

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



TÓM TẮT LÝ THUYẾT VÀ BÀI TẬP VẬT LÝ 3

Hà Nội, 2024

MỤC LỤC

1 Dao động và sóng	3
1.1 Tóm tắt lý thuyết	3
1.2 Bài tập	4
2 Giao thoa ánh sáng	10
2.1 Tóm tắt lý thuyết	10
2.2 Bài tập	12
3 Nhiễu xạ ánh sáng	19
3.1 Bài tập	21
5 Phân cực ánh sáng	26
5.1 Tóm tắt lý thuyết	26
5.2 Bài tập	28
6 Thuyết tương đối hẹp Einstein	32
6.1 Tóm tắt lý thuyết	32
6.2 Bài tập	33
7 Quang học lượng tử	35

7.1	Bức xạ nhiệt	35
7.1.1	Tóm tắt lý thuyết	35
7.1.2	Bài tập	36
7.2	Thuyết photon của Einstein và bản chất của bức xạ điện từ	39
7.2.1	Tóm tắt lý thuyết	39
7.2.2	Bài tập	41
8	Cơ học lượng tử	45
8.1	Tóm tắt lý thuyết	45
8.2	Bài tập	47
9	Vật lý nguyên tử	53
9.1	Tóm tắt lý thuyết	53
9.2	Bài tập	55

Chương 1: DAO ĐỘNG VÀ SÓNG ĐIỆN TỪ

1.1 Tóm tắt lý thuyết

1. Dao động điện từ điều hòa:

- Phương trình dao động điện từ điều hoà : $q = Q_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$
- Tần số góc riêng: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
- Chu kỳ dao động riêng: $T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$

2. Dao động điện từ tắt dần:

- Phương trình dao động của dòng điện: $i = I_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi)$
- Hệ số tắt dần: $\beta = \frac{R}{2L}$
- Điện trở tới hạn: $R_0 = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$
- Tần số góc: $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$
- Lượng giảm lôga: $\delta = \ln \frac{I_0 e^{-\beta t}}{I_0 e^{-\beta(t+T)}} = \beta T$
- Chu kỳ:

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

3. Dao động điện từ cưỡng bức:

- Phương trình dao động của dòng điện: $i = I_0 \cos(\Omega t + \Phi)$

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + \left(\Omega L - \frac{1}{\Omega C}\right)^2}}; \tan \Phi = \frac{\Omega L - \frac{1}{\Omega C}}{R}$$

- Cộng hưởng điện: $\Omega L - \frac{1}{\Omega C} = 0 \Rightarrow \Omega_{ch} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0 \Rightarrow I_0 = \frac{\varepsilon_0}{R}$

4. Hiệu ứng Doppler:

$$f' = \frac{v + u'}{v - u} f$$

- f' : tần số mà máy thu nhận được,
- f : tần số mà máy phát phát ra,
- v : vận tốc truyền âm,
- u : vận tốc của máy phát,
- u' : vận tốc của máy thu
- u và $u' > 0$ nếu máy phát và máy thu tiến lại gần nhau; < 0 nếu máy phát và máy thu đi ra xa nhau.

1.2 Bài tập

Bài 1.1. Một mạch dao động điện từ điều hoà gồm một tụ điện có điện dung $C = 2\mu\text{F}$ và một cuộn dây thuần cảm có độ tự cảm $L = 0,5\text{H}$. Tụ được tích đến hiệu điện thế cực đại $U_0 = 100\text{V}$. Tìm:

- a. Năng lượng điện từ của mạch.
- b. Dòng điện cực đại trong mạch.

Bài 1.2. Một mạch dao động điện từ điều hoà gồm một tụ điện có điện dung $C = 0,25\mu\text{F}$ và một cuộn dây thuần cảm có độ tự cảm $L = 1,015\text{H}$. Điện tích cực đại trên hai bản tụ $Q_0 = 2,5\mu\text{C}$. Tìm:

- a. Chu kỳ, tần số dao động của mạch.
- b. Năng lượng điện từ của mạch.
- c. Dòng điện cực đại trong mạch.

Bài 1.3. Một mạch dao động điện từ có điện dung $C = 0,25\mu\text{F}$, hệ số tự cảm $L = 1,015\text{H}$ và điện trở $R = 0$. Ban đầu hai cốt của tụ điện được tích điện $Q_0 = 2,5 \cdot 10^{-6}\text{C}$.

