài vô hạn được uốn thành một góc vuông, trên có dòng điện 20A chạy qua. Tìm:

a. Cường độ từ trường tại điểm A nằm trên một cạnh góc vuông và cách đỉnh O một đoạn $OA = 2cm$.

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

(a. $H_A = 79,8A/m$; b. $H_B = 76,8A/m$)



Bài 6: Hai vòng dây dẫn tròn có tâm trùng nhau và được đặt sao cho trục của chúng vuông góc với nhau. Bán kính mỗi vòng dây là $R = 2cm$. Dòng điện chạy qua chúng có cường độ $I_1 = I_2 = 5A$. Tìm cường độ từ trường tại tâm của chúng?

Bài 7: Hai dây dẫn thẳng dài vô hạn vuông góc với nhau và nằm trong mặt phẳng vuông góc. Trên các dây dẫn có các dòng điện $I_1 = 2A$ và $I_2 = 3A$ chạy qua. Xác định vector cường độ từ trường tại các điểm M_1 và M_2 . Cho biết khoảng cách giữa hai dây dẫn $AB = 2cm$, $AM_1 = AM_2 = 1cm$.

Bài 8: Hai vòng dây dẫn giống nhau bán kính $r = 10cm$ được đặt song song, trục trùng nhau và mặt phẳng của chúng cách nhau một đoạn $a = 20cm$. Tìm cảm ứng từ tại tâm

của mỗi vòng dây và tại điểm giữa của đoạn thẳng nối tâm của chúng trong hai trường hợp:

- Các dòng điện chạy trên các vòng dây bằng nhau và cùng chiều.
- Các dòng điện chạy trên các vòng dây bằng nhau nhưng ngược chiều nhau.

II. Từ thông

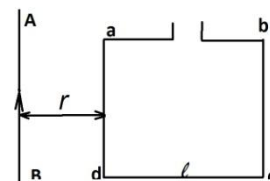
Bài 9: Một khung dây hình vuông abcd mỗi cạnh $l = 2\text{cm}$ được đặt gần dòng điện thẳng dài vô hạn AB có cường độ $I = 30\text{A}$. Khung abcd và dây AB cùng nằm trong một mặt phẳng cạnh ad song song với dây AB và cách AB một đoạn $r = 1\text{cm}$. Tính từ thông gửi qua khung dây?

$(1,318 \cdot 10^{-7} \text{Wb})$

Bài 10: Cho một khung dây phẳng diện tích 16cm^2 quay trong một từ trường đều với vận tốc 2 vòng/s. Trục quay nằm trong mặt phẳng của khung và vuông góc với các đường sức từ trường. Cường độ từ trường bằng $7,96 \cdot 10^4 \text{ A/m}$. Tìm:

- Sự phụ thuộc của từ thông gửi qua khung dây theo thời gian.
- Giá trị lớn nhất của từ thông đó?

Bài 11: Một thanh kim loại dài $l = 1\text{m}$ quay trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,05\text{T}$. Trục quay vuông góc với thanh, đi qua một đầu của thanh và song song với đường sức từ trường. Tìm từ thông quét bởi thanh sau một vòng quay?



Bài 12: Một khung dây hình vuông abcd mỗi cạnh $l = 2\text{cm}$, được đặt gần dòng điện thẳng dài vô hạn AB cường độ $I = 30\text{A}$. Khung abcd và dây AB cùng nằm trong một mặt phẳng, cạnh ad song song với dây AB và cách dây một đoạn $r = 1\text{cm}$. Tính từ thông gửi qua khung dây?

III. Lực từ

Bài 13: Một dây dẫn thẳng dài 70cm được đặt trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,1\text{T}$. Dây dẫn hợp với đường sức từ trường một góc $\alpha = 30^\circ$. Tìm từ lực tác dụng lên dây dẫn khi cho dòng điện $I = 70\text{A}$ chạy qua dây dẫn.

Bài 14: Trong một từ trường đều cảm ứng từ $B = 0,1\text{T}$ và trong mặt phẳng vuông góc với các đường sức từ người ta đặt một dây dẫn uốn thành nửa vòng tròn. Dây dẫn dài $s = 63\text{cm}$, có dòng điện $I = 20\text{A}$ chạy qua. Tìm lực tác dụng của từ trường lên dây dẫn?

Bài 15: Xác định lực từ do một dòng điện thẳng dài vô hạn tác dụng lên một khung dây dẫn hình vuông $a = 40\text{cm}$. Biết rằng cường độ dòng điện thẳng $I_1 = 10\text{A}$, cường độ dòng điện chạy trong khung $I_2 = 2,5\text{A}$. Dây dẫn thẳng nằm trong mặt phẳng của khung dây, song song với một cạnh của khung và cách cạnh gần nhất một đoạn $d = 0,02\text{m}$. Khung dây không bị biến dạng. Chiều các dòng điện cho như hình vẽ.

IV. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Bài 16: Một thanh dẫn thẳng dài $l = 10\text{cm}$ chuyển động với vận tốc $v = 15\text{m/s}$ trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,1\text{T}$. Tìm suất điện động cảm ứng xuất hiện trong thanh dẫn biết rằng thanh, phương đường sức từ trường và phương dịch chuyển luôn luôn vuông góc với nhau từng đôi một.

Bài 17: Một khung hình vuông làm bằng dây đồng tiết diện $S_0 = 1\text{mm}^2$ được đặt trong một từ trường có cảm ứng từ biến đổi theo định luật $B = B_0 \sin \omega t$, trong đó $B_0 = 0,01\text{T}$, $T = 0,02\text{s}$. Diện tích của khung $S = 25\text{cm}^2$. Mặt phẳng của khung vuông góc với đường sức từ trường. Tìm sự phụ thuộc vào thời gian và giá trị cực đại của các đại lượng sau:

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

Bài 18: Một ống dây dẫn thẳng gồm $N = 500$ vòng được đặt trong một từ trường có đường sức từ trường song song với trục của ống dây. Đường kính của ống dây $d = 10\text{cm}$. Tìm suất điện động cảm ứng trung bình xuất hiện trong ống dây nếu trong thời gian $\Delta t = 0,1\text{s}$ người ta cho cảm ứng từ thay đổi từ 0 đến 2T .

Bài 19: Một hạt α có động năng $W_d = 500\text{eV}$ bay theo hướng vuông góc với đường sức của một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 0,1\text{T}$. Cho biết hạt α có điện tích bằng $+2e$, tìm:

- Lực tác dụng lên hạt α ?
- Bán kính quỹ đạo của hạt?
- Chu kỳ quay của hạt trên quỹ đạo?

(a. $F = 5 \cdot 10^{-5}\text{N}$; b. $R = 3,2 \cdot 10^{-2}\text{m}$; c. $T = 1,3 \cdot 10^{-6}\text{s}$)

Bài 20: Một cuộn dây dẫn gồm $N = 100$ vòng quay trong từ trường đều với vận tốc không đổi $\omega = 5$ vòng/s. Cảm ứng từ $B = 0,1\text{T}$. Tiết diện ngang của ống dây $S = 100\text{cm}^2$. Trục quay vuông góc với trục của ống dây và vuông góc với đường sức từ trường. Tìm sự phụ thuộc của suất điện động xuất hiện trong cuộn dây theo thời gian và giá trị cực đại của nó?

Bài 21: Một thanh kim loại dài $l = 1\text{m}$ quay với vận tốc không đổi là 20rad/s trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 5 \cdot 10^{-2}\text{T}$. Trục quay đi qua một đầu của thanh, thẳng góc với thanh và song song với đường sức từ trường. Tìm hiệu điện thế xuất hiện giữa hai đầu của thanh.

Bài 22: Một thanh kim loại dài $l = 1,2\text{m}$ quay trong một từ trường đều có cảm ứng từ $B = 10^{-3}\text{T}$ với vận tốc không đổi là 120 vòng/phút. Trục quay vuông góc với thanh, song song với đường sức từ trường và cách một đầu của thanh một đoạn là $l_1 = 25\text{cm}$. Tìm hiệu điện thế xuất hiện giữa hai đầu của thanh.

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

V. Hiện tượng tự cảm

Bài 24: Tìm độ tự cảm của một ống dây thẳng gồm $N = 400$ vòng, dài $l = 20\text{cm}$, diện tích tiết diện ngang $S = 9\text{cm}^2$ trong hai trường hợp:

- Ống dây không có lõi sắt.
- Ống dây có lõi sắt. Biết độ từ thẩm của lõi sắt trong điều kiện cho là 400.

Bài 25: Một ống dây có đường kính $D = 4\text{cm}$, độ tự cảm $L = 0,001\text{H}$, được quấn bởi loại dây dẫn có đường kính $d = 0,6\text{mm}$. Các vòng được quấn sát nhau, và chỉ quấn một lớp. Tính số vòng của ống dây.

Một ống dây hình trụ, lõi chân không, có chiều dài là 40cm và được quấn 2000 vòng dây. Biết bán kính của ống dây là 5cm .

- Xác định độ tự cảm của ống dây?
- Khi dòng điện chạy qua dây dẫn có cường độ $i_1 = 4\text{A}$ thì từ thông riêng gửi qua ống dây nói trên là bao nhiêu?
- Nếu dòng điện có cường độ tăng đều từ 4A đến 8A trong thời gian $0,5\text{s}$. Hãy tính độ lớn của suất điện động tự cảm xuất hiện trong ống dây?
- Tính năng lượng từ trường tích lũy trong ống dây biết $i = 6\text{A}$.

Bài 26: Cho một ống dây thẳng gồm $N = 800$ vòng. Tính:

- Hệ số tự cảm của ống dây biết rằng khi có dòng điện tốc độ biến thiên 50A/s chạy trong ống dây thì suất điện động tự cảm trong ống bằng $0,16\text{V}$.
- Từ thông gửi qua tiết diện thẳng của ống dây khi trên cuộn dây có dòng điện $I = 2\text{A}$ chạy qua.
- Năng lượng từ trường trong cuộn dây.

CHƯƠNG 2: TRƯỜNG ĐIỆN TỪ VÀ SÓNG ĐIỆN TỪ

2.1. Trường điện từ

Dòng điện sinh ra từ trường và ngược lại, từ trường biến đổi lại sinh ra dòng điện. Như vậy, giữa dòng điện và từ trường có mối quan hệ biến đổi tương hỗ rất khăng khít. Đi sâu nghiên cứu mối quan hệ đó, Măcxoen đã phát hiện ra rằng : không phải chỉ giữa dòng điện và từ trường, mà cơ bản là, giữa điện trường và từ trường có mối quan hệ khăng khít đó. Kết quả nghiên cứu ấy được tổng kết thành hai luận điểm, gọi là luận điểm thứ nhất và luận điểm thứ 2 của Măcxoen. Từ đó, ông đã xây dựng nên lý thuyết về trường điện từ dạng thống nhất bao gồm cả điện trường và từ trường.

2.1.1. Luận điểm thứ nhất của Măcxoen

Trong hiện tượng cảm ứng điện từ, nguyên nhân gây ra dòng cảm ứng là sự biến đổi của từ thông gửi qua mạch điện, tức sự biến đổi của từ trường tại nơi đặt mạch. Vậy điện trường gây nên dòng cảm ứng chỉ có thể do từ trường biến đổi theo thời gian sinh ra. Thực nghiệm đã xác nhận rằng điện trường gây nên dòng điện cảm ứng có những đường sức khép kín. Người ta gọi điện trường này là điện trường xoáy.

Trên cơ sở phân tích như trên, Măcxoen đã phát biểu được một luận điểm tổng quát, gọi là luận điểm thứ nhất của Măcxoen: Bất kỳ một từ trường nào biến đổi theo thời gian cũng sinh ra một điện trường xoáy.

Luận điểm này được biểu diễn một cách định lượng bằng một phương trình, gọi là phương trình Măcxoen – Faraday. Để thiết lập phương trình này, ta hãy xét một vòng dây dẫn khép kín (C) nằm trong một từ trường $\vec{B}$ đang biến đổi. Theo định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ, suất điện động cảm ứng xuất hiện trong vòng dây đó là :

$$E_C = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{d}{dt} \left(\int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \right) \quad (5.11)$$

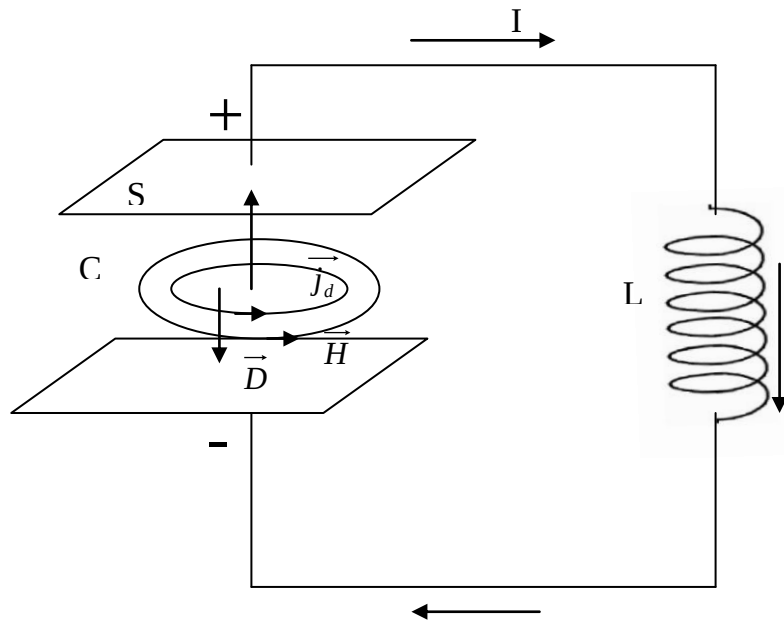
Trong đó : $\Phi_m = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$ là từ thông gửi qua diện tích S giới hạn bởi vòng dây dẫn mà ta xét.

Mặt khác,
theo định nghĩa
của suất điện
động, ta có :

$$E_C = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (5.12)$$

Trong đó $\vec{E}$ là
vector cường độ
điện trường xoáy
trên đoạn dịch
chuyển dS của
vòng dây, $d\vec{l}$ là

vector biểu thị đoạn dịch chuyển đó. So sánh (5.11) và (5.12) ta được :



Hình 2-1: Khi điện trường giảm, vector mật độ dòng điện dịch ngược chiều với vec tơ cảm ứng điện

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (5.13)$$

Nội dung của phương trình này là : Lưu số của vector cường độ điện trường xoáy dọc theo một đường cong kín bất kỳ thì bằng về giá trị tuyệt đối, nhưng trái dấu với tốc độ biến thiên theo thời gian của từ thông gửi qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó.

Ý nghĩa của phương trình là ở chỗ : Nó cho phép ta tính được điện trường xoáy $\vec{E}$, nếu biết trước quy luật biến đổi của từ trường theo thời gian.

Phương trình Măcxoen – Faraday dưới dạng vi phân :

$$\text{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (5.14)$$

Dưới dạng này, nó có thể áp dụng đối với từng điểm một trong không gian có từ trường biến đổi.

2.1.2. Luận điểm thứ hai của Măcxoen

Nội dung của luận điểm thứ hai của Măcxoen : Bất kỳ một điện trường nào biến đổi theo thời gian cũng sinh ra một từ trường (luận điểm này đã được thực nghiệm chứng minh).

Luận điểm thứ hai của Măcxoen được biểu diễn một cách định lượng bởi một phương trình gọi là phương trình Măcxoen – Ampe . Giả thuyết của Măcxoen về dòng điện dịch : Theo luận điểm thứ hai của Măcxoen, điện trường biến đổi theo thời gian sinh ra từ trường. Nhưng dòng điện dẫn (tức dòng các hạt chuyển động có hướng) cũng sinh ra từ trường. Do đó, xét về phương diện sinh ra từ trường thì điện trường biến đổi theo thời gian có tác dụng giống như một dòng điện. Dòng điện này Măcxoen gọi là dòng điện dịch. Vậy, ta có định nghĩa : Dòng điện dịch là dòng điện tương đương với điện trường biến đổi theo thời gian về phương diện sinh ra từ trường.

Xét một mạch gồm một tụ điện có điện dung C và một cuộn dây điện có hệ số tự cảm L mắc nối tiếp với nhau. Lúc đầu, ta giả sử tụ điện C đang phóng điện. Điện tích của nó trên hai bản của tụ điện đang giảm. Trong mạch có một dòng điện dẫn chạy qua cuộn dây L từ bản dương sang bản âm, còn trong khoảng chân không giữa hai bản đó có một điện trường đang giảm. Vector cảm ứng điện $\vec{D}$ của điện trường này hướng từ bản dương sang bản âm và có độ lớn đang giảm. Sau đó, ta lại giả sử tụ điện C đang được nạp điện. Điện tích trên hai bản của nó đang tăng lên. Trong mạch có dòng điện dẫn chạy qua cuộn dây L từ bản âm sang bản dương của tụ điện còn trong khoảng chân không giữa hai bản đó có điện trường đang tăng. Vector cảm ứng điện $\vec{D}$ của điện trường này vẫn hướng từ bản dương sang bản âm nhưng có độ lớn đang tăng.

Theo Măcxoen , điện trường biến đổi giữa hai bản của tụ điện sinh ra từ trường giống như một dòng điện (dòng điện dịch) chạy qua toàn bộ không gian giữa hai bản của tụ điện, có chiều là chiều của dòng điện dẫn trong mạch và có cường độ bằng cường độ dòng điện dẫn trong mạch đó. Như vậy :

- Khi tụ điện phóng điện, vector cảm ứng điện $\vec{D}$ đang giảm thì dòng điện dịch chạy từ bản âm sang bản dương, ngược với chiều của vector $\vec{D}$ ấy. Còn khi tụ điện đang được nạp điện, vector cảm ứng điện $\vec{D}$ đang tăng thì dòng điện dịch chạy từ bản dương sang bản âm, cùng chiều với vector $\vec{D}$ ấy.

- Nếu gọi I_d là cường độ dòng điện dịch chạy giữa hai bản tụ điện, s là diện tích của mỗi bản thì mật độ dòng điện dịch giữa hai bản đó là :

$$j_d = \frac{I_d}{S} = \frac{I}{S} \quad (5.15)$$

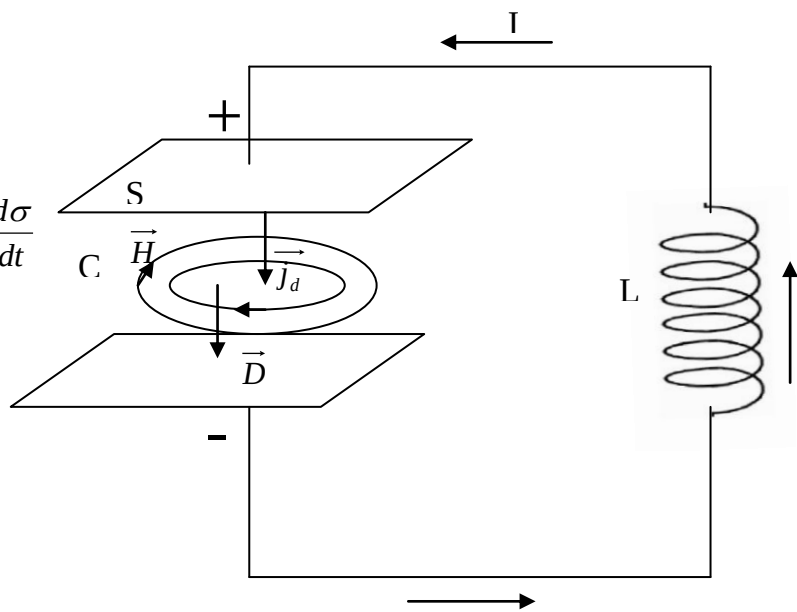
Với I là cường độ dòng điện dẫn chạy trong mạch. Nếu trong khoảng thời gian dt , điện tích trên bản dương của tụ điện tăng một lượng là dq thì cường độ dòng điện dẫn I trong mạch bằng :

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Do đó :

$$j_d = \frac{1}{S} \cdot \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{q}{S} \right) = \frac{d\sigma}{dt} \quad (5.16)$$

Với $\sigma = \frac{q}{S}$ là mật độ điện tích trên bản dương của tụ điện.



Hình 5-4: Khi điện trường tăng, vector mật độ dòng điện dịch cùng chiều với vector cảm ứng điện.

Ta đã

chứng minh được : $D = \sigma$

$$\text{Thế vào biểu thức trên ta được : } j_d = \frac{dD}{dt} \quad (5.17)$$

$$\text{Dưới dạng vector ta có thể viết : } \vec{j}_d = \frac{d\vec{D}}{dt} \quad (5.18)$$

Biểu thức này chứng tỏ : Vector mật độ dòng điện dịch bằng tốc độ biến thiên theo thời gian của vector cảm ứng điện.

Vì chỉ có điện trường biến đổi theo thời gian mới sinh ra từ trường , nên ta phải dùng dấu đạo hàm riêng $\frac{\partial}{\partial t}$ thay cho dấu đạo hàm toàn phần $\frac{d}{dt}$. Khi đó, ta có :

$$\vec{j}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (5.19)$$

Mở rộng giả thuyết đã nêu ở trên về dòng điện dịch cho trường hợp một điện trường bất kỳ, Mắcxoen đi tới giả thuyết tổng quát :

Xét về phương diện sinh ra từ trường thì bất kỳ một điện trường nào biến đổi theo thời gian cũng giống như một dòng điện, gọi là dòng điện dịch có vector mật độ dòng bằng :

$$\vec{j}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Trong đó $\vec{D}$ là vector cảm ứng điện tại điểm mà ta xét.

Phương chiều của từ trường do điện trường biến đổi sinh ra (hay còn gọi là do dòng điện dịch sinh ra) cũng được xác định theo quy tắc cái vặn nút chai như đối với dòng điện dẫn, nhưng bây giờ được áp dụng cho dòng điện dịch tức dòng điện tương đương với điện trường biến đổi theo thời gian về phương diện sinh ra từ trường.

Như chúng ta đã biết, trong chân không vector cảm ứng điện $\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E}$, do đó, mật độ dòng điện dịch trong chân không là :

$$\vec{j}_d = \epsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (5.20)$$

Như vậy, dòng điện dịch trong chân không không có liên quan với bất kỳ một sự dịch chuyển nào của các loại hạt vật chất : Dòng điện dịch trong

chân không về bản chất chỉ là điện trường biến đổi theo thời gian. Theo luận điểm thứ 2 của Măcxoen, điện trường biến đổi theo thời gian ở trong chân không vẫn sinh ra từ trường.

Tuy nhiên, trong chất điện môi ở đó vectơ cảm ứng điện $\vec{D}$ gồm hai số hạng : $\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P}_e$. Với $\vec{E}$ là vectơ cường độ điện trường tổng hợp trong chất điện môi và $\vec{P}_e$ là vectơ phân cực điện môi thì ta có :

$$\vec{j}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \epsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}_e}{\partial t} \quad (5.21)$$

Kết quả này có nghĩa là trong chất điện môi, mật độ dòng điện dịch gồm hai thành phần : Thành phần thứ nhất là mật độ dòng điện dịch trong chân không ($\epsilon_0 \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$) và thành phần thứ hai là mật độ dòng điện phân cực ($\frac{\partial \vec{P}_e}{\partial t}$). Tên gọi của thành phần thứ hai được suy ra từ lập luận sau đây : Nếu xét một diện tích S nào đó trong chất điện môi và gọi σ' là mật độ điện mặt của diện tích liên kết xuất hiện (ta có : $\sigma' = P_{en}$) thì cường độ dòng điện qua S do sự phân cực điện môi gây ra là :

$$I_{pc} = \int_S \vec{j}_{pc} \cdot d\vec{S} = \int_S \frac{\partial \sigma'}{\partial t} \cdot dS = \int_S \frac{\partial P_{en}}{\partial t} \cdot dS = \int_S \frac{\partial \vec{P}_{en}}{\partial t} \cdot d\vec{S} \quad (5.22)$$

Từ đây, suy ra biểu thức của mật độ dòng điện phân cực là :

$$\vec{j}_{pc} = \frac{\partial \vec{P}_e}{\partial t} \quad (5.23)$$

Dòng điện phân cực có liên quan tới sự quay của các lưỡng cực phân tử hoặc sự dịch chuyển của các trọng tâm điện tích dương và âm trong các phân tử không phân cực của chất điện môi dưới tác dụng của điện trường ngoài.

2.1.3. Trường điện từ

Theo các luận điểm của Macxoen, từ trường biến đổi theo thời gian sinh ra điện trường xoáy, và ngược lại điện trường biến đổi theo thời gian sinh

ra từ trường. Như vậy, trong không gian, điện trường và từ trường có thể đồng thời tồn tại và có liên hệ chặt chẽ với nhau.

Điện trường và từ trường đồng thời tồn tại trong không gian tạo thành một trường thống nhất gọi là trường điện từ.

Trường điện từ là một dạng vật chất đặc trưng cho tương tác giữa các hạt mang điện.

Trường điện từ có năng lượng. Năng lượng đó định xứ trong khoảng không gian có trường điện từ. Mật độ năng lượng của trường điện từ bằng tổng mật độ năng lượng của điện trường và từ trường :

$$w = w_e + w_m = \frac{1}{2}(\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot E^2 + \mu_0 \cdot \mu \cdot H^2) = \frac{1}{2} \cdot (E \cdot D + B \cdot H) \quad (5.61)$$

Từ đó suy ra năng lượng của trường điện từ là :

$$W = \int_V w \cdot dV = \frac{1}{2} \int_V (\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot E^2 + \mu_0 \cdot \mu \cdot H^2) \cdot dV$$

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

2.1.4. Hệ thống các phương trình Măcxoen

a. Phương trình Măcxoen – Faradây

$$\text{Dạng tích phân : } \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

Dạng vi phân : $\text{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ phương trình này diễn tả luận điểm thứ nhất của Măcxoen về mối liên hệ giữa từ trường biến thiên và điện trường xoáy.

b. Phương trình Măcxoen – Ampe

Theo Măcxoen, từ trường không phải chỉ do dòng điện dẫn sinh ra mà còn do điện trường biến đổi theo thời gian tức dòng điện dịch sinh ra nữa. Vì vậy , Măcxoen đã đưa ra khái niệm dòng điện toàn phần là tổng của dòng điện

dẫn và dòng điện dịch. Với khái niệm ấy, ta nói rằng từ trường là do dòng điện toàn phần sinh ra.

Nếu gọi $\vec{j}$ là vector mật độ dòng điện dẫn và $\vec{j}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ là vector mật độ dòng điện dịch tại cùng một điểm thì vector mật độ dòng điện toàn phần tại điểm đó là :

$$\vec{j}_{tp} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (5.24)$$

Bây giờ, ta hãy xét một đường cong bất kỳ (C) nằm trong miền không gian có cả dòng điện dịch và dòng điện dẫn chạy qua. Định lý Ampe được mở rộng cho dòng điện toàn phần :

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{tp} \quad (5.25)$$

Trong đó i_{tp} là cường độ của dòng điện toàn phần chạy qua diện tích S giới hạn bởi đường cong (C). Ta có :

$$I_{tp} = \int_S \vec{j}_{tp} \cdot d\vec{S} = \int_S (\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot d\vec{S} \quad (5.26)$$

Thay (5.24) và (5.25) vào (5.26) ta được :

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S (\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot d\vec{S} \quad (5.27)$$

Đó là chính là phương trình Măcxoen – Ampe dưới dạng tích phân mà ta phải tìm. Nội dung của phương trình này là : Lưu số của vector cường độ từ trường dọc theo một đường cong kín bất kỳ thì bằng cường độ dòng điện toàn phần chạy qua diện tích giới hạn bởi đường cong đó.

Ý nghĩa của phương trình : Phương trình cho phép ta tính được từ trường $\vec{H}$ một khi biết sự phân bố dòng điện dẫn và quy luật biến đổi theo thời gian của điện trường tại mọi điểm trong không gian.

Dạng vi phân của phương trình Măcxoen :

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (5.28)$$

c. Định lý Ostrogradski – Gauss đối với điện trường

Dạng tích phân:
$$\Phi_e = \iint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum_i q_i \quad (5.32)$$

Phát biểu: Điện thông qua một mặt kín bằng tổng đại số các điện tích chứa trong mặt kín ấy.

Dạng vi phân:
$$\text{div} \vec{D} = \rho \quad (5.33)$$

Định lý này diễn tả tính không khép kín của các đường sức điện trường tĩnh, các đường sức điện trường tĩnh luôn từ các điện tích dương đi ra và đi vào các điện tích âm. Người ta nói rằng điện trường tĩnh là “trường có nguồn”.

d. Định lý Ostrogradski - Gauss đối với từ trường

Dạng tích phân :
$$\iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (5.36)$$

Phát biểu: Từ thông toàn phần gửi qua một mặt kín bất kỳ thì bằng không.

Dạng vi phân:
$$\text{div} \vec{B} = 0 \quad (5.37)$$

Định lý này diễn tả tính khép kín của các đường sức từ: người ta nói từ trường là trường không có nguồn.

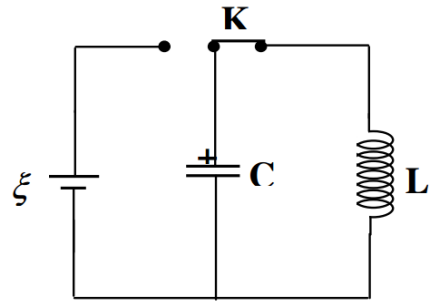
2.2. Dao động điện từ

Về bản chất, dao động điện từ là thể hiện sự biến đổi tuần hoàn theo thời gian của các đại lượng điện và từ như điện tích trên bản tụ điện, cường độ dòng điện trong mạch điện xoay chiều, hiệu điện thế giữa hai đầu một ống dây điện, điện trường và từ trường trong không gian... Tùy theo cấu tạo của mạch điện, dao động điện từ trong mạch cũng chia ra : dao động điện từ điều hòa, dao động điện từ tắt dần và dao động điện từ cưỡng bức.

2.2.1. Dao động điện từ điều hòa

a. Hiện tượng

Ta xét một mạch điện gồm một tụ điện có điện dung C và một cuộn dây có hệ số tự cảm L . Coi điện trở của toàn mạch không đáng kể. Trước hết, ta nối hai bản của tụ điện với hai cực của một bộ acquy để tích điện cho tụ điện. Sau đó ta ngắt bỏ acquy và đóng khóa K của mạch dao động lại. Trong mạch dao động sẽ xuất hiện một dòng điện xoay chiều. Sự biến thiên theo thời gian của cường độ dòng điện xoay chiều, cũng như của điện tích trên tụ điện, hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện... có dạng hình sin với biên độ không đổi. Vì vậy loại dao động điện từ này được coi là dao động điện từ điều hòa. Mạch có tụ điện điện dung C và ống dây có hệ số tự cảm L được gọi là mạch dao động LC. Mặt khác, ngoài sự nạp điện lúc ban đầu cho tụ điện C , dao động điện từ điều hòa chỉ do mạch dao động quyết định, không có sự tham gia của các yếu tố bên ngoài. Vì vậy dao động điện từ điều hòa đó còn được gọi là dao động điện từ riêng.



Quá trình hình thành dao động điện từ điều hòa trong mạch LC như sau. Giả sử ở trạng thái ban đầu, khi hai bản của tụ điện đã được nạp điện, điện tích của tụ điện là q_0 , hiệu điện thế giữa hai bản là $U_0 = q_0/C$, năng lượng điện trường của tụ điện là :

$$W_o = \frac{1}{2} \cdot \frac{q_o^2}{C}$$

Khi đóng khóa K , tụ điện C bắt đầu phóng điện qua cuộn dây L . Dòng điện do tụ điện phóng ra phải tăng từ giá trị không trở lên. Dòng điện này gửi qua cuộn dây L một từ thông tăng dần. Trong cuộn dây L phải xuất hiện một dòng điện tự cảm. Theo định luật Lenx, dòng điện tự cảm này phải ngược chiều với dòng điện do tụ điện phóng ra. Kết quả là, dòng điện tổng hợp I trong mạch phải tăng dần từ giá trị không đến giá trị cực đại I_0 . Còn điện tích q của tụ điện thì giảm dần từ giá trị cực đại q_0 . Về mặt năng lượng thì năng lượng điện trường của tụ điện, $W_e = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$ sẽ giảm dần, còn năng lượng từ trường của ống

dây, $W_m = \frac{1}{2}LI^2$ sẽ tăng dần. Vậy đã có sự chuyển hóa dần năng lượng điện trường thành năng lượng từ trường.

Khi tụ điện C phóng hết điện ($q = 0$), năng lượng điện trường $W_e = 0$, dòng điện trong mạch đạt giá trị cực đại $I_{\max} = I_0$, năng lượng từ trường của ống dây L cũng đạt giá trị cực đại $W_{m\max} = \frac{1}{2}LI_0^2$. Sau đó, vì tụ điện C không còn tác dụng duy trì dòng điện nữa, nên dòng điện do nó phóng ra bắt đầu giảm. Nhưng liền khi đó, trong cuộn dây L lại xuất hiện một dòng điện tự cảm cùng chiều với dòng điện do tụ điện phóng ra. Kết quả là, dòng điện tổng hợp I trong mạch phải giảm dần (bắt đầu từ giá trị I_0). Trong quá trình biến đổi này, cuộn dây L đã đóng vai trò của một nguồn điện nạp điện lại cho tụ điện C ; nhưng theo chiều ngược với trước. Điện tích q của tụ điện lại tăng dần từ giá trị không đến giá trị cực đại q_0 . Về mặt năng lượng thì năng lượng từ trường của cuộn dây sẽ giảm dần, còn năng lượng điện trường của tụ điện sẽ tăng dần. Vậy đã có sự chuyển hóa dần từ năng lượng từ trường thành năng lượng điện trường.

Khi cuộn dây L đã giải phóng hết năng lượng từ trường ($I=0$) thì điện tích của tụ điện C lại đạt giá trị cực đại $q_{\max} = q_0$ nhưng đổi dấu ở hai bản, năng lượng điện trường lại đạt giá trị cực đại $W_e = \frac{1}{2} \frac{q_0^2}{C}$.

Từ đây, toàn bộ quá trình biến đổi trên lại được tái diễn : tụ điện C lại phóng điện, nhưng ngược chiều ban đầu, để cuộn dây L tích năng lượng, cuộn dây L lại giải phóng năng lượng để tụ điện C được nạp điện. Cuối cùng, mạch dao động trở về trạng thái ban đầu và một dao động điện từ toàn phần đã được thực hiện.

b. Phương trình dao động điện từ điều hòa

Trong quá trình dao động điện từ điều hòa, có sự chuyển hóa giữa năng lượng điện trường và năng lượng từ trường nhưng năng lượng toàn phần của mạch dao động thì không đổi theo thời gian, nghĩa là :

$$W_e + W_m = W = \text{const}$$

Thay các giá trị $W_e = \frac{q^2}{2C}$ và $W_m = \frac{1}{2}LI^2$ vào công thức trên, ta được:

$$\frac{q^2}{2C} + \frac{1}{2}LI^2 = \text{const}$$

Lấy đạo hàm cả hai vế theo thời gian:

$$\frac{q}{C} \frac{dq}{dt} + LI \cdot \frac{dI}{dt} = 0 \Leftrightarrow \frac{q}{C} I + LI \cdot \frac{dI}{dt} = 0 \Leftrightarrow \frac{q}{C} + L \cdot \frac{dI}{dt} = 0$$

Lấy đạo hàm cả hai vế của phương trình này theo thời gian và thay

$\frac{dq}{dt} = I$, ta có:

$$\frac{I}{C} + L \frac{d^2 I}{dt^2} = 0 \Leftrightarrow \frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{I}{LC} = 0 \Leftrightarrow \frac{d^2 I}{dt^2} + \omega_o^2 I = 0$$

$$\text{Với } \omega_o = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Nghiệm của phương trình vi phân trên có dạng:

$$I = I_o \cos(\omega_o t + \varphi)$$

Với I_o là giá trị cực đại của cường độ dòng điện I .

φ là pha ban đầu của dao động.

ω_o là tần số góc riêng của dao động.

Phương trình trên chứng tỏ dòng điện I trong mạch LC biến thiên với thời gian theo dạng hình sin. Vậy dao động điện từ điều hòa của mạch LC là một dao động điều hòa với chu kỳ:

$$T_o = \frac{2\pi}{\omega_o} = 2\pi\sqrt{LC}$$

Điện tích của tụ điện C , hiệu điện thế U giữa hai bản tụ cũng biến thiên theo thời gian với những phương trình có dạng giống phương trình của cường độ dòng điện I .

2.2.2. Dao động điện từ tắt dần

a. Hiện tượng

Trong mạch dao động, bây giờ có thêm một điện trở R tượng trưng cho điện trở của toàn mạch. Ta cũng tiến hành nạp điện cho tụ điện C , sau đấy cho tụ điện này phóng điện qua điện trở R và ống dây L . Tương tự như đã trình bày trong phần dao động điện từ điều hòa, ở đây cũng có sự chuyển hóa giữa năng lượng điện trường của tụ điện C và năng lượng từ trường của ống dây L . Nhưng đồng thời năng lượng của mạch dao động cứ giảm dần vì sự tỏa nhiệt Jun-Lenx trên điện trở R . Kết quả là sự biến thiên theo thời gian của cường độ dòng điện xoay chiều trong mạch, cũng như của điện tích tụ điện, hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện... không có dạng hình sin nữa, mà biên độ của chúng giảm dần theo thời gian. Vì vậy loại dao động điện từ này được gọi là dao động điện từ tắt dần. Mạch dao động LRC ghép nối tiếp được gọi là mạch dao động điện từ tắt dần.

b. Phương trình dao động điện từ tắt dần

Trong quá trình dao động điện từ riêng tắt dần, có một phần năng lượng của dao động biến thành nhiệt Jun – Lenx tỏa trên điện trở R . Giả sử trong khoảng thời gian dt , năng lượng của dao động giảm một lượng dW và nhiệt tỏa ra trên điện trở R là $I^2 R dt$. Theo định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng, ta có :

BỔ SUNG THÊM

2.2.3. Dao động điện từ cưỡng bức

Để duy trì dao động điện từ trong mạch LRC ghép nối tiếp, ta phải liên tục cung cấp năng lượng cho mạch để bù đắp lại phần năng lượng đã mất mát

do hiệu ứng nhiệt Jun – Lenx. Việc cung cấp năng lượng này được thực hiện bằng cách mắc nối tiếp vào mạch (cũng có trường hợp mắc song song) một nguồn điện xoay chiều. Ta xét trường hợp thế điện động của nguồn là hàm sin của thời gian t :

$$E = E_0 \cdot \sin \Omega t$$

Mới đầu, dao động trong mạch là chồng chất của hai dao động : dao động tắt dần với tần số góc ω và dao động cưỡng bức với tần số góc Ω . Sau thời gian quá độ, dao động tắt dần coi như không còn nữa, trong mạch chỉ còn dao động cưỡng bức với tần số góc bằng tần số góc Ω của nguồn.

BỔ SUNG THÊM

2.3. Sóng điện từ

2.3.1. Sự hình thành và khái niệm sóng điện từ

Quá trình truyền dao động điện từ trong không gian. Quá trình đó tạo thành sóng điện từ. Héc đã làm thí nghiệm sau đây : dùng một nguồn xoay chiều cao tần, nối qua hai ống dây tự cảm L, L' đến hai thanh kim loại D, D' trên đầu hai thanh kim loại này có gắn hai quả cầu kim loại A, B khá gần nhau. Người ta điều chỉnh hiệu điện thế và khoảng cách giữa AB thế nào để có hiện tượng phóng điện giữa AB . Như vậy giữa AB đã xuất hiện một điện trường biến thiên theo thời gian (xoay chiều). Nếu dùng các dụng cụ phát hiện, ta sẽ thấy tại mọi điểm M trong không gian đều có cặp vectơ cường độ điện trường $\vec{E}$ và cường độ từ trường $\vec{H}$, chúng cũng biến thiên theo thời gian. Vậy thí nghiệm Héc chứng tỏ : điện từ trường biến thiên đã được truyền đi trong không gian. Quá trình đó được giải thích nhờ hai luận điểm của Mác-xoen.

Thí dụ tại một điểm O , ta tạo ra một điện trường biến thiên : vectơ cường độ điện trường $\vec{E}$ biến thiên theo thời gian, chẳng hạn như trong thí nghiệm của Héc, biến thiên một cách tuần hoàn theo thời gian. Theo luận điểm

thứ hai của Mắc-xoen, điện trường ở O biến thiên sẽ tạo ra từ trường nghĩa là tại các điểm M, M', M''... xuất hiện các vector cường độ từ trường $\vec{H}; \vec{H}'; \vec{H}''$... Vì $\vec{E}$ biến thiên tuần hoàn theo thời gian nên $\vec{H}; \vec{H}'; \vec{H}''$... cũng biến thiên tuần hoàn theo thời gian. Theo luận điểm thứ nhất của Mắc-xoen, từ trường biến thiên gây ra điện trường xoáy, tại các điểm M', M''... xuất hiện các vector cường độ điện trường $\vec{E}; \vec{E}'; \vec{E}''$... Như vậy ta thấy cặp vector $\vec{E}; \vec{H}$ đã được truyền đến mọi điểm trong không gian, quá trình truyền đó tạo thành sóng điện từ.

Sóng điện từ là trường điện từ biến thiên truyền đi trong không gian.

2.3.2. Các tính chất của sóng điện từ

a. Hệ phương trình Mắc-xoen của sóng điện từ

Phương trình Mắc-xoen của trường điện từ dạng vi phân là:

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (6.1)$$

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (6.2)$$

$$\text{div} \vec{D} = \rho \quad (6.3)$$

$$\text{div} \vec{B} = 0 \quad (6.4)$$

Nếu là môi trường đồng chất, đẳng hướng thì:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot \vec{E} \quad (6.5)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu \cdot \vec{H} \quad (6.6)$$

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (6.7)$$

Vì sóng điện từ là trường điện từ biến thiên và ta chỉ xét sóng điện từ tự do nghĩa là sóng điện từ trong một môi trường không dẫn (không có dòng điện) và không có điện tích . Do đó:

$$\vec{j} = 0;$$

$$\rho = 0$$

Phương trình Mắc-xoen của sóng điện từ được viết như sau:

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (6.8)$$

$$\text{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (6.9)$$

$$\text{div} \vec{D} = 0; \quad (6.10)$$

$$\text{div} \vec{B} = 0; \quad (6.11)$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \vec{E}; (6.12)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu \cdot \vec{H}; (6.13)$$

b. Những tính chất tổng quát của sóng điện từ

Tại mỗi điểm trong khoảng không gian có sóng điện từ, ta có thể xác định hai vectơ $\vec{E}$ và $\vec{H}$, chúng là những hàm của thời gian t, thông thường là những hàm tuần hoàn của t.

Sóng điện từ có những tính chất tổng quát sau đây:

- Sóng điện từ tồn tại cả trong môi trường vật chất và trong môi trường chân không. (khác với sóng cơ, sóng cơ không tồn tại trong chân không).

- Sóng điện từ là sóng ngang: tại mỗi điểm trong khoảng không gian có sóng điện từ, phương của các vectơ $\vec{E}; \vec{H}$ tức là phương dao động đều vuông góc với phương truyền sóng.

- Vận tốc truyền sóng điện từ trong một môi trường chất đồng chất và đẳng hướng cho bởi:

$$V = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}} \quad (6.14)$$

Trong đó: $C = 3 \cdot 10^8$ m/s, ε và μ lần lượt là hằng số điện môi và độ từ thẩm của môi trường.

$\sqrt{\varepsilon \cdot \mu} = n$ gọi là chiết suất tuyệt đối của môi trường. Trong chân không,

$$\varepsilon = 1; \mu = 1$$

Vậy:

$$V = C.$$

Vận tốc truyền sóng điện từ trong chân không cũng bằng vận tốc truyền ánh sáng trong chân không. Thực nghiệm chứng tỏ $n \geq 1$, do đó:

$$V \leq C.$$

Nghĩa là vận tốc truyền sóng điện từ trong chân không là lớn nhất so với các môi trường khác.

c. Năng lượng và năng thông sóng điện từ

Bản chất sóng điện từ là trường điện từ biến thiên. Năng lượng sóng điện từ là năng lượng trường điện từ; năng lượng này định xứ trong khoảng không gian có sóng điện từ.

Mật độ năng lượng sóng điện từ có trị số bằng:

$$w = \frac{1}{2} \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot E^2 + \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot H^2 \quad (6.15)$$

Đối với sóng điện từ phẳng đơn sắc, ta có:

$$\sqrt{\epsilon_0 \cdot \epsilon} \cdot |\vec{E}| = \sqrt{\mu_0 \cdot \mu} \cdot |\vec{H}| \quad (6.16)$$

Từ đó ta suy ra:

$$\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot E^2 = \mu_0 \cdot \mu \cdot H^2 \quad (6.17)$$

Biểu thức (6.17) được viết lại thành :

$$w = \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot E^2 = \mu_0 \cdot \mu \cdot H^2 = \sqrt{\epsilon_0 \cdot \epsilon} E \sqrt{\mu_0 \cdot \mu} H \quad (6.18)$$

Để đặc trưng cho sự truyền năng lượng sóng điện từ, ta đưa ra khái niệm năng thông sóng điện từ: đó là đại lượng về trị số bằng năng lượng truyền qua một diện tích nào đó trong một đơn vị thời gian . Mật độ năng thông sóng điện từ cho bởi:

$$P = w \cdot V \quad (6.19)$$

Dựa vào (6.18) và $V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0 \cdot \epsilon \cdot \mu}}$ ta suy ra:

$$P = \sqrt{\epsilon_0 \cdot \epsilon} E \sqrt{\mu_0 \cdot \mu} H \cdot \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0 \cdot \epsilon \cdot \mu}} = e \cdot h \quad (6.20)$$

Để đặc trưng cho sự truyền năng lượng sóng điện từ một cách đầy đủ, ta định nghĩa vectơ Umôp- pôinting :

$$\vec{P} = w \cdot \vec{V} \quad (6.21)$$

Vì $\vec{P}$ song song và cùng chiều với $\vec{V}$ nên $\vec{P} \perp \vec{E}; \vec{P} \perp \vec{H}$, do đó dễ dàng suy ra rằng:

$$\vec{P} = \vec{E} \wedge \vec{H} \quad (6.22)$$

2.3.3. Thang sóng điện từ

Sóng điện từ đơn sắc là sóng điện từ phát ra bởi một nguồn có tần số (chu kỳ) xác định. Kết quả trong một môi trường nhất định, sóng điện từ đơn sắc có một bước sóng xác định. Gọi λ là bước sóng, T là chu kỳ và v là vận tốc truyền sóng điện từ trong môi trường, ta có :

$$\lambda = v \cdot T \quad \text{nhưng} \quad v = \frac{c}{n}$$

$$\text{Vậy } l = \frac{c \cdot T}{n} = \frac{\lambda_0}{n}$$

Trong đó $\lambda_0 = c \cdot T$ là bước sóng của sóng điện từ trong chân không. Vậy, bước sóng của sóng điện từ phụ thuộc vào môi trường ; nó có trị số lớn nhất trong chân không.

Người ta phân loại các sóng điện từ (đơn sắc) theo độ lớn của tần số (tính ra đơn vị héc) hay bước sóng (trong chân không). Ta có thể lập một bảng trong đó ghi tên các loại sóng điện từ ứng với những bước sóng từ lớn đến nhỏ gọi là thang sóng điện từ.

BÀI TẬP

VI. Dao động điện từ điều hòa, dao động điện từ tắt dần, dao động điện từ cưỡng bức, sóng điện từ

Bài 27: Phương trình biến thiên của hiệu điện thế theo thời gian trên hai bản tụ điện trong mạch dao động có dạng $U = 50 \cos 10^4 \pi t$ (V). Tụ điện có điện dung $C = 9 \cdot 10^{-7} \text{F}$. Tìm:

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

Bài 28: Một mạch dao động điện từ có điện dung $C = 7 \mu\text{F}$, hệ số tự cảm $L = 0,23 \text{H}$, điện trở $R = 40 \Omega$ và được tích một điện lượng ban đầu $Q = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{C}$ trên hai bản của tụ điện. Tìm:

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

Bài 29: Một mạch dao động điện từ có điện dung $C = 0,25 \mu\text{F}$, hệ số tự cảm $L = 1,015 \text{H}$ và điện trở $R = 0$. Ban đầu hai cốt của tụ điện được tích điện $Q_0 = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{C}$.

- Viết phương trình dao động điện từ của mạch đối với điện tích q và dòng điện I .
- Năng lượng điện từ của mạch.
- Tần số dao động của mạch.

Bài 30: Một mạch dao động có hệ số tự cảm là 1H . Điện trở của mạch có thể bỏ qua. Điện tích trên cốt của tụ điện biến thiên theo phương trình.

$$q = \left(\frac{5}{\pi} \right) 10^{-5} \cos 400 \pi t \text{ (C)}$$

Tìm:

- Chu kỳ dao động của mạch.
- Điện dung của mạch.
- Cường độ dòng điện trong mạch.
- Năng lượng điện từ của mạch.

Bài 31: Một mạch dao động gồm cuộn cảm có $L = 5 \cdot 10^{-6} \text{H}$, một tụ điện có điện dung $C = 2 \cdot 10^{-4} \text{F}$, hiệu điện thế cực đại trên 2 cốt tụ điện là $U_0 = 120 \text{V}$. Điện trở của mạch coi như không đáng kể. Xác định giá trị cực đại của từ thông nếu như số vòng dây của cuộn cảm là $Z = 30$.

Bài 32: Một mạch dao động có điện dung $C = 0,405 \mu F$, hệ số tự cảm $L = 10^{-2} H$ và điện trở $R = 2 \Omega$. Tìm:

a. Chu kỳ dao động của mạch.

b. Sau thời gian một chu kỳ, hiệu điện thế giữa hai cốt của tụ điện giảm bao nhiêu lần?

Bài 33: Một mạch dao động có điện dung $C = 1,1 \cdot 10^{-9} F$, hệ số tự cảm $L = 5 \cdot 10^{-3} H$ và giảm lượng lôga $\delta = 0,005$. Hỏi sau thời gian bao lâu thì năng lượng điện từ trong mạch giảm đi 99%.

Bài 34: Một mạch dao động có điện dung $C = 35,4 \mu F$, hệ số tự cảm $L = 0,7 H$ và điện trở $R = 100 \Omega$. Đặt vào mạch một nguồn điện xoay chiều có tần số 50Hz. Biên độ của suất điện động là 220V, tìm biên độ cường độ dòng điện trong mạch.

Bài 35: Một mạch dao động gồm một cuộn dây tự cảm $L = 3 \cdot 10^{-5} H$, điện trở $R = 1 \Omega$ và một tụ điện điện dung $C = 2,2 \cdot 10^{-5} F$. Hỏi công suất tiêu thụ của mạch dao động phải là bao nhiêu để cho những dao động điện từ do mạch phát ra không phải là dao động tắt dần. Hiệu điện thế cực đại 2 cốt tụ điện là $U_0 = 0,5 V$.

Bài 36: Hai tụ điện mỗi cái có điện dung 2mF, được mắc vào trong một mạch dao động gồm cuộn cảm có $L = 1 mH$, $R = 5 \Omega$. Hỏi những dao động điện từ xuất hiện trong mạch sẽ như thế nào nếu các tụ điện được:

a. mắc song song. b. mắc nối tiếp.

Bài 37: Một mạch dao động có hệ số tự cảm $L = 2 \cdot 10^{-3} H$ có điện dung có thể thay đổi từ 70pF đến 530pF. Điện trở của mạch có thể bỏ qua. Hỏi mạch dao động đó có thể cộng hưởng với những sóng điện từ có bước sóng trong khoảng bao nhiêu?

Bài 38: Một mạch phát sóng điện từ có điện dung $C = 9 \cdot 10^{-10} F$, hệ số tự cảm $L = 2 \cdot 10^{-3} H$. Tìm bước sóng điện từ tương ứng?

Bài 39: Một mạch dao động điện từ gồm một ống dây có hệ số tự cảm $L = 3 \cdot 10^{-5} H$ mắc nối tiếp với một tụ điện phẳng có diện tích các cốt $S = 100 cm^2$. Khoảng cách giữa hai cốt là $d = 0,1 mm$. Hỏi hằng số điện môi của môi trường chứa đầy trong khoảng không gian giữa hai cốt tụ điện là bao nhiêu, biết rằng mạch dao động cộng hưởng với sóng có bước sóng 750m?

CHƯƠNG 3 : QUANG SÓNG – QUANG LƯỢNG TỬ

3.1. Cơ sở của quang học sóng

3.1.1. Thuyết sóng điện từ về ánh sáng

Dựa vào sự tương tự giữa các tính chất của sóng điện từ và của ánh sáng, phát triển thuyết sóng ánh sáng của Huy-ghen và Frenen, năm 1860, Mắc-xoen đã nêu ra giả thuyết mới về bản chất ánh sáng: ánh sáng là sóng điện từ có bước sóng rất ngắn (so với sóng vô tuyến điện), lan truyền trong không gian.

Từ thuyết điện từ về ánh sáng, Mắc-xoen cũng đã thiết lập được mối liên hệ giữa tính chất điện từ với tính chất quang của môi trường.

$$\frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon\mu} \quad (3.1)$$

Trong đó c là tốc độ ánh sáng trong chân không, v là tốc độ ánh sáng trong môi trường có hằng số điện môi là ϵ và độ từ thẩm là μ . Từ đó, suy ra hệ thức về chiết suất của môi trường: $n = \sqrt{\epsilon\mu} \quad (3.2)$

Tiếp theo đó, Lo-ren-xơ còn chứng minh được rằng ϵ phụ thuộc vào tần số f của ánh sáng:

$$\epsilon = F(f) \quad (3.3)$$

Nhờ đó, ông đã giải thích được hiện tượng tán sắc ánh sáng.

3.1.2. Nguyên lý Huyghen – Fresnel

Vì ánh sáng có bản chất sóng nên nó cũng tuân theo nguyên lý Huyghen: Bất kỳ một điểm nào nhận được sóng ánh sáng truyền đến đều trở thành nguồn sáng thứ cấp phát ánh sáng về phía trước nó.

Nguyên lý Huyghen giúp ta giải thích được sự lệch của tia sáng khỏi phương truyền thẳng, nghĩa là giải thích được hiện tượng nhiễu xạ về mặt định tính. Tuy nhiên để tính dao động sáng tại một điểm M nào đó thì ta cần phải tính tổng các dao động sáng do các nguồn thứ cấp gây ra tại M . Muốn vậy phải biết biên độ và pha của các nguồn thứ cấp. Để giải quyết vấn đề này Frênen đã

bổ sung thêm nguyên lý sau đây: Biên độ và pha của nguồn thứ cấp là biên độ và pha do nguồn thực gây ra tại vị trí của nguồn thứ cấp.

3.1.3. Khái niệm quang lộ

Xét hai điểm A, B trong một môi trường đồng tính chiết suất n , cách nhau một đoạn bằng d . Thời gian ánh sáng đi từ A đến B là:

$$t = \frac{d}{v} \quad (3.4)$$

Trong đó v là vận tốc ánh sáng trong môi trường.

Ta định nghĩa: quang lộ giữa hai điểm A, B là đoạn đường ánh sáng truyền được trong chân không trong khoảng thời gian t , trong đó t là khoảng thời gian mà ánh sáng đi được đoạn đường AB trong môi trường. Gọi L là quang lộ giữa hai điểm A, B, ta có:

$$L = c.t \quad (3.5)$$

Thay t từ (3.4) vào (3.5) và biết chiết suất của môi trường $n = \frac{c}{v}$, ta rút ra :

$$L = n.d \quad (3.6)$$

Nếu ánh sáng truyền qua nhiều môi trường chiết suất $n_1, n_2, n_3, \dots$, với các quãng đường lần lượt là $d_1, d_2, d_3, \dots$ thì quang lộ tổng cộng là :

$$L = n_1.d_1 + n_2.d_2 + n_3.d_3 + \dots = \sum n_i.d_i \quad (3.7)$$

Nếu ánh sáng đi trong môi trường mà chiết suất thay đổi liên tục từ điểm này đến điểm khác thì ta chia đoạn đường thành các đoạn nhỏ ds để chiết suất coi như không đổi trên mỗi đoạn nhỏ và quang lộ giữa hai điểm A và B là :

$$L = \int_A^B n.ds \quad (3.8)$$

3.1.4. Các đại lượng trắc quang

Các đại lượng trắc quang là các đại lượng dùng trong kỹ thuật đo lường ánh sáng.

a. Quang thông

Để đặc trưng cho phần năng lượng gây ra cảm giác sáng người ta đưa ra khái niệm quang thông.

Quang thông do một chùm sáng gửi tới diện tích dS là một đại lượng có trị số bằng phần năng lượng gây ra cảm giác sáng gửi tới dS trong một đơn vị thời gian.

Ngoài quang thông gửi tới diện tích dS , người ta còn định nghĩa quang thông toàn phần của một nguồn sáng. Đó là phần năng lượng gây ra cảm giác sáng do nguồn phát ra theo mọi phương trong một đơn vị thời gian.

b. Độ sáng

Trước khi định nghĩa độ sáng ta xét khái niệm góc khối.

Góc khối : Góc khối nhìn thấy diện tích dS từ điểm O là phần không gian giới hạn bởi hình nón có đỉnh tại O và có các đường sinh tựa trên chu vi của dS . Trị số của góc khối được đo bằng phần diện tích của mặt cầu có bán kính bằng đơn vị bị giới hạn trong hình nón. Theo hệ SI và bảng đơn vị hợp pháp, đơn vị góc khối là steradian (sr). Như vậy góc khối toàn phần sẽ là 4π steradian.

Vẽ mặt cầu tâm O và bán kính bằng đơn vị. Giá trị của góc khối $d\Omega$ đúng bằng phần diện tích mặt cầu giới hạn trong hình nón. Gọi r là khoảng cách từ O đến dS , α là góc giữa pháp tuyến n của dS và r , dS_o là hình chiếu của dS lên mặt phẳng vuông góc với r , ta có :

$$\frac{d\Omega}{dS_o} = \left(\frac{1}{r}\right)^2 \quad (3.9)$$

Biết $dS_o = dS \cdot \cos \alpha$, ta rút ra :

$$d\Omega = \frac{dS \cdot \cos \alpha}{r^2} \quad (3.10)$$

Độ sáng: của nguồn theo một phương nào đó là một đại lượng có giá trị bằng quang thông của nguồn gửi đi trong một đơn vị góc khối theo phương đó.

Gọi I là độ sáng, $d\Phi$ là quang thông gửi đi trong góc khối $d\Omega$, ta có :

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

Nói chung độ sáng I của nguồn thay đổi theo phương phát sáng. Nếu độ sáng I theo mọi phương đều như nhau thì nguồn gọi là nguồn đẳng hướng. Với nguồn đẳng hướng, quang thông toàn phần có giá trị là :

$$\Phi = \oint I.d\Omega = I \oint d\Omega = 4\pi I \quad (3.11)$$

Trong đó : $\oint d\Omega = 4\pi$ chính là góc khối toàn phần

Đơn vị độ sáng là candela (cd). Candela là độ sáng đo theo phương vuông góc của một diện tích nhỏ, có diện tích 1/600.000 mét vuông, bức xạ như một vật bức xạ toàn phần, ở nhiệt độ đông đặc của platin dưới áp suất 101325 N/m².

Ta có : $d\Phi = I.d\Omega = 1\text{candela}.1\text{ stêradian} = 1\text{lumen}$.

Vậy lumen (viết tắt là lm) là quang thông của một nguồn sáng điểm đẳng hướng có độ sáng 1 candela gửi đi trong góc khối 1 stêradian.

c. Độ rọi

Độ rọi là một đại lượng đặc trưng cho vật được rọi sáng.

Xét diện tích được rọi sáng dS . Gọi quang thông toàn phần gửi tới dS là $d\Phi$. Ta định nghĩa độ rọi của diện tích dS là lượng :

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (3.12)$$

Như vậy độ rọi E của một mặt nào đó là một đại lượng có giá trị bằng quang thông gửi tới một đơn vị diện tích của mặt đó.

*** Độ rọi gây bởi nguồn điểm**

Xét diện tích dS được rọi sáng bởi nguồn điểm O có độ sáng là I. Quang thông gửi tới dS là :

$$d\Phi = I.d\Omega = \frac{I.dS.\cos \alpha}{r^2} \quad (3.13)$$

Vậy độ rọi của diện tích dS là :

$$E = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{I \cos \alpha}{r^2}$$

Như vậy, khi dùng nguồn điểm, độ rọi của mặt được chiếu sáng tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách từ mặt ấy đến nguồn. Dựa vào công thức trên ta có thể xác định được độ sáng của một nguồn bằng cách so sánh nguồn đó với một nguồn sáng mẫu có độ sáng biết trước.

Đơn vị độ rọi là : lumen/m² (gọi tắt là lux).

Vậy lux là độ rọi của một mặt mà cứ 1m² của mặt đó nhận được một quang thông là 1lumen.

3.2. Giao thoa ánh sáng

3.2.1. Giao thoa ánh sáng cho bởi hai nguồn kết hợp

Hiện tượng giao thoa ánh sáng chính là hiện tượng chồng chất của hai (hay nhiều) sóng ánh sáng. Kết quả là trong trường giao thoa sẽ xuất hiện những miền sáng, những miền tối. Cũng như sóng cơ chỉ có các sóng ánh sáng kết hợp mới tạo ra được hiện tượng giao thoa , ta hãy xét cách tạo ra hai sóng ánh sáng kết hợp.

a. Cách tạo ra hai sóng ánh sáng kết hợp

Nếu ta xét ánh sáng phát ra từ hai nguồn riêng biệt, thì tại một điểm nào đó sẽ nhận được các cặp đoàn sóng do hai nguồn gửi tới, mỗi cặp đoàn sóng này sẽ có một hiệu pha nào đó. Hiệu pha này thay đổi theo thời gian. Kết quả là sóng do hai nguồn riêng biệt phát ra là hai sóng không kết hợp.

Tuy nhiên bằng cách nào đó, ta tách sóng phát ra từ một nguồn duy nhất thành hai sóng, sau đó lại cho chúng gặp nhau thì hiệu pha của hai sóng sẽ không phụ thuộc thời gian. Lúc đó ta có hai sóng kết hợp. Như vậy, nguyên tắc tạo ra hai sóng kết hợp là từ một sóng duy nhất tách ra thành hai sóng riêng biệt.

Để tạo ra các sóng kết hợp, người ta dùng các dụng cụ sau:

- Khe Young: là một dụng cụ gồm một nguồn sáng O đặt trước một màn không trong suốt p có đục hai lỗ nhỏ O_1O_2 . Sau p đặt một màn quan sát E . Ánh sáng phát ra từ O truyền đến O_1, O_2 . Theo nguyên lý Huyghen, O_1 và O_2 trở thành hai nguồn thứ cấp. Vì từ một nguồn tách thành hai nên O_1, O_2 là hai nguồn kết hợp và các sóng phát ra từ O_1, O_2 là các sóng kết hợp.

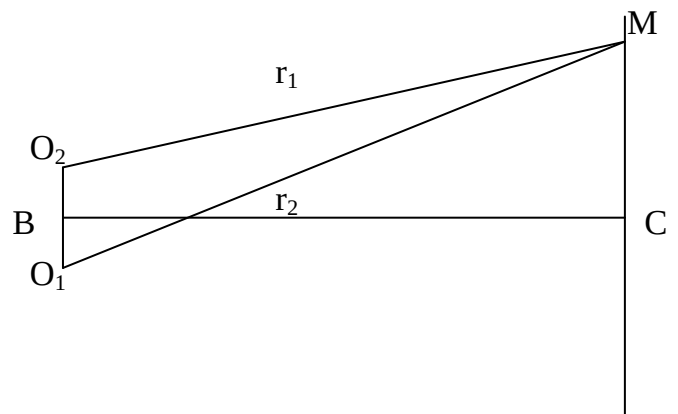
- Gương Frenen: là một dụng cụ gồm hai gương phẳng G_1, G_2 đặt nghiêng nhau một góc rất nhỏ (khoảng vài phần nghìn radian). Một nguồn điểm O đặt trước hai gương sẽ có hai ảnh ảo là O_1 và O_2 . Hai chùm sáng xuất phát từ O phản xạ lên hai gương và đập lên màn quan sát E . Hai chùm sáng phản xạ coi như được phát đi từ hai nguồn ảo O_1, O_2 . Chúng là hai chùm sáng kết hợp. Màn chắn Q ngăn tia sáng trực tiếp từ nguồn O đập lên màn quan sát E .

b. Hiện tượng giao thoa

*** Vị trí các cực đại và cực tiểu giao thoa:**

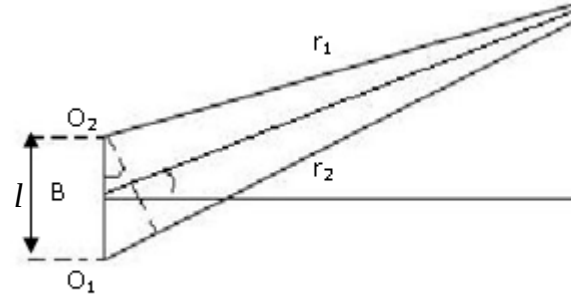
Xét hai nguồn kết hợp O_1, O_2 .
Phương trình dao động sáng của chúng là:

$$\begin{aligned}x(O_1) &= A_1 \cdot \cos \omega t \\x(O_2) &= A_2 \cdot \cos \omega t\end{aligned} \quad (3.15)$$



Tại M sẽ nhận được hai dao động sáng mà hàm sóng có dạng:

$$\begin{aligned} x_1 &= A_1 \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot L_1\right) \\ x_2 &= A_2 \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} L_2\right) \end{aligned} \quad (3.16)$$



Hình 6-2

Trong đó L_1 và L_2 là quang lộ trên đoạn đường r_1, r_2 .

Biên độ sáng dao động tổng hợp tại M phụ thuộc vào hiệu pha: $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (L_1 - L_2)$ của hai dao động. Nếu $\Delta\varphi = 2k\pi$, nghĩa là $L_1 - L_2 = k \cdot \lambda$ thì biên độ dao động sáng tổng hợp và cường độ sáng sẽ đạt giá trị cực đại. Nếu $\Delta\varphi = (2k + 1)\pi$, nghĩa là: $L_1 - L_2 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ thì biên độ dao động sáng tổng hợp và cường độ sáng sẽ đạt giá trị cực tiểu.

Như vậy, những điểm sáng nhất (cực đại giao thoa) là những điểm mà tại đó hiệu quang lộ của hai sóng bằng một số nguyên lần bước sóng.

$$L_1 - L_2 = k \cdot \lambda \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (3.17)$$

Còn những điểm tối nhất (cực tiểu giao thoa) là những điểm mà tại đó hiệu quang lộ của hai sóng bằng một số lẻ lần nửa bước sóng.

$$L_1 - L_2 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (3.18)$$

Hình dạng và vị trí vân giao thoa : Ta xét trường hợp ánh sáng truyền trong chân không hoặc không khí. Lúc đó vị trí các cực đại và cực tiểu được xác định bởi các công thức :

$$\begin{aligned} r_1 - r_2 &= k\lambda \\ r_1 - r_2 &= (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \end{aligned} \quad (3.19)$$

Đặt một màn chắn E song song với O_1O_2 và vuông góc với mặt phẳng hình vẽ, ta sẽ được hệ các vân sáng, vân tối. Đó chính là các giao tuyến của hai

họ mặt hypecboloit trên với màn E. Các vân sáng tối đó được gọi là các vân giao thoa. Vì thông thường khoảng cách O_1O_2 rất bé nên các vân giao thoa sẽ là các đoạn thẳng song song cách đều nhau.

Gọi khoảng cách từ vân sáng giữa tới vân sáng thứ k là y, khoảng cách $O_1O_2 = l$, khoảng cách từ hai khe tới màn quan sát bằng d. Kẻ O_2H vuông góc với r_1 . Vì màn quan sát đặt xa và l nhỏ ($r_1, r_2 \gg l$) do đó có thể coi O_2H vuông góc với bm và $O_1H \approx r_1 - r_2$.

$$\text{Từ hình vẽ ta có: } r_1 - r_2 \approx O_1H \approx l \cdot \tan \alpha = l \cdot \frac{y}{D} \quad (6.31)$$

Vị trí các vân sáng được tính bởi công thức:

$$r_1 - r_2 = l \cdot \frac{y}{D} = k\lambda \quad (3.20)$$

$$\text{Do đó: } y = k \cdot \frac{\lambda D}{l} \quad (3.21)$$

Vị trí các vân tối được xác định bởi công thức:

$$r_1 - r_2 = l \cdot \frac{y}{D} = (2k+1) \frac{\lambda}{2} \quad (3.22)$$

$$\text{Do đó: } y = (2k+1) \cdot \frac{\lambda D}{2l} \quad (3.23)$$

Các vân tối và vân sáng xen kẽ nhau, khoảng cách giữa hai vân sáng kế tiếp là:

$$i = y_{k+1} - y_k = (k+1) \cdot \frac{\lambda D}{l} - k \cdot \frac{\lambda D}{l} = \frac{\lambda D}{l} \quad (3.24) \text{ gọi là bề rộng vân giao thoa.}$$

3.2.2. Giao thoa bản mỏng - Bản mỏng có bề dày thay đổi

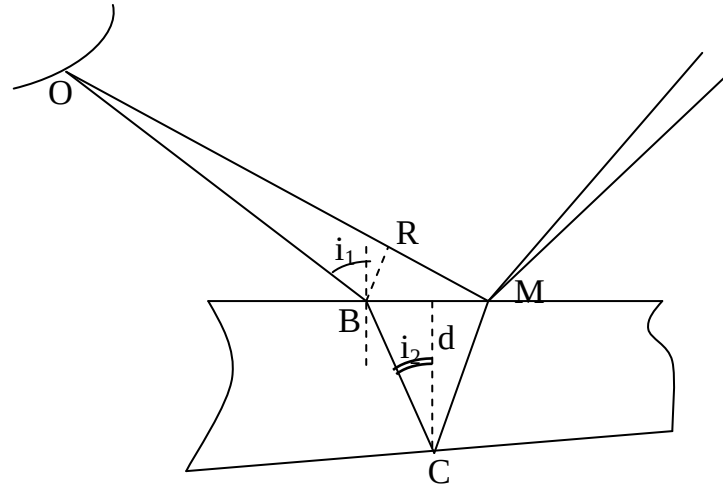
a. Vân cùng độ dày

Xét một bản mỏng có bề dày thay đổi, được chiếu sáng bởi một nguồn sáng rộng chiết suất của bản là n . Một điểm O của nguồn gửi đến điểm M hai tia : tia OM gửi trực tiếp và tia $OBCM$ gửi tới sau khi khúc xạ ở B và phản xạ ở C . Từ M hai tia đó sẽ đập vào mắt người quan sát. Như vậy từ một nguồn O , có hai sóng ánh sáng tách ra rồi gặp nhau tại M . Do đó ta quan sát thấy vân giao thoa ngay trên mặt bản. Giữa hai tia giao thoa có hiệu quang lộ bằng :

$$L_1 - L_2 = OB + n(BC + CM) - (OM + \frac{\lambda}{2})$$

Số hạng $\frac{\lambda}{2}$ xuất hiện do tia OM phản xạ tại M . Kẻ BR vuông góc với OM . Có thể coi $OM - OB \approx RM$. Do đó:

$$L_1 - L_2 \approx n(BC + CM) - RM - \frac{\lambda}{2}$$



Gọi d là bề dày của bản tại M , i_1 là góc tới, i_2 là góc khúc xạ, ta có:

$$RM = BM \sin i_1 = 2d \cdot \tan i_2 \cdot \sin i_1$$

Mặt khác:

$$BC = CM = \frac{d}{\cos i_2}$$

Do đó

$$L_1 - L_2 = \frac{2nd}{\cos i_2} - 2d \tan i_2 \cdot \sin i_1 - \frac{\lambda}{2}$$

Biến đổi lượng giác ta được:
$$L_1 - L_2 = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} - \frac{\lambda}{2}$$

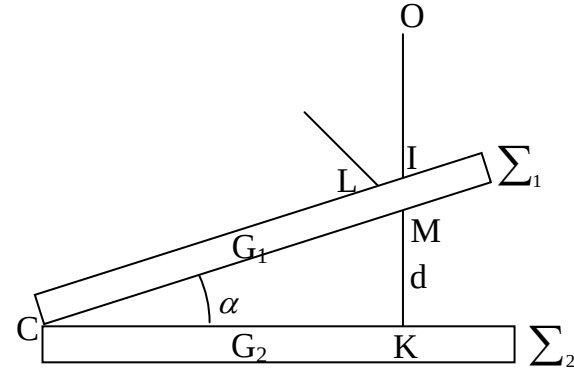
Vì rằng con người của mắt nhỏ cho nên mắt chỉ nhìn được những tia nghiêng ít đối với nhau. Do đó trong công thức trên i_1 coi như không đổi và hiệu quang lộ chỉ phụ thuộc bề dày d của bản. Với những điểm cùng bề dày d thì hiệu quang lộ như nhau và tại các điểm đó cường độ sáng giống nhau. Những điểm ứng với bề dày sao cho $L_1 - L_2 = k\lambda$ sẽ là vị trí của các vân sáng,

còn những điểm ứng với bề dày sao cho $L_1 - L_2 = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ sẽ là vị trí của các vân tối. Mỗi vân ứng với một giá trị xác định của bề dày d , vì vậy các vân này được gọi là các vân cùng độ dày.

b. Vân của nêm không khí

Nêm không khí là một lớp không khí hình nêm, giới hạn giữa hai bản thủy tinh đặt nghiêng nhau một góc α nhỏ. Σ_1 ,

Σ_2 là hai mặt của nêm, CC' là cạnh nêm. Rọi một chùm sáng đơn sắc song song vuông góc với mặt Σ_2 . Xét tia OI của chùm. Tia đó đi vào bản thủy tinh G_1 . Đến M nó tách thành hai: một phần phản xạ tại M , còn một phần truyền qua nêm không khí, phản xạ trên mặt Σ_2 , trở về M và ló ra ngoài theo đường



MIO . Như vậy tại M sẽ có sự gặp nhau của hai tia phản xạ trên hai mặt nêm. Vì từ một tia tách ra nên hai tia đó là hai tia kết hợp. Kết quả là trên mặt Σ_1 của nêm sẽ quan sát được các vân giao thoa.

Vì so với tia $OIML$, tia $OIMKIO$ phải đi thêm một đoạn là $2d$ (d là bề dày của nêm không khí tại M), do đó hiệu quang lộ của hai tia là:

$$L_1 - L_2 = 2d + \frac{\lambda}{2}$$

Phần $\frac{\lambda}{2}$ là do phản xạ trên mặt Σ_2 gây ra. Những điểm tối thỏa mãn công

thức:
$$L_1 - L_2 = 2d + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

Do đó:
$$d = k\frac{\lambda}{2}$$

Vì các điểm mà tại đó bề dày d của lớp không khí có giá trị không đổi là một đoạn thẳng song song với cạnh nêm, do đó các vân tối là những đoạn thẳng song song với cạnh nêm. Ngay tại cạnh nêm ($d=0$) là một vân tối.

Những điểm sáng thỏa mãn công thức:

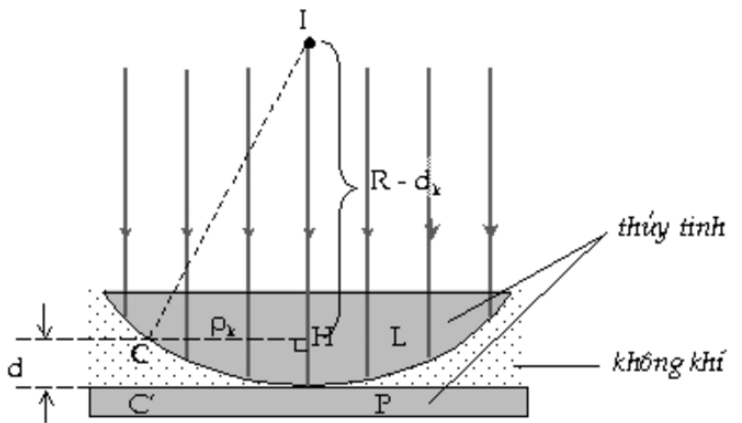
$$L_1 - L_2 = 2d + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

Do đó:
$$d = (2k - 1) \frac{\lambda}{4}$$

Các vân sáng cũng là những đoạn thẳng song song với cạnh nêm và nằm xen kẽ với những vân tối.

c. Vân tròn Niuton

Đặt một thấu kính lồi lên một tấm thủy tinh phẳng. Lớp không khí giữa thấu kính và bản thủy tinh là một bản mỏng có bề dày thay đổi. Rọi lên thấu kính một chùm sáng đơn sắc song song và vuông góc với bản thủy tinh. Tương tự như nêm không khí, tại mặt cong của thấu kính sẽ có sự gặp nhau của các tia phản xạ và sẽ quan sát được các vân giao thoa.