- a. Viết phương trình dao động của mạch điện đối với điện tích Q và dòng điện i .

b. Năng lượng điện từ của mạch.

c. Tần số dao động của mạch.

Bàigiải:

Do $R = 0 \rightarrow$ mạch dao động điện từ điều hòa.

– Xác định điện tích Q của mạch:

- Gọi phương trình dao động của q là: $Q = Q_0 \cos(\omega t + \varphi)$
- Tần số dao động của mạch: $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{1,015.0,25.10^{-6}}} \approx 2.10^3(\text{rad/s})$
- Tại thời điểm ban đầu $t = 0, Q = Q_0 \Rightarrow \cos \varphi = 1 \Rightarrow \varphi = 0$
- Phương trình dao động của Q là: $Q = 2,5 \cos(2.10^3 t)(\mu\text{C})$
- Cường độ dòng điện trong mạch: $i = Q' = -5 \sin(2.10^3 t)(\text{mA})$.

– Năng lượng của mạch là:

$$W = \frac{Q_0^2}{2C} = \frac{(2,5.10^{-6})^2}{2.0,25.10^{-6}} = 1,25.10^{-5}(\text{J})$$

– Tần số dao động của mạch:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{2.10^3}{2\pi} \approx 318,3(\text{Hz})$$

Bài 1.4. Một mạch dao động điện từ có điện dung $C = 0,405\mu\text{F}$, hệ số tự cảm $L = 10^{-2} \text{ H}$ và điện trở $R = 2\Omega$. Tìm:

- Chu kỳ dao động của mạch.
- Sau thời gian một chu kỳ, hiệu điện thế giữa hai cốt của tụ điện giảm bao nhiêu lần?

Bài giải:

Mạch RLC có $R \neq 0 \rightarrow$ dao động điện từ tắt dần.

– Chu kỳ dao động của mạch là:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{10^{-2}.0,405.10^{-6}} - \left(\frac{2}{2.10^{-2}}\right)^2}} = 4.10^{-4}(\text{s})$$

– Muốn tìm phương trình theo u ta phải tìm phương trình theo Q .

– Phương trình điện tích Q có dạng: $Q = Q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$

• Giả sử tại thời điểm $t = 0, Q = Q_0 \rightarrow \varphi_0 = 0 \Rightarrow Q = Q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t)$

– Hiệu điện thế trên hai bản tụ là:

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

– Độ giảm điện thế sau một chu kỳ T là:

$$\frac{u(t)}{u(t+T)} = \frac{\frac{Q_0}{C} e^{-\beta t} \cos(\omega t)}{\frac{Q_0}{C} e^{-\beta(t+T)} \cos(\omega(t+T))} = e^{\beta T} = e^{\frac{RT}{2L}} = e^{\frac{2.4 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-2}}} = 1,04 \text{ lần}$$

Bài 1.5. Một mạch dao động gồm tụ điện có điện dung $C = 1,1 \cdot 10^{-9} \text{F}$, cuộn dây có độ tự cảm $L = 5 \cdot 10^{-5} \text{H}$ và lượng giảm lôga $\delta = 0,005$. Tìm thời gian để năng lượng điện từ trong mạch giảm đi 99%. Coi gần đúng chu kỳ dao động của mạch $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Bài 1.6. Một mạch dao động điện từ điều hoà gồm một cuộn dây thuần cảm có hệ số tự cảm $L = 1 \text{H}$ và một tụ điện có điện tích trên hai bản tụ biến thiên điều hoà theo phương trình $q = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{\pi} \cos 400\pi t \text{ (C)}$.

a. Tìm điện dung của tụ.

b. Tìm năng lượng điện từ của mạch.

b. Viết phương trình biến thiên theo thời gian của cường độ dòng điện trong mạch.

Bài 1.7. Một mạch dao động điện từ điều hoà gồm tụ điện có điện dung $C = 6,3 \cdot 10^{-7} \text{F}$ và một dây thuần cảm có hệ số tự cảm L . Phương trình biểu diễn sự biến thiên theo thời gian của cường độ dòng điện trong mạch $i = 0,02 \sin 400\pi t \text{ (A)}$. Tìm:

a. Chu kỳ, tần số dao động.

b. Hệ số tự cảm L .

c. Năng lượng điện trường cực đại và năng lượng từ trường cực đại.

d. Hiệu điện thế cực đại trên hai bản tụ.