Những điểm ứng với bề dày của lớp không khí: $d = k \frac{\lambda}{2}$ sẽ tạo thành các vân tối.

Còn những điểm ứng với bề dày của lớp không khí: $d = (2k - 1) \frac{\lambda}{4}$ sẽ tạo thành các vân sáng.

Do tính chất đối xứng nên các vân giao thoa là những vòng tròn có tâm tại C. Các vân đó được gọi là các vân tròn Niuton. Ta tính bán kính của vân tối thứ k. Gọi r_k là bán kính vân tối thứ k, ta có:

$$r_k^2 = R^2 - (R - d_k)^2$$

Trong đó R là bán kính cong của thấu kính, d_k là bề dày của lớp không khí tại vân tối thứ k .

Vì $d_k \ll R$, do đó: $r_k^2 \approx 2R.d_k$

Tại vân tối thứ k , ta có $d_k = k \frac{\lambda}{2}$, do đó:

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

Như vậy, bán kính của các vân tối tỉ lệ với căn bậc hai của các số nguyên liên tiếp.

3.2.3. Bản mỏng có bề dày không đổi – Vân cùng độ nghiêng

Xét một bản mỏng có bề dày không đổi d , chiết suất n . Rọi sáng bản bằng một nguồn sáng rộng. Xét một chùm song song đập lên bản dưới góc tới là i . Mỗi tia của chùm khi đập lên bản sẽ tách thành hai: một phần phản xạ ở ngay mặt trên, còn một phần đi vào bản mỏng, phản xạ ở mặt dưới, đi lên trên và ló ra ngoài. Khi ra ngoài không khí hai tia phản xạ song song với nhau. Vì từ một tia tách thành hai tia nên chúng là hai tia kết hợp. Nếu dùng một thấu kính hội tụ cho hai tia gặp nhau tại M trong mặt phẳng tiêu thì chúng sẽ giao thoa với nhau.

Ta tính được hiệu quang lộ của hai tia là:

$$L_2 - L_1 = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2}$$

Vì d không đổi do đó hiệu quang lộ chỉ phụ thuộc góc nghiêng i . Nếu góc nghiêng i của chùm có giá trị sao cho $L_2 - L_1 = k\lambda$ thì M là điểm sáng. Nếu góc nghiêng i của chùm thỏa mãn điều kiện $L_2 - L_1 = (k + \frac{1}{2})\lambda$ thì M là điểm tối.

Do bản được chiếu bằng nguồn sáng rộng, cho nên có nhiều chùm sáng đập lên bản với cùng góc tới i . Xét các chùm sáng có cùng góc tới i và nằm xung quanh trục của thấu kính. Các chùm sáng này sẽ hội tụ tại các điểm nằm trên một đường tròn có tâm tại F . Cường độ sáng tại các điểm trên đường tròn đều bằng nhau và đường tròn đó chính là vân giao thoa. Với các góc nghiêng khác nhau ta được các vân giao thoa khác nhau. Các vân giao thoa đó là những đường tròn đồng tâm và gọi là vân giao thoa cùng độ nghiêng.

3.3. Nhiễu xạ ánh sáng

3.3.1. Nhiễu xạ sóng cầu

a. Biểu thức của dao động sáng tại M

Giả sử phương trình dao động sáng của nguồn O là:

$$x = a \cdot \cos \omega t \quad (6.37)$$

Lấy mặt kín S bao quanh O, dS là một diện tích nhỏ trên mặt kín. Gọi r_1, r_2 lần lượt là các khoảng cách từ dS đến O và đến M.

Các điểm trên dS đều nhận được ánh sáng từ nguồn O gửi tới, do đó dS có thể coi là nguồn thứ cấp. Mặt khác, theo nguyên lý Frenen, dao động sáng tại dS sẽ có dạng:

$$dx(dS) = a(dS) \cdot \cos \omega(t - \frac{r_1}{V}) \quad (6.38)$$

Trong đó: $a(dS)$ là biên độ dao động sáng do nguồn O gây ra tại dS.

Dao động sáng do dS gây ra tại M là:

$$dx(M) = a(M) \cdot \cos \omega(t - \frac{r_1 + r_2}{V}) \quad (6.39)$$

Trong đó: $a(M)$ là biên độ dao động sáng do dS gây ra tại M.

Nếu dS càng lớn thì $a(M)$ càng lớn. Nếu r_1, r_2 càng lớn thì $a(M)$ càng nhỏ. Ngoài ra, $a(M)$ còn phụ thuộc các góc nghiêng θ_0, θ của các tia ON và NM với pháp tuyến NN' của dS. Vậy ta có thể đặt:

$$a(M) = \frac{A(\theta_0, \theta) \cdot dS}{r_1 \cdot r_2} \quad (6.40)$$

Trong đó: A là một hệ số phụ thuộc θ_0, θ

Dao động sáng tổng hợp tại M là:

$$x = \int dx(M) = \oint_{(S)} \frac{A(\theta, \theta_0)}{r_1 \cdot r_2} \cdot \cos \omega(t - \frac{r_1 + r_2}{V}) dS \quad (6.41)$$

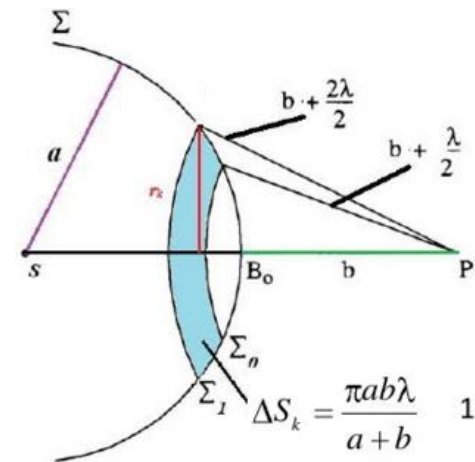
Trong đó, tích phân thực hiện theo cả mặt kín S.

Việc tính tích phân tương đối phức tạp. Tuy nhiên, chỉ cần tính cường độ sáng tại M tức là chỉ cần biết biên độ dao động sáng tổng hợp tại m nên trong một số trường hợp, Frenen đã đưa ra một phương pháp giúp ta tính toán một cách đơn giản hơn.

b. Phương pháp đối cầu Frenen

*** Định nghĩa và tính chất của đối cầu Frenen**

Xét một nguồn điểm S và điểm được chiếu sáng P. Đặt một mặt cầu bao quanh S, có bán kính $r < SP$. Đặt $PB_0 = b$, từ P làm tâm ta vẽ các mặt cầu $\Sigma_0, \Sigma_1, \Sigma_2 \dots$ có bán kính lần lượt là: $b, b + \frac{\lambda}{2}, b + 2\frac{\lambda}{2} \dots$ Trong đó: λ là bước sóng của ánh sáng do nguồn S phát ra. Các mặt cầu $\Sigma_0, \Sigma_1, \Sigma_2 \dots$ chia mặt cầu thành các đới gọi là các đới cầu Frenen.



Người ta tính diện tích của các đới cầu Frenen thì thấy các diện tích đó đều bằng nhau và bằng:

$$\Delta S = \frac{\pi \cdot R \cdot b}{R + b} \lambda \quad (6.42)$$

Còn bán kính r_k của đới cầu thứ k bằng: $r_k = \sqrt{\frac{R \cdot b \cdot \lambda}{R + b}} \cdot \sqrt{k} \quad (6.43)$ trong đó:

$k = 1, 2, 3 \dots$

Theo nguyên lý Huyghen, mỗi đới cầu có thể coi là một nguồn thứ cấp gửi ánh sáng đến P. Gọi a_k là biên độ dao động sáng do đới thứ k gây ra tại P. Lúc k tăng lên thì các đới cầu càng xa điểm P và góc nghiêng θ càng tăng, do đó theo (6.43) thì lúc k tăng thì a_k giảm dần:

$$a_1 > a_2 > a_3 > a_4 \dots$$

Tuy nhiên, vì khoảng cách từ các đôi cầu đến điểm P và góc nghiêng θ tăng rất chậm, nên các biên độ a_k giảm chậm và ta có thể coi biên độ dao động sáng do đôi thứ k gây ra tại P bằng trung bình cộng của biên độ dao động sáng do hai đôi bên cạnh gây ra: $a_k = \frac{1}{2}(a_{k-1} + a_{k+1})$

Lúc k khá lớn thì $a_k \approx 0$. Chú ý là khoảng cách từ hai đôi cầu kế tiếp tới điểm P khác nhau $\frac{\lambda}{2}$; trong khi đó, các đôi cầu đều nằm trên cùng một mặt sóng nghĩa là pha dao động của các điểm trên mọi đôi cầu đều như nhau. Kết quả hai đôi cầu kế tiếp sẽ gây tại M hai dao động sáng có hiệu pha là:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(L_1 - L_2) = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{2} = \pi \quad (6.44)$$

Vậy hai dao động sáng do hai đôi kế tiếp gây ra tại điểm P sẽ ngược pha nhau, nghĩa là chúng sẽ khử lẫn nhau. Vì P ở khá xa mặt cầu, do đó dao động sáng do các đôi cầu gây tại P có thể coi là cùng phương. Gọi a là biên độ dao động sáng tổng hợp do các đôi gây ra tại P, ta có:

$$a = a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + a_5 - a_6 + \dots$$

*** Nghiên cứu nhiễu xạ qua lỗ tròn gây bởi nguồn điểm ở gần**

Xét sự truyền ánh sáng từ một nguồn điểm O đến một điểm M qua một lỗ tròn AB khoét trên một màn chắn (O và M nằm trên trục của lỗ). Vẽ mặt cầu S tâm O, tựa vào lỗ AB. Dùng M làm tâm vẽ những đôi cầu Frênen trên mặt S. Giả sử lỗ tròn chứa n đôi cầu Frênen. Biên độ dao động sáng tổng hợp tại M sẽ là:

$$a = a_1 - a_2 + a_3 - \dots \pm a_n \quad \begin{cases} +a_n & \text{neu } n \text{ le} \\ -a_n & \text{neu } n \text{ chan} \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow a = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{a_1}{2} - a_2 + \frac{a_3}{2} \right) + \left(\frac{a_3}{2} - a_4 + \frac{a_5}{2} \right) + \dots + \begin{cases} \frac{a_n}{2} & \text{neu } n \text{ le} \\ \frac{a_{n-1}}{2} - a_n \approx -\frac{a_n}{2} & \text{neu } n \text{ chan} \end{cases}$$

$$\Rightarrow a = \frac{a_1}{2} \pm \frac{a_n}{2} \begin{cases} + & \text{khi } n \text{ le} \\ - & \text{khi } n \text{ chan} \end{cases}$$

Vậy khi không có màn P hoặc khi lỗ có kích thước lớn thì vì $a_n \approx 0$ nên cường độ sáng tại M là:

$$I_0 = a^2 = \frac{a_1^2}{4} \quad (6.45)$$

Nếu lỗ chứa một số lẻ đôi, cường độ sáng tại P là:

$$I = \left(\frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2} \right)^2 > I_0 \quad (6.46)$$

Nếu lỗ chứa một số chẵn đôi thì:

$$I = \left(\frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2} \right)^2 < I_0 \quad (6.47)$$

Tóm lại tại điểm M có thể sáng hơn lên hoặc tối đi so với khi không có màn chắn tùy theo số đôi cầu, tức là tùy theo kích thước của lỗ tròn và vị trí của màn quan sát.

* Nhiễu xạ qua một đĩa tròn

Đặt giữa nguồn sáng O và điểm quan sát M một đĩa tròn chắn sáng bán kính r_0 . Giả sử đĩa che mất m đôi Frênen đầu tiên, lúc đó biên độ dao động sáng tại M bằng:

$$a = a_{m+1} - a_{m+2} + a_{m+3} - \dots = \frac{a_{m+1}}{2} + \left(\frac{a_{m+1}}{2} - a_{m+2} + \frac{a_{m+3}}{2} \right) + \dots = \frac{a_{m+1}}{2}$$

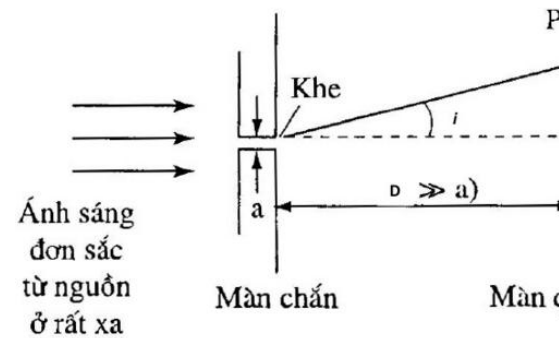
Vậy nếu đĩa chỉ che mất một ít đôi thì a_{m+1} không khác a_1 bao nhiêu, do đó cường độ sáng tại M cũng giống như trường hợp không có chướng ngại vật

giữa O và M. Trong trường hợp đĩa che nhiều đờ thì $a_{m+1} \approx 0$ và cường độ sáng tại M thực tế bằng không.

3.3.2. Nhiễu xạ sóng phẳng qua một khe hẹp

Ở phần này, nguyên lý Huyghen – Frênen sẽ được áp dụng để nghiên cứu hiện tượng nhiễu xạ gây bởi các sóng phẳng khi truyền qua một vật chướng ngại nào đó.

Một khe hẹp K có bề rộng $AB = b$. Rọi sáng khe hẹp bằng một chùm đơn sắc song song có bước sóng λ . Chùm song song được tạo ra bằng cách đặt một nguồn điểm O tại tiêu điểm của thấu kính L_o . Qua khe K các tia sáng nhiễu xạ theo nhiều phương. Tách các tia nhiễu xạ theo một phương φ nào đó, chùm tia này sẽ gặp nhau ở vô cùng. Để quan sát hiện tượng nhiễu xạ, ta dùng một thấu kính hội tụ L, chùm tia nhiễu xạ này sẽ hội tụ tại điểm M trong mặt phẳng tiêu của hội tụ tại các điểm khác nhau. Tùy theo giá trị của φ , điểm M có thể sáng hoặc tối. Ta xét sự phân bố cường độ sáng trên màn quan sát đặt tại mặt phẳng tiêu Φ .



Vì sóng gửi tới khe là sóng phẳng nên mặt phẳng của khe là một mặt sóng, các điểm trên mặt phẳng khe có cùng pha dao động. Xét các tia nhiễu xạ theo phương $\varphi = 0$. Theo định lý Maluyt, quang lộ giữa hai mặt trực giao (ở đây là mặt phẳng khe và điểm F) thì bằng nhau, do đó các tia gửi đến F đều có cùng pha dao động, các dao động của các tia tăng cường lẫn nhau. Kết quả tại F ($\varphi = 0$) rất sáng. Điểm sáng đó được gọi là cực đại giữa.

Để tính cường độ sáng theo một phương φ bất kỳ ta vẽ các mặt phẳng $\Sigma_o, \Sigma_1, \Sigma_2 \dots$ cách nhau $\frac{\lambda}{2}$ và vuông góc với chùm tia nhiễu xạ. Các mặt phẳng này chia mặt phẳng khe thành các dải. Bề rộng của mỗi dải là $\frac{\lambda}{2 \sin \varphi}$ và số dải trên khe là:

$$n = \frac{b}{\lambda / 2 \sin \varphi} = \frac{2b \sin \varphi}{\lambda}$$

Theo nguyên lý Huyghen mỗi dải có thể coi là một nguồn thứ cấp gửi ánh sáng đến điểm M. Vì quang lộ từ hai dải kế tiếp đến điểm M khác nhau $\frac{\lambda}{2}$, do đó hai dao động sáng do hai dải kế tiếp gây ra tại M ngược pha nhau và chúng khử lẫn nhau. Kết quả nếu khe chứa một số chẵn dải ($n = 2k$) thì dao động sáng do từng cặp dải kế tiếp gây ra tại M sẽ khử lẫn nhau. Kết quả nếu khe chứa một số lẻ dải ($n=2k+1$) thì dao động sáng do từng cặp dải kế tiếp gây ra tại M sẽ khử lẫn nhau và điểm M sẽ tối. Vậy điều kiện M tối là:

$$\frac{2b \sin \varphi}{\lambda} = 2k \text{ nghĩa là } \sin \varphi = k \frac{\lambda}{b} \quad (1)$$

Trong đó $k = \pm 1, \pm 2, \dots$; ta loại trừ giá trị $k = 0$ vì nếu $k = 0$ thì theo phương trình trên $\varphi = 0$ và lúc đó ta đã có cực đại giữa. Trường hợp nếu khe chứa một số lẻ dải ($n = 2k + 1$) thì dao động sáng do từng cặp dải kế tiếp gây ra tại M sẽ khử lẫn nhau, còn dao động sáng do dải lẻ thứ $2k + 1$ gây ra thì không bị khử. Kết quả điểm M sẽ sáng. Vậy điều kiện để điểm M sáng là:

$$\frac{2b \sin \varphi}{\lambda} = 2k + 1 \text{ nghĩa là } \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2b}$$

Trong đó $k = 1, 2, 3, \dots, -2, -3, \dots$. Ta loại trừ giá trị $k = 0$ và $k = -1$ vì rằng ứng với các giá trị đó, $\sin \varphi = \pm \frac{\lambda}{2b}$: cường độ sáng không thể có giá trị cực đại (khi $\sin \varphi = 0$ ta đã có cực đại giữa, nếu với $\sin \varphi = \pm \frac{\lambda}{2b}$ ta lại có cực đại thì giữa $\sin \varphi = 0$ và $\sin \varphi = \pm \frac{\lambda}{2b}$ phải có cực tiểu. Tuy nhiên theo phương trình (1) thì các cực tiểu đầu tiên phải ứng với khi $\sin \varphi = \pm \frac{\lambda}{2b}$.

Tóm lại: $\sin \varphi = 0$ có cực đại giữa.

$$\sin \varphi = \pm \frac{\lambda}{b}; \pm 2 \frac{\lambda}{b}; \pm 3 \frac{\lambda}{b} \dots \text{ có các cực tiểu nhiều xạ.}$$

$$\sin \varphi = \pm 3 \frac{\lambda}{2b}; \pm 5 \frac{\lambda}{2b}; \dots \text{ có các cực đại nhiễu xạ.}$$

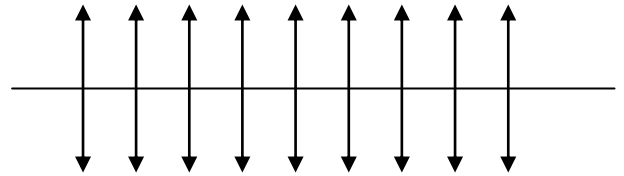
3.4. Phân cực ánh sáng

3.4.1. Hiện tượng phân cực ánh sáng

a. Ánh sáng tự nhiên

Ánh sáng từ một nguồn phát ra (mặt trời, dây tóc nung đỏ ...) có vector cường độ điện trường dao động theo tất cả mọi phương vuông góc với tia sáng. Ánh sáng có vector cường độ điện trường dao động đều đặn theo mọi phương vuông góc với tia sáng được gọi là ánh sáng tự nhiên.

Để biểu diễn ánh sáng tự nhiên, người ta vẽ trong mặt phẳng vuông góc với tia sáng các vector cường độ điện trường có trị số bằng nhau phân bố đều đặn xung quanh tia sáng.

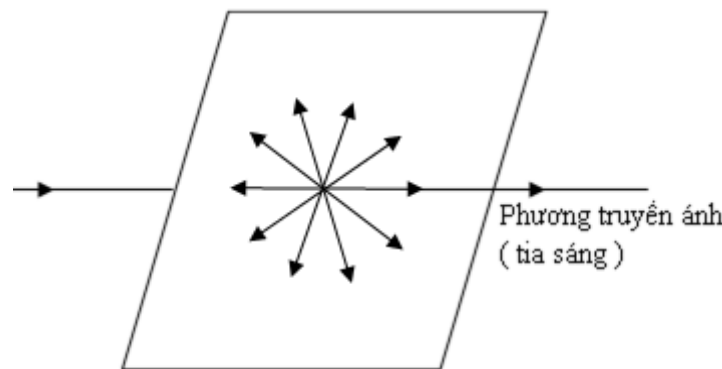


b. Ánh sáng phân cực

Ánh sáng có vector cường độ điện trường chỉ dao động theo một phương xác định được gọi là ánh sáng phân cực thẳng hay ánh sáng phân cực toàn phần.

Hình 6-4: Ánh sáng phân cực toàn phần

Mặt phẳng chứa tia sáng và phương dao động của vector $\vec{E}$ được gọi là mặt phẳng dao động, còn mặt phẳng chứa tia sáng và vuông góc với mặt phẳng dao động được gọi là mặt phẳng phân cực.



Ánh sáng có vector cường độ điện trường dao động theo mọi phương vuông góc với tia sáng, nhưng có phương dao động mạnh, có phương dao động yếu được gọi là ánh sáng phân cực một phần.

Ánh sáng tự nhiên có thể coi là tập hợp của vô số ánh sáng phân cực toàn phần dao động đều đặn theo tất cả mọi phương vuông góc với tia sáng.

c. Phân cực ánh sáng do phản xạ và khúc xạ

Thí nghiệm chứng tỏ rằng hiện tượng phân cực ánh sáng cũng xảy ra khi ánh sáng phản xạ hoặc khúc xạ trên mặt phân cách hai môi trường. Một tia sáng tự nhiên đến đập lên mặt phân cách hai môi trường dưới góc tới i , một phần tia sẽ bị phản xạ lại môi trường một, còn một phần khúc xạ vào trong môi trường hai.

Nhờ bản tualamin, ta thấy tia phản xạ là ánh sáng phân cực một phần, theo phương vuông góc với mặt phẳng tới thì vector cường độ điện trường có biên độ dao động cực đại. Tia khúc xạ cũng là ánh sáng phân cực một phần và trong mặt phẳng tới vector $\vec{E}$ có biên độ dao động cực đại.

Khi thay đổi góc tới i , người ta thấy mức độ phân cực của tia phản xạ cũng thay đổi. Lúc góc tới i thỏa mãn điều kiện:

$$\operatorname{tg} i_B = n_{21}$$

thì tia phản xạ trở thành tia phân cực toàn phần, n_{21} là chiết suất tỉ đối của môi trường hai đối với môi trường một, i_B gọi là góc tới Briuto.

Chú ý rằng: Các tia khúc xạ không bao giờ là ánh sáng phân cực toàn phần. Tuy lúc $i = i_B$, tia khúc xạ cũng bị phân cực mạnh nhất.

d. Phân cực do lưỡng chiết

Thực nghiệm chứng tỏ rằng ở một số tinh thể như băng lan, thạch anh... có tính chất đặc biệt là nếu chiếu một tia sáng vào đó thì nói chung ta sẽ được hai tia. Hiện tượng đó gọi là hiện tượng phân cực do lưỡng chiết và là một trong những hiện tượng thể hiện tính bất đẳng hướng của tinh thể về mặt quang học.

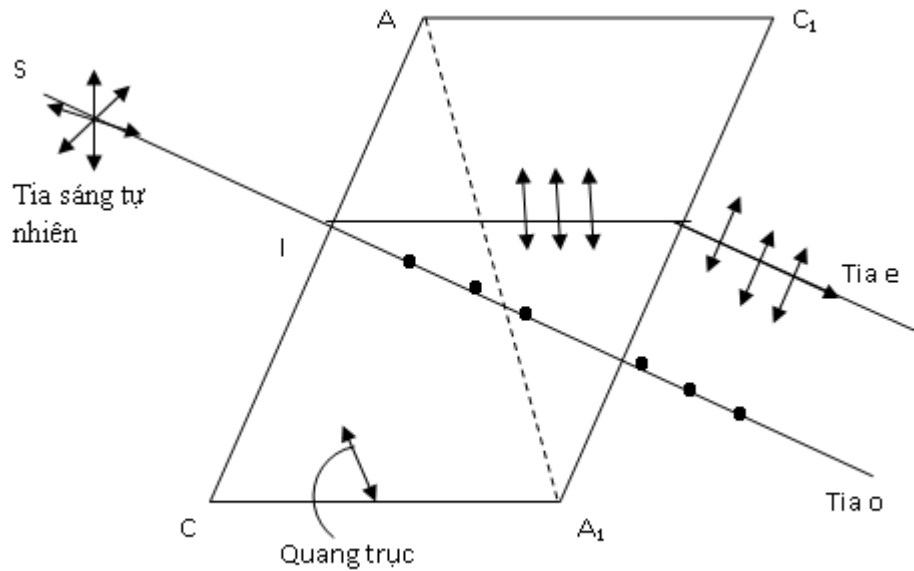
Thực nghiệm cho biết trong tinh thể có một phương đặc biệt mà khi truyền theo đó thì tia sáng không bị tách thành hai. Phương đặc biệt ấy gọi là quang trục của tinh thể. Đó là phương ứng với đường chéo aa_1 nối liền hai đỉnh ứng với ba góc tù $101^\circ 52'$. Bất kỳ đường thẳng nào song song với AA_1 cũng là quang trục của tinh thể cả.

Chiếu một tia sáng tự nhiên vuông góc với mặt ACA_1C_1 của tinh thể.
 Khi đi vào tinh thể, tia sáng tách thành hai:

+ Một tia truyền thẳng không bị lệch gọi là tia thường. Tia thường có cường độ điện trường nằm trong mặt phẳng chính của nó (mặt phẳng chứa quang trục và tia bất thường).

+ Một tia đi lệch khỏi phương truyền ban đầu gọi là tia bất thường. Tia bất thường có vector cường độ điện trường vuông góc một mặt phẳng đặc biệt gọi là mặt phẳng chính của tia sáng .

Nếu ánh rọi vào tinh thể là ánh sáng tự nhiên thì cường độ của tia thường và tia bất thường như nhau, còn nếu ánh sáng rọi vào là ánh sáng phân cực thì cường độ của hai tia phụ thuộc vào góc α giữa mặt phẳng tới và mặt phẳng chính:



Hình 6-5: Sự truyền ánh sáng qua tinh thể băng lan

Thay đổi góc tới i của tia đập lên mặt $abcd$, đo góc khúc xạ của tia thường (i_o) và của tia bất thường (i_e), người ta nhận thấy, đối với tia thường:

$$\frac{\sin i}{\sin i_o} = n_o = \text{const} \quad (6.48)$$

Trong đó: n_o là chiết suất của tinh thể đối với tia thường.

Đối với tia bất thường:

$$\frac{\sin i}{\sin i_e} = n_e \neq \text{const} \quad (6.49)$$

Trong đó: n_e là chiết suất của tinh thể đối với tia bất thường, nó phụ thuộc vào góc tới i .

Thực nghiệm chứng tỏ rằng, vận tốc của tia bất thường theo phương song song với quang trục là cực tiểu, theo phương đó $v_e = v_o$, còn theo phương vuông góc với quang trục, v_e có giá trị cực đại.

$$V_e \geq V_o \quad (6.50)$$

Chiết suất tỷ lệ nghịch với vận tốc, do đó: $n_e \leq n_o$ (6.51)

3.4.2. Định luật Maluyt

Thực nghiệm chứng tỏ rằng bản Tuamalin dày khoảng 1mm trở lên chỉ cho qua những ánh sáng nào có vectơ cường độ điện trường nằm trong một mặt phẳng xác định, đó là mặt phẳng chứa một phương đặc biệt là quang trục của tinh thể và tia sáng. Còn các ánh sáng có vectơ $\vec{E}$ vuông góc với mặt phẳng trên sẽ không đi qua bản. Trong trường hợp bản tuamalin có quang trục song song với cạnh AB, còn tia sáng chiếu vào vuông góc với mặt ABCD của bản, vì ánh sáng là sóng ngang nên tia sáng sau bản tuamalin có vectơ $\vec{E}$ song song với quang trục của bản.

Vì tính đối xứng của ánh sáng tự nhiên xung quanh phương truyền, nên nếu ta quay bản tuamalin xung quanh tia sáng thì ở vị trí nào của bản cũng có ánh sáng truyền qua. Ánh sáng đó là ánh sáng phân cực toàn phần.

Lấy một bản tuamalin T_2 (bản T_2 đặt sau bản T_1). Gọi α là góc giữa hai quang trục. Do tính chất của bản tuamalin, biên độ dao động sáng sau bản T_2 là :

$$a_2 = a_1 \cdot \cos \alpha$$

Cường độ sáng sau bản T_2 sẽ là : $I_2 = a_2^2 = I_1 \cdot \cos^2 \alpha$ (*)

Trong đó $I_1 = a_1^2$ là cường độ sáng sau bản T_1 . Như vậy, nếu giữ cố định bản T_1 và quay bản T_2 xung quanh tia sáng thì I_2 sẽ thay đổi. Lúc hai quang trục song song với nhau thì $I_2 = I_{2\max} = I_1$. Còn lúc hai quang trục vuông góc với nhau thì $I_2 = I_{2\min} = 0$. T_1 được gọi là kính phân cực, T_2 được gọi là kính phân tích.

Công thức (*) ở trên biểu diễn một định luật gọi là định luật Maluyt: Khi cho một chùm tia sáng tự nhiên rơi qua hai bản tuamalin có quang trục hợp với nhau một góc α thì cường độ sáng nhận được tỉ lệ với $\cos^2 \alpha$.

Dùng một bản tuamalin ta có thể phân biệt được chùm sáng là ánh sáng tự nhiên hay ánh sáng phân cực. Đặt bản tuamalin trên đường đi của tia sáng, nếu tia sáng là ánh sáng tự nhiên thì khi quay bản tuamalin, cường độ sáng sau bản không thay đổi, còn nếu tia sáng là ánh sáng phân cực thì khi quay bản tuamalin cường độ sáng sau bản sẽ thay đổi.

3.5. Cơ sở của quang học lượng tử

3.5.1. Thuyết lượng tử Planck

a. Sự thất bại của thuyết sóng ánh sáng trong việc giải thích hiện tượng bức xạ nhiệt

Xuất phát từ quan niệm của vật lý kinh điển coi các nguyên tử, phân tử phát xạ hoặc hấp thụ một cách liên tục, trên cơ sở lý thuyết bức xạ điện từ cổ điển, Reelay và Ginx đã tìm được biểu thức sau đây của hàm phổ biến:

$$f(\nu, T) = \frac{2\pi \cdot \nu^2}{c^2} \cdot k_B \cdot T \quad (7.1)$$

Trong đó $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K là hằng số Bônxman.

Từ biểu thức đó, có thể tính được năng suất phát xạ toàn phần của một vật đen tuyệt đối:

$$R(T) = \int_0^\infty f(\nu, T) \cdot d\nu = \infty \quad (7.2)$$

Kết quả dẫn tới một đại lượng vô cùng lớn, đó là bế tắc của quan niệm vật lý cổ điển về phát xạ và hấp thụ năng lượng điện từ.

b. Thuyết lượng tử của Plăng

- Các nguyên tử, phân tử phát xạ hay hấp thụ năng lượng của bức xạ điện từ một cách gián đoạn: phần năng lượng phát xạ hay hấp thụ luôn là bội số

nguyên của một lượng năng lượng nhỏ xác định gọi là lượng tử năng lượng hay quanta năng lượng:

- Đối với một bức xạ điện từ đơn sắc tần số ν , bước sóng λ lượng tử năng lượng tương ứng bằng:

$$E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (7.3)$$

trong đó: $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s là hằng số Planck.

- Biểu thức của hàm phổ biến $f(\nu, T)$, tức là năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối:

$$f(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1} \quad (7.4)$$

là công thức Planck.

3.5.2. Thuyết photon Anhxtanh

Thuyết lượng tử của Planck đã nêu lên quan điểm hiện đại về năng lượng: Năng lượng điện từ phát xạ hay hấp thụ có những giá trị gián đoạn: chúng luôn là bội số nguyên của lượng tử năng lượng e , ta nói rằng năng lượng điện từ phát xạ hay hấp thụ bị lượng tử hóa. Nhưng thuyết lượng tử của Planck chưa nêu lên bản chất gián đoạn của bức xạ điện từ. Đến năm 1905, Anhxtanh dựa trên thuyết lượng tử về năng lượng của Planck đã nêu lên thuyết lượng tử ánh sáng.

Thuyết photon của Anhxtanh:

- Bức xạ điện từ cấu tạo bởi vô số các hạt gọi là lượng tử ánh sáng hay photon.

- Với mỗi bức xạ điện từ đơn sắc nhất định, các photon đều giống nhau và mang một năng lượng xác định bằng :

$$E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (7.8)$$

- Trong mọi môi trường (và cả trong chân không) các photon truyền đi cùng vận tốc $c = 3.10^8$ m/s.

- Khi một vật phát xạ hay hấp thụ bức xạ điện từ thì có nghĩa là vật đó phát hay hấp thụ các photon.

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

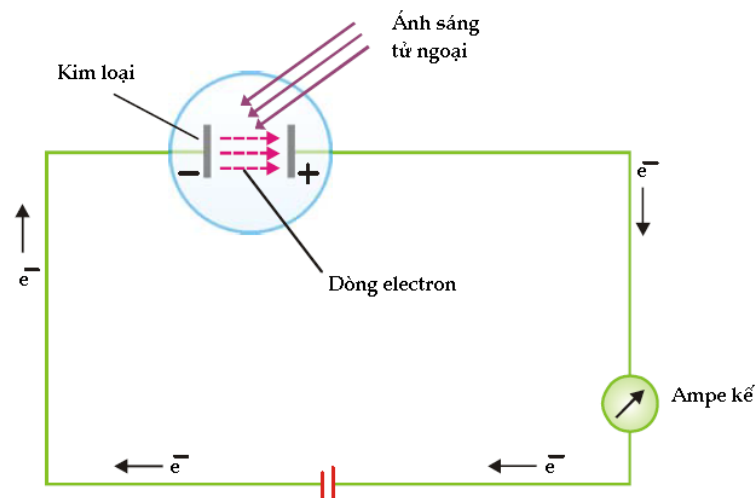
3.6. Hiện tượng quang điện

3.6.1. Hiện tượng quang điện ngoài và ứng dụng

Hiện tượng quang điện là hiệu ứng bắn ra các electron từ một tấm kim loại đó một bức xạ điện từ thích hợp, các electron bắn ra được gọi là các quang electron.

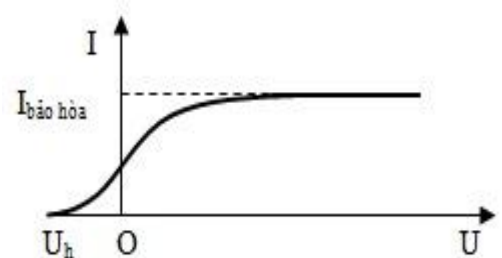
Có thể nghiên cứu thực nghiệm hiện tượng quang điện bằng một sơ đồ thí nghiệm bố trí như hình vẽ trong đó phần tử chủ yếu là một tế bào quang điện.

Khi dội một chùm bức xạ điện từ thích hợp vào catốt của tế bào quang điện thì trong mạch xuất hiện dòng quang điện trở bởi điện kế G. Thay đổi hiệu điện thế U giữa anốt và catốt ta được đồ thị dòng quang điện như hình vẽ.



Qua đồ thị ta nhận thấy rằng:

Ban đầu cường độ dòng quang điện tăng theo hiệu điện thế U ; khi tăng đến một mức độ nào đó cường độ dòng quang điện đạt tới một giá trị không đổi gọi là cường độ dòng quang điện bão hòa.



Ngay khi hiệu điện thế $U = 0$, cường độ dòng quang điện vẫn có giá trị $I_0 \neq 0$. Điều này chứng tỏ rằng các quang electron khi bắn ra khỏi katốt đã có sẵn động năng ban đầu $\frac{1}{2}mv_0^2$.

Có thể triệt tiêu dòng quang điện bằng cách tác dụng lên hai cực của tế bào quang điện một hiệu điện thế ngược (gọi là hiệu điện thế cản) U_c : hiệu điện thế cản có giá trị sao cho công cản của điện trường bằng động năng ban đầu cực đại của quang electron:

$$eU_c = \frac{1}{2}mv_{0\max}^2$$

3.6.2. Hiện tượng quang điện trong và ứng dụng

a. Hiện tượng quang điện trong

Khi bán dẫn tinh khiết được chiếu bằng chùm ánh sáng có bước sóng thích hợp, thì một số electron liên kết trong bán dẫn có thể bứt ra khỏi các nguyên tử bán dẫn và chuyển động tự do trong khối bán dẫn đó. Đồng thời, có một số lượng như vậy các lỗ trống được tạo ra và tham gia vào quá trình dẫn điện. Hiện tượng tạo thành các electron dẫn và lỗ trống trong bán dẫn, do tác dụng của ánh sáng có bước sóng thích hợp, gọi là hiện tượng quang điện trong.

Muốn gây được hiện tượng quang điện trong thì ánh sáng kích thích phải có bước sóng nhỏ hơn hoặc bằng một giá trị λ_0 , gọi là giới hạn quang điện của bán dẫn.

b. Ứng dụng

* Quang điện trở

Quang điện trở được chế tạo dựa trên hiệu ứng quang điện trong. Đó là một tấm bán dẫn có giá trị điện trở thay đổi khi cường độ chùm sáng chiếu vào nó thay đổi.

Khi trên lớp bán dẫn chưa có ánh sáng rọi vào, trong mạch có một dòng điện nhỏ gọi là dòng tối. Nó phụ thuộc vào điện trở thuần của quang điện trở và vào hiệu điện thế đặt vào hai điện cực. Khi ta rọi sáng lớp bán dẫn,

cường độ dòng điện qua nó phụ thuộc cường độ chùm sáng và hiệu điện thế giữa hai điện cực.

Quang điện trở thường được lắp với các mạch khuếch đại trong các thiết bị điều khiển bằng ánh sáng, trong các máy đo ánh sáng.

*** Pin quang điện**

Pin quang điện là nguồn điện, trong đó quang năng được biến đổi trực tiếp thành điện năng. Hoạt động của pin dựa trên hiện tượng quang điện trong của một số chất bán dẫn như đồng ôxit, selen, silic...

Cấu tạo của pin quang điện gồm một tấm bán dẫn loại n, bên trên có phủ một lớp mỏng bán dẫn loại p. Mặt trên cùng là một lớp kim loại mỏng trong suốt với ánh sáng và dưới cùng là một đế kim loại. Các lớp kim loại này đóng vai trò các điện cực. Lớp tiếp xúc p – n được hình thành giữa hai bán dẫn.

Khi ánh sáng có bước sóng thích hợp chiếu vào lớp kim loại mỏng ở trên cùng thì ánh sáng sẽ đi xuyên qua lớp này vào lớp bán dẫn loại p, gây ra hiện tượng quang điện trong và giải phóng ra các cặp electron và lỗ trống. Điện trường ở lớp chuyển tiếp p – n đẩy các lỗ trống về phía bán dẫn loại p và đẩy các electron về phía bán dẫn loại n. Do đó, lớp kim loại mỏng trên lớp bán dẫn loại p sẽ nhiễm điện dương và trở thành điện cực dương của pin, còn đế kim loại dưới bán dẫn loại n sẽ nhiễm điện âm và trở thành điện cực âm. Suất điện động của pin quang điện thường có giá trị 0,5V đến 0,8V.

Pin quang điện đã trở thành nguồn cung cấp điện năng cho các vùng sâu, vùng xa ở nước ta, trên các vệ tinh nhân tạo, con tàu vũ trụ, trong các máy đo ánh sáng, máy tính bỏ túi...

BÀI TẬP

I. Giao thoa ánh sáng cho bởi hai nguồn kết hợp

Bài 40: Trong thí nghiệm khe Iâng, hai khe hẹp cách nhau 2,8mm. Màn quan sát đặt cách hai khe hẹp 80cm, khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp trên màn là 0,14mm. Tìm bước sóng ánh sáng? Vị trí của vân tối thứ 3?

$$(\lambda = 0,49\mu m; \quad x_B = 0,35mm)$$

Bài 41: Trong thí nghiệm khe lưỡng, hai khe hẹp cách nhau 2mm. Màn quan sát đặt cách hai khe là 0,60m. Bước sóng của ánh sáng là $0,64\mu m$. Tìm khoảng cách từ vân sáng thứ 2 đến vân tối thứ 5?

$$(0,48mm)$$

Bài 42: Trong thí nghiệm khe lưỡng, 2 khe hẹp cách nhau 3mm. Khoảng cách giữa màn quan sát tới 2 khe hẹp là 50cm. Khoảng cách từ vân sáng thứ nhất đến vân sáng thứ 5 (nằm cùng phía so với vân sáng trung tâm) là 0,44mm. Tìm bước sóng ánh sáng? Vị trí vân sáng thứ 3? Vị trí vân tối thứ 2?

$$(\lambda = 0,66\mu m; \quad 0,33mm; \quad 0,165mm)$$

Bài 43: Khoảng cách giữa hai khe trong máy giao thoa lưỡng $l = 1mm$. Khoảng cách từ màn quan sát tới mặt phẳng chứa hai khe $D = 3m$. Khi toàn bộ hệ thống đặt trong không khí, người ta đo được khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp $i = 1,5mm$.

a. Tìm bước sóng của ánh sáng tới.

b. Xác định vị trí của vân sáng thứ 3 và vân tối thứ 4.

c. Đặt trước một trong hai khe sáng một bản mỏng phẳng có hai mặt song song, chiết suất $n=1,5$, bề dày $e = 10\mu m$. Xác định độ dịch chuyển của hệ thống vân giao thoa trên màn quan sát.

d. Nếu không đặt bản mỏng, mà lại đổ vào khoảng giữa màn ảnh và mặt phẳng chứa hai khe một chất lỏng thì người ta thấy bề rộng của mỗi vân giao thoa bây giờ là 0,45mm. Tính chiết suất của chất lỏng?

$$(a. \lambda = 0,5\mu m; \quad b. y_{s3} = 4,5mm, \quad y_{t4} = 5,25mm; \quad c. |\Delta y| = 1,5cm)$$

Bài 44: Một nguồn sáng đơn sắc phát ra ánh sáng có bước sóng $0,6\mu m$. Chiếu ánh sáng trên vào hai khe hở hẹp song song cách nhau $l = 1mm$ và cách đều nguồn sáng. Trên một màn ảnh đặt song song và cách mặt phẳng chứa hai khe hở một đoạn $D = 1m$, ta thu được một hệ thống vân giao thoa.

a. Tính khoảng cách giữa hai vân sáng (hoặc hai vân tối) liên tiếp nếu toàn bộ hệ thống đặt trong không khí?

b. Xác định vị trí của ba vân tối đầu tiên.

c. Đặt trước một trong hai khe hở một bản mỏng phẳng, trong suốt có hai mặt song song, dày $e = 12\mu m$ và có chiết suất n . Khi đó hệ thống vân giao thoa bị dịch chuyển một đoạn 6mm. Hãy xác định chiết suất của bản mỏng?

d. Nếu không đặt bản mỏng mà lại đổ vào khoảng giữa màn ảnh và mặt phẳng chứa hai khe một chất lỏng thì người ta thấy bề rộng của mỗi vân giao thoa bây giờ là $i' = 0,45mm$. Tính chiết suất của chất lỏng?

Bài 45: Hai khe sáng trong máy giao thoa Yâng cách nhau $l = 1\text{ mm}$ được chiếu sáng bởi một chùm tia sáng đơn sắc. Màn quan sát giao thoa được đặt cách mặt phẳng của hai khe một khoảng $D = 2\text{ m}$. Bề rộng của 6 vân sáng liên tiếp đo được bằng $7,2\text{ mm}$.

a. Tính bước sóng của ánh sáng tới.

b. Xác định độ dịch chuyển của hệ thống vân, nếu trước một trong hai khe sáng có đặt một bản mỏng trong suốt, mặt song song, dày $0,02\text{ mm}$, chiết suất $1,5$?

Bài 46: Để đo bề dày của một bản mỏng trong suốt, người ta đặt bản trước một trong hai khe của máy giao thoa Yâng. Ánh sáng chiếu vào hệ thống có bước sóng $\lambda = 0,6\text{ }\mu\text{ m}$. Chiết suất của bản mỏng $n = 1,5$. Người ta quan sát thấy vân sáng giữa bị dịch chuyển về vị trí của vân sáng thứ năm (ứng với lúc chưa đặt bản). Xác định bề dày của bản.

II. Giao thoa bản mỏng

Bài 47: Trên một bản thủy tinh phẳng (chiết suất $n = 1,5$) người ta phủ một màng mỏng có chiết suất $n' = 1,4$. Một chùm tia sáng đơn sắc song song, bước sóng là $0,6\text{ }\mu\text{ m}$ được chiếu gần thẳng góc với mặt bản. Tính bề dày của màng mỏng biết rằng do hiện tượng giao thoa, chùm tia phản xạ có cường độ sáng cực tiểu.

Bài 48: Chiếu một chùm tia sáng song song đơn sắc và thẳng góc với bản thủy tinh phẳng của một hệ thống cho vân tròn Newton. Đường kính của vân tối thứ tư đo được $d_4 = 9\text{ mm}$ (coi tâm của hệ thống là vân tối thứ không). Tìm bước sóng của ánh sáng tới biết rằng bán kính mặt lồi của thấu kính $R = 8,6\text{ m}$, giữa thấu kính và bản thủy tinh là không khí.

Bài 49: Chiếu một chùm tia sáng đơn sắc song song và thẳng góc với mặt dưới của nêm không khí. Ánh sáng tới có bước sóng là $0,6\text{ }\mu\text{ m}$. Tìm góc nghiêng của nêm không khí biết rằng trên 1 cm dài của mặt nêm, người ta quan sát thấy 10 vân giao thoa.

Bài 50: Chiếu một chùm ánh sáng trắng xiên một góc 45° lên một màng nước xà phòng. Tìm bề dày nhỏ nhất của màng để những tia phản chiếu có màu vàng. Cho biết bước sóng của ánh sáng vàng là $6 \cdot 10^{-5}\text{ cm}$. Chiết suất của bản là $n = 1,33$.

Bài 51: Chiếu một chùm tia sáng song song bước sóng $0,6\text{ }\mu\text{ m}$ lên một màng xà phòng (có chiết suất bằng $1,3$) dưới góc tới 30° . Hỏi bề dày nhỏ nhất của màng phải bằng bao nhiêu để chùm tia phản xạ có

a. Cường độ sáng cực tiểu?

b. Cường độ sáng cực đại?

Bài 52: Một chùm ánh sáng trắng được rọi vuông góc với một bản thủy tinh mỏng hai mặt song song, dày $e = 0,4\text{ }\mu\text{ m}$, chiết suất $n = 1,5$. Hỏi trong phạm vi quang phổ thấy được của chùm ánh sáng trắng (bước sóng từ $0,4\text{ }\mu\text{ m}$ đến $0,7\text{ }\mu\text{ m}$), những chùm tia phản chiếu có bước sóng nào sẽ được tăng cường?

Bài 53: Một chùm tia sáng đơn sắc bước sóng là $0,6\ \mu\text{m}$ được rọi vuông góc với một mặt nêm thủy tinh (chiết suất $n = 1,5$). Xác định góc nghiêng của nêm. Biết rằng số vân giao thoa chứa trong khoảng 1cm chiều dài mặt nêm là 10 vân.

Bài 54: Chiếu một chùm tia sáng đơn sắc có bước sóng $0,5\ \mu\text{m}$ vuông góc với mặt của một nêm không khí và quan sát ánh sáng phản xạ trên mặt nêm, người ta thấy bề rộng của mỗi vân bằng $0,05\text{cm}$.

a. Tìm góc nghiêng giữa hai mặt nêm.

b. Nếu chiếu đồng thời hai chùm tia sáng đơn sắc (bước sóng là $0,5\ \mu\text{m}$ và $0,6\ \mu\text{m}$) xuống mặt nêm thì hệ thống vân trên mặt nêm có gì thay đổi? Xác định vị trí tại đó các vân tối của hai hệ thống vân trùng nhau?

Bài 55: Xét một hệ thống cho vân tròn Newton. Xác định bề dày của lớp không khí ở đó ta quan sát thấy vân sáng đầu tiên, biết rằng ánh sáng tới có bước sóng $0,6\ \mu\text{m}$.

Bài 56: Một chùm tia sáng đơn sắc có bước sóng $0,6\ \mu\text{m}$ được rọi vuông góc với một bản cho vân tròn Newton. Tìm bề dày của lớp không khí tại vị trí của vân tối thứ tư của chùm tia phản xạ?

Bài 57: Thấu kính trong hệ thống cho vân tròn Newton có bán kính cong bằng 15m . Chùm ánh sáng đơn sắc tới vuông góc với hệ thống, quan sát các vân giao thoa của chùm tia phản chiếu. Tìm bước sóng của ánh sáng tới biết rằng khoảng cách giữa vân tối thứ tư và vân tối thứ hai mươi lăm bằng 9mm .

Bài 58: Chiếu một chùm tia sáng đơn sắc vuông góc với bản cho vân tròn Newton và quan sát ánh sáng phản xạ. Bán kính của hai vân tối liên tiếp lần lượt bằng $4,00\text{mm}$ và $4,38\text{mm}$. Bán kính cong của thấu kính bằng $6,4\text{m}$. Tìm số thứ tự của các vân tối trên và bước sóng của ánh sáng tới.

Bài 59: Một thấu kính có một mặt phẳng một mặt lồi, với mặt cầu có bán kính cong $R = 12,5\text{m}$, được đặt trên một bản thủy tinh phẳng. Đỉnh của mặt cầu không tiếp xúc với bản thủy tinh phẳng vì có một hạt bụi. Người ta đo được các đường kính của vân tròn tối Newton thứ 10 và thứ 15 trong ánh sáng phản chiếu lần lượt là 10mm và 15mm . Xác định bước sóng của ánh sáng dùng trong thí nghiệm?

Bài 60: Trong một hệ thống cho vân tròn Newton, người ta đổ đầy một chất lỏng vào khe giữa thấu kính và bản thủy tinh phẳng. Xác định chiết suất của chất lỏng đó, nếu ta quan sát vân phản chiếu và thấy bán kính của vân tối thứ ba bằng $3,65\text{mm}$. Cho bán kính cong của thấu kính $R = 10\text{m}$, bước sóng của ánh sáng tới là $0,589\ \mu\text{m}$, coi vân tối ở tâm là vân tối số không ($k = 0$).

Bài 61: Mặt cầu của một thấu kính một mặt phẳng, một mặt lồi được đặt tiếp xúc với một bản thủy tinh phẳng. Chiết suất của thấu kính và của bản thủy tinh lần lượt bằng $n_1 = 1,50$ và $n_2 = 1,70$. Bán kính cong của mặt cầu của thấu kính $R = 100\text{cm}$ khoảng không gian giữa thấu kính và bản phẳng chứa đầy một chất có chiết suất $n = 1,63$. Xác định bán kính của vân tối Newton thứ 5 nếu quan sát vân giao thoa bằng ánh sáng phản xạ cho bước sóng của ánh sáng $0,5\ \mu\text{m}$.

III. Nhiễu xạ ánh sáng

Bài 62: Tính bán kính của bốn đới cầu Frênen đầu tiên nếu bán kính của mặt sóng $R = 1\text{m}$, khoảng cách từ tâm sóng đến điểm quan sát bằng 2m , bước sóng ánh sáng dùng trong thí nghiệm là $5 \cdot 10^{-7}\text{m}$.

Bài 63: Tính bán kính của 5 đới Frenen trong trường hợp sóng phẳng. Biết rằng khoảng cách từ mặt sóng đến điểm quan sát là $b = 1\text{m}$, bước sóng ánh sáng dùng trong thí nghiệm là $5 \cdot 10^{-7}\text{m}$.

Bài 64: Chiếu ánh sáng đơn sắc có bước sóng $0,5\mu\text{m}$ vào một lỗ tròn bán kính chưa biết. Nguồn sáng điểm đặt cách lỗ tròn 2m sau lỗ tròn 2m có đặt một màn quan sát. Hỏi bán kính của lỗ tròn phải bằng bao nhiêu để tâm của hình nhiễu xạ là tối nhất?

Bài 65: Người ta đặt một màn quan sát cách một nguồn sáng điểm (phát ra ánh sáng có bước sóng $0,6\mu\text{m}$) một khoảng x . Chính giữa khoảng x có đặt một màn tròn chắn sáng, đường kính 1mm . Hỏi x phải bằng bao nhiêu để điểm M_0 trên màn quan sát có độ sáng gần giống như lúc chưa đặt màn tròn, biết rằng điểm M_0 và nguồn sáng đều nằm trên trục của màn tròn.

Bài 66: Giữa nguồn sáng điểm và màn quan sát người ta đặt một lỗ tròn. Bán kính của lỗ tròn bằng r và có thể thay đổi được trong quá trình thí nghiệm. Khoảng cách giữa lỗ tròn và nguồn sáng $R = 100\text{cm}$, giữa lỗ tròn và màn quan sát $b = 125\text{cm}$. Xác định bước sóng ánh sáng dùng trong thí nghiệm nếu tâm của hình nhiễu xạ có độ sáng cực đại khi bán kính của lỗ $r_1 = 1\text{mm}$ và có độ sáng cực đại tiếp theo khi bán kính của lỗ $r_2 = 1,29\text{mm}$.

Bài 67: Một chùm tia sáng đơn sắc, song song, bước sóng $0,6\mu\text{m}$ được rọi vuông góc với một khe chữ nhật hẹp có bề rộng $b = 0,1\text{mm}$. Ngay sau khe có đặt một thấu kính. Tìm bề rộng của vân cực đại giữa trên một màn quan sát đặt tại mặt phẳng trên của thấu kính và cách thấu kính $D = 1\text{m}$.

Bài 68: Một nguồn sáng điểm chiếu ánh sáng đơn sắc bước sóng $0,5\mu\text{m}$ vào một lỗ tròn bán kính $r = 1\text{mm}$. Khoảng cách từ nguồn sáng tới lỗ tròn là $R = 1\text{m}$. Tìm khoảng cách từ lỗ tròn tới điểm quan sát để lỗ tròn chứa ba đới Frênen.

Bài 69: Một chùm tia sáng đơn sắc song song bước sóng $0,589\mu\text{m}$ chiếu thẳng góc với một khe hẹp có bề rộng $b = 2\mu\text{m}$. Hỏi những cực tiểu nhiễu xạ được quan sát dưới những góc nhiễu xạ bằng bao nhiêu so với phương ban đầu?

Bài 70: Một chùm tia sáng đơn sắc song song có bước sóng $0,5\mu\text{m}$ được rọi thẳng góc với một khe hẹp có bề rộng $2 \cdot 10^{-3}\text{cm}$. Tính bề rộng của ảnh của khe trên một màn quan sát đặt cách khe một khoảng $d = 1\text{m}$ (bề rộng của ảnh là khoảng cách giữa hai cực tiểu đầu tiên ở hai bên cực đại giữa).

IV. Phân cực ánh sáng

Bài 71: Mặt phẳng chính (mặt phẳng dao động) của hai lăng kính nicôn N_1 và N_2 hợp với nhau một góc 60° . Biết rằng khi truyền qua mỗi lăng kính nicôn, ánh sáng bị phản xạ và hấp thụ mất $k = 5\%$, hỏi:

a. Cường độ ánh sáng giảm đi bao nhiêu lần sau khi đi qua một nicôn (N_1)?

b. Cường độ ánh sáng giảm đi bao nhiêu lần sau khi đi qua cả hai nicôn?

Bài 72: Một chùm tia sáng tự nhiên sau khi truyền qua một cặp kính phân cực và kính phân tích, cường độ sáng giảm đi 4 lần; coi phần ánh sáng bị hấp thụ không đáng kể. Hãy xác định góc hợp bởi tiết diện chính của hai kính trên?

Bài 73: Góc hợp bởi hai tiết diện chính của kính phân cực và kính phân tích bằng α_0 , cho một chùm sáng tự nhiên lần lượt truyền qua hai kính đó. Biết rằng hai kính cùng hấp thụ và phản xạ 8% cường độ của chùm tia sáng đập vào chúng, sau khi truyền qua kính phân tích, cường độ sáng bằng 9% cường độ ánh sáng tự nhiên tới kính phân cực. Hãy xác định góc α_0 ?

Bài 74: Chiếu một chùm ánh sáng tự nhiên lên mặt một bản thủy tinh nhẵn bóng, nhúng trong một chất lỏng. Tia phản xạ (trên mặt thủy tinh) hợp với tia tới một góc là 97° , và bị phân cực toàn phần, xác định chiết của chất lỏng, cho $n_{tt} = 1,5$.

Bài 75: Xác định góc tới Briuxơ của một mặt thủy tinh có chiết suất $n_1 = 1,57$ khi môi trường ánh sáng tới là:

a. Không khí.

b. Nước (có chiết suất $n_2 = 4/3$).

Bài 76: Một chất có góc giới hạn của hiện tượng phản xạ toàn phần bằng 45° . Tìm góc tới Briuxơ ứng với chất đó?

Bài 77: Ánh sáng phản chiếu trên một mặt thủy tinh đặt trong không khí sẽ bị phân cực toàn phần khi góc khúc xạ là 30° . Tìm chiết suất của loại thủy tinh trên?

Bài 78: Một chùm tia sáng, sau khi truyền qua chất lỏng đựng trong một bình thủy tinh, phản xạ trên đáy bình. Tia phản xạ bị phân cực toàn phần khi góc tới trên đáy bình bằng $45^\circ 37'$, chiết suất của bình thủy tinh $n = 1,5$. Tính.

a. Chiết suất của chất lỏng.

b. Góc tới trên đáy bình để chùm tia phản xạ trên đó phản xạ toàn phần.

Bài 79: Một chùm tia sáng phân cực thẳng (có bước sóng trong chân không $0,589 \mu m$) được rọi thẳng góc với quang trục của một bản tinh thể băng lan. Chiết suất của tinh thể băng lan đối với tia thường và tia bất thường lần lượt bằng $n_o = 1,658$ và $n_e = 1,488$. Tìm bước sóng của tia thường và tia bất thường trong tinh thể.

Bài 80: Tìm bề dày của bản $\frac{1}{2}$ sóng nếu chiết suất của bản đối với tia thường và tia bất thường lần lượt bằng $n_o = 1,658$ và $n_e = 1,488$; bước sóng ánh sáng là $0,589 \mu m$.

V. Quang học lượng tử, hiện tượng quang điện

Bài 63: Xác định năng lượng, động lượng và khối lượng của photon ứng với ánh sáng có bước sóng $0,6 \mu m$.

Bài 64: Giới hạn quang điện của kali là $0,577 \mu m$. Tính năng lượng nhỏ nhất của photon cần thiết để làm bắn các quang electron ra khỏi kali?

Bài 65: Giới hạn đỏ trong hiện tượng quang điện đối với xêzi là $0,653 \mu m$. Xác định vận tốc cực đại của quang electron khi chiếu xêzi bằng ánh sáng tím có bước sóng $0,4 \mu m$?

Bài 66: Giới hạn đỏ của hiện tượng quang điện đối với vonfram là $0,2750 \mu m$, hãy tính:

a. Công thoát của electron đối với vonfram?

b. Năng lượng cực đại của quang electron khi bật ra khỏi vonfram nếu bức xạ chiếu vào có bước sóng là $0,18 \mu m$?

c. Vận tốc cực đại của quang electron đó?

Bài 67: Khi chiếu một chùm sáng vào một kim loại, có hiện tượng quang điện xảy ra. Nếu dùng một hiệu thế kháng điện là $3V$ thì các quang electron bị bắn ra khỏi kim loại bị giữ lại cả, không bay sang anot được. Biết tần số giới hạn đỏ của kim loại đó là $6.10^{14} s^{-1}$, hãy tính:

a. Công thoát của electron đối với kim loại đó.

b. Tần số của chùm sáng tới.

Bài 68: Chiếu bức xạ bước sóng $0,14 \mu m$ vào một kim loại, có hiện tượng quang điện xảy ra. Hãy tính hiệu thế kháng điện để giữ các quang electron lại không cho bay sang anot, biết công thoát electron đối với kim loại đó là: $4,47 eV$.

Bài 69: Khi chiếu vào một kim loại những ánh sáng lần lượt có bước sóng $2790 \text{ \AA}$ và $2450 \text{ \AA}$ thì có các quang electron bắn ra, hiệu thế kháng điện để giữ chúng lại lần lượt là $0,66V$ và $1,26V$. Coi như đã biết điện tích electron và vận tốc ánh sáng, hãy tính hằng số Plăng.

Bài 70: Khi chiếu một chùm bức xạ bước sóng $3500 \text{ \AA}$ vào một kim loại có các quang electron bắn ra, dùng một hiệu thế kháng điện để ngăn chúng lại. Khi thay đổi chùm bức xạ chiếu vào để bước sóng tăng thêm $500 \text{ \AA}$ thì hiệu thế kháng điện tăng thêm $0,59V$. Coi như đã biết hằng số Plăng và vận tốc ánh sáng, tính điện tích electron.

Bài 71: Hãy xác định hằng số Plang biết rằng khi lần lượt chiếu bức xạ có tần số $f_1 = 2,2.10^{15} Hz$ và $f_2 = 4,6.10^{15} Hz$ vào một kim loại thì các quang electron bắn ra đều bị giữ lại bởi hiệu điện thế kháng điện $U_1 = 6,5V$ và $U_2 = 16,5V$ (coi như đã biết điện tích electron và vận tốc ánh sáng).

Bài 72: Hãy xác định năng lượng, động lượng và khối lượng của photon ứng với bức xạ có bước sóng:

a. $0,6 \mu m$. b. $1 \text{ \AA}$ c. $0,01 \text{ \AA}$

Bài 73: Tính bước sóng và động lượng của photon có năng lượng bằng năng lượng nghỉ của electron.

Bài 74: Tính nhiệt độ của một khối khí lý tưởng (đơn nguyên tử) biết rằng động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử khí đó bằng năng lượng photon ứng với bức xạ có bước sóng:

a. $10\text{ }\mu\text{m}$ b. $0,6\text{ }\mu\text{m}$

Bài 75: Một chùm bức xạ song song có bước sóng $0,6\text{ }\mu\text{m}$ có động lượng tổng cộng bằng động lượng trung bình của nguyên tử heli ở nhiệt độ $T = 300\text{K}$. Tìm số photon của chùm bức xạ đó?

CHƯƠNG 4. CƠ SỞ CỦA CƠ HỌC LƯỢNG TỬ - VẬT LÝ LƯỢNG TỬ VÀ HẠT NHÂN

4.1. Cơ sở của cơ học lượng tử

4.1.1. Tính chất sóng hạt của vi hạt

Trên cơ sở lưỡng tính sóng hạt của ánh sáng, Đơbroi đã suy rộng tính chất đó đối với electron và sau đó đối với mọi vi hạt khác. Giả thuyết Đơbroi

phát biểu: Một vi hạt tự do có năng lượng xác định, động lượng xác định tương ứng với một sóng phẳng đơn sắc xác định:

- Năng lượng của vi hạt liên hệ với tần số dao động của sóng tương ứng theo hệ thức:

$$W = h\nu = \hbar\omega \quad (7.16)$$

- Động lượng $\vec{p}$ của vi hạt liên hệ với bước sóng λ của sóng tương ứng theo hệ thức:

$$p = \frac{h}{\lambda}; \quad \vec{p} = \hbar\vec{k} \quad (7.17)$$

Tính chất sóng và tính chất hạt của các vi hạt là hai mặt đối lập, biểu hiện sự mâu thuẫn bên trong của đối tượng vật chất đó. Đơbroi đưa ra giả thuyết lưỡng tính sóng hạt của mọi vi hạt, đã có nhiều sự kiện thực nghiệm xác nhận giả thuyết đó. Ở đây chúng ta sẽ xét vài thí nghiệm cơ bản.

Thí nghiệm 1: Cho chùm electron đi qua một khe hẹp. Thu chùm electron trên màn huỳnh quang và dùng kính quan sát hay chụp ảnh, ta sẽ được các vân nhiễu xạ giống như vân nhiễu xạ của ánh sáng qua một khe. Nếu ta cho từng electron riêng biệt đi qua khe thì trên màn huỳnh quang sẽ thu được những ảnh rời rạc của electron. Tuy nhiên, nếu thời gian thí nghiệm khá dài để số electron qua khe đủ lớn thì ta vẫn thu được các vân nhiễu xạ trên màn huỳnh quang. Điều đó chứng tỏ mỗi electron riêng rẽ đều có tính chất sóng.

Thí nghiệm 2: Đêvitxơn – Gecmơ đã nghiên cứu hiện tượng tán xạ trên mặt tinh thể Ni. Khi cho một chùm electron đập thẳng góc vào mặt tinh thể Ni, chùm electron sẽ tán xạ trên mặt tinh thể dưới những góc khác nhau. Hiện tượng tán xạ này xảy ra giống như hiện tượng nhiễu xạ của tia X trên mặt tinh thể Ni, nghĩa là ta cũng sẽ thu được các vân nhiễu xạ của electron. Việc xác định vị trí các vân nhiễu xạ cho phép ta tìm được bước sóng λ của electron theo công thức thông thường về các cực đại nhiễu xạ của Vunfo – Brêgơ (Vulf – Bragg):

$$2d.\sin \theta = k\lambda$$

Trong đó d là khoảng cách giữa hai lớp ion liên tiếp của tinh thể, θ là góc tán xạ hạt. Kết quả này phù hợp với phép tính theo công thức của Đơbơri.

Sau đó người ta đã làm thí nghiệm nhiễu xạ của electron đối với các tinh thể khác. Tất cả các thí nghiệm đều xác nhận khi đập vào tinh thể, electron gây nên hiện tượng nhiễu xạ.

4.1.2. Hàm sóng và ý nghĩa thống kê của hàm sóng

a. Hàm sóng

Vận động của hạt trong thế giới vi mô tuân theo quy luật thống kê. Để mô tả trạng thái của vi hạt cơ học lượng tử dùng khái niệm mới, đó là hàm sóng .

Theo giả thuyết Đơbơri , chuyển động của hạt tự do (hạt không chịu tác dụng của ngoại lực) được mô tả bởi hàm sóng tương tự như sóng phẳng ánh sáng đơn sắc:

$$\psi = \psi_0 . e^{\frac{-i}{\hbar}(Wt - \vec{p} \cdot \vec{r})} = \psi_0 . e^{-i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})} \quad (7.25)$$

trong đó biên độ ψ_0 của hàm sóng được xác định bởi: $\Psi_o^2 = |\Psi^2| = \Psi \cdot \Psi^*$

ψ^* là liên hợp phức của ψ .

Hàm sóng (7.25) được gọi là hàm sóng Đơbơri. Nói chung đối với các hạt vi mô chuyển động trong trường thế , hàm sóng của nó là một hàm phức tạp của tọa độ $\vec{r}$ và thời gian t :

$$\psi(\vec{r}, t) = \psi(x, y, z, t).$$

b. Ý nghĩa thống kê của hàm sóng

Bình phương biên độ sóng $|\psi|^2$ tại M đặc trưng cho khả năng tìm thấy hạt trong đơn vị thể tích bao quanh M. Ta gọi $|\psi|^2$ là mật độ xác suất (xác suất tìm thấy hạt trong đơn vị thể tích).

Như vậy xác suất tìm thấy hạt trong thể tích bất kỳ dV sẽ là : $|\psi|^2 \cdot dV$ và xác suất tìm thấy hạt trong toàn không gian là :

$$\iiint |\psi|^2 \cdot dV \quad (7.26)$$

Khi tìm hạt trong toàn không gian , chúng ta chắc chắn sẽ tìm thấy hạt, nghĩa là xác suất tìm hạt trong toàn không gian bằng 1 :

$$\iiint |\psi|^2 \cdot dV = 1 \quad (7.27)$$

Điều kiện này gọi là điều kiện chuẩn hóa của hàm sóng :

Hàm sóng ψ không mô tả một sóng thực nào trong không gian như sóng cơ, sóng điện từ trong vật lý cổ điển mà chỉ cho phép ta tính xác suất tìm hạt tại một trạng thái nào đó. Nói cách khác hàm sóng ψ mang tính chất thống kê.

c. Điều kiện của hàm sóng

- + Hàm sóng phải giới nội.
- + Hàm sóng phải đơn trị.
- + Hàm sóng phải liên tục.
- + Đạo hàm bậc nhất của hàm sóng phải liên tục.

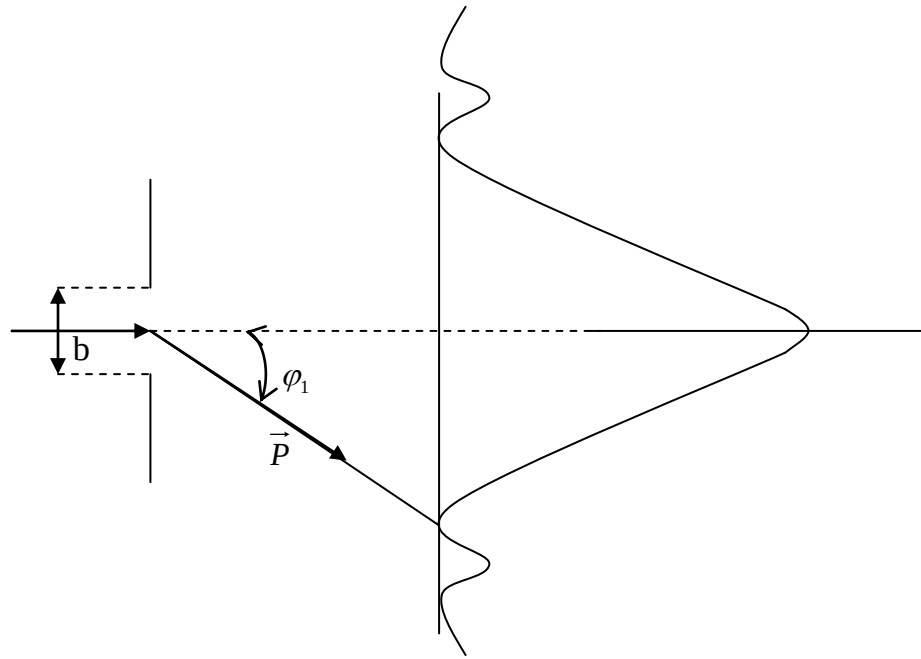
4.1.3. Hệ thức bất định Haidenbec (Haisenberg)

a. Hệ thức bất định

Quy luật vận động của các vi hạt trong thế giới vi mô khác với quy luật vận động của các hạt trong thế giới vĩ mô. Một điểm thể hiện sự khác biệt đó là hệ thức bất định Haidenbec. Để tìm hệ thức đó ta xét hiện tượng nhiễu xạ của chùm vi hạt qua một khe bề rộng b .

Sau khi qua khe, hạt bị nhiễu xạ theo những phương khác nhau. Tùy theo giá trị của góc nhiễu xạ φ , mật độ chùm hạt nhiễu xạ trên màn sẽ cực đại hoặc cực tiểu (bằng không).

Ta hãy xét vị trí của hạt trong khe. Để đơn giản ta xét tọa độ của hạt theo một phương x nằm trong mặt phẳng của khe, song song với chiều rộng của khe. Tọa độ x của hạt trong khe sẽ có giá trị trong khoảng từ 0 đến b :



Hình 7- 2: Nhiễu xạ của chùm vi hạt

Nói cách khác, vị trí của hạt trong khe được xác định với độ bất định:

$$\Delta x \approx b \quad (7.18)$$

Sau khi qua khe, phương động lượng $\vec{p}$ của hạt thay đổi. Hình chiếu $\vec{p}$ theo phương x sẽ có giá trị thay đổi trong khoảng :

$$0 \leq p_x \leq p \cdot \sin \varphi_1 \quad (7.19)$$

Nghĩa là sau khi qua khe, các hạt có thể rơi vào cực đại giữa hoặc cực đại phụ cho nên p_x được xác định với độ bất định nào đó. Hình chiếu p_x được xác định với độ bất định nhỏ nhất (Δp_x nhỏ nhất), ứng với trường hợp hạt rơi vào cực đại giữa (nghĩa là: $\Delta p_x \approx p \cdot \sin \varphi_1$).

$$\varphi_1 \text{ là góc ứng với cực tiểu thứ nhất: } \sin \varphi_1 = \frac{\lambda}{b}$$

$$\text{Nhu vậy: } \Delta x \cdot \Delta p_x \approx p \cdot \lambda \quad (7.20)$$

Theo giả thiết Đơbroi: $p = \frac{h}{\lambda}$, do đó (7.20) được viết lại:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \approx h \quad (7.21)$$

Tương tự: $\Delta y \cdot \Delta p_y \approx h$

$$\Delta z \cdot \Delta p_z \approx h \quad (7.22)$$

Đó là các hệ thức bất định Haidenbec, là một trong những nguyên lý cơ bản của cơ học lượng tử. Có trường hợp người ta viết hệ thức (7.21) dưới dạng:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \cong \hbar \quad (7.23)$$

Hệ thức này chứng tỏ vị trí và động lượng của hạt không được xác định đồng thời. Vị trí của hạt càng xác định thì động lượng của hạt càng bất định và ngược lại.

Chú ý rằng: Hệ thức bất định Haidenbec áp dụng cho các hạt vi mô thể hiện tính không xác định đồng thời của vị trí và động lượng, nhưng nếu áp dụng vào các hạt vĩ mô, hệ thức đó chứng tỏ vị trí và động lượng lại được xác định đồng thời.

Ngoài các hệ thức bất định trên, trong cơ học lượng tử người ta còn tìm được hệ thức bất định giữa năng lượng W và thời gian t :

$$\Delta W \cdot \Delta t \approx h \quad (7.24)$$

Hệ thức này tương tự như các hệ thức bất định Haidenbec cho nên được gọi là hệ thức bất định đối với năng lượng.

Tuy nhiên ý nghĩa của nó khác hẳn ý nghĩa của hệ thức bất định giữa tọa độ và động lượng. Tọa độ và động lượng của vi hạt không thể được xác định đồng thời, nghĩa là chúng không đồng thời có giá trị xác định ở một thời điểm. Phương trình trên còn có ý nghĩa là: Nếu năng lượng của hệ ở một trạng thái nào đó càng bất định thì thời gian để hệ tồn tại ở trạng thái đó càng ngắn và

ngược lại, nếu năng lượng của hệ ở một trạng thái nào đó càng xác định thì thời gian tồn tại ở trạng thái đó càng dài.

b. Ý nghĩa triết học của hệ thức Haidenbec

Theo phép biện chứng duy vật, hệ thức bất định Haidenbec nói lên tính khách quan của sự vận động trong thế giới vi mô, đó là lưỡng tính sóng hạt của vi hạt. Hệ thức bất định này là một biểu thức toán học cho ta biết giới hạn ứng dụng của cơ học cổ điển mà không hạn chế khả năng nhận thức của chúng ta về thế giới vi mô. Nói cách khác không thể dùng các khái niệm cổ điển để mô tả quy luật vận động của các vi hạt.

Theo cơ học cổ điển, nếu biết tọa độ và động lượng của hạt ở thời điểm ban đầu thì ta có thể xác định trạng thái của hạt ở các thời điểm sau. Nhưng theo cơ học lượng tử, tọa độ và động lượng của vi hạt không thể được xác định đồng thời, cho nên việc xác định vi hạt ở một trạng thái nào đó không thể làm giống như cơ học cổ điển mà chỉ có thể đoán nhận khả năng vi hạt ở một trạng thái nhất định. Nói cách khác, vi hạt chỉ có thể ở một trạng thái với một xác suất nào đó. Do đó, quy luật vận động của vi hạt tuân theo quy luật thống kê.

4.1.4. Phương trình sóng Srô- đing- gơ

Hàm sóng Đơbroi : $\psi(\vec{r}, t) = \psi_0 \cdot e^{-\frac{i}{\hbar}(Wt - \vec{p} \cdot \vec{r})}$ (7.28) mô tả vi hạt chuyển động tự do có năng lượng là W và động lượng $\vec{p}$ xác định.