Bài 1.8. Một mạch dao động điện từ điều hoà gồm tụ điện có điện dung $C = 9 \cdot 10^{-7} \text{F}$ và cuộn dây thuần cảm có hệ số tự cảm L . Hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện biến thiên điều hoà theo phương trình $u = 50 \cos 10^4 \pi t \text{ V}$.

- Tìm chu kỳ và tần số dao động.
- Tìm hệ số tự cảm L .
- Viết phương trình biến thiên của cường độ dòng điện trong mạch theo thời gian.
- Tìm năng lượng điện từ của mạch.

Bài 1.9. Một mạch dao động điện từ gồm tụ điện có điện dung $C = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{F}$, cuộn dây có độ tự cảm $L = 10^{-2} \text{H}$ và điện trở thuần của toàn mạch $R = 2\Omega$. Xác định:

- Tìm chu kỳ và tần số dao động của mạch.
- Sau thời gian một chu kỳ hiệu điện thế giữa hai cốt của tụ điện giảm đi bao nhiêu lần.

Bài 1.10. Một mạch dao động điện từ gồm tụ điện có điện dung $C = 0,4 \mu\text{F}$, cuộn dây có độ tự cảm $L = 10^{-2} \text{H}$ và điện trở thuần của toàn mạch $R = 2\Omega$. Xác định:

- Chu kỳ dao động của mạch và lượng giảm loga.
- Sau thời gian bao lâu biên độ hiệu điện thế trên hai bản tụ giảm đi 3 lần.

Bài 1.11. Một mạch dao động điện từ gồm tụ điện có điện dung $C = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{F}$, một cuộn dây có độ tự cảm $L = 5,07 \cdot 10^{-3} \text{H}$ và điện trở R . Tìm:

- Lượng giảm loga, biết hiệu điện thế trên hai bản tụ giảm đi 3 lần sau 10^{-3}s . Coi gần đúng chu kỳ dao động của mạch theo công thức $T = 2\pi\sqrt{LC}$.
- Điện trở R của mạch.

Bài 1.12. Một mạch dao động điện từ điều hoà gồm một cuộn dây thuần cảm có độ tự cảm $L = 3 \cdot 10^{-5} \text{H}$ và một tụ điện. Mạch dao động cộng hưởng với bước sóng $\lambda = 750 \text{m}$. Tìm điện dung của tụ điện. Cho $c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$.

Bài 1.13. Một mạch dao động điện từ điều hoà gồm cuộn dây thuần cảm có độ tự cảm $L = 1 \text{H}$ và tụ điện có điện dung C . Điện tích trên hai bản tụ biến thiên theo thời gian theo phương trình: $q = 5 \cdot 10^{-6} \cos 4000\pi t (\text{C})$. Tìm:

- Chu kỳ dao động, điện dung của tụ.
- Viết phương trình cường độ dòng điện tức thời trong mạch.
- Tính năng lượng điện từ trong mạch.
- Tìm bước sóng cộng hưởng của mạch dao động.

Bài 1.14. Một mạch dao động điện từ gồm một tụ điện có điện dung $C = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{F}$, một cuộn dây có hệ số tự cảm $L = 120 \text{mH}$, điện trở thuần $R = 40\Omega$. Hãy tìm:

- a. Chu kỳ dao động điện từ trong mạch, giảm lượng loga.
- b. Qui luật biến thiên của điện tích trên một bản của tụ điện trong mạch biết lúc đầu tụ điện có điện tích cực đại $Q_0 = 40\mu\text{C}$.

Bài 1.15. Một mạch dao động mà cường độ dòng điện dao động trong mạch có biểu thức $i = 10^{-2} \cos 1000\pi t (\text{A})$. Hệ số tự cảm của cuộn cảm là $0,3\text{H}$. Xác định:

- a. Điện dung của tụ điện.
- b. Tính tỷ số năng lượng điện và năng lượng từ tại thời điểm $t = T/8$.