Cơ học lượng tử chứng tỏ rằng: Đối với một vi hạt chuyển động trong một trường lực thế $U(\vec{r})$, hàm sóng của nó có dạng:

$$\psi(\vec{r}, t) = e^{-\frac{i}{\hbar}Wt} \cdot \psi(\vec{r}) \quad (7.29)$$

Trong đó, W là năng lượng của vi hạt, $\psi(\vec{r})$ là phần phụ thuộc tọa độ không gian của hàm sóng, thỏa mãn phương trình:

$$\Delta\psi(\vec{r}) + \frac{2m}{\hbar^2}[W - U(\vec{r})]\psi(\vec{r}) = 0 \quad (7.30)$$

Phương trình này gọi là phương trình Srôđinghe , một phương trình cơ bản của cơ học lượng tử.

4.1.5. Hạt trong hố thế một chiều

Ta xét một thí dụ đơn giản: chuyển động của hạt theo một phương x , trong một miền mà thế năng U được xác định theo điều kiện:

$$U = \begin{cases} 0 & \text{khi } 0 < x < a \\ \infty & \text{khi } x \leq 0 \text{ và } x \geq a \end{cases}$$

Miền được mô tả như vậy gọi là “giếng thế năng”. Rõ ràng là hạt chỉ có thể chuyển động tự do trong giếng và không thể vượt ra ngoài giếng. Thí dụ chuyển động của electron tự do trong kim loại có thể xem như chuyển động trong giếng thế năng. Ở trong kim loại, thế năng của electron tự do bằng không. Muốn cho electron thoát ra ngoài kim loại (nghĩa là xem như nhảy ra khỏi giếng), ta cần cung cấp cho nó năng lượng để thắng công cản.

Giải phương trình Srôđinghe của hạt trong giếng thế:

$$\Delta\Psi + \frac{2mW}{\hbar^2}\Psi = 0$$

Ta được nghiệm của hàm sóng hoàn toàn xác định có dạng:

$$\Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{n\pi}{a} x$$

Từ biểu thức $\frac{2mW}{\hbar^2} = k^2$ và $k = \frac{n\pi}{a}$ suy ra năng lượng của hạt:

$$W_n = \frac{\pi^2 \cdot \hbar^2}{2ma^2} n^2$$

Từ kết quả trên, ta rút ra một số kết luận:

Mỗi trạng thái của hạt ứng với một hàm sóng $\Psi_n(x)$.

Năng lượng của hạt trong giếng phụ thuộc vào số nguyên n , nghĩa là biến thiên một cách gián đoạn. Ta nói rằng năng lượng bị lượng tử hóa.

Khoảng cách giữa hai mức kế tiếp nhau ứng với các số nguyên $n, n + 1$ bằng:

$$\Delta W_n = W_{n+1} - W_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} (2n+1)$$

ΔW_n càng lớn khi a và m càng nhỏ, nghĩa là khi hạt ở trong phạm vi và kích thước nhỏ và hạt có khối lượng nhỏ.

* Mật độ xác suất tìm hạt trong giếng

$$|\Psi_n(x)|^2 = \frac{2}{a} \sin^2 \frac{n\pi}{a} x \text{ là một hàm biến thiên theo } x.$$

Ta nhận thấy khi:

$n = 1$, xác suất tìm thấy hạt ở điểm $x = \frac{a}{2}$ là lớn nhất.

$n = 2$, xác suất tìm thấy hạt ở điểm $x = \frac{a}{4}$ và $x = \frac{3a}{4}$ là lớn nhất...

4.2. Nguyên tử Hidrô – Nguyên tử kim loại kiềm

4.2.1. Nguyên tử Hidrô

Cấu trúc nguyên tử: nguyên tử gồm có hạt nhân mang điện dương, xung quanh hạt nhân có các electron chuyển động. Số electron chuyển động quanh hạt nhân là z . Mỗi electron mang điện tích $-e$, điện tích tổng cộng của Z electron là $-Ze$. Điện tích của hạt nhân là $+Ze$. Do đó nguyên tử trung hòa về điện.

a. Chuyển động của electron trong nguyên tử Hidrô

Nguyên tử hidrô gồm có hạt nhân mang điện tích $+e$ và một electron mang điện tích là $-e$.

Chọn hạt nhân là gốc O của hệ tọa độ. Gọi r là khoảng cách từ electron đến hạt nhân. Thế năng tương tác giữa hạt nhân và electron là:

$$U = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0.r} \quad (7.31)$$

Như vậy, phương trình Schrödinger có dạng:

$$\Delta\psi + \frac{2m_e}{\hbar^2} \left(W + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0.r} \right) \psi = 0 \quad (7.32)$$

Trong đó m_e là khối lượng của electron.

Vì bài toán có tính đối xứng cầu, nên thuận tiện nhất ta giải bài toán này trong tọa độ cầu r, θ, φ . Như vậy, hàm sóng sẽ là hàm của các biến số này:

$$\psi = \psi(r, \theta, \varphi)$$

Tọa độ x, y, z liên hệ với tọa độ cầu bởi các hệ thức :

$$x = r.\sin\theta.\cos\varphi; y = r.\sin\theta.\sin\varphi; z = r.\cos\theta$$

Do đó trong tọa độ cầu phương trình có dạng:

$$\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \cdot \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \cdot \sin\theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin\theta \cdot \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \cdot \sin^2\theta} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi^2} + \frac{2m_e}{\hbar^2} \left(W + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0.r} \right) \psi = 0 \quad (7.33)$$

Phương trình này giải được bằng cách phân ly biến số, muốn vậy ta đặt:

$$\psi(r, \theta, \varphi) = R(r).Y(\theta, \varphi)$$

Thay biểu thức vào phương trình trên, ta được phương trình:

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{d}{dr} \left(r^2 \cdot \frac{dR}{dr} \right) + \frac{2m_e}{\hbar^2 \cdot r^2} \left(W + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0.r} \right) = -\frac{1}{Y \sin\theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin\theta \cdot \frac{\partial Y}{\partial \theta} \right) - \frac{1}{Y \cdot \sin^2\theta} \cdot \frac{\partial^2 Y}{\partial \varphi^2} \quad (7.34)$$

Vế trái của phương trình trên chỉ phụ thuộc vào r , còn vế phải của nó thì chỉ phụ thuộc vào θ, φ . Do đó hai vế này chỉ có thể bằng nhau khi chúng cùng bằng một hằng số λ . Như vậy, nghĩa là:

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{d}{dr} \left(r^2 \cdot \frac{dR}{dr} \right) + \frac{2m_e}{\hbar^2 \cdot r^2} \left(W + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r} \right) = \lambda$$

$$\frac{1}{Y \sin \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \cdot \frac{\partial Y}{\partial \theta} \right) - \frac{1}{Y \cdot \sin^2 \theta} \cdot \frac{\partial^2 Y}{\partial \varphi^2} = -\lambda \quad (7.35)$$

Lý thuyết phương trình vi phân chứng tỏ hai phương trình này có các nghiệm đơn trị, giới nội, liên tục chỉ khi λ có các giá trị xác định. Sau khi giải các phương trình này, người ta nhận thấy hàm R phụ thuộc vào hai số nguyên n, l nghĩa là:

$$R = r_{nl} (r)$$

Còn hàm R trong phương trình (7.35) chính là hàm riêng của toán tử mômen động lượng orbital. Quả vậy, phương trình (7.35) được viết lại:

$$-\left[\frac{1}{\sin \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \cdot \frac{\partial Y}{\partial \theta} \right) - \frac{1}{\sin^2 \theta} \cdot \frac{\partial^2 Y}{\partial \varphi^2} \right] = \lambda \cdot Y \quad (7.36)$$

Hay:
$$\hat{L}^2 Y = \lambda \cdot \hbar^2 \cdot Y \quad (7.37)$$

Vậy $Y_{l,m} (\theta, \varphi)$ chính là các hàm số cầu và :

$$\lambda = l(l+1)$$

Trong đó các số n, l, m lấy các giá trị: $n = 1, 2, 3, 4 \dots$

$$l = 0, 1, 2, 3, \dots, n-1$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$$

Số nguyên n được gọi là số lượng tử chính, số nguyên l – số lượng tử orbital, số nguyên m – số lượng tử từ. Ngoài ra người ta còn thu được biểu thức năng lượng của electron:

$$W_n = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{m_e \cdot Z^2 \cdot e^4}{2 \cdot (4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2} \quad (7.38)$$

Đối với nguyên tử hiđrô $Z = 1$, ta có:

$$W_n = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{m_e \cdot e^4}{2 \cdot (4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2} = -\frac{R \cdot h}{n^2} \quad (7.39)$$

Với: $R = \frac{m_e \cdot e^4}{4\pi \cdot (4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2}$ gọi là hằng số Ritbe, đã được xác định

trong thực nghiệm.

b. Các kết luận

Năng lượng của electron trong nguyên tử hiđrô và trong các ion đồng dạng với nó chỉ phụ thuộc vào số nguyên n , như vậy năng lượng biến thiên gián đoạn. Ta nói rằng năng lượng bị lượng tử hóa.

Từ biểu thức (7.39) ta tính được năng lượng ion hóa của hiđrô, nghĩa là năng lượng cần thiết làm cho electron bứt ra khỏi nguyên tử. Năng lượng cần thiết đưa electron chuyển dời từ mức W_1 lên tới mức $W = 0$. Giá trị của năng lượng đó bằng:

$$W = 0 - W_1 = \frac{m_e \cdot e^4}{2 \cdot (4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2} = 2,185 \cdot 10^{-18} J = 13,5 eV \quad (\text{Giá trị này phù hợp với thực nghiệm})$$

Theo cơ học lượng tử trạng thái lượng tử được mô tả bởi hàm sóng ψ . Nhưng các kết quả ở trên chứng tỏ, hàm sóng ψ phụ thuộc vào các số lượng tử n, l, m .

$$\psi_{nlm}(r, \theta, \varphi) = R_{nl}(r) \cdot Y_{lm}(\theta, \varphi)$$

Hàm sóng này mô tả trạng thái của electron có năng lượng và mômen động lượng đồng thời xác định. Theo các điều kiện của n , l , m ta thấy ứng với mỗi giá trị của n , số lượng tử l có thể có n giá trị khác nhau, và với mỗi giá trị của l ta lại có $2l + 1$ giá trị khác nhau của m . Như vậy, với mỗi giá trị số của n ta có thể có:

$$\sum_{l=0}^{n-1} (2l + 1) = n^2 \text{ trạng thái lượng tử khác nhau.}$$

Ứng với mức năng lượng thấp nhất W_1 ($n = 1$) có một trạng thái lượng tử. Trạng thái này thường được gọi là trạng thái cơ bản. Ứng với mức năng lượng W_2 ($n = 2$) có 4 trạng thái lượng tử, và tổng quát ứng với mức năng lượng W_n có n^2 trạng thái lượng tử. Ta nói rằng mức năng lượng W_n suy biến bậc n^2 . Các trạng thái này đều ứng với mức năng lượng cao hơn mức W_1 nên được gọi là các trạng thái kích thích.

Với: $l = 0$ là trạng thái s.

$l = 1$ là trạng thái p.

$l = 2$ là trạng thái d.

$l = 3$ là trạng thái f.

Xác suất tìm electron trong thể tích dV ở một trạng thái nào đó. Xác suất này bằng :

$$\int |\psi|^2 . dV = \int |\psi_{nlm}(r, \theta, \varphi)|^2 . r^2 . dr . \sin \theta . d\theta . d\varphi \quad (7.40)$$

Ta đi giải thích cấu tạo vạch của quang phổ hiđrô. Quang phổ vạch là hệ các vạch màu nhỏ nét quan sát thấy trong dụng cụ quang phổ khi phân tích hệ phát sáng của khí hiđrô (bằng cách phóng điện qua một ống đựng khí hiđrô ở áp suất thấp). Hiện tượng đó được giải thích như sau :

Khi không có kích thích bên ngoài, electron bao giờ cũng ở trạng thái cơ bản (ứng với mức năng lượng thấp nhất W_1). Dưới tác dụng của kích thích

bên ngoài electron được tăng năng lượng. Nó chuyển dời sang trạng thái kích thích ứng với mức năng lượng W_n cao hơn. Electron chỉ ở trạng thái kích thích trong thời gian ngắn ($\approx 10^{-8} s$), sau đó nó trở về trạng thái ứng với mức năng lượng W_n thấp hơn. Trong quá trình chuyển mức năng lượng, electron sẽ tỏa năng lượng dưới dạng bức xạ điện từ, nghĩa là phát ra một photon mang năng lượng $h\nu$. Theo định luật bảo toàn năng lượng ta có :

$$W_n - W_{n'} = h\nu$$

Suy ra biểu thức đối với tần số ứng với vạch quang phổ :

$$\nu = R\left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Khi $n' = 1$, ta có công thức tính tần số của các vạch nằm trong dãy liman :

$$\nu = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Khi $n' = 2$, ta có công thức tính tần số của các vạch nằm trong dãy banme :

$$\nu = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Khi $n' = 3$, ta có công thức tính tần số của các vạch nằm trong dãy pasen :

$$\nu = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Khi $n' = 4$, ta có công thức tính tần số của các vạch nằm trong dãy bracket :

$$\nu = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

Khi $n' = 5$, ta có công thức tính tần số của các vạch nằm trong dãy pơfund :

$$\nu = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

4.2.2. Nguyên tử kim loại kiềm

a. Năng lượng của electron hóa trị trong nguyên tử kim loại kiềm

Các nguyên tử kim loại kiềm (Li, Na, K, Rb, Cs, ...) cấu tạo có phần tương tự như của nguyên tử hiđrô. Trong mẫu vành nguyên tử, vành ngoài cùng của các nguyên tử này chỉ có một electron hóa trị.

Electron hóa trị liên kết yếu với phần còn lại của nguyên tử, gồm hạt nhân và các electron còn lại (phần này được gọi là lõi của nguyên tử). Ta có thể xem chuyển động của electron hóa trị như chuyển động trong trường Coulomb gây bởi lõi nguyên tử, giống như chuyển động của electron trong nguyên tử hiđrô. Cho nên, cũng như tính chất hóa học, tính chất quang học của các nguyên tử kim loại kiềm về căn bản giống tính chất của nguyên tử hiđrô.

Năng lượng của electron hóa trị trong nguyên tử kim loại kiềm khác chút ít năng lượng của electron trong nguyên tử hiđrô. Sở dĩ như vậy, vì ngoài năng lượng tương tác giữa hạt nhân và electron hóa trị còn có năng lượng phụ gây ra bởi tương tác giữa electron hóa trị và các electron khác.

Khi tính thêm tương tác này, trong cơ học lượng tử người ta đã tìm được biểu thức năng lượng của electron hóa trị đối với nguyên tử kim loại kiềm :

$$W_{\text{ln}} = -\frac{1}{(n + \Delta_1)^2} \cdot \frac{m_e \cdot e^4}{2 \cdot (4\pi\epsilon_0)^2 \cdot \hbar^2}$$

Trong đó Δ_1 là một số hiệu chỉnh phụ thuộc vào số lượng tử orbital l . Như vậy, số hiệu chỉnh này có giá trị khác nhau ứng với các trạng thái khác nhau.

b. Quang phổ của nguyên tử kim loại kiềm

Khi có kích thích bên ngoài, electron hóa trị chuyển từ trạng thái ứng với mức năng lượng thấp sang trạng thái ứng với mức năng lượng cao hơn. Sau khi ở trạng thái kích thích một thời gian ngắn (10^{-8}), nó lại chuyển về trạng thái ứng với năng lượng thấp hơn và tỏa ra năng lượng dưới dạng bức xạ điện từ, nghĩa là phát ra một photon mang năng lượng $h\nu$. Tuy nhiên việc chuyển mức năng lượng không phải tùy ý. Cũng tương tự như đối với quang phổ hiđrô, việc chuyển mức trước hết phải tuân theo quy tắc chuyển từ mức năng lượng cao về mức năng lượng thấp. Vì các mức năng lượng còn phụ thuộc vào số lượng tử l nên việc chuyển mức năng lượng còn phải tuân theo quy tắc lựa chọn.

$$\Delta l = \pm 1$$

Trong phổ của kim loại kiềm có các dãy sau đây (viết theo ký hiệu các mức năng lượng) :

* Dãy chính – gồm các vạch tuân theo công thức :

$$\nu = 2S - nP^* \text{ đối với Li}$$

$$\nu = 3S - nP \text{ đối với Na.}$$

* Dãy phụ II – gồm các vạch tuân theo công thức:

$$\nu = 2P - nS \text{ đối với Li}$$

$$\nu = 3P - nS \text{ đối với Na}$$

* Dãy phụ I – gồm các vạch tuân theo công thức:

$$\nu = 2P - nD$$

* Dãy phụ cơ bản – gồm các vạch tuân theo công thức :

$$\nu = 3D - nF$$

Các dãy này đã tìm thấy trước từ thực nghiệm. Về sau từ lý thuyết người ta cho rằng còn có dãy :

$\nu = 3D - nP$ và sau đó được thực nghiệm xác nhận.

4.3. Mômen động lượng – Mômen từ - Spin của điện tử

4.3.1. Mômen động lượng

Do electron chuyển động quanh hạt nhân nên có mômen động lượng $\vec{L}$. Nhưng vì electron chuyển động quanh hạt nhân không theo quỹ đạo xác định do đó ở mỗi trạng thái, vector $\vec{L}$ không có hướng xác định. Tuy nhiên, vector mômen động lượng $\vec{L}$ lại có giá trị xác định. Cơ học lượng tử đã chứng tỏ, giá trị của nó lấy các giá trị gián đoạn theo hệ thức:

$$L = \sqrt{l(l+1)}\hbar \quad (7.41)$$

Trong đó, l là số lượng tử orbital ($l = 0, 1, 2, \dots, n-1$). Như vậy số lượng tử orbital liên quan tới mômen động lượng orbital.

Trong cơ học lượng tử người ta còn chứng minh rằng hình chiếu của mômen động lượng orbital $\vec{L}$ lên một phương z bất kỳ luôn được xác định theo hệ thức :

$$L_z = m\hbar \quad (7.42)$$

Trong đó, m là số lượng tử từ. ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$). Như vậy, số lượng tử từ liên quan tới hình chiếu của mômen động lượng trên trục z . Điều đó chứng tỏ : Hình chiếu của mômen động lượng cũng bị lượng tử hóa.

4.3.2. Mômen từ

Electron chuyển động quanh hạt nhân tạo thành dòng điện. Như ta đã biết trong phần điện, dòng điện này có mômen từ $\vec{\mu}$ ngược chiều và tỷ lệ với $\vec{L}$:

$$\vec{\mu} = -\frac{e}{2m_e} \cdot \vec{L} \quad (7.43)$$

Theo quan điểm lượng tử, vì vector $\vec{L}$ không có hướng xác định, do đó mômen từ $\vec{\mu}$ cũng không có hướng xác định. Hình chiếu của mômen từ lên một phương z bất kỳ bằng :

$$\mu_z = -\frac{e}{2m_e} \cdot L_z \quad (7.44)$$

Thay biểu thức (7.43) vào đây ta được :

$$\mu_z = -m \frac{e\hbar}{2m_e} = -m \cdot \mu_B \quad (7.45)$$

Với $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 10^{-23} \text{ A.m}^2$ gọi là manhetôn bo.

Như vậy : Hình chiếu của mômen từ của electron chuyển động quanh hạt nhân lên một phương bất kỳ bao giờ cũng bằng số nguyên lần manhetôn Bo, nghĩa là bị lượng tử hóa (vì vậy số nguyên m gọi là số lượng tử từ).

4.3.3. Spin của điện tử

Ở trên ta đã thấy trạng thái lượng tử của electron được mô tả bởi ba số lượng tử n, l, m. Việc mô tả đó giúp ta giải thích được một số sự kiện thực nghiệm. Tuy nhiên có nhiều sự kiện thực nghiệm khác chứng tỏ việc mô tả trạng thái lượng tử chỉ bằng ba số lượng tử là chưa đủ. Ta sẽ đi xét một số sự kiện thực nghiệm vắn tắt :

- Nhờ có dụng cụ quang phổ tinh vi, người ta phát hiện thấy các vạch quang phổ không phải là các vạch đơn mà trái lại vạch gồm có nhiều vạch nhỏ nét hợp thành. Ngoài ra, đối với các nguyên tử khác, cấu trúc của các vạch quang phổ còn phức tạp hơn, được gọi là cấu trúc bội của quang phổ.

- Thí nghiệm của Anhtan và Đơgatx đã chứng tỏ tỷ số $\frac{\mu}{L}$ là bằng $-\frac{e}{m_e}$ khác với tính toán trên lý thuyết : $\frac{\mu}{L} = -\frac{e}{2m_e}$.

Những sự kiện thực nghiệm trên cho ta thấy rõ, nếu xem các electron chỉ tham gia chuyển động xung quanh hạt nhân thì không thể giải thích được các sự kiện đó. Để giải quyết các sự kiện thực nghiệm này, trong vật lý lượng tử người ta đã đưa ra giả thuyết :

Ngoài chuyển động xung quanh hạt nhân, electron còn tham gia chuyển động riêng quan hệ tới sự vận động nội tại của electron. Để đặc trưng cho chuyển động riêng này của electron, ta đưa vào đại lượng mômen spin. Mômen spin về mặt hình thức đóng vai trò như mômen động lượng riêng. Hình chiếu của mômen spin $\vec{S}$ lên trục z tùy ý bằng $\pm \frac{\hbar}{2}$

$$S_z = \pm \frac{\hbar}{2} = m_s \hbar \quad (7.46)$$

Với $m_s = \pm \frac{1}{2}$ gọi là số lượng tử hình chiếu spin.

Cơ học lượng tử đã tìm được biểu thức đối với giá trị của mômen spin :

$$S = \sqrt{s(s+1)}\hbar \quad (7.47)$$

Với $s = \frac{1}{2}$ gọi là số lượng tử spin (gọi tắt là spin).

Tương ứng với mômen spin, electron có mômen từ riêng $\vec{\mu}_s$ và hình chiếu của nó lên trục z bằng :

$$\mu_z = \mp \mu_B = \mp \frac{e\hbar}{2m} \quad (7.48)$$

Vậy : $\vec{\mu}_s = -\frac{e}{m_e} \vec{S}$ hoàn toàn phù hợp thực nghiệm.

4.4. Cấu tạo và tính chất của hạt nhân

4.4.1. Cấu tạo hạt nhân

Theo giả thuyết của Ivanenkô – Haidenbec đưa ra năm 1932 thì hạt nhân nguyên tử cấu tạo bởi hai loại hạt sau:

+ Hạt prôtôn (ký hiệu là p): Hạt mang điện tích dương, về trị số tuyệt đối bằng điện tích của electron: $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ và có khối lượng bằng khối lượng hạt nhân hiđrô.

+ Hạt notrôn (ký hiệu là n): Hạt trung hòa điện có khối lượng lớn hơn một ít so với khối lượng prôtôn.

Hai loại hạt prôtôn và notrôn có tên chung là nuclôn. Thực nghiệm đã xác nhận giả thuyết của Ivanenkô – Haidenbec là đúng. Số prôtôn trong hạt nhân bằng số thứ tự z của nguyên tử trong bảng tuần hoàn Mendêlêep, z gọi là điện tích hạt nhân (tính ra đơn vị điện tích nguyên tố). Tổng số các nuclôn trong hạt nhân gọi là số khối lượng (ký hiệu là A). Do đó số notrôn trong hạt nhân sẽ là

$$N = A - Z.$$

Người ta thường ký hiệu hạt nhân của một nguyên tử là ${}_Z X^A$ (với x là tên nguyên tố tương ứng).

Những hạt nhân có cùng số Z nhưng số N khác nhau (nghĩa là cùng điện tích nhưng khác khối lượng) được gọi là những hạt nhân đồng vị.

Những hạt nhân có cùng số A , nhưng số Z khác nhau thì gọi là những hạt nhân đồng khối lượng.

Trong số những hạt nhân đồng khối lượng, ta còn gặp những cặp hạt nhân mà số prôtôn của hạt nhân này bằng số notrôn của hạt nhân kia. Ta gọi chúng là những hạt nhân gương.

4.4.2. Lực hạt nhân

Hạt nhân nguyên tử có cấu trúc khá bền vững, điều đó chứng tỏ các nuclôn trong hạt nhân phải hút nhau bằng những lực rất mạnh. Lực đó gọi là lực hạt nhân. Nhờ những sự kiện thực nghiệm ta tìm ra một số đặc tính của lực hạt nhân:

- + Lực hạt nhân là lực tác dụng ngắn: Trong phạm vi 10^{-15} m thì lực rất mạnh. Ngoài khoảng đó, lực hạt nhân giảm nhanh xuống đến giá trị không.

- + Lực hạt nhân không phụ thuộc điện tích.

- + Lực hạt nhân có tính chất bão hòa, nghĩa là mỗi nuclôn chỉ tương tác với một số nuclôn ở lân cận quanh nó chứ không tương tác với mọi nuclôn của hạt nhân.

- + Lực hạt nhân là lực trao đổi. Theo Iucao, tương tác giữa hai nuclôn được thực hiện bằng cách trao đổi một loại hạt gọi là mêdôn π . Hạt mêdôn có khối lượng vào cỡ $200 \div 300$ lần khối lượng của electron. Có ba loại mêdôn: π^+, π^0, π^- .

- + Lực hạt nhân phụ thuộc spin của các nuclôn.

Từ những đặc tính trên cho phép ta đi tới kết luận: tương tác hạt nhân là một loại tương tác rất mạnh, về bản chất khác hẳn với các tương tác hấp dẫn, tương tác điện từ mà ta đã nghiên cứu trong các chương trước.

4.4.3. Độ hụt khối và năng lượng liên kết

Để đo khối lượng các hạt trong vật lý hạt nhân, người ta dùng đơn vị khối lượng nguyên tử (ký hiệu u). Một đơn vị khối lượng nguyên tử bằng 1/12 khối lượng nguyên tử đồng vị cacbon C^{12} .

$$1u = 1,660.10^{-27} \text{ kg.}$$

Các phép đo chính xác chứng tỏ rằng khối lượng m của hạt nhân bao giờ cũng nhỏ hơn tổng khối lượng các nuclôn tạo thành hạt nhân đó một lượng ΔM bằng:

$$\Delta M = Z.m_p + (A-Z).m_n - M \quad (8.11)$$

gọi là độ hụt khối của hạt nhân trong đó m là khối lượng hạt nhân ${}_Z X^A$, còn m_p và m_n là khối lượng của prôtôn và notrôn.

Sự hụt khối đó là do tương tác giữa các nuclôn gây ra. Vì vậy, độ hụt khối tương ứng với năng lượng liên kết giữa các nuclôn trong hạt nhân. Theo định nghĩa, năng lượng liên kết là năng lượng có trị số bằng công cần thiết để tách hạt nhân thành các nuclôn riêng biệt. Theo hệ thức Anhtanh, năng lượng liên kết có trị số bằng:

$$W_{\text{liên kết}} = c^2 . \Delta M = c^2 . (Z.m_p + (A-Z).m_n - M) \quad (8.12)$$

Vì trong các bảng thường ghi khối lượng của nguyên tử trung hòa M_{ngt} nên cũng có thể biểu thị năng lượng liên kết qua khối lượng của nguyên tử trung hòa:

$$W_{\text{liên kết}} = c^2 . (Z.m_p + (A-Z).m_n - M_{\text{ngt}}) \quad (8.13)$$

Trong đó : m_p là khối lượng của nguyên tử trung hòa hiđrô.

Để so sánh độ bền vững của hạt nhân, người ta thường dùng khái niệm năng lượng liên kết ứng với một nuclôn hay còn gọi là năng lượng liên kết riêng (ký hiệu là ε).

$$\varepsilon = \frac{W_{\text{liên kết}}}{A} \quad (8.14)$$

Năng lượng liên kết ứng với một nuclôn càng lớn thì hạt nhân càng bền vững.

- Đối với các hạt nhân nhẹ nhất, năng lượng liên kết riêng tăng nhanh từ 1,1 Mev (${}_1H^2$) đến 2,8 Mev (${}_1H^3$) và đạt giá trị 7 Mev (${}_2He^4$).

- Đối với các hạt nhân nặng có a từ 140 đến 240 thì năng lượng liên kết riêng giảm dần nhưng rất chậm từ 8 Mev đến khoảng 7 Mev.

- Đối với hạt nhân trung bình với A từ 40 đến 140 thì năng lượng liên kết riêng có giá trị lớn nhất nằm trong khoảng từ 8 đến 8,6 Mev.

4.5. Tương tác hạt nhân

4.5.1. Tương tác và phản ứng hạt nhân

Nhờ các máy gia tốc, ta có thể tạo được các “viên đạn” năng lượng lớn có thể xuyên vào hạt nhân để gây ra các tương tác hạt nhân.

Tương tác hạt nhân chia làm ba loại: va chạm đàn hồi, va chạm không đàn hồi và phản ứng hạt nhân.

Trong va chạm đàn hồi, trạng thái nội tại của các hạt tương tác không thay đổi nhưng động lượng và động năng các hạt lại bị thay đổi:

$$A + a \rightarrow a + A$$

Trong va chạm không đàn hồi, có sự thay đổi trạng thái nội tại của các hạt tương tác:

$$A + a \rightarrow a' + A^*$$

A^* : chỉ hạt nhân A ở trạng thái năng lượng bị kích thích.

a' : chỉ hạt A ở trạng thái khác.

Trong phản ứng hạt nhân, có sự thay đổi bản chất các hạt tương tác:

$$A + a \rightarrow b + B$$

Phản ứng trên có thể viết dưới dạng ký hiệu: $A(a,b)B$

Có nghĩa là hạt A bắn vào hạt nhân A , sẽ làm phát ra hạt b và sinh ra hạt nhân B .

4.5.2. Các định luật bảo toàn trong phản ứng hạt nhân

Các tương tác hạt nhân đều tuân theo các định luật bảo toàn:

Bảo toàn năng lượng: $\sum_i W_i = \sum_k W_k$

Bảo toàn động lượng: $\sum_i \vec{P}_i = \sum_k \vec{P}_k$

Bảo toàn mômen động lượng: $\sum_i \vec{J}_i = \sum_k \vec{J}_k$

Bảo toàn số nuclôn: $\sum_i A_i = \sum_k A_k$

Bảo toàn điện tích: $\sum_i Z_i = \sum_k Z_k$

Trong đó các $\sum_i, \sum_k$ là ký hiệu của tổng lấy theo mọi hạt trước và sau phản ứng.

4.5.3. Hiện tượng phóng xạ

Năm 1892, Beckoren đã quan sát thấy muối uran và những hợp chất của nó phát ra những tia gọi là tia phóng xạ gồm ba thành phần: tia α là các hạt nhân hêli ${}_2\text{He}^4$, tia β là các electron và tia γ là bức xạ điện từ tương tự tia X nhưng bước sóng ngắn hơn nhiều.

Trong quá trình phóng xạ, hạt nhân ở trạng thái không bền vững chuyển sang trạng thái bền vững hơn, nghĩa là trạng thái ứng với năng lượng thấp hơn. Thành thử quá trình biến đổi phóng xạ chỉ có thể xảy ra nếu khối lượng tĩnh của hạt nhân xuất phát lớn hơn tổng khối lượng tĩnh của các sản vật sinh ra do biến đổi phóng xạ. Thành thử, quá trình phóng xạ thực chất là một quá trình biến đổi hạt nhân.

a. Định luật phân rã

Khi phóng xạ, số hạt nhân chưa bị phân rã sẽ giảm theo thời gian.

Giả sử ở thời điểm t , số hạt nhân phóng xạ chưa phân rã là N . Sau thời gian dt , số đó trở thành:

$$N - dN \quad (8.15)$$

Vì có dN hạt nhân đã phân rã. Độ giảm số hạt nhân chưa phân rã – dN rõ ràng tỷ lệ với n và dt :

$$- dN = \lambda \cdot N \cdot dt \quad (8.16)$$

trong đó: λ là hằng số phân rã. Theo định nghĩa, λ là xác suất phân rã của từng hạt nhân trong một đơn vị thời gian: $\frac{dN}{N} = -\lambda \cdot dt \quad (8.17)$

Thực hiện phép tích phân ta được: $N = N_o \cdot e^{-\lambda t}$

Với N_o là số hạt nhân chưa phân rã ở thời điểm ban đầu ($t = 0$), N là số hạt nhân chưa phân rã ở thời điểm t . Tính toán ta được, thời gian sống trung bình của hạt nhân phóng xạ là:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

Vậy: $N = N_o \cdot e^{-\lambda t} = \frac{N_o}{e} \quad (8.18)$

Vì vậy, τ còn có ý nghĩa là khoảng thời gian để N_o giảm đi e lần.

Để phân biệt tốc độ phân rã nhanh, chậm của các chất phóng xạ, người ta đưa ra khái niệm chu kỳ rã nửa. Đó là khoảng thời gian $T_{1/2}$ để N_o giảm đi một nửa. Thay $t = T_{1/2}$ vào phương trình ở trên ta được:

$$N = \frac{N_o}{2} = N_o \cdot e^{-\lambda T_{1/2}} \quad (8.19)$$

Do đó:

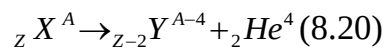
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Đại lượng $A = \lambda N$ gọi là độ phóng xạ của nguồn phóng xạ. Nó xác định số phân rã phóng xạ trong một giây. Trong hệ SI, nó có đơn vị là Beckoren (bq).

b. Quy tắc di chuyển. Họ phóng xạ tự nhiên

Các chất phóng xạ nói chung không phát ra đủ ba loại tia α, β, γ . Có hai loại phóng xạ α và β^- . Cả hai đều kèm theo phóng xạ γ vì sau khi phân rã α và β^- , hạt nhân phóng xạ mẹ biến thành hạt nhân con hoặc ở trạng thái cơ bản, hoặc ở trạng thái kích thích. Khi từ trạng thái kích thích chuyển sang trạng thái cơ bản (trạng thái có năng lượng thấp nhất), hạt nhân còn có thể phát ra một hay vài photon.

Trong quá trình phân rã α , chất phóng xạ sẽ biến thành một chất đứng trước nó hai ô trong bảng tuần hoàn Mendêlêep:



Trong quá trình phân rã β^- , chất phóng xạ biến thành một chất đứng sau nó một ô trong bảng tuần hoàn:



Các hạt nhân nằm trong một chuỗi quá trình phóng xạ liên tiếp, hợp thành một họ phóng xạ. Có bốn họ phóng xạ tự nhiên bắt đầu từ các nguyên tố nặng U^{238} , U^{235} , Th^{232} , Am^{241} và tận cùng bằng các nguyên tố bền lần lượt là Pb^{206} , Pb^{207} , Pb^{208} , Bi^{209} . Số khối lượng của các đồng vị tham gia trong các chuỗi phóng xạ đó có thể được biểu thị bằng các số $4n + 2$, $4n + 3$, $4n$, $4n + 1$.

c. Cân bằng phóng xạ

Nếu đồng vị mẹ có hằng số phân rã nhỏ hơn hằng số phân rã của đồng vị con và các chu kỳ rã nửa của chúng xấp xỉ gần nhau thì các đồng vị đó thiết lập một trạng thái cân bằng phóng xạ động mô tả bằng hệ thức:

$$\frac{N_2 \cdot \lambda_2}{N_1 \cdot \lambda_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (8.22)$$

Nghĩa là tỉ số các tốc độ phân rã của chúng là một đại lượng không đổi.

Nếu đồng vị mẹ có chu kỳ rã nửa rất lớn so với đồng vị con thì sau một khoảng thời gian rất lớn so với chu kỳ rã nửa của đồng vị con, các đồng vị mẹ

và con sẽ đạt tới trạng thái cân bằng phóng xạ bền. Lúc đó tốc độ phân rã của hạt nhân con cũng đúng bằng tốc độ phân rã của hạt nhân mẹ:

$$N_1 \cdot \lambda_1 = N_2 \cdot \lambda_2 \quad (8.23)$$

Suy rộng cho một chuỗi nhiều đồng vị phóng xạ nối tiếp nhau ở trạng thái cân bằng bền, ta có:

$$N_1 \cdot \lambda_1 = N_2 \cdot \lambda_2 = \dots = N_n \cdot \lambda_n \quad (8.24)$$

d. Phóng xạ nhân tạo

Hiện nay người ta đã chế tạo được nhiều chất đồng vị phóng xạ không có trong tự nhiên gọi là đồng vị phóng xạ nhân tạo.

Thí dụ: khi bắn nơtron vào ${}_{11}\text{Na}^{23}$, ta được ${}_{11}\text{Na}^{24}$ có tính phóng xạ β^- .

Trong quá trình phân rã β^+ , chất phóng xạ biến thành một chất đứng sau nó một ô trong bảng tuần hoàn:



4.5.4. Phân hạch, nhiệt hạch và ứng dụng

a. Phân hạch

Thực nghiệm cho biết nếu truyền cho hạt nhân một năng lượng đủ lớn thì nó có thể vỡ thành hai hay nhiều mảnh. Năng lượng cực tiểu cần thiết để làm vỡ hạt nhân gọi là ngưỡng phân hạch hay năng lượng kích hoạt.

Khi hạt nhân vỡ thì khối lượng tổng cộng các mảnh vỡ ra bao giờ cũng nhỏ hơn khối lượng hạt nhân nặng. Năng lượng tỏa ra tương ứng với độ hụt khối đó gọi là năng lượng vỡ hạt nhân hay năng lượng phân hạch.

Thí dụ khi bắn nơtron chậm vào hạt nhân U^{235} thì nó sẽ vỡ thành hai mảnh M, N và giải phóng hai, ba nơtron:



Hai mảnh M, N là những hạt nhân của nhiều chất khác nhau tùy theo điều kiện của phản ứng. Xác suất xuất hiện hai hạt nhân M, N phụ thuộc vào số nuclôn A của chúng.

Trong mọi trường hợp, phản ứng vỡ hạt nhân uran bao giờ cũng tỏa ra năng lượng:

$$W_f = c^2 [(m_n + m_{\text{uran}}) - (m_M + m_N + km_n)]$$

Với W_f là năng lượng phân hạch của hạt nhân uran.

b. Nhiệt hạch

*** Điều kiện thực hiện phản ứng nhiệt hạch**

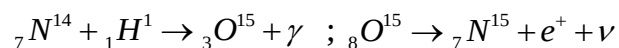
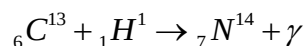
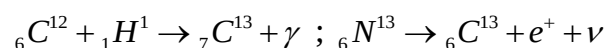
Ngoài hiện tượng tỏa ra năng lượng khi phá vỡ hạt nhân nặng, còn có hiện tượng tỏa năng lượng khi kết hợp các hạt nhân nhẹ.

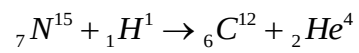
Những phản ứng đó gọi là phản ứng kết hợp hạt nhân hay phản ứng nhiệt hạch. Năng lượng tỏa ra gọi là năng lượng nhiệt hạch.

Vì các hạt nhân đồng vị hiđrô đều là những hạt tích điện dương, nên muốn tạo ra phản ứng nhiệt hạch, phải cung cấp cho các hạt nhân một động năng đủ lớn để vượt hàng rào thế năng Culông tiến lại gần nhau đến khoảng cách nhỏ hơn $30 \cdot 10^{-15}$ m. Khi đó lực hạt nhân sẽ phát huy được tác dụng và phản ứng nhiệt hạch sẽ xảy ra.

*** Phản ứng nhiệt hạch trong vũ trụ**

Phản ứng nhiệt hạch là một trong những nguồn năng lượng của các vì sao và mặt Trời. Theo Bête, thì phản ứng nhiệt hạch trong lòng các thiên thể xảy ra theo chu trình sau:





Kết quả là bốn hạt nhân hiđrô tạo thành một hạt nhân hêli, lượng cacbon không thay đổi. Phản ứng này xảy ra ở nhiệt độ hàng chục triệu độ. Mỗi hạt nhân hêli hình thành sẽ tỏa ra năng lượng 26MeV và mỗi khi hình thành 4g hêli thì tỏa ra năng lượng 700.000 kWh.

BÀI TẬP

I. Cơ học lượng tử

Bài 76: Tính bước sóng và động lượng của photon có năng lượng nghỉ bằng năng lượng nghỉ của electron?

Bài 77: Bước sóng của vạch đầu tiên của dãy Laiman và của vạch giới hạn của dãy Banme trong quang phổ nguyên tử hidro lần lượt là $1215\text{\AA}$ và $3650\text{\AA}$. Biết trị số của e và h , tính năng lượng ion hóa của nguyên tử hidro?

Bài 78: Xác định bước sóng của vạch quang phổ thứ ba trong dãy Balme?

Bài 79: Xác định giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất của năng lượng photon phát ra trong quang phổ tử ngoại của nguyên tử hidro (dãy Laiman)?

Bài 80: Electron trong nguyên tử hidro chuyển từ mức năng lượng thứ ba về mức năng lượng thứ nhất. Tính năng lượng photon phát ra?

Bài 81: Photon có năng lượng $16,5\text{eV}$ làm bật electron ra khỏi nguyên tử hidro đang ở trạng thái cơ bản. Tính vận tốc của electron khi bật ra khỏi nguyên tử?

Bài 82: Nguyên tử hidro ở trạng thái cơ bản ($n=1$) được kích thích bởi một ánh sáng đơn sắc có bước sóng λ xác định. Kết quả, nguyên tử hidro đó chỉ phát ra ba vạch sáng quang phổ. Xác định bước sóng của ba vạch sáng đó và nói rõ chúng thuộc dãy vạch quang phổ nào?

Bài 83: Nguyên tử hidro đang ở trạng thái kích thích ứng với mức năng lượng thứ n ($n>1$). Tính số vạch quang phổ nó có thể phát ra.

Bài 84: Nguyên tử hidro ở trạng thái cơ bản ($n=1$) hấp thụ photon ứng với bức xạ có bước sóng $1215\text{\AA}$. Tính bán kính quỹ đạo electron của nguyên tử ở trạng thái kích thích.

Bài 85: Tính độ thay đổi của bước sóng photon gây ra do sự giật lùi của nguyên tử hidro khi electron chuyển từ mức E_2 về mức E_1 , nguyên tử ban đầu coi như đứng yên.

II. Hạt nhân nguyên tử

Bài 86: Sau khi được gia tốc trong xyclôtrôn, hạt đơton ${}^2_1\text{H}$ bắn vào đồng vị ${}^7_3\text{Li}$, gây nên phản ứng hạt nhân. Hãy xác định:

a. Bán kính của đơton, biết rằng bán kính điện của nó $r_0 = 1,3 \cdot 10^{-15}\text{m}$.

b. Năng lượng liên kết của ${}^7_3\text{Li}$.

c. Sản phẩm thứ hai của phản ứng, biết rằng chỉ có hai sản phẩm trong đó một là nơtron.

d. Năng lượng tỏa ra trong phản ứng.

Bài 87: Để đo chu kỳ bán rã của chất phóng xạ có thời gian sống ngắn, người ta dùng máy đếm xung. Trong thời gian 1 phút đếm được 250 xung, nhưng 1 giờ sau khi đo lần thứ nhất, chỉ đếm được 92 xung trong 1 phút. Hãy xác định hằng số phân rã và chu kỳ bán rã của chất phóng xạ?

Bài 88: Khí clo là hỗn hợp của hai đồng vị bền là Cl^{35} với khối lượng nguyên tử 34,969, hàm lượng 75,4% và Cl^{37} với khối lượng nguyên tử 36,966, hàm lượng 24,6%. Tính khối lượng nguyên tử của nguyên tố hóa học clo?

Bài 89: Xác định khối lượng của một nguyên tử trung hòa nếu hạt nhân của nguyên tử đó gồm có 3 proton và 2 neutron, năng lượng liên kết của hạt nhân bằng 26,3 MeV?

Bài: Nguyên tố hóa học Bo là hỗn hợp của hai đồng vị có khối lượng nguyên tử tương ứng là 10,013 và 11,009. Mỗi đồng vị đó có hàm lượng bao nhiêu trong Bo tự nhiên? Biết rằng khối lượng nguyên tử của nguyên tố Bo là 10,811.

Bài: Tính năng lượng liên kết của các hạt nhân Urani: ${}_{92}^{234}\text{U}$ và ${}_{92}^{238}\text{U}$. Hạt nhân nào bền hơn?

Bài 90: Độ phóng xạ của một chất giảm 2,5 lần sau 7 ngày đêm. Tìm chu kỳ bán rã của nó?

($T = 5,3$ ngày đêm)

Bài: Khối lượng của hạt alpha (He) bằng 4,00150u. Xác định khối lượng của nguyên tử heli trung hòa?

Bài 91: Tại thời điểm ban đầu độ phóng xạ của một chất là 650 phân rã/phút. Độ phóng xạ của chất này sau khoảng thời gian bằng $\frac{1}{2}$ chu kỳ bán rã của nó là bao nhiêu?

($4,6 \cdot 10^2$ phân rã/phút)

Bài 92: Khối lượng của hạt nhân ${}_{90}^{232}\text{Th}$ là $m_{\text{hn}} = 232,0381\text{u}$, khối lượng neutron $m_n = 1,0087\text{u}$, khối lượng proton $m_p = 1,0073\text{u}$. Độ hụt khối của hạt nhân là bao nhiêu?

($\Delta m = 1,8534\text{u}$)

Bài 93: Hạt nhân ${}^7_3\text{Li}$ có khối lượng 7,0144u. Năng lượng liên kết của hạt nhân là bao nhiêu nếu cho khối lượng neutron $m_n = 1,0087\text{u}$, khối lượng proton $m_p = 1,0073\text{u}$ và $1\text{u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$.

($W_{\text{lk}} = 39,4 \text{ MeV}$)

Bài 94: Hạt nhân ${}^4_2\text{He}$ có khối lượng $m_{\text{He}} = 4,00151\text{u}$, khối lượng neutron $m_n = 1,0087\text{u}$, khối lượng proton $m_p = 1,0073\text{u}$. Hãy tính năng lượng liên kết riêng của hạt nhân?

(7,1003 MeV/nuclôn)

Bài 95: Chất phóng xạ ${}^{209}_{84}\text{Po}$ là chất phóng xạ α . Lúc đầu poloni có khối lượng 1kg. Hãy tính khối lượng poloni còn lại sau thời gian bằng 2 chu kỳ?

(0,25kg)

Bài 96: Một chất phóng xạ có chu kỳ 7 ngày. Nếu lúc đầu có 800g, sau khoảng thời gian t chất ấy chỉ còn lại 100g. Hãy tính thời gian t ?

(21 ngày)

Bài 97: Một chất phóng xạ có chu kỳ bán rã là 20 ngày đêm. Sau bao nhiêu lâu thì 75% hạt nhân bị phân rã?

Bài 98: Một mẫu của chất phóng xạ radôn $^{222}_{86}\text{Rn}$ chứa 10^{10} nguyên tử phóng xạ. Hỏi có bao nhiêu nguyên tử đã phân rã sau 1 ngày?

Bài 99: Sau 1 năm, lượng ban đầu của một chất đồng vị phóng xạ giảm đi 3 lần. Nó sẽ giảm đi bao nhiêu lần sau 2 năm?

Bài 100: Sau thời gian bao lâu thì chất đồng vị phóng xạ giảm $1/3$ lượng ban đầu của các hạt nhân, nếu chu kỳ bán rã là 25 giờ?

Bài 101: Tại sao trong quặng urani lại có lẫn chì? Xác định tuổi của chất quặng, trong đó cứ 10 nguyên tử urani có:

a. 10 nguyên tử chì.

b. 2 nguyên tử chì.

Bài 102: Bao nhiêu hạt nhân phân rã sau 1 giây trong chất đồng vị phóng xạ iridi $^{192}_{77}\text{Ir}$ và bao nhiêu nguyên tử của chất đó còn lại sau 30 ngày, nếu khối lượng ban đầu của nó là 5g?

Bài 103: Xác định chu kỳ bán rã của poloni phóng xạ Po^{210} nếu 1g chất đồng vị đó trong 1 năm tạo ra $89,5\text{cm}^3$ heli ở các điều kiện chuẩn.

CHƯƠNG 5. VẬT LIỆU

5.1. Vật liệu điện và một số các hiện tượng điển hình

5.1.1. Vật liệu dẫn điện

Vật rắn dẫn điện được là do các electron dịch chuyển được. Electron dịch chuyển được khi nó có thể chuyển từ trạng thái này sang trạng thái khác, tức là từ mức năng lượng này sang mức năng lượng khác. Chúng ta biết rằng các mức năng lượng trong một vùng cho phép rất gần nhau (cỡ 10^{-22} eV), trong khi khoảng cách giữa các vùng cho phép (độ rộng vùng cấm) lại rất lớn ($\geq 0,5$ eV). Dưới tác dụng của điện trường ngoài, các electron chỉ nhận được một năng lượng không lớn lắm nên chỉ có thể chuyển lên các mức trên trong cùng một vùng cho phép. Mặt khác electron chỉ có thể chuyển lên các mức còn trống (nguyên lý Pauli). Tùy theo đặc điểm cấu tạo của các vùng ta thấy có 3 loại sau:

Loại 1: các vùng năng lượng cho phép hoàn toàn chứa đầy electron và các vùng hoàn toàn không có electron nào.

Loại 2: có vùng năng lượng cho phép còn có một số mức chưa bị electron chiếm.

Loại 3: gồm vùng năng lượng cho phép chồng nhau: hoàn toàn đầy electron và vùng năng lượng cho phép hoàn toàn không chứa electron nào, một vùng gần đầy và một vùng có ít electron.

Loại 2 và 3 là kim loại hoặc bán kim loại. Tính chất dẫn điện hay cách điện của các vật rắn phụ thuộc vào cấu trúc vùng năng lượng của electron. Còn cấu trúc vùng năng lượng lại phụ thuộc vào tương tác giữa electron với mạng tinh thể. Thành phần và quy trình công nghệ chế tạo khác nhau có thể cho ta chất cách điện hoặc chất dẫn điện.

Các chất dẫn điện tốt thường là các kim loại (vàng, bạc, đồng, nhôm...). Các chất cách điện tốt thường là các oxit hoặc các chất hữu cơ.

5.1.2. Hiện tượng tiếp xúc và hiệu điện thế tiếp xúc

a. Công thoát electron

Chuyển động của các electron dẫn trong kim loại được coi như chuyển động trong hố thế. Ở nhiệt độ $T = 0K$, electron có năng lượng cực đại bằng E_F , do đó để ra khỏi hố thế cần cung cấp cho electron một năng lượng bằng công thoát electron.

$$A = U_0 - E_F$$

Vì U_0 và E_F phụ thuộc vào bản chất kim loại do đó A phụ thuộc bản chất kim loại.

Trên thực tế trong kim loại có thể có một số electron có năng lượng lớn hơn E_F và nó có thể thoát ra khỏi kim loại, nhưng khi ra khỏi bề mặt kim loại, các electron này bị các ion dương ở nút mạng hút lại làm cho chúng không đi xa mặt kim loại. Các electron ở gần bề mặt kim loại tạo thành một đám mây electron và cản trở các electron từ phía trong ra khỏi kim loại, vì thế trên thực tế công thoát electron lớn hơn đại lượng A trong phương trình trên.

b. Hiệu điện thế tiếp xúc

Khi cho hai kim loại khác nhau tiếp xúc nhau, vì hai kim loại khác nhau nên $E_{1F} \neq E_{2F}$ và sẽ có hiện tượng khuếch tán electron từ kim loại 1 sang kim loại 2 và ngược lại; đến khi $E_{1F} = E_{2F} = E_F$ thì ngừng. Giả sử $E_{1F} > E_{2F}$ thì E_{1F} giảm; E_{2F} tăng; năng lượng của kim loại 2 tăng do đó các mức năng lượng của 1 tụt xuống, của 2 tăng lên.

Ta thấy ở phía mặt ngoài của hai kim loại có xuất hiện một hiệu điện thế:

$$U_e = \frac{A_2 - A_1}{|e|}; \quad U_e \approx (10^1 - 1) \text{ V gọi là hiệu điện thế ngoài.}$$

Phía trong có hiệu điện thế:

$$U_i = \frac{E_{F1} - E_{F2}}{|e|} \approx (10^{-3} - 10^{-2}) \text{ V gọi là hiệu điện thế trong.}$$

5.1.3. Hiệu ứng nhiệt điện

Nếu trong một thanh kim loại có sự chênh lệch nhiệt độ, sẽ có sự khuếch tán điện tử làm xuất hiện một điện trường $\vec{E}$, tương ứng sẽ có một suất điện động. Hiện tượng xuất hiện suất điện động do có sự chênh lệch nhiệt độ gọi là hiệu ứng nhiệt điện. Giả sử $T_1 > T_2$ thì $\vec{E} = S\nabla T$ với S là hệ số suất điện động nhiệt điện.

Nếu ghép hai kim loại khác nhau thành mạch kín và giữ hai mối ghép có nhiệt khác nhau ($T_1 > T_2$), ta được một cặp nhiệt điện.

$$\varepsilon = \int_{T_2}^{T_1} (S_2 - S_1).dT$$

Nếu $\Delta T = T_1 - T_2$ không lớn lắm thì :

$$\varepsilon = S_{21} \int_{T_2}^{T_1} dT = S_{21} \cdot \Delta T \text{ với } S_{21} = S_2 - S_1 \approx 10^{-5} - 10^{-6} \text{ V/K}$$

Ứng dụng để chế tạo các thiết bị đo nhiệt độ chính xác, đo năng lượng bức xạ, chế tạo các thiết bị để phát hiện nguồn nhiệt, các thiết bị làm lạnh và làm pin nhiệt điện...

5.1.4. Hiệu ứng Hall

Đặt vào hai đầu một vật dẫn một điện trường $\vec{E}_o$, trong vật dẫn có một dòng điện $\vec{J} \parallel \vec{E}_o$. Nếu vật dẫn được đặt trong một từ trường $\vec{H}$ vuông góc với dòng điện $\vec{J}$, ta thấy xuất hiện một điện trường $\vec{E}_\perp$ vuông góc với dòng điện $\vec{J}$ và từ trường $\vec{H}$:

$$\vec{E}_\perp = R[\vec{H} \times \vec{J}]$$

Hiện tượng xuất hiện trong vật dẫn đặt trong từ trường và có dòng điện chạy qua một điện trường $\vec{E}_\perp$ vuông góc với dòng điện và từ trường gọi là hiệu ứng Hall. Điện trường xuất hiện phụ thuộc vào từ trường và dòng điện theo công thức ở trên với R là hệ số tỉ lệ gọi là hằng số Hall.

Hằng số Hall phụ thuộc vào điện tích và nồng độ của hạt tải. Do $\vec{E}_\perp$ bằng thực nghiệm có thể xác định được hằng số Hall R và trên cơ sở đó có thể biết các thông tin về hạt tải điện và các thông tin khác về vật rắn (loại điện tích dương hay âm phụ thuộc vào dấu của q , nồng độ hạt tải...).

5.1.5. Vật liệu cách điện và hiện tượng phân cực điện môi

Vật liệu cách điện (điện môi) là chất không dẫn điện, tức là chất trong đó các điện tích không thể dịch chuyển tự do được. Tuy nhiên khi đặt chất điện môi trong điện trường ta cũng thấy nhiều hiện tượng quan trọng.

a. Hiện tượng phân cực điện môi

Thực nghiệm chứng tỏ rằng nếu ta đưa thanh điện môi BC vào trong điện trường thì trên thanh điện môi có xuất hiện các điện tích. Nếu thanh điện môi đồng chất thì trên các mặt giới hạn B, C có xuất hiện các điện tích trái dấu. Mặt B đối diện với vật gây ra điện trường A có điện tích trái dấu với điện tích của vật A. Nếu thanh điện môi không đồng chất thì ngay trong lòng thanh điện môi cũng xuất hiện điện tích.

Hiện tượng điện môi khi đặt trong điện trường có xuất hiện điện tích gọi là hiện tượng phân cực điện môi.

Khác với hiện tượng điện hưởng, các điện tích xuất hiện trên điện môi không phải là các điện tích tự do. Chúng xuất hiện tại đâu sẽ định xứ tại đó, vì vậy chúng được gọi là các điện tích liên kết.

b. Giải thích hiện tượng phân cực điện môi đối với điện môi đồng chất

- Trường hợp điện môi có phân tử tự phân cực.

Xét một khối điện môi có một số rất lớn các phân tử. Khi chưa đặt trong điện trường ($\vec{E}_o = 0$), do chuyển động nhiệt, các lưỡng cực phân tử sắp xếp hỗn loạn theo mọi phương, nên tổng vector của các mômen lưỡng cực triệt tiêu: $\sum \vec{p} = 0$. Khi đặt điện môi trong điện trường ngoài ($\vec{E}_o \neq 0$) do tác dụng của điện trường các lưỡng cực phân tử có xu hướng quay sao cho phương chiều của chúng trùng với phương chiều của $\vec{E}_o$. Do chuyển động nhiệt các

lượng cực phân tử có xu hướng sắp xếp hỗn loạn nên nếu trường ngoài yếu, các $\vec{p}$ không hoàn toàn song song với $\vec{E}_0$ và $\sum \vec{p} \neq 0$, nhưng nhỏ; nếu trường ngoài đủ mạnh, các $\vec{p}$ sẽ song song với $\vec{E}_0$ và $\sum \vec{p}$ là cực đại. Khi đó bên trong chất điện môi các điện tích trung hòa nhau; còn trên các mặt giới hạn của điện môi xuất hiện các điện tích trái dấu. Các điện tích này chính là các điện tích của các lưỡng cực phân tử vì thế các điện tích này không phải là các điện tích tự do, chúng bị ràng buộc trong phân tử và được gọi là các điện tích liên kết.

- Trường hợp điện môi có phân tử không tự phân cực.

Khi không có điện trường ngoài ($E_0 = 0$), $\vec{p} = 0$, do đó $\sum \vec{p} = 0$.

Khi có điện trường ngoài ($E_0 \neq 0$), các phân tử trở thành các lưỡng cực phân tử sắp xếp song song với $\vec{E}_0$ nên $\sum \vec{p} \neq 0$; cũng như trường hợp trên trong điện môi điện tích trung hòa, còn trên mặt giới hạn có xuất hiện điện tích liên kết trái dấu.

Tóm lại trong cả hai trường hợp, trên hai mặt giới hạn của khối điện môi đều xuất hiện các điện tích trái dấu. Các điện tích này là các điện tích liên kết định xứ trên hai mặt giới hạn của khối điện môi. Tùy theo chất điện môi, điện tích của các phân tử sẽ lớn hay nhỏ. Phụ thuộc vào cường độ điện trường ngoài E_0 lớn hay nhỏ, các $\vec{p}$ sẽ quay theo trường ngoài nhiều hay ít. Kết quả là mức độ phân cực của một số chất điện môi phụ thuộc vào bản chất điện môi và cường độ điện trường ngoài E_0 .

5.2. Vật liệu từ

5.2.1. Sự từ hóa vật liệu

Thực nghiệm chứng tỏ: mọi chất đặt trong từ trường đều bị từ hóa – Khi đó chúng trở nên có từ tính và sinh ra một từ trường phụ hay từ trường riêng $\vec{B}'$, khiến từ trường tổng hợp trong vật liệu trở thành:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' = \mu_0 \vec{H} + \vec{B}'$$

Trong đó $\vec{B}_0$ là vector cảm ứng từ của từ trường ban đầu, tức là từ trường ngoài đặt vào với vector cường độ từ trường $\vec{H}$:

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

Về độ lớn, có thể viết thành:

$$B = \mu B_0 = \mu \mu_0 H$$

Trong đó μ được gọi là độ từ thẩm (tỉ đối) của vật liệu.

Tùy theo tính cách và mức độ từ hóa, người ta phân biệt ba loại vật liệu từ chính như sau:

- Chất nghịch từ. Từ trường riêng $\vec{B}'$ có chiều ngược chiều với từ trường ban đầu $\vec{B}_0$, do đó từ trường tổng hợp $\vec{B}$ bé hơn từ trường ban đầu $\vec{B}_0$ một lượng rất nhỏ: $B \leq B_0$.

- Chất thuận từ. Từ trường riêng $\vec{B}'$ cùng chiều với chiều từ trường ban đầu $\vec{B}_0$, do đó từ trường tổng hợp lớn hơn từ trường ban đầu một lượng rất nhỏ: $B \geq B_0$.

- Chất sắt từ. Từ trường riêng $\vec{B}'$ cùng chiều với chiều từ trường ban đầu $\vec{B}_0$ nhưng lại rất mạnh, do đó từ trường tổng hợp lớn hơn từ trường ban đầu rất nhiều (hàng trăm, hàng nghìn lần): $B \gg B' \gg B_0$.

Hầu hết các chất đều là nghịch từ hoặc thuận từ. Chỉ có một số rất ít vài chất dị thường, đại biểu là sắt, là có tính sắt từ. Những tính chất từ vĩ mô nói trên của vật liệu chính là do hệ quả tổng hợp tính chất từ vi mô của tất cả các nguyên tử trong vật liệu đó quy định nên.

5.2.2. Mômen từ nguyên tử

Momen từ nguyên tử là một đại lượng từ cơ bản, nó bắt nguồn từ tính chất từ của electron và gắn liền với cấu hình electron của nguyên tử. Có thể coi

momen từ $\overrightarrow{P_m}$ của một nguyên tử bằng tổng các vector momen từ $\overrightarrow{P_m}$ của tất cả các electron cấu thành:

$$\overrightarrow{P_m} = \sum_{\substack{\text{tất cả electron} \\ \text{trong nguyên tử}}} (\overrightarrow{P_m}) = \sum_{\substack{\text{tất cả electron} \\ \text{trong nguyên tử}}} (\overrightarrow{P_{ms}} + \overrightarrow{P_{mL}})$$

Trong đó, momen từ của mỗi electron bao gồm hai thành phần: momen từ spin electron $\overrightarrow{P_{ms}}$ và momen từ quỹ đạo electron $\overrightarrow{P_{mL}}$. Vật lý lượng tử đã chứng minh:

$$\overrightarrow{P_{ms}} = -g_s \cdot \mu_B \cdot \frac{\vec{S}}{\hbar}$$

$$\overrightarrow{P_{mL}} = -g_L \cdot \mu_B \cdot \frac{\vec{L}}{\hbar}$$

$$\text{Và } \overrightarrow{P_m} = -g_j \cdot \mu_B \cdot \frac{\vec{J}}{\hbar}$$

Trong đó $\vec{S}$; $\vec{L}$ và $\vec{J}$ lần lượt là spin electron (tức là momen động lượng riêng, nội tại của electron), momen động lượng quỹ đạo của electron và momen động lượng tổng cộng của tất cả các electron trong nguyên tử; $\hbar$ và μ_B (Magnetron Bohr) là đơn vị đo momen động lượng và momen từ thường hay dùng trong vật lý lượng tử:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ A.m}^2$$

Còn g_s và g_L lần lượt là thừa số Lande spin electron, thừa số Lande quỹ đạo electron và thừa số Lande tổng cộng của nguyên tử:

$$g_s = 2$$

$$g_L = 1$$

$$1 < g_L < 2$$

Sự khác biệt giữa g_S và g_L cho thấy rằng ta không nên tìm cách giải thích spin của electron và momen từ spin của electron bằng sự tự xoay xung quanh mình nó của hạt mang điện, bởi vì bất cứ phép cổ điển nào cũng sẽ cho giá trị $g = 1$ như đã tính đối với electron chuyển động trên một quỹ đạo xung quanh hạt nhân nguyên tử. Như vậy, spin electron là một khái niệm thuần cơ học lượng tử.

Cần phải nói thêm rằng, hạt nhân nguyên tử cấu tạo bởi các proton và neutron, các hạt này cũng có spin và do đó có momen từ tương ứng. Tuy nhiên, momen từ hạt nhân rất nhỏ so với momen từ electron. Vì vậy, trong tính toán trên đây ta đã bỏ qua momen từ hạt nhân.

5.2.3. Nghịch từ, thuận từ và sắt từ

a. Nghịch từ

Khi đưa một nguyên tử vào trong một từ trường ngoài sẽ xảy ra hiện tượng cảm ứng lên các electron trong nguyên tử làm biến đổi chuyển động của chúng, do đó gây ra cho nguyên tử một momen từ phụ $\Delta \overline{P}_m$ hướng ngược chiều với từ trường ngoài $\overline{B}_o$. Hiện tượng này gọi là hiệu ứng nghịch từ.

Phép tính toán gần đúng bán cổ điển đối với một vỏ nguyên tử đối xứng cầu cho thấy

$$\Delta \overline{P}_m = -\frac{e^2 \cdot Z \cdot \overline{r^2}}{6m_e} \cdot \overline{B}_o$$

Trong đó Z là số electron, $\overline{r^2}$ là trung bình bình phương khoảng cách từ các electron tới hạt nhân của nguyên tử.

Hiệu ứng nghịch từ xảy ra chung cho bất cứ nguyên tử nào. Tuy nhiên, vì ΔP_m rất nhỏ so với P_m nên bị hiệu ứng khác mạnh hơn che lấp. Vì vậy, trên thực tế chỉ có những vật liệu nào có momen từ nguyên tử bằng không thì mới có hiện tượng nghịch từ. Ta gọi chúng là các vật liệu nghịch từ. Đó là những

chất như các khí trơ, các chất Pb, Zn, Si, Ge, S, CO₂, H₂O ..., thủy tinh và đa số các hợp chất hữu cơ.

b. Thuận từ

Vật liệu thuận từ là những chất có momen từ nguyên tử khác không ($P_m \neq 0$) như các kim loại kiềm, Al, NO, Pt, O₂, N₂, không khí, ebonit, các đất hiếm ... (trừ Cu, Ag, Sb, Bi).

Khi vắng mặt từ trường ngoài, do chuyển động nhiệt, các momen từ nguyên tử hướng hoàn toàn hỗn loạn nên tổng vector momen từ của cả khối vật liệu là bằng không – vật liệu không có từ tính vĩ mô. Nhưng khi có mặt từ trường ngoài, các momen từ nguyên tử của vật liệu có khuynh hướng quay lại sắp xếp theo hướng của từ trường ngoài, nhưng chuyển động nhiệt lại có khuynh hướng làm cho chúng sắp xếp hỗn loạn. Dưới tác dụng đồng thời của cả hai nguyên nhân, các momen từ nguyên tử có một sự định hướng thống kê ưu tiên thuận theo hướng của từ trường ngoài. Đó chính là hiệu ứng thuận từ. Kết quả là tổng vector momen từ nguyên tử của cả khối vật liệu là khác không – vật liệu đã bị từ hóa. Vec tơ từ hóa $\vec{M}$ tỉ lệ thuận và cùng chiều với từ trường ngoài.

c. Sắt từ

Một số vật liệu kim loại đặc biệt, trước tiên là sắt (Fe), cobalt (Co), niken (Ni) và một vài kim loại đất hiếm như gadolini (Gd), dysprosi (Dy), ngay cả khi không có mặt một từ trường ngoài nào cũng đã có sẵn một từ độ rất lớn và vĩnh cửu gọi là từ độ tự nhiên. Đó là đặc trưng của hiện tượng sắt từ. Người ta đã chứng minh được rằng từ độ tự nhiên vĩnh cửu trong các vật liệu sắt từ chính là hệ quả của hiện tượng tương tác ghép giữa các momen từ thuần spin của các electron không cặp đôi của các nguyên tử lân cận nhau làm cho chúng xếp hướng song song với nhau ngay cả khi vắng mặt từ trường ngoài.

Hiện tượng này xảy ra trên từng vùng thể tích khá rộng (kích thước cỡ 10^{-6} m) được gọi là những đômen (miền từ hóa tự nhiên).

Khi có mặt của từ trường ngoài H đặt vào, hiện tượng từ hóa trong chất sắt từ xảy ra mạnh mẽ và phụ thuộc rất nhiều vào cường độ từ trường H. Như

vậy, hệ số từ hóa χ_m và độ từ thẩm tỉ đối của chất sắt từ sẽ là hàm phức tạp của H.

Tính chất sắt từ chỉ tồn tại ở những nhiệt độ dưới một nhiệt độ tới hạn T_c (tùy từng vật liệu) gọi là nhiệt độ Curie.

Nói chung, hệ số từ hóa của các vật liệu sắt từ đều rất lớn, có thể đạt tới 10^6 . Do vậy, $H \ll M$ và ta có phương trình: $\vec{B} \cong \mu_0 \vec{M}$

Từ độ cực đại có thể đạt được, hay là từ độ bão hòa M_s của một chất sắt từ xảy ra khi tất cả các momen từ trong mẫu chất xếp hàng song song với nhau theo từ trường ngoài. Khi đó ta cũng có cảm ứng từ bão hòa B_s . Từ độ bão hòa chính bằng tích của momen từ cho mỗi nguyên tử và số nguyên tử có mặt.

5.3. Vật liệu bán dẫn

5.3.1. Lý thuyết vùng năng lượng

a. Khái niệm vùng năng lượng

Ta biết, lý thuyết lượng tử rất thành công khi áp dụng nó cho cá nguyên tử riêng biệt. Trường hợp áp dụng cho tập hợp nhiều nguyên tử dưới dạng các chất rắn sẽ như thế nào?

Phổ năng lượng của các nguyên tử là các mức năng lượng tách biệt nhau. Trường hợp phân tử gồm 2 nguyên tử. Thí dụ như phân tử H_2 , các điện tử hóa trị sẽ chịu tác dụng của cả 2 nguyên tử. Hàm sóng mô tả trạng thái điện tử có giá trị xác định ở vùng không gian xung quanh cả 2 nguyên tử. Mức năng lượng của các điện tử đó bị tách thành 2 mức gần nhau. Độ tách càng lớn khi các nguyên tử càng sát lại gần nhau.

Trong vật rắn (tinh thể) có số lượng lớn, các nguyên tử tương tác với nhau. Một điện tử hóa trị chịu tác dụng của nhiều nguyên tử. Hàm sóng của nó sẽ phụ thuộc vào cả mạng tinh thể. Với tinh thể hữu hạn gồm N nguyên tử thì mỗi mức năng lượng (ứng với một nguyên tử) sẽ suy biến thành N mức con rất gần nhau tạo thành một vùng năng lượng. Như vậy, phổ năng lượng của

nguyên tử trong tinh thể sẽ gồm một dãy vùng được phân cách bởi các vùng cấm, nhưng cũng có khi chồng chất lên nhau.

Vùng năng lượng trong vật rắn tinh thể phụ thuộc vào cấu tạo của vật rắn đó. Thông thường các vùng năng lượng phía dưới đã chứa đầy các điện tử ta gọi là vùng chứa đầy. Vùng năng lượng phía trên có cấu tạo đa dạng. Có trường hợp tất cả các mức con đều chứa đầy điện tử. Có trường hợp tất cả các mức con đều chứa đầy điện tử. Có trường hợp chỉ một số mức con được chứa đầy điện tử hoặc vùng chứa đầy và vùng trống sát bên nhau.

Đối với chất bán dẫn, vùng năng lượng của nó được lấp đầy hoàn toàn tương tự như chất điện môi. Nhưng độ rộng vùng cấm $\Delta E_g \approx 1\text{eV}$, nên khi có điện trường ngoài tác dụng ($\vec{E} \neq 0$) vẫn chưa có dòng điện, do chưa có điện tích tự do. Để chất bán dẫn có thể dẫn điện, ta phải đưa điện tử sang vùng dẫn bằng cách cung cấp thêm năng lượng cho chúng như rọi sáng...

5.3.2. Bán dẫn tinh khiết và bán dẫn pha tạp

a. Bán dẫn tinh khiết

Đối với một số chất (Ge, Si) khoảng cách ΔE giữa vùng hóa trị (hoàn toàn đầy) và vùng dẫn (hoàn toàn trống), tức là vùng cấm, là nhỏ $\Delta E_g \approx 1\text{eV}$. Một số electron ở vùng hóa trị do chuyển động nhiệt ở nhiệt độ $T > 0\text{K}$ hoặc do tác động từ ngoài có thể có đủ năng lượng chuyển qua vùng cấm lên vùng dẫn. Đồng thời ở vùng hóa trị xuất hiện mức năng lượng còn trống chưa có điện tử ta gọi là các lỗ trống. Các lỗ trống này sẽ dịch chuyển cùng chiều điện trường ngoài.

Ta có số electron trên vùng dẫn khi đó bằng số lỗ trống trên vùng hóa trị. Vật rắn trở nên dẫn điện, gọi là bán dẫn điện tinh khiết (mật độ hạt dẫn nhỏ). Đặc điểm của bán dẫn tinh khiết là mật độ electron bằng mật độ lỗ trống.

b. Bán dẫn tạp chất

Khi cho vào bán dẫn tinh khiết các nguyên tử tạp chất, cấu trúc vùng năng lượng sẽ thay đổi, có thêm những mức cho phép trong vùng cấm ở gần đáy vùng dẫn hoặc gần đỉnh vùng hóa trị, gọi là các mức tạp chất.

Để hiểu sự tồn tại của các mức tạp chất ta xét ví dụ: mạng tinh thể Ge có pha tạp chất là As. As có 5 electron hóa trị, Ge có 4 electron hóa trị, As thay Ge nên liên kết với 4 Ge bằng 4 electron. Electron thứ 5 của As liên kết với As^+ giống như một electron của nguyên tử hydro liên kết với ion H^+ và có năng lượng như của electron trong nguyên tử H; do đó năng lượng ion hóa, hay năng lượng để bứt electron này ra khỏi nguyên tử vào khoảng 0,029eV; tức là các mức này chỉ cách đáy vùng dẫn một khoảng $\Delta E_0 \approx 0,029\text{eV}$ (vì năng lượng của electron trong nguyên tử bằng $W = -R.h/n^2$; khi $W < 0$ thì electron ở trạng thái liên kết; khi $W \geq 0$ thì electron ở trạng thái tự do tức là ở vùng dẫn, do đó khi $W = 0$ thì electron ở đáy vùng dẫn; năng lượng ion hóa bằng khoảng năng lượng từ trạng thái liên kết $W < 0$ đến trạng thái tự do đầu tiên ở đáy vùng dẫn với $W = 0$).

Các mức tạp chất tuy là cho phép nhưng electron ở các mức này vẫn thuộc nguyên tử tạp chất, không tham gia dẫn điện, nên gọi là các mức định xứ. Tuy nhiên, do các electron trên các mức định xứ rất gần các mức của vùng dẫn nên các electron này có thể chuyển lên vùng dẫn và trở thành electron dẫn, khi đó bán dẫn trở thành dẫn điện. Các mức định xứ loại này cung cấp các electron dẫn nên gọi là mức cho (donor level). Bán dẫn dẫn điện bằng electron gọi là bán dẫn loại n.

Trường hợp Ge có pha tạp Ga (hóa trị 3) thì xuất hiện các mức định xứ ở gần vùng hóa trị. Các mức này có thể nhận các electron ở đỉnh vùng hóa trị, làm cho ở đỉnh vùng hóa trị xuất hiện các lỗ trống. Do đó các mức này gọi là các mức nhận (acceptor level), còn bán dẫn dẫn điện bằng lỗ trống gọi là bán dẫn loại p.

Bán dẫn loại n hay loại p tùy thuộc vào nồng độ hạt dẫn n hay p nhiều hơn, nồng độ hạt dẫn phụ thuộc nồng độ tạp chất mà ta pha vào vật rắn.

5.3.3. Ứng dụng của chất bán dẫn

Người ta ứng dụng lớp tiếp xúc p – n để làm các đi-ốt bán dẫn, là các linh kiện có tác dụng chỉnh lưu dòng điện.

a. Triôt bán dẫn

Triôt bán dẫn có tính chất khuếch đại tín hiệu, gồm 3 lớp bán dẫn: n – p – n (hoặc p – n – p); lớp bán dẫn ở giữa có bề dày cỡ $\leq 10 \mu m$; lớp tiếp xúc Z_1 có điện trở nhỏ, dòng i lớn; lớp tiếp xúc Z_2 có điện trở lớn, dòng i nhỏ.

Electron từ E qua lớp tiếp xúc Z_1 đến B; vì lớp p mỏng nên electron có thể vượt qua lớp p để đến lớp tiếp xúc Z_2 và được tăng tốc bởi lớp tiếp xúc Z_2 và bởi nguồn ε_2 , do đó làm cho dòng qua R lớn hẳn lên. Nếu cho tín hiệu T vào E thì khi tín hiệu ở T biến thiên một lượng bằng ΔU_1 thì dòng qua Z_1 biến thiên một lượng bằng Δi_1 . Kết quả là dòng qua R cũng biến đổi một lượng bằng $\Delta i_2 = \Delta U_2 / R$; thông thường $\Delta i_2 \gg \Delta i_1$, nên $\Delta U_2 \gg \Delta U_1$. Triôt bán dẫn được ứng dụng làm transistor khuếch đại.

b. Vài nét về vi điện tử

Các lớp tiếp xúc giữa các kim loại với kim loại và giữa các bán dẫn với bán dẫn có tính chất đặc biệt như đã trình bày trước đây. Các tính chất này là cơ sở của kỹ thuật điện tử (sử dụng làm các linh kiện tắt mở, lọc, khuếch đại, phát tín hiệu ...) và trong một thời gian dài (từ những năm 50 đến những năm 70, thậm chí trong một số bộ phận đến những năm gần đây) đã thay thế các đèn điện tử. Tuy vậy về thực chất độ dày của các lớp tiếp xúc này rất nhỏ (ít hơn $10^{-7}m$).

Với tiến bộ của kỹ thuật và công nghệ người ta đã chế tạo được các linh kiện có kích thước rất nhỏ vào cỡ $10^{-6}m$ bằng cách tạo các lớp màng mỏng chồng lên nhau trên một phiến bán dẫn gọi là để có diện tích khoảng $1mm^2$ đến $1cm^2$, bao gồm đủ các linh kiện có chức năng như các tụ điện, điện trở, dây dẫn, các điôt, triôt tạo thành một mạch với chức năng nhất định như khuếch đại, lọc, phát tín hiệu ...

Các mạch như vậy gọi là mạch tổ hợp hay IC (còn gọi là một con IC), dùng chữ đầu của tiếng Anh là Integrated Circuit. Ngành khoa học - kỹ thuật nghiên cứu và chế tạo các IC gọi là vi điện tử đã thay thế linh kiện và thiết bị bán dẫn.

Kỹ thuật chế tạo các IC chủ yếu là bốc bay trong chân không trên cơ sở kỹ thuật epitaxi. Để một phiến bán dẫn hay kim loại làm nền trong bình chân không, sau đó cho bốc hơi chất cần tạo thành lớp trên tấm nền này. Để tạo thành các đường hoặc các giới hạn giữa các miền tạo nên các lớp khác nhau người ta bóc đi những chỗ không cần thiết bằng các phương pháp khác nhau (chẳng hạn phương pháp quang khắc).

Với tiến bộ của khoa học và công nghệ, kỹ thuật vi điện tử đã đạt được những thành tựu vượt bậc trong việc chế tạo các mạch tổ hợp với nhiều chức năng nhưng có kích thước ngày càng nhỏ (cỡ nanomet). Trong một tương lai không xa các linh kiện điện tử sẽ đạt được một kích thước giới hạn (nghĩa là không thể nhỏ hơn được nữa). Khi đó chắc chắn sẽ có các linh kiện điện tử mới trên cơ sở của các nguyên tắc khác được chế tạo...

5.4. Máy phát lượng tử

5.4.1. Nguyên lý chung của máy phát lượng tử

Maser là máy phát và khuếch đại lượng tử ở dải tần vô tuyến điện được phát minh năm 1954. Laser là máy phát và khuếch đại lượng tử ở dải tần quang học (ánh sáng nhìn thấy) được phát minh năm 1960. Nguyên lý chung của chúng giống nhau và đều dựa trên cơ sở lý thuyết:

- Tương tác của bức xạ điện từ với hệ nguyên tử

Phát xạ tự nhiên là sự chuyển trạng thái của nguyên tử từ trạng thái kích thích W_2 về trạng thái cơ bản W_1 , đồng thời phát xạ một photon có tần số ν theo hệ thức: $W_2 - W_1 = h\nu$

Đây là quá trình ngược của quá trình hấp thụ tự nhiên.

Hấp thụ cảm ứng. Một nguyên tử đang ở mức dưới có thể hấp thụ một photon có năng lượng

$h\nu = W_2 - W_1$ của bức xạ tới để chuyển lên mức trên. Quá trình cộng hưởng này được gọi là hấp thụ cảm ứng, nó liên quan chặt chẽ với phát xạ cảm ứng.

Phát xạ cảm ứng hay phát xạ kích thích: dưới tác dụng kích thích của một bức xạ điện từ, một nguyên tử nằm ở mức trên có thể chuyển mức dưới và phát xạ photon có năng lượng $h\nu = W_2 - W_1$. Khác với phát xạ tự nhiên, phát xạ kích thích cũng như hấp thụ cảm ứng có liên quan chặt chẽ với trường bức xạ kích thích.

- Cộng hưởng từ và kỹ thuật phổ vô tuyến điện. Nó cung cấp những thông tin không thể thiếu như vị trí các mức năng lượng, thời gian phục hồi... của hệ nguyên tử và giúp xác định được các hoạt chất thích hợp cho maser và laser.

- Vật lý kỹ thuật viba: là phần quan trọng trong kỹ thuật vô tuyến điện tử và viễn thông hiện đại. Nó cung cấp các hộp cộng hưởng và ống sóng, ống sóng điện môi và sợi quang dẫn là những linh kiện cơ bản của maser và laser, nơi tích chứa các hoạt chất, các bức xạ điện từ, diễn ra các quá trình khuếch đại và phát lượng tử.

Máy phát lượng tử hoạt động như một máy phát và máy khuếch đại bức xạ điện từ kết hợp, theo nguyên lý phát xạ kích thích trên cơ sở các hiệu ứng tương tác giữa bức xạ điện từ và một mẫu chất. Về cơ bản, máy phát lượng tử gồm có một môi trường bức xạ (môi trường kích hoạt) và một cơ cấu ghép bản hồi bức xạ. Môi trường kích hoạt được mô tả bởi phổ bức xạ của nó với các vạch phổ đặc trưng xác định. Cơ cấu ghép phản hồi được thực hiện nhờ các hộp cộng hưởng và các thiết bị liên quan.

5.4.2. Các tính chất đặc trưng của laser

Khác với bức xạ nhiệt, bức xạ laser là chùm tia phát xạ cảm ứng kết hợp hoàn toàn được khuếch đại và phát rất mạnh nên có những tính chất sau:

Bức xạ laser có tính định hướng rất cao. Tính chất này có ý nghĩa quan trọng trong đo lường và thông tin.

Bức xạ laser có độ đơn sắc (tức độ tinh khiết phổ) cực kỳ cao. Các laser khi ổn định đạt độ tinh khiết phổ 10^{-15} (đèn dây tóc độ tinh khiết phổ tốt nhất là 10^{-6}). Các laser này rất thích hợp cho việc chuẩn tần số và thời gian.

Bức xạ laser có độ kết hợp cao. Đoàn sóng của ánh sáng laser có thể dài tới vài trăm km. Trong khi chiều dài kết hợp tương ứng với ánh sáng đèn thường qua chất khí chỉ cỡ mét.

Bức xạ laser có thể làm hội tụ với độ tụ cao. Chùm laser có thể hội tụ vào khu vực hẹp có tiết diện ngang cỡ λ^2 , do đó đạt được cường độ bức xạ rất cao. Cường độ bức xạ laser cao gấp 10^6 lần cường độ bức xạ của nguồn thông thường mạnh nhất.

Các laser còn hoạt động như những nguồn bức xạ có cường độ cao nhất ở chế độ xung ($10^{-14} - 10^{-15}$ s). Trong kỹ thuật điện tử thường, độ dài xung ngắn nhất khả dĩ là 0,3 ns, còn xung laser siêu ngắn tới $6 \cdot 10^{-15}$ s. Như vậy, trong kỹ thuật điện tử lượng tử, xung laser đã đạt được ngắn hơn 50.000 lần xung điện tử thường.

5.4.3. Ứng dụng của tia laser

a. Trong kỹ thuật đo lường chính xác

Đo chính xác vận tốc của ánh sáng trong chân không là 299792458 m/s với sai số 1m/s.

Đưa ra định nghĩa với của đơn vị độ dài là mét năm 1983.

“Một mét là khoảng cách ánh sáng đi được trong chân không trong khoảng thời gian $1/299792458$ của 1 giây”.

b. Trong kỹ thuật in chụp và tạo ảnh ba chiều

“Hotography” là phương pháp tạo ảnh ba chiều (ảnh toàn cảnh). Ảnh này hiện lên trong không gian đầy đủ như thật chứ không như ảnh phẳng hai chiều chỉ hiện lên màn ảnh.

c. Trong công nghệ thông tin

Laser đã trở thành quan trọng trong thông tin liên lạc, lưu trữ, thu nhận và xử lý thông tin và có cả công nghệ mới – đó là photon học.

d. Trong kỹ thuật cắt, phẫu thuật, gia công vật liệu

Khả năng hội tụ của chùm laser trên diện tích rất nhỏ kích thước cỡ bước sóng λ , có cường độ xung đạt tới $10^{-14} - 10^{-17} \text{ W/cm}^2$ dễ dàng tạo sự làm nóng cục bộ vi mô trên vật liệu. Nó trở thành “lưỡi dao nóng” cực kỳ sắc và tinh tế có ứng dụng nhiều trong việc làm nóng chảy, hàn, cắt và đặc biệt là khoan các loại vật liệu, thực hiện phẫu thuật tinh vi trong y học.

Laser có nhiều ứng dụng đặc biệt và vai trò to lớn trong nghiên cứu khoa học, trong các phòng thí nghiệm như ứng dụng tia laser cực mạnh để điều khiển phản ứng tổng hợp nhiệt hạch hay làm nóng chảy hạt nhân bằng laser...

5.5. Vật liệu mới và xu hướng phát triển của công nghệ vật liệu hiện nay

5.5.1. Siêu dẫn và ứng dụng

a. Tính chất siêu dẫn và nhiệt độ tới hạn

Đầu thế kỷ XX, vật lý kim loại mới bắt đầu phát triển. Vấn đề mà các nhà nghiên cứu quan tâm nhiều là điện trở của kim loại, đặc biệt là sự phụ thuộc của điện trở của kim loại vào nhiệt độ. Năm 1908 nhà bác học người Hà Lan ở trường đại học tổng hợp Leiden tên là H. Kamerlingh – Onnes đã điều chế được heli lỏng (nhiệt độ sôi là 4,21K). Nhờ có heli lỏng, Kamerlingh có thể nghiên cứu điện trở của kim loại ở nhiệt độ thấp (dưới 4,21K). Năm 1911 khi nghiên cứu điện trở của thủy ngân, Kamerlingh đã phát hiện ra hiện tượng là ở nhiệt độ 4K điện trở của Hg đột ngột giảm xuống bằng không.

Ở nhiệt độ $T > 4\text{K}$ điện trở của Hg là khác không. Sau đó người ta phát hiện ra không phải chỉ có Hg mà nhiều chất khác cũng có tính chất như vậy. Nhiệt độ tại đó điện trở của một chất đột ngột giảm xuống bằng không gọi là nhiệt độ tới hạn siêu dẫn (gọi tắt là nhiệt độ tới hạn, T_C). Trạng thái của các chất ở nhiệt độ ở nhiệt độ nhỏ hơn nhiệt độ tới hạn ($T < T_C$) với điện trở suất $\rho = 0$ gọi là trạng thái siêu dẫn.

Tính chất của các chất với điện trở suất bằng không, cho phép chuyển dòng điện qua không mất mát năng lượng (do tỏa nhiệt) gọi là tính chất siêu dẫn. Tính chất siêu dẫn không phải là tính chất duy nhất của một số chất siêu

dẫn. Tùy theo khoảng nhiệt độ, trong đó tồn tại trạng thái siêu dẫn, người ta chia các chất siêu dẫn thành:

Siêu dẫn nhiệt độ thấp là các chất siêu dẫn có nhiệt độ tới hạn $T_C < 20K$ và siêu dẫn nhiệt độ cao là các chất siêu dẫn có nhiệt độ tới hạn $T_C \geq 80K$. Năm 1987, người ta đã chế tạo được các chất siêu dẫn nhiệt độ cao với T_C trong khoảng từ 80 đến 90K, năm 1988 đã đạt được T_C trong khoảng từ 120 đến 130K.

b. Ứng dụng

Ứng dụng của các chất siêu dẫn có rất nhiều, về nguyên tắc có thể kể hai loại ứng dụng. Đó là:

Thay thế các kim loại thường bằng siêu dẫn trong tất cả các thiết bị không cần đến sự tỏa nhiệt của dây dẫn

Chế tạo các thiết bị và máy móc mới với những nguyên tắc hoạt động hoàn toàn mới dựa trên các tính chất đặc biệt của siêu dẫn. Các máy móc thiết bị này thường được chia làm hai loại:

Ứng dụng trên bình diện lớn, các máy có kích thước lớn: bao gồm việc chế tạo các nam châm cực mạnh (nam châm siêu dẫn có thể được sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau như điều khiển phản ứng hạt nhân nhiệt hạch, điều hòa, dự trữ năng lượng, các ứng dụng trong y học, sinh học, vật lý...); chế tạo các động cơ siêu dẫn và các máy phát điện siêu dẫn; chế tạo các tàu trên nguyên tắc đệm từ...

Các thiết bị và máy móc có kích thước nhỏ: bao gồm máy tính điện tử và kỹ thuật điện tử nói chung; nguyên tắc hoạt động của các máy này hoàn toàn mới dựa trên các tính chất của siêu dẫn. Chế tạo ra các máy đo như máy đo từ trường, đo điện thế, đo bức xạ...

Các máy móc, thiết bị dùng vật liệu siêu dẫn có ba ưu việt lớn:

+ Hiệu suất cao do điện trở suất bằng không, không tỏa nhiệt, do tính nghịch từ lý tưởng có thể giảm ma sát tới mức tối đa, do đó sự tiêu phí năng lượng giảm tới mức thấp nhất và hiệu suất có thể đạt tới 98,8%.

+ Chất lượng cao: có độ chính xác cao, độ nhạy cao, tốc độ làm việc lớn, độ ồn thấp, tốc độ tắt mở của các chuyển mạch siêu dẫn đạt tới 10^{-10} S, tốc độ chọn lọc thông tin từ bộ nhớ siêu dẫn vượt quá khả năng của bộ óc con người (để chọn một thông tin trong số 10^{11} đơn vị thông tin chỉ cần 10^{-6} s).

+ Gọn nhẹ: linh kiện siêu dẫn kích thước nhỏ, do không tỏa nhiệt có thể đặt sát nhau (nam châm thường tạo từ trường 1,5T có khối lượng lớn hơn 16 nghìn tấn, nam châm siêu dẫn tạo từ trường 12,5T có khối lượng nhỏ hơn 1 tấn).

5.5.2. Nanô và ứng dụng

a. Vật liệu nano

Vật liệu nano là loại vật liệu có cấu trúc các hạt, các sợi, các ống, các tấm mỏng,... trong đó ít nhất một chiều có kích thước đặc trưng khoảng từ 1nanômét đến 100 nanômét. Về trạng thái của vật liệu, người ta phân chia thành ba trạng thái, rắn, lỏng và khí. Vật liệu nano được tập trung nghiên cứu hiện nay, chủ yếu là vật liệu rắn, sau đó mới đến chất lỏng và khí. Về hình dáng vật liệu, người ta phân ra thành các loại sau:

Vật liệu nano không chiều (cả ba chiều đều có kích thước nano, không còn chiều tự do nào cho điện tử), ví dụ: đám nano, hạt nano.

Vật liệu nano một chiều là vật liệu trong đó hai chiều có kích thước nano, điện tử được tự do trên một chiều (hai chiều cầm tù), ví dụ: dây nano, ống nano.

Vật liệu nano hai chiều là vật liệu trong đó một chiều có kích thước nano, hai chiều tự do, ví dụ: màng mỏng.

Ngoài ra còn có vật liệu có cấu trúc nano hay nanocomposite trong đó chỉ có một phần của vật liệu có kích thước nm, hoặc cấu trúc của nó có nano không chiều, một chiều, hai chiều đan xen lẫn nhau.

b. Chế tạo vật liệu nano

Vật liệu nano được chế tạo bằng hai phương pháp: phương pháp từ trên xuống (top-down) và phương pháp từ dưới lên (bottom-up). Phương pháp từ trên xuống là phương pháp tạo hạt kích thước nano từ các hạt có kích thước lớn hơn; phương pháp từ dưới lên là phương pháp hình thành hạt nano từ các nguyên tử.

*** Phương pháp từ trên xuống**

Nguyên lý: dùng kỹ thuật nghiền và biến dạng để biến vật liệu thể khối với tổ chức hạt thô thành cỡ hạt kích thước nano. Đây là các phương pháp đơn giản, rẻ tiền nhưng rất hiệu quả, có thể tiến hành cho nhiều loại vật liệu với kích thước khá lớn (ứng dụng làm vật liệu kết cấu). Trong phương pháp nghiền, vật liệu ở dạng bột được trộn lẫn với những viên bi được làm từ các vật liệu rất cứng và đặt trong một cái cối. Máy nghiền có thể là nghiền lắc, nghiền rung hoặc nghiền quay (còn gọi là nghiền kiểu hành tinh). Các viên bi cứng va chạm vào nhau và phá vỡ bột đến kích thước nano. Kết quả thu được là vật liệu nano không chiều (các hạt nano). Phương pháp biến dạng được sử dụng với các kỹ thuật đặc biệt nhằm tạo ra sự biến dạng cực lớn (có thể >10) mà không làm phá hủy vật liệu, đó là các phương pháp SPD điển hình. Nhiệt độ có thể được điều chỉnh tùy thuộc vào từng trường hợp cụ thể. Nếu nhiệt độ gia công lớn hơn nhiệt độ kết tinh lại thì được gọi là biến dạng nóng, còn ngược lại thì được gọi là biến dạng nguội. Kết quả thu được là các vật liệu nano một chiều (dây nano) hoặc hai chiều (lớp có chiều dày nm). Ngoài ra, hiện nay người ta thường dùng các phương pháp quang khắc để tạo ra các cấu trúc nano.

*** Phương pháp từ dưới lên**

Nguyên lý: hình thành vật liệu nano từ các nguyên tử hoặc ion. Phương pháp từ dưới lên được phát triển rất mạnh mẽ vì tính linh động và chất lượng của sản phẩm cuối cùng. Phần lớn các vật liệu nano mà chúng ta dùng hiện nay được chế tạo từ phương pháp này. Phương pháp từ dưới lên có thể là phương pháp vật lý, phương pháp hóa học hoặc kết hợp cả hai.

Phương pháp vật lý: là phương pháp tạo vật liệu nano từ nguyên tử hoặc chuyển pha. Nguyên tử để hình thành vật liệu nano được tạo ra từ phương pháp vật lý: bốc bay nhiệt (đốt, phún xạ, phóng điện hồ quang). Phương pháp chuyển pha: vật liệu được nung nóng rồi cho nguội với tốc độ nhanh để thu được trạng thái vô định hình, xử lý nhiệt để xảy ra chuyển pha vô định hình - tinh thể (kết tinh) (phương pháp nguội nhanh). Phương pháp vật lý thường được dùng để tạo các hạt nano, màng nano, ví dụ: ổ cứng máy tính.

Phương pháp hóa học: là phương pháp tạo vật liệu nano từ các ion. Phương pháp hóa học có đặc điểm là rất đa dạng vì tùy thuộc vào vật liệu cụ thể mà người ta phải thay đổi kỹ thuật chế tạo cho phù hợp. Tuy nhiên, chúng ta vẫn có thể phân loại các phương pháp hóa học thành hai loại: hình thành vật liệu nano từ pha lỏng (phương pháp kết tủa, sol-gel,...) và từ pha khí (nhiệt phân,...). Phương pháp này có thể tạo các hạt nano, dây nano, ống nano, màng nano, bột nano,...

Phương pháp kết hợp: là phương pháp tạo vật liệu nano dựa trên các nguyên tắc vật lý và hóa học như: điện phân, ngưng tụ từ pha khí,... Phương pháp này có thể tạo các hạt nano, dây nano, ống nano, màng nano, bột nano,...

c. Ứng dụng vật liệu nano

Các cấu trúc nano có tiềm năng ứng dụng làm thành phần chủ chốt trong những dụng cụ thông tin kỹ thuật có những chức năng mà trước kia chưa có. Chúng có thể được lắp ráp trong những vật liệu trung tâm cho điện tử và quang. Những vi cấu trúc này là một trạng thái độc nhất của vật chất có những hứa hẹn đặc biệt cho những sản phẩm mới và rất hữu dụng.

Nhờ vào kích thước nhỏ, những cấu trúc nano có thể đóng gói chặt lại và do đó làm tăng tỉ trọng gói (packing density). Tỉ trọng gói cao có nhiều lợi điểm: tốc độ xử lý dữ liệu và khả năng chứa thông tin gia tăng. Tỉ trọng gói cao là nguyên nhân cho những tương tác điện và từ phức tạp giữa những vi cấu trúc kề cận nhau. Đối với nhiều vi cấu trúc, đặc biệt là những phân tử hữu cơ lớn, những khác biệt nhỏ về năng lượng giữa những cấu hình khác nhau có thể tạo được các thay đổi đáng kể từ những tương tác đó. Vì vậy mà chúng có nhiều

tiềm năng cho việc điều chế những vật liệu với tỉ trọng cao và tỉ số của diện tích bề mặt trên thể tích cao, chẳng hạn như bộ nhớ (memory).

Những phức tạp này hoàn toàn chưa được khám phá và việc xây dựng những kỹ thuật dựa vào những vi cấu trúc đòi hỏi sự hiểu biết sâu sắc khoa học căn bản tiềm ẩn trong chúng. Những phức tạp này cũng mở đường cho sự tiếp cận với những hệ phi tuyến phức tạp mà chúng có thể phô bày ra những lớp biểu hiện (behavior) trên căn bản khác với những lớp biểu hiện của cả hai cấu trúc phân tử và cấu trúc ở quy mô micromet.

Khoa học nano là một trong những biên giới của khoa học chưa được thám hiểm tường tận. Nó hứa hẹn nhiều phát minh kỹ thuật lý thú nhất.

CHƯƠNG 6. CÁC NGUỒN NĂNG LƯỢNG

6.1. Các nguồn năng lượng truyền thống không tái tạo

6.1.1. Than đá, củi

Than đá, về trữ lượng, còn nhiều trong tự nhiên, có thể khai thác khoảng vài trăm năm nữa, than phân bố tương đối đều. Đối với các nước chưa phát triển, than dùng chủ yếu để đun nấu, chạy máy phát điện. Than có nhược điểm là quá trình khai thác nặng nhọc, cần bốc dỡ vận chuyển, giá trị kinh tế thấp, khi sinh nhiệt hay tạo ra khí CO₂ gây ra ô nhiễm môi trường.

Củi là nguồn năng lượng chiếm 5 – 8% năng lượng toàn thế giới. Riêng việc dùng để nấu bếp ở các nước chưa phát triển thì củi được sử dụng khoảng 0,5 ÷ 2,5 tấn/hộ/năm. Ở Pháp, Mỹ củi được đốt tương đương 50 triệu tấn dầu (chủ yếu dùng sưởi, đun nấu). Củi, gỗ, các chất thải (rơm, rạ, mùn cưa ...) vẫn là nguồn năng lượng chủ yếu của các nước chưa phát triển trong thế kỷ 21. Nếu biết khai thác hợp lý, thế giới có thể khai thác 60 ÷ 70 tỉ tấn gỗ trong một năm. Nhưng cần kiểm soát chặt chẽ vì nếu khai thác quá mức (phá rừng), sẽ gây ra thảm họa lớn cho môi trường sinh thái, ảnh hưởng đến cuộc sống con người (như bão, lụt tiêu diệt các loài động vật và thực vật...)

6.1.2. Dầu mỏ

Dầu mỏ từ lúc phát hiện đến nay đã khai thác khoảng 100 tỷ tấn (năm 2000). Dầu mỏ, khí đốt chủ yếu dùng chạy máy phát điện, phương tiện giao thông, đun nấu... Dự báo đến năm 2100, nguồn năng lượng này sẽ cạn kiệt. Dầu mỏ, khí đốt sử dụng thuận tiện nhưng lại gây ra ô nhiễm môi trường. Hiện nay, năng lượng chủ yếu để chạy các động cơ nhiệt, các phương tiện giao thông vẫn là dầu mỏ và sản phẩm của nó.

Nếu khai thác dầu mỏ và khí đốt giảm sẽ dẫn tới khủng hoảng năng lượng

6.1.3. Năng lượng hạt nhân

Khi xảy ra phản ứng phân hạch thì phản ứng thường tỏa ra năng lượng rất lớn. Theo Anhxtanh, năng lượng đó được tạo ra do trong quá trình xảy ra phản ứng một phần khối lượng bị hao hụt biến thành năng lượng theo hệ thức:

$$\Delta E = c^2 \cdot \Delta m$$

Với c là vận tốc ánh sáng trong chân không và Δm là độ hụt khối lượng của phản ứng.

Theo tính toán lý thuyết thì 1kg ${}_{92}\text{U}^{235}$ khi phân hạch sẽ tỏa ra năng lượng $2 \cdot 10^{10}$ kcal tương đương với 2500 tấn than đá. Sử dụng năng lượng đó để chạy máy hơi nước sinh ra điện năng (nhà máy điện nguyên tử).

Năng lượng điện hiện nay của các nước phát triển chủ yếu là năng lượng điện nguyên tử. Năng lượng điện nguyên tử sinh ra rất lớn, tốn ít nhiên liệu nên có thể đáp ứng đủ nhu cầu năng lượng của loài người. Nhưng chất Uranium không tái sinh dần sẽ bị cạn kiệt, mặt khác các chất thải của nhà máy điện nguyên tử có chu kỳ bán rã lâu (Uranium có chu kỳ bán rã $T = 7,13 \cdot 10^8$ năm) sẽ gây ô nhiễm môi trường sống.

Ngoài ra, giá thành xây dựng nhà máy điện nguyên tử rất đắt đỏ, không an toàn. Vì vậy, hiện nay có một số nước hạn chế xây dựng nhà máy mới hoặc chuyển sang dùng năng lượng thay thế khác.

6.2. Các nguồn năng lượng tái tạo

6.2.1. Năng lượng mặt trời

Theo các nhà vật lý thiên văn, Mặt trời đã được tạo ra cách đây khoảng 5 tỷ năm và có thể tồn tại thêm 5 tỷ năm nữa. Nó là một khối khí hình cầu, có đường kính $1,39 \cdot 10^6$ km. Tuy là một khối khí nhưng nó cũng tự quay được quanh trục như một vật rắn.

Mặt trời là một ngôi sao, cách mặt đất khoảng $1,5 \cdot 10^8$ km. Nhiệt độ trên bề mặt Mặt trời khoảng 5762K, nhiệt độ ở trung tâm thay đổi từ $8 \cdot 10^6$ đến

4.10^7 K. Có thể coi đây là một lò phản ứng nhiệt hạch khổng lồ. Năng lượng Mặt trời phát ra trong một giây tương đương 10.000 tấn than.

Sóng điện từ mang năng lượng do Mặt trời phát ra khi đi qua lớp khí quyển bao quanh trái đất bị suy giảm. Tuy nhiên, nếu biết khai thác và dự trữ năng lượng Mặt trời (trong đó kể cả năng lượng thủy điện, gió, lấy trực tiếp...) có thể đáp ứng đủ nhu cầu năng lượng của loài người. Nguồn năng lượng Mặt trời hầu như vô tận, sạch và không gây ô nhiễm cho môi trường.

a. Sử dụng năng lượng Mặt trời

Ta biết rằng khi tia bức xạ đập lên bề mặt một vật sẽ cho ba khả năng: hấp thụ, phản xạ trở lại không khí hoặc truyền qua vật cản. Phương trình cân bằng năng lượng trong trường hợp này là:

$$Q_o = Q_r + Q_a + Q_t$$

Trong đó Q_o , Q_r , Q_a , Q_t tương ứng với năng lượng tới, phản xạ, hấp thụ và truyền qua. Chia hai vế cho Q_o ta được:

$$1 = Q_r/Q_o + Q_a/Q_o + Q_t/Q_o$$

Ta đặt $Q_r/Q_o = \rho$ là hệ số phản xạ

$Q_a/Q_o = \alpha$ là hệ số hấp thụ

$Q_t/Q_o = \tau$ là hệ số truyền qua

$$\text{Vậy } 1 = \rho + \alpha + \tau$$

Nếu $\alpha = \tau = 0$ thì $\rho = 1$ ta có vật trắng tuyệt đối

$\rho = \tau = 0$ thì $\alpha = 1$ ta có vật đen tuyệt đối

$\rho = \alpha = 0$ thì $\tau = 1$ ta có vật trong suốt tuyệt đối.

b. Nguyên lý biến đổi quang – nhiệt

* Cấu tạo hộp thu phẳng – nhiệt độ thấp

Hộp thu phẳng được chế tạo dựa trên nguyên lý hiệu ứng lồng kính, đó là các tia hồng ngoại có bước sóng dài không thể qua được kính cửa sổ. Nếu nó được tạo ra từ một buồng kín làm bằng kính thì nó không thể thoát ra ngoài được. Tuy nhiên phổ phát ra từ bề mặt của Mặt Trời thì có giải rất rộng.

Trong giải phổ ánh sáng có bước sóng từ $\lambda = 0,25 \div 4 \mu m$, trong đó bước sóng của tia hồng ngoại $\lambda \geq 0,7 \mu m$ là không nhìn thấy. Khi cho tia bức xạ mặt trời (BXMT) xuyên qua tấm kính thì các tia sáng có bước sóng $\lambda \geq 0,7 \mu m$ bị kính ngăn không cho qua. Các tia sáng có bước sóng ngắn hơn $0,7 \mu m$ qua được kính và đập lên mặt hấp thụ. Do tương tác của các photon lên vật chất làm phát xạ ra các tia nhiệt thứ cấp có bước sóng dài – tia hồng ngoại, và chúng bị giam lại trong hộp kín. Bản chất của tia hồng ngoại là “tia nhiệt” nên làm cho vật đặt trong hộp nóng lên. Nếu hộp được cách nhiệt tốt với môi trường chung quanh thì nhiệt độ bên trong hộp tăng lên rất cao, có thể đạt được trên $150^{\circ}C$. Đó chính là hiệu ứng lồng kính.

Ứng dụng nguyên lý này người ta chế tạo ra các thiết bị: thiết bị đun nước nóng dùng phương pháp đối lưu tự nhiên (nước nóng nhẹ có xu hướng “nổi” lên phía trên, nước lạnh nặng “chìm” xuống dưới tạo thành dòng chảy tuần hoàn liên tục, làm cho khối nước chứa trong bể chứa nóng dần lên. Ngoài ra còn có các thiết bị sấy, bếp mặt trời cũng ứng dụng nguyên lý này.

c. Nhiệt độ cao

Hộp thu phẳng chỉ thu được nhiệt độ thấp. Muốn thu nhiệt độ cao người ta dùng phương pháp hội tụ các chùm tia bức xạ. Dựa trên một định lý của quang hình với tính chất của đường parabol là: “Mọi đường thẳng song song với trục quang đều hội tụ tại tiêu điểm F”.

Vị trí của Mặt Trời luôn thay đổi với một điểm trên mặt đất, vì Mặt Trời ở rất xa Trái Đất nên các tia sáng xuất phát từ đường bao của Mặt Trời gửi tới một điểm trên mặt đất gần như song song nhau. Vì vậy nếu hướng trục quang của gương parabol về phía Mặt Trời thì mọi tia nắng chiếu vào mặt gương đều hội tụ tại tiêu điểm F, mật độ quang thông tại tiêu điểm càng cao thì mật độ năng lượng bức xạ ở đó càng cao. Nhiệt độ tại đây có thể đạt đến trên

3.500°C. Với nhiệt độ này có thể làm nóng chảy các oxit kim loại khó nóng chảy nhất như ZrO_2 , TiO_2 ... Đó cũng chính là nguyên lý của các nhà máy nhiệt điện mặt trời (NMĐMT).

Ngày nay ở nhiều nước, người ta đã xây dựng những NMĐMT có công suất từ 1 – 5MW.

d. Hiệu ứng quang điện. Pin mặt trời

Pin mặt trời (PMT) là một “máy” biến đổi quang năng thành điện năng không qua các khâu trung gian nên không bị tổn hao, không bị hao mòn, không gây ô nhiễm môi trường, rất thuận tiện cho các vùng xa xôi hẻo lánh.

***Cấu tạo PMT**

PMT gồm hai tấm bán dẫn loại p và loại n được ghép tiếp xúc với nhau.

Mặt tiếp xúc giữa chúng hình thành lớp chuyển tiếp p-n. Vì mật độ electron trong miền có tính dẫn n lớn hơn mật độ electron trong miền có tính dẫn p nên electron từ miền n khuếch tán sang miền p. Ngược lại, mật độ lỗ trống, tương đương với điện tích dương trong miền p lớn hơn trong miền n nên các lỗ trống trong miền p khuếch tán sang miền n. Kết quả là miền n thiếu electron thừa lỗ trống nên mang điện tích dương (+), miền p nhận electron và mất lỗ trống nên mang điện tích âm (-).

Như vậy, tại vùng biên giới giữa hai loại bán dẫn hình thành một hiệu điện thế, gọi là hiệu điện thế tiếp xúc. Tức là tại lớp chuyển tiếp này hình thành một điện trường tiếp xúc E_{tx} . Điện trường này cản trở sự khuếch tán của electron và lỗ trống, và dần dần đạt đến giá trị cân bằng. Một phiến silic đã pha tạp thành loại p và n rồi ghép tiếp xúc như trên được gọi là tế bào quang điện bán dẫn hay còn gọi là pin quang điện hay pin mặt trời.

Khi chiếu một chùm tia sáng hoặc photon lên một PMT thì hai loại bán dẫn n và p hấp thụ photon và tạo ra các cặp electron và lỗ trống. Dưới tác dụng của điện trường tiếp xúc, các electron và lỗ trống bị tách khỏi nhau và hình thành ở miền p một điện tích dương (+) và ở miền n một điện tích âm (-). Nếu

nối hai miền p và n bằng một dây dẫn thì các điện tích trái dấu này chuyển dịch ở mạch ngoài và tái hợp khi chúng về phía bán dẫn điốt đối cực. Nếu tiếp tục chiếu sáng cho PMT thì quá trình sinh hạt cơ bản và tái hợp xảy ra liên tục, và kết quả ở mạch ngoài sẽ nhận được một dòng điện một chiều có cường độ tỉ lệ với cường độ chiếu sáng.

6.2.2. Thủy điện

a. Tuabin thủy lực

Tuabin thủy lực là một thiết bị động lực biến đổi năng lượng của dòng chảy (thủy năng) thành cơ năng, kéo máy cụ hay máy phát điện.

Hiện nay người ta thường dùng hai loại tuabin là tuabin phản lực và tuabin xung lực. Tuabin phản lực dùng cho trạm có cột nước thấp, lưu lượng lớn. Tuabin xung lực dùng cho trạm có cột nước cao, lưu lượng bé.

b. Công suất tổ máy thủy điện

Ta xét một đoạn dòng chảy giữa hai tiết diện I và II. Theo định lý Bernoulli, ta có hiệu năng lượng riêng giữa hai tiết diện ngay tại vị trí I và II là:

$$H = \frac{E_1 - E_2}{g} = Z_1 - Z_2 + \frac{p_1 - p_2}{g\rho} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$$

Trong đó Z_1, Z_2 là độ cao, g là gia tốc trọng trường, p_1 và p_2 là áp suất cột nước tại hai tiết diện, ρ là khối lượng riêng của chất lỏng, v_1 và v_2 là vận tốc dòng nước tại tiết diện.

Công suất của tuabin được xác định theo hiệu năng lượng riêng và lưu lượng Q (Q là lượng nước chảy qua tuabin trong một đơn vị thời gian m^3/s).

$$P = 9,81 Q.H$$

Công suất của tổ máy thủy điện được xác định là :

$$P_{TM} = 9,81.Q.H.\eta_{TM}$$

Trong đó η_{TM} là hiệu suất tổ máy.

c. Sử dụng thủy điện

Hiện nay, khoảng 20% năng lượng điện toàn thế giới lấy từ thủy điện. Ở Việt Nam, năng lượng thủy điện chiếm khoảng 40% tổng năng lượng điện (năm 2000). Xu hướng thủy điện thế giới ngày càng phát triển, chủ yếu ở vùng có núi cao và các dòng sông có lưu lượng lớn. Việt nam có tiềm năng thủy điện rất lớn.

Thủy điện sử dụng có lợi về nhiều mặt như chống lũ, tạo ra năng lượng sạch, không tốn nhiên liệu, không gây ô nhiễm môi trường, nhưng xây dựng thủy điện cần vốn đầu tư rất lớn.

6.2.3. Năng lượng gió

a. Nguyên lý làm việc của động cơ gió trục ngang

Khi gió thổi song song với trục cánh thì xuất hiện lực khí động học F tác dụng vào cánh. Lực được chia thành hai thành phần $\overline{F_1}$ và $\overline{F_2}$, chỉ có thành phần $\overline{F_1}$ tạo ra mômen lực làm cho cánh quay.

Khi cánh quay mỗi tiết diện cánh tùy theo bán kính quay của nó sẽ có một tốc độ dài tương ứng bằng $u = \omega.r$ và tốc độ dài ở mút cánh là lớn nhất $u = \omega.R$. Lực tác dụng đó phụ thuộc vào góc tấn α (là góc hợp bởi phương của tốc độ dòng khí và mặt phẳng cánh). Gọi góc φ là góc đặt cánh, tức là góc nghiêng của cánh so với với mặt phẳng quay của cánh.

Thực nghiệm và lý thuyết cho thấy rằng lực $\overline{F_1}$ phụ thuộc vào góc tấn α và góc nghiêng φ của cánh tại mỗi tiết diện xác định. Lực nâng chỉ có giá trị lớn nhất khi góc tấn có một trị số nhất định. Vì vậy, để đạt được lực $\overline{F_1}$ có giá trị lớn, người ta làm cho cánh có dạng xoắn, tức là góc đặt cánh φ giảm dần từ chân cánh đến đầu mút cánh.

b. Chọn số cánh và hệ thống tự điều chỉnh hướng gió

Loại động cơ gió phát điện yêu cầu tốc độ cao, nhưng không đòi hỏi mômen khởi động nên ít cánh, thông thường từ 2 đến 3 cánh. Loại hai cánh tốc độ và hiệu suất cao nhưng khó cân bằng và mômen khởi động nhỏ. Với loại

động cơ gió bơm nước không đòi hỏi tốc độ cao nhưng mômen khởi động phải lớn nên có nhiều cánh, thông thường từ 10 đến 24 cánh.

Muốn cho động cơ gió trục ngang hoạt động được, phải có hệ thống tự động định hướng, để giữ cho mặt phẳng quay của cánh luôn vuông góc với hướng gió, đảm bảo được hiệu suất tối đa sử dụng năng lượng gió của cánh. Có nhiều hệ thống định hướng gió như định hướng bằng đuôi lái, bằng cặp cánh phụ, bằng hệ thống truyền động điện tự động. Với loại động cơ có công suất nhỏ dưới 15kW, người ta thường dùng hệ thống tự động định hướng bằng đuôi lái có ưu điểm là đơn giản, độ nhạy cao.

Việt Nam ở vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa, nên tiềm năng về năng lượng gió ở vùng bờ biển và hải đảo rất lớn. Vì vậy, có thể khai thác năng lượng gió để chạy máy phát điện và máy bơm nước... Hiện nay, đã có nhà máy điện chạy bằng năng lượng gió ở đảo Bạch Long Vĩ, Bình Thuận...

6.2.4. Năng lượng địa nhiệt

a. Cấu tạo

Đúng như tên gọi, năng lượng địa nhiệt là nhiệt lấy từ trong lòng đất. Từ lâu người ta đã biết, khi khoan sâu vào trong lòng đất 1km thì nhiệt độ tăng thêm 30°C. Giá trị đó tùy theo từng nơi. Ví dụ ở đồng bằng sông Hồng có những lỗ khoan sâu 3km không phải 90°C mà lên tới 150°C. Có những nơi trên thế giới với lỗ khoan sâu đã tìm thấy nhiệt độ 200°C đến 1000°C. Nhiệt độ ở tâm Trái Đất theo tính toán có thể đạt từ 3500°C đến 4500°C. Nhưng ở lớp vỏ Trái Đất dưới 3km thì nhiều nơi đã phát hiện từ 65°C đến 343°C. Những nơi này có những bồn chứa tập trung tương tự như mỏ khoáng thạch (than đá, dầu mỏ, khí tự nhiên...). Cho đến nay những bồn chứa nước nóng thường được tìm thấy ở những vùng đặc trưng (thời kỳ địa chất lital), vùng có núi lửa hoạt động. Ví dụ ở Mỹ thì thường các mỏ nước nóng tập trung ở miền Tây nước Mỹ.

Các bồn nước nóng là kết quả của lớp Magma (chất nhão) trộn lẫn với đá nóng chảy (như phun trào núi lửa) và khí thẩm thấu qua lớp vỏ cứng bao bọc Trái Đất. Khi lớp nhão này xuyên qua lớp vỏ thì trào lên bề mặt và phun thành núi lửa. Nhưng khi lớp thẩm thấu này dừng lại ở một lớp gần mặt đất thì nhiệt của Magma bị dừng lại và đông rắn tạo thành đá nóng ở gần mặt đất và định xứ

tại đó. Khi đó bồn địa nhiệt được hình thành. Thông thường năng lượng được giữ ở dạng đá nóng hoặc có thể truyền cho dòng nước ngầm rồi trôi lên mặt đất thành những mạch hay suối nước nóng.

Người ta phân các bồn địa nhiệt thành 3 loại cơ bản theo dạng tìm thấy:

- Bồn nhiệt hơi nóng.
- Bồn nhiệt nước nóng.
- Bồn nhiệt đá nóng.

*** Bồn nhiệt hơi nóng**

Đây là loại nhiệt khai thác dễ dàng nhất. Người ta khoan một lỗ sâu đến bồn chứa hơi nước nóng, hơi nóng phun với áp suất rất cao, người ta dùng trực tiếp luồng hơi có áp suất cao để chạy tua bin như nhà máy nhiệt điện. Trong hơi nóng có chứa các chất khí CO_2 , H_2S , NH_3 và không có hoặc có một ít hơi nước.

Khi dùng, người ta chỉ dẫn hơi nóng chạy qua ống dẫn vào thẳng tuabin làm quay máy phát điện. Hơi nước sau khi qua tuabin sẽ ngưng tụ thành nước và thải ra môi trường. Nhưng hơi nước ngưng tụ có chứa ít nhiều các khoáng chất có thể gây ô nhiễm môi trường nên lượng nước này được người ta bơm ngược vào lòng đất qua các giếng khoan để tạo áp lực tiếp tục đẩy hơi nóng lên mặt đất.

Năm 1904, Itali đã xây dựng thành công nhà máy điện địa nhiệt có công suất 365MW. Ở Mỹ, năm 1960 nhà máy loại này được xây dựng với công suất 12,5MW. Nhưng đến 1980, tại Sanfrancisco thì người ta đã xây dựng thành công nhà máy điện địa nhiệt có công suất 1180MW đủ cung cấp điện cho cả thành phố.

So sánh giữa nhà máy điện địa nhiệt và các nhà máy điện chạy bằng các loại nhiên liệu khác thì người ta thấy nhà máy điện địa nhiệt có nhiều ưu điểm: quy mô nhà máy gọn nhẹ, đơn giản khi so sánh với các nhà máy khác

cùng công suất, không cần kho dự trữ nhiên liệu nên an toàn và tiết kiệm diện tích. Tuy nhiên, hiệu suất tuabin của nhà máy điện địa nhiệt đã được xây dựng ở Grysers chỉ bằng 1/3 hiệu suất các nhà máy nhiệt điện cùng loại.

Bảng dưới đây cho thấy sự so sánh giữa giá thành ước tính cho các loại nhà máy điện ở Mĩ. Nếu lấy giá thành điện sản xuất hơi nước đốt bằng dầu là 1 thì:

Địa nhiệt nước nóng	0,97
Nguyên tử (hơi nước)	0,96
Thủy điện	0,96
Than (hơi nước)	0,82
Gas (hơi nước)	0,67
Địa nhiệt chủ yếu là hơi khô	0,525

*** Bồn nhiệt nước nóng**

Do nước ở độ sâu lớn áp suất cao nên nhiệt độ sôi đạt đến 180°C – 370°C và năng lượng tồn tại dưới dạng hơi nước nóng. Dựa trên các số liệu đo đạt được, người ta hi vọng rằng tiềm năng của những bồn nhiệt nước có thể lớn gấp 20 lần so với loại hơi khô. Khi xuyên qua lớp bề mặt Trái Đất có áp suất khí quyển ước bốc hơi nhanh tạo ra áp suất cao như được đun trong nồi sup-de. Trong hơi nước có chứa 10 – 20% nước, nên người ta gọi là bồn hơi ẩm. Đối với loại này người ta phải dùng công nghệ đặc biệt để tách nước ra khỏi nguồn hơi nước nóng, vì trong nước có chứa nhiều loại cặn, các muối khoáng, và các nguyên tố nặng, chúng dễ gây hiện tượng ăn mòn các thiết bị. Hiện nay, ở Newzelan người ta đã xây dựng nhà máy loại này có công suất 75MW.

*** Hệ đá nóng khô**

Hầu hết các mỏ địa nhiệt loại này đều ở gần bề mặt trái đất, không tiếp xúc trực tiếp với các mạch nước ngầm nên ở đây không có hơi nước hoặc nước nóng.

Để khai thác năng lượng này, người ta thường dùng phương pháp khoan hai lỗ gần nhau: lỗ thứ nhất sâu chừng 2.758m và bơm nước lạnh xuống, lỗ thứ hai nông hơn, chừng 2.673m. Ở độ sâu này nhiệt độ đạt tới 185°C. Để dẫn nước nóng và hơi nước lên, người ta khoan xiên để hai đáy lỗ gần nhau và phá hủy khối đá ở giữa bằng phương pháp thủy lực để tạo ra các vết nứt nẻ trong khối đá granit, giống như trong công nghệ khai thác dầu khí.

Với công nghệ này vào năm 1973, người ta đã thu được luồng khí nóng từ bồn nhiệt đá khô nóng ở vùng Los Alamos (Mĩ), Newmexico...

b. Tiềm năng các nguồn địa nhiệt ở Việt Nam

Kết quả nghiên cứu bước đầu cho biết cả nước ta có khoảng 200 mạch nước nóng, nhiệt độ trên mặt đất đo được từ 30 – 100°C, phân bố chủ yếu ở vùng Tây bắc (chiếm 49%) và Trung bộ. Các mạch nước có nhiệt độ cao từ 61 – 100°C phần lớn lại tập trung ở miền trung Trung Bộ (59%), như mạch nước ở Lò Vôi – Quảng Bình, có nhiệt độ 100°C. Đá khô ở chiều sâu gần mặt đất ở nước ta chỉ mới có tài liệu tại 4 bồn trầm tích có triển vọng dầu khí. Trong bốn bồn thì có ba bồn là ở Sông Hồng, Đà Nẵng, Nam Côn Sơn có giá trị gradien nhiệt độ là 42°C/km. Khi đối chiếu các nguồn nước nóng ở Miền Trung Việt Nam với vùng Nevada Miền Tây nước Mĩ, nhiều chuyên gia thấy có những điểm tương đồng.

6.2.5. Năng lượng thủy triều

a. Nguồn gốc của thủy triều

Nguyên nhân của hiện tượng thủy triều là lực hấp dẫn giữa Mặt Trời, Trái Đất và Mặt Trăng. Tùy thuộc vào vị trí tương đối giữa chúng mà mực nước biển dâng cao và hạ xuống một cách tuần hoàn theo ngày đêm lên xuống 2 lần. Khi Mặt Trời, Mặt Trăng và Trái Đất ở vị trí thẳng hàng thì biên độ thủy triều là cao nhất ở hai phía đối diện với Mặt Trời. Còn khi Mặt Trăng ở một bên của Trái Đất thì biên độ thủy triều ở mức thấp nhất. Vì vậy tùy thuộc vào địa điểm và thời gian trong ngày mà biên độ thủy triều dao động từ 6m đến

0,6m. Theo số liệu thống kê trong nhiều năm thì biên độ thủy triều trên toàn lãnh thổ Việt Nam thay đổi từ 0,4m đến 4,1m.

b. Ứng dụng năng lượng thủy triều

Người ta thường đắp đập ngăn các vịnh hoặc hồ ở sát biển. Khi thủy triều dâng lên đến một mức đủ cao thì mở cửa đập cho nước chảy vào hồ qua tuabin phát điện. Khi nước biển càng dâng cao thì mức nước trong hồ cũng dâng theo, cho đến khi mức nước biển dừng thì mực nước trong hồ vẫn đang còn thấp nên nước biển vẫn tiếp tục chảy vào hồ. Khi độ chênh mực nước giữa hồ và biển không đủ làm quay tuabin thì người ta đóng tuabin nhưng vẫn cho nước từ biển tiếp tục chảy vào hồ cho đến khi hai mức trong hồ và biển bằng nhau thì cửa đập được đóng lại. Chờ cho đến khi mức nước ngoài biển hạ thấp tạo được độ chênh đủ làm quay tuabin thì cửa đập lại được mở ra để nước trong hồ chảy ngược ra biển, tuabin quay và phát điện. Để tuabin không quay ngược chiều so với lúc nước chảy vào người ta bố trí hệ thống van một chiều. Và tiếp tục đóng mở cửa đập theo chu trình con nước thủy triều. Để giảm thời gian chờ đợi của tuabin và tăng thêm độ chênh cột nước giữa hồ và biển trước giờ thủy triều lên người ta đóng cửa cống và bơm nước ra để giảm nhanh lượng nước trong hồ. Khi nước thủy triều bắt đầu rút mà mực nước trong hồ chưa kịp đầy thì người ta lại bơm nước vào để làm tăng mực nước trong hồ.

6.2.6. Nhiên liệu hiđrô

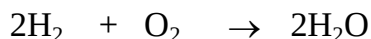
a. Những điểm ưu việt của nhiên liệu hiđrô (H_2)

Khí hiđrô ngày nay được coi là một loại nhiên liệu lý tưởng cho loài người trong tương lai vì những lý do sau đây:

H_2 là loại nhiên liệu có thể thay thế cho các loại nhiên liệu hóa thạch như: than, dầu mỏ, khí đốt, urani... để sản xuất ra điện, dùng đun nấu cho gia đình, dùng cho các phương tiện giao thông vận tải...

Nước và không khí là nguyên liệu thô để sản xuất ra H_2 , mà cả hai thứ này lại có rất nhiều trong thiên nhiên, nên có thể coi đó là nguồn năng lượng vô tận.

Khi sử dụng không gây ô nhiễm môi trường, vì trong khí đốt H_2 phản ứng với O_2 theo phương trình:



Sản phẩm cuối cùng là nước, không có các hợp chất như CO_2 , SO_2 , NOH , ... như các chất thải của các loại nhiên liệu hóa thạch. Chu trình phục hồi rất ngắn ($2H_2O \xrightarrow{\text{nhiệt}} 2H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$) chỉ trong một vài ngày đến một vài tuần.

Ngày nay hiđrô được dùng trong công nghiệp lọc dầu, sản xuất khí amoniac – NH_3 và nhiên liệu lỏng dùng cho các con tàu vũ trụ... Trong tương lai, khi kỹ thuật phát triển, các quá trình sản xuất, vận chuyển, phân phối và an toàn được giải quyết tốt, giá thành hạ nó sẽ là nguyên liệu lý tưởng dùng phổ biến trong các gia đình như dầu và khí đốt hiện nay.

b. Sản xuất hiđrô

Việc sản xuất H_2 có thể được tiến hành theo ba công nghệ sau: điện phân nước, nhiệt phân nước và quang phân nước.

*** Điện phân nước**

Đây là công nghệ dễ dàng thực hiện hơn cả. Hiệu suất điện phân hiện nay đã đạt tới 60 – 70%. Để giảm giá thành cần phải có công nghệ hợp lý để nâng cao hiệu suất.

*** Phương pháp nhiệt phân**

Hiện nay người ta tận dụng nhiệt thải từ các nhà máy điện hạt nhân có nhiệt độ cao hơn $900^\circ C$. Tuy nhiên, theo phương pháp này các phản ứng tạo ra các chất ăn mòn rất mạnh các thiết bị sản xuất nên rất hạn chế trong việc sử dụng.

*** Phương pháp quang phân**

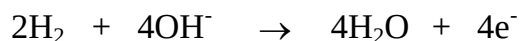
Là dùng các chùm tia mạnh như tia cực tím, plasma trong các lò phản ứng nhiệt hạch. Tuy nhiên, hiện nay việc khống chế phản ứng nhiệt hạch chưa được dùng trong công nghiệp, nên đây chỉ là phương pháp của tương lai

c. Pin nhiên liệu

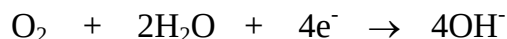
* Nguyên tắc hoạt động của pin nhiên liệu (PNL)

PNL là loại vật liệu hóa – điện có khả năng biến đổi trực tiếp hóa năng thành dòng điện một chiều, điện thế thấp. Thiết bị để sản xuất điện năng từ pin nhiên liệu không giống như pin hoặc acquy thông thường. PNL là một hệ thống hở, đòi hỏi phải cung cấp nhiên liệu liên tục trong quá trình sản xuất. Dòng điện được sản ra chừng nào còn cung cấp nhiên liệu.

Ở phía âm của PNL là cực hiđrô (cực sinh electron), khí hiđrô sạch được khuếch tán qua lớp vật liệu xốp làm chất xúc tác và phản ứng với ion OH^- , tạo ra H_2O đồng thời giải phóng 4 electron theo phương trình:



Cũng tương tự phía cực dương (+) của PNL thì màng xốp lại thu 4 electron và nhận thêm khí O_2 thẩm thấu qua màn niken xốp xúc tác phản ứng với H_2O để tạo ra các ion OH^- như phương trình sau:

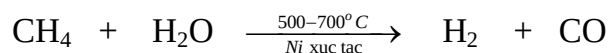


Các ion này lại chạy về cực hiđrô hình thành một mạch kín.

Ở mạch ngoài các electron chạy từ cực âm về cực dương tức là có dòng điện chạy qua tải (đèn sáng).

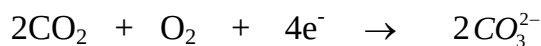
* Pin nhiên liệu có sử dụng nhiệt độ cao nhờ đốt khí gas tự nhiên – khí mêtan (CH_4)

Hiệu quả biến đổi điện hóa của loại nhiên liệu này phức tạp hơn, vì sự liên kết phân tử CH_4 chắc chắn hơn, hoạt tính kém. Nên muốn tạo được phản ứng cần phải có chất xúc tác niken duy trì ở nhiệt độ cao:

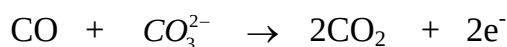


Hệ thống bao gồm dung dịch nóng chảy của MgO và liti carbonat, muối carbonat và potat. Một lớp mỏng niken xấp bọc ngoài anôt còn catôt được làm bằng lá bạc. Phản ứng xảy ra trên các cực như sau:

Phản ứng thu electron



Phản ứng tạo electron



* Đặc điểm của pin nhiên liệu

Ít gây ô nhiễm môi trường. Nhiên liệu chỉ biến đổi trực tiếp thành điện mà không bị đốt cháy.

Khi làm việc không gây ra tiếng ồn. Chỉ có quá trình vận chuyển khí khi cung cấp nhiên liệu và quá trình làm nguội.

Hiệu suất biến đổi cao khi công suất tiêu thụ của tải thấp. Công suất để thấp sáng tối ưu là 25kW. Công suất của nhà máy PNL loại lớn có thể đạt tới 25 – 100MW, công suất thấp 10 – 25kW, cung cấp điện năng cho nông thôn. Loại nhà máy có công suất lớn có thể đặt ngay tại các vùng có nhu cầu năng lượng cao mà không phải xây dựng đường dây, vừa đỡ tốn kém, vừa đỡ tổn hao trên đường vận chuyển, nhiên liệu có thể được chuyển tới bằng đường ống nên giảm được giá thành.

Nhà máy sử dụng PNL có thể đặt ở một địa phương bất kỳ mà không làm thay đổi kiến trúc và phá hủy các công trình đã có trước, không phá hoại môi trường.

6.3. Năng lượng sinh học

Trước năm 1970, nền công nghiệp chỉ có một mục tiêu là lợi nhuận. Sau năm 1970, sự phát triển công nghiệp phải tính đến hậu quả môi sinh. Từ năm 1990, sản xuất công nghiệp phải thỏa mãn nhiều yêu cầu kinh tế xã hội khác nhau để phát triển bền vững. Trong bối cảnh đó, công nghệ sinh học với những ưu thế sẵn có phải gánh vác những nhiệm vụ to lớn trong công nghiệp và bảo vệ môi sinh.

Về năng lượng: sử dụng năng lượng từ sinh khối thực vật và tìm nhiều nguồn năng lượng mới.

Theo tính toán hiện nay, sau năm 2050 (sau năm 2080) nguồn dầu mỏ sẽ cạn kiệt. Có 4 ứng viên nặng ký về năng lượng cho tương lai gồm: hydrogen, điện, methanol/ethanol, và khí nén. Do vậy, có nhiều nỗ lực của công nghệ sinh học tập trung vào các nguồn năng lượng mới như ethanol từ sinh khối, sự lên men methane và đặc biệt là biohydrogen.

6.3.1. Chiến lược sử dụng sinh khối thực vật

Công nghệ sử dụng sinh khối thực vật theo các hướng:

Thay thế nguyên liệu cổ sinh bằng nguyên liệu tái sinh từ sinh khối trong cung cấp năng lượng và hóa chất.

Thay các quá trình không sinh học truyền thống bằng các quá trình dựa trên các hệ thống sinh học như tế bào hay enzyme thực hiện phản ứng hay chất xúc tác.

Nguồn nguyên liệu tái sinh như các phụ phế liệu nông, lâm nghiệp giá tương đối rẻ được sử dụng thay dầu mỏ đang tăng giá và có lợi cho môi trường.

Thực vật có thể làm nhà máy sản xuất các hóa chất như acid lactic, lysine và citric acid... Một lối tiếp cận mới là thực vật sản xuất plastic. Năm 1999, Monsanto dùng nho và cải xoong tổng hợp PHA (chất có thể bị phân hủy bởi vi sinh vật) bằng chuyển gen vi khuẩn, vì nó sản sinh nhiều PHA trong thực

vật thí nghiệm. Tuy nhiên, PHA từ vi khuẩn rất đắt giá trong khi từ thực vật thì rẻ tiền hơn.

Các nhà nghiên cứu đang tìm nhiều biện pháp gia tăng sinh khối thực vật.

- Tăng cường hiệu quả của quang hợp: Các cây trồng có hiệu quả quang hợp khoảng 0,5-2%. Biện pháp chọn giống thực vật có hiệu suất quang hợp cao thực hiện theo các hướng: tầm soát các cây có tốc độ tăng trưởng nhanh, nghiên cứu các phương pháp thử nhanh để phát hiện dòng có hiệu quả quang hợp cao. Trên cơ sở biết rõ bộ gen của thực vật, nhất là sự di truyền ở lục lạp, mà điều khiển sự phát triển theo hướng tăng cường quang hợp. Các nhà nghiên cứu thực hiện việc chuyển gen từ các thực vật quang hợp C4 vào cc thực vật C3 để gia tăng quang hợp.

- Tăng năng suất cây trồng và cây rừng: Bằng các phương tiện chọn giống khác nhau, tạo các thực vật có năng suất cao cho sinh khối lớn trong thời gian ngắn nhờ nhiều đặc tính tốt như thích nghi tốt với các điều kiện bất lợi, kháng sâu bệnh, ít bón phân.

6.3.2. Sự phát triển sản xuất ethanol nhiên liệu

Ngành công nghiệp hiện nay sản xuất nhiên liệu và hóa chất hữu cơ chủ yếu từ các nguyên liệu hóa thạch (dầu hỏa, khí tự nhiên) nhưng vào những năm 1970 do giá dầu hỏa đột ngột tăng cao bắt buộc các nhà sản xuất phải tìm nhiên liệu thay thế có nhiều hứa hẹn đặc biệt. Vào cuối thế kỉ XIX, ethanol khan đã được sử dụng như nhiên liệu cho động cơ nổ trong.

Sự kết hợp của an toàn quốc gia và sự cần thiết của việc thông qua Hiệp định Kyoto là hướng đến các nguồn nhiên liệu sinh học, đặc biệt là ethanol sinh học. Viễn cảnh thải ra lượng CO thấp cho thấy ethanol như là một nguồn năng lượng quan trọng cho cả nền công nghiệp và vận chuyển. Trong tương lai không xa, nguồn nhiên liệu ethanol zero – emission có thể được tạo ra từ các nguồn sinh khối và nông nghiệp có thể dùng được. Bọt ngô ở Mỹ và đường mía ở Brazil là các nguồn nguyên liệu chính để sản xuất ethanol và ethanol có thể dùng pha với dầu xăng hay chỉ sử dụng mình nó.

Gần đây ở Mỹ đã có cố gắng sản xuất ethanol nhiên liệu đạt 5,67 tỉ lít/năm, và 2,25 tỉ lít ở Illinois có 12% xăng dầu được pha cồn.

Tất cả các tập đoàn sản xuất xe lớn đều chứng nhận xe hơi của họ dùng nhiên liệu E – 10 (10% ethanol + 90% xăng dầu). Ngày nay, họ chế tạo ra nhiều xe dùng nhiên liệu hỗn hợp với máy móc có thể chấp nhận lượng thể tích ethanol trên 85%.

6.3.3. Lên men methane

Các vi khuẩn methane thu năng lượng từ sự khử CO_2 bằng H_2 để tạo ra khí metan. Các vi khuẩn metan sống ở các môi trường yếm khí bắt buộc giàu các chất hữu cơ.

Sự lên men metan trong điều kiện yếm khí bắt buộc là một quá trình phức tạp được thực hiện bởi nhiều loại vi khuẩn tạo ra khí metan CH_4 .

Các loại phân chuồng trong điều kiện yếm khí lên men tạo biogas làm nguồn nhiên liệu. Quy trình lên men tạo biogas đơn giản có thể thực hiện khắp nơi, vừa giải quyết vấn đề ô nhiễm môi trường, vừa cung cấp năng lượng.

Lợi ích của lên men metan:

- Giải quyết được nguồn năng lượng đáng kể từ phân chuồng, rác.
- giải quyết được nạn ô nhiễm môi trường (làm sạch phân chuồng).
- Sử dụng nước thải để nuôi tảo.

6.3.4. Biohydrogen – nguồn năng lượng lý tưởng

Biohydrogen là chất khí nhẹ nhất nhưng trữ một năng lượng rất lớn: 119Mj/kg so với 50Mj/kg khí đốt tự nhiên. Phản ứng đốt sinh năng lượng tạo ra H_2O hoàn toàn không gây ô nhiễm, kể cả không tạo phụ phẩm.

Thực tế, hydrogen được dùng làm năng lượng đẩy cho máy bay phản lực, tên lửa và hiện tại đang được thử nghiệm làm nguồn năng lượng cho xe hơi.

Sinh vật sản sinh một lượng lớn hydrogen trong điều kiện bình thường và tiềm năng vô tận này nếu được khai thác thì loài người sẽ có nguồn năng lượng lý tưởng với giá rẻ.

6.3.5. Pin sinh học (Biofuel cell)

Thí nghiệm về pin sinh học được thực hiện đầu tiên vào năm 1910 bởi Potter: nhúng điện cực platin và dịch nuôi cấy yếm khí có H_2 và nấm men hoặc E-coli, thấy xuất hiện điện thế âm so với điện thế dương của điện cực Pt đặt trong môi trường vô trùng có O_2 đạt hiệu điện thế 0,3 – 0,5V, cường độ dòng điện 0,2mA.

Ngày nay pin sinh học được phát triển và có nhiều ứng dụng. Pin sinh học đơn giản sử dụng các chất không tích điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1/

2/

3/

4/

5/

6/ Nhập môn công nghệ sinh học – phạm thành hồ - nhà xuất bản giáo dục việt nam – 2013

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1: TỪ TRƯỜNG VÀ CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ	1
1.1. Từ trường	1
1.1.1. Khái niệm từ trường	1
1.1.2. Các đại lượng đặc trưng cho từ trường	1
a. Vectơ cảm ứng từ	1
b. Vectơ cường độ từ trường	2
1.1.3. Từ trường của một số dòng điện đặc biệt	3
a. Từ trường của dòng điện chạy trong dây dẫn thẳng dài	3
b. Từ trường của dòng điện tròn	5
1.2. Từ thông. Định lý Oxtrogratxki – Gaox đối với từ trường	6
1.2.1. Từ thông	6
1.2.2. Định lý Oxtrogratxki đối với từ trường	7
1.3. Lực từ. Công của lực từ	8
1.3.1. Lực từ	8
a. Định luật Ampe	8
b. Tác dụng của từ trường lên một phần tử dòng điện	9
1.3.2. Công của lực từ	10
1.3.3. Định lý Ampe về lưu số của vectơ cường độ từ trường	11
a. Lưu số của vectơ cường độ từ trường	11
b. Định lý Ampe về dòng điện toàn phần	11
1.4. Hiện tượng cảm ứng điện từ	12
1.4.1. Thí nghiệm và định nghĩa hiện tượng cảm ứng điện từ	12
1.4.2. Các định luật cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ	13
1.4.3. Hiện tượng tự cảm	14
a. Thí nghiệm về hiện tượng tự cảm	14
b. Suất điện động tự cảm	15
1.4.4. Hiện tượng hồ cảm	16
a. Hiện tượng	16
b. Suất điện động hồ cảm. Độ hồ cảm	16
1.5. Năng lượng từ trường	17
1.5.1. Năng lượng của từ trường của ống dây điện	17
1.5.2. Năng lượng của từ trường bất kỳ	19
CHƯƠNG 2: TRƯỜNG ĐIỆN TỪ VÀ SÓNG ĐIỆN TỪ	25
2.1. Trường điện từ	25
2.1.1. Luận điểm thứ nhất của Măcxoen	25
2.1.2. Luận điểm thứ hai của Măcxoen	27
2.1.3. Trường điện từ	30
2.1.4. Hệ thống các phương trình Măcxoen	31
a. Phương trình Măcxoen – Faraday	31
b. Phương trình Măcxoen – Ampe	31
c. Định lý Oxtrogratxki – Gaox đối với điện trường	33
d. Định lý Oxtrogratxki – Gaox đối với từ trường	33
2.2. Dao động điện từ	33
2.2.1. Dao động điện từ điều hòa	34
a. Hiện tượng	34
b. Phương trình dao động điện từ điều hòa	35
2.2.2. Dao động điện từ tắt dần	37
a. Hiện tượng	37
b. Phương trình dao động điện từ tắt dần	37
2.2.3. Dao động điện từ cưỡng bức	37
2.3. Sóng điện từ	38

2.3.1. Sự hình thành và khái niệm sóng điện từ	38
2.3.2. Các tính chất của sóng điện từ	39
a. Hệ phương trình Măcxoen của sóng điện từ	39
b. Những tính chất tổng quát của sóng điện từ	40
c. Năng lượng và năng thông sóng điện từ	41
2.3.3. Thang sóng điện từ.....	42
CHƯƠNG 3 : QUANG SÓNG – QUANG LƯỢNG TỬ	44
3.1. Cơ sở của quang học sóng.....	45
3.1.1. Thuyết sóng điện từ về ánh sáng	45
3.1.2. Nguyên lý Huyghen – Fresnel	45
3.1.3. Khái niệm quang lộ	46
3.1.4. Các đại lượng trắc quang.....	47
a. Quang thông	47
b. Độ sáng	47
c. Độ rọi	48
3.2. Giao thoa ánh sáng.....	49
3.2.1. Giao thoa ánh sáng cho bởi hai nguồn kết hợp.....	49
a. Cách tạo ra hai sóng ánh sáng kết hợp	50
b. Hiện tượng giao thoa	50
3.2.2. Giao thoa bản mỏng - Bản mỏng có bề dày thay đổi.....	52
a. Vân cùng độ dày.....	52
b. Vân của nêm không khí	54
c. Vân tròn Niu-ton.....	55
3.2.3. Bản mỏng có bề dày không đổi – Vân cùng độ nghiêng	56
3.3. Nhiễu xạ ánh sáng	57
3.3.1. Nhiễu xạ sóng cầu	57
a. Biểu thức của dao động sáng tại M	57
b. Phương pháp đới cầu Fresnel.....	58
3.3.2. Nhiễu xạ sóng phẳng qua một khe hẹp	61
3.4. Phân cực ánh sáng.....	63
3.4.1. Hiện tượng phân cực ánh sáng	63
a. Ánh sáng tự nhiên.....	63
b. Ánh sáng phân cực	63
c. Phân cực ánh sáng do phản xạ và khúc xạ	64
d. Phân cực do lưỡng chiết.....	64
3.4.2. Định luật Maluyt	66
3.5. Cơ sở của quang học lượng tử.....	67
3.5.1. Thuyết lượng tử Planck	67
a. Sự thất bại của thuyết sóng ánh sáng trong việc giải thích hiện tượng bức xạ nhiệt	67
b. Thuyết lượng tử của Plăng	67
3.5.2. Thuyết photon Anhxtanh.....	68
3.6. Hiện tượng quang điện.....	69
3.6.1. Hiện tượng quang điện ngoài và ứng dụng	69
3.6.2. Hiện tượng quang điện trong và ứng dụng.....	70
a. Hiện tượng quang điện trong.....	70
b. Ứng dụng	70
CHƯƠNG 4. CƠ SỞ CỦA CƠ HỌC LƯỢNG TỬ - VẬT LÝ LƯỢNG TỬ VÀ HẠT NHÂN.....	78
4.1. Cơ sở của cơ học lượng tử.....	78
4.1.1. Tính chất sóng hạt của vi hạt	78
4.1.2. Hàm sóng và ý nghĩa thống kê của hàm sóng	80
a. Hàm sóng	80
b. Ý nghĩa thống kê của hàm sóng	80
c. Điều kiện của hàm sóng	81

4.1.3. Hệ thức bất định Haidenbec (Haisenberg)	81
a. Hệ thức bất định	81
b. Ý nghĩa triết học của hệ thức Haidenbec	84
4.1.4. Phương trình sóng Srô- đing- gơ	84
4.1.5. Hạt trong hố thế một chiều	85
4.2. Nguyên tử Hiđrô – Nguyên tử kim loại kiềm	86
4.2.1. Nguyên tử Hiđrô	86
a. Chuyển động của electron trong nguyên tử Hiđrô	86
b. Các kết luận.....	89
4.2.2. Nguyên tử kim loại kiềm.....	92
a. Năng lượng của electron hóa trị trong nguyên tử kim loại kiềm	92
b. Quang phổ của nguyên tử kim loại kiềm	93
4.3. Mômen động lượng – Mômen từ - Spin của điện tử	94
4.3.1. Mômen động lượng	94
4.3.2. Mômen từ	94
4.3.3. Spin của điện tử	95
4.4. Cấu tạo và tính chất của hạt nhân.....	97
4.4.1. Cấu tạo hạt nhân	97
4.4.2. Lực hạt nhân	98
4.4.3. Độ hụt khối và năng lượng liên kết.....	98
4.5. Tương tác hạt nhân.....	100
4.5.1. Tương tác và phản ứng hạt nhân.....	100
4.5.2. Các định luật bảo toàn trong phản ứng hạt nhân	100
4.5.3. Hiện tượng phóng xạ.....	101
a. Định luật phân rã	101
b. Quy tắc di chuyển. Họ phóng xạ tự nhiên	103
c. Cân bằng phóng xạ	103
d. Phóng xạ nhân tạo	104
4.5.4. Phân hạch, nhiệt hạch và ứng dụng.....	104
a. Phân hạch	104
b. Nhiệt hạch	105
CHƯƠNG 5. VẬT LIỆU	110
5.1. Vật liệu điện và một số các hiện tượng điển hình	110
5.1.1. Vật liệu dẫn điện	110
5.1.2. Hiện tượng tiếp xúc và hiệu điện thế tiếp xúc	111
a. Công thoát electron.....	111
b. Hiệu điện thế tiếp xúc	111
5.1.3. Hiệu ứng nhiệt điện.....	112
5.1.4. Hiệu ứng Hall	112
5.1.5. Vật liệu cách điện và hiện tượng phân cực điện môi	113
a. Hiện tượng phân cực điện môi	113
b. Giải thích hiện tượng phân cực điện môi đối với điện môi đồng chất	113
5.2. Vật liệu từ.....	114
5.2.1. Sự từ hóa vật liệu	114
5.2.2. Mômen từ nguyên tử.....	115
5.2.3. Nghịch từ, thuận từ và sắt từ	117
a. Nghịch từ.....	117
b. Thuận từ.....	118
c. Sắt từ.....	118
5.3. Vật liệu bán dẫn	119
5.3.1. Lý thuyết vùng năng lượng	119
a. Khái niệm vùng năng lượng	119
5.3.2. Bán dẫn tinh khiết và bán dẫn pha tạp	120
a. Bán dẫn tinh khiết.....	120

b. Bán dẫn tạp chất	120
5.3.3. Ứng dụng của chất bán dẫn	121
a. Triốt bán dẫn	122
b. Vài nét về vi điện tử	122
5.4. Máy phát lượng tử	123
5.4.1. Nguyên lý chung của máy phát lượng tử	123
5.4.2. Các tính chất đặc trưng của laser	124
5.4.3. Ứng dụng của tia laser	125
b. Trong kỹ thuật in chụp và tạo ảnh ba chiều	125
c. Trong công nghệ thông tin	125
d. Trong kỹ thuật cắt, phẫu thuật, gia công vật liệu	126
5.5. Vật liệu mới và xu hướng phát triển của công nghệ vật liệu hiện nay	126
5.5.1. Siêu dẫn và ứng dụng	126
a. Tính chất siêu dẫn và nhiệt độ tới hạn	126
b. Ứng dụng	127
5.5.2. Nanô và ứng dụng	128
a. Vật liệu nano	128
b. Chế tạo vật liệu nano	129
c. Ứng dụng vật liệu nano	130
CHƯƠNG 6. CÁC NGUỒN NĂNG LƯỢNG	132
6.1. Các nguồn năng lượng truyền thống không tái tạo	132
6.1.1. Than đá, củi	132
6.1.2. Dầu mỏ	132
6.1.3. Năng lượng hạt nhân	133
6.2. Các nguồn năng lượng tái tạo	133
6.2.1. Năng lượng mặt trời	133
a. Sử dụng năng lượng Mặt trời	134
b. Nguyên lý biến đổi quang – nhiệt	134
c. Nhiệt độ cao	135
d. Hiệu ứng quang điện. Pin mặt trời	136
6.2.2. Thủy điện	137
a. Tuabin thủy lực	137
b. Công suất tổ máy thủy điện	137
c. Sử dụng thủy điện	138
6.2.3. Năng lượng gió	138
a. Nguyên lý làm việc của động cơ gió trục ngang	138
b. Chọn số cánh và hệ thống tự điều chỉnh hướng gió	138
6.2.4. Năng lượng địa nhiệt	139
a. Cấu tạo	139
b. Tiềm năng các nguồn địa nhiệt ở Việt Nam	142
6.2.5. Năng lượng thủy triều	142
a. Nguồn gốc của thủy triều	142
b. Ứng dụng năng lượng thủy triều	143
6.2.6. Nhiên liệu hiđrô	143
a. Những điểm ưu việt của nhiên liệu hiđrô (H_2)	143
b. Sản xuất hiđrô	144
c. Pin nhiên liệu	145
6.3. Năng lượng sinh học	147
6.3.1. Chiến lược sử dụng sinh khối thực vật	147
6.3.2. Sự phát triển sản xuất ethanol nhiên liệu	148
6.3.3. Lên men methane	149
6.3.4. Biohydrogen – nguồn năng lượng lý tưởng	149
6.3.5. Pin sinh học (Biofuel cell)	150
TÀI LIỆU THAM KHẢO	151