Bài 1.16. Phương trình biểu diễn sự biến thiên theo thời gian của cường độ dòng điện trong mạch dao động được viết dưới dạng $i = 0,02 \sin 400\pi t (\text{A})$, hệ số tự cảm L của mạch bằng 1H . Tìm:

- a- Chu kỳ dao động và điện dung C của mạch.
- b- Hiệu điện thế cực đại trên hai bản tụ.
- c- Năng lượng điện trường cực đại và năng lượng từ trường cực đại.

Bài 1.17. Một mạch dao động điện từ R, L, C có $L = 0,1/\pi (\text{H})$, $R = 2\Omega$. Hỏi sau thời gian bao lâu biên độ dao động giảm đi e lần.

Bài 1.18. Hai điểm sáng cách nhau một khoảng $y = 2\text{m}$ trên phương truyền sóng phẳng, bước sóng $\lambda = 1\text{m}$. Tìm hiệu pha của các dao động ở hai điểm đó tại cùng một thời điểm.

Bài 1.19. Một nguồn sóng O dao động với phương trình $x = \sin 2,5\pi t (\text{cm})$. Tìm ly độ dao động của một điểm M cách nguồn một khoảng $y = 20\text{m}$ tại thời điểm $t = 1\text{s}$. Biết vận tốc truyền sóng $u = 100\text{ m/s}$.

Bài 1.20. Một con dơi bay theo hướng tới vuông góc với một bức tường với vận tốc 6 m/s . Con dơi phát ra một tia siêu âm có tần số $4,5 \cdot 10^4\text{ Hz}$. Hỏi dơi nhận được âm phản xạ có tần số là bao nhiêu? Biết vận tốc âm truyền trong không khí là 340 m/s .

Bài giải:

Bài này ứng dụng hiệu ứng Doppler vào trường hợp con dơi nhận được âm phản xạ từ bức tường do chính nó phát ra. Do vậy có 2 quá trình:

1. Tần số bức tường nhận được âm do con dơi phát ra:

– Máy phát \leftrightarrow con dơi chuyển động lại gần tường với vận tốc $u = +6\text{m/s}$

- Máy thu \leftrightarrow tường đứng yên ($u' = 0$)
- Tường nhận được âm có tần số:

$$f' = \frac{v + u'}{v - u} \cdot f = \frac{v}{v - 6} \cdot f$$

2. Con dơi nhận được tần số do bức tường phản xạ lại

- Máy phát \leftrightarrow bức tường có vận tốc $u = 0$
- Máy thu \leftrightarrow con dơi chuyển động với vận tốc $u' = 6 \text{ m/s}$
- Con dơi nhận được được âm có tần số:

$$f'' = \frac{v + u'}{v - u} \cdot f' = \frac{v + 6}{v} \cdot f' (\text{Hz})$$

Vậy con dơi nhận được tần số là

$$f'' = \frac{v + 6}{v} \cdot \frac{v}{v - 6} \cdot f = \frac{v + 6}{v - 6} \cdot f = \frac{340 + 6}{340 - 6} \cdot 4,5 \cdot 10^4 = 4,66 \cdot 10^4 (\text{Hz})$$

Bài 1.21. Một nguồn âm phát ra một âm có tần số 500Hz chạy lại gần người quan sát với vận tốc là 200km/h. Hỏi người quan sát nghe thấy âm có tần số là bao nhiêu? Biết vận tốc âm truyền là 340m/s.

Bài 1.22. Một viên đạn bay với vận tốc 200m/s. Hỏi độ cao của tiếng rít thay đổi bao nhiêu lần khi viên đạn bay qua trên đầu một người quan sát đang đứng yên. Biết vận tốc âm là 333m/s.

Chương 2: GIAO THOA ÁNH SÁNG

2.1 Tóm tắt lý thuyết

1. **Hiện tượng giao thoa ánh sáng:** Xảy ra với nguồn sáng là hai nguồn sóng kết hợp (cùng tần số và có độ lệch pha không đổi theo thời gian)

– Quang lộ:

$$L = n.d \quad (2.1)$$

– Cực đại giao thoa:

$$\Delta L = L_1 - L_2 = k\lambda \quad (2.2)$$

trong đó, $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

– Cực tiểu giao thoa:

$$\Delta L = L_1 - L_2 = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (2.3)$$

với $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

– Trong môi trường chân không hoặc không khí thì $\Delta L = L_1 - L_2 = r_1 - r_2$, với r_1, r_2 là khoảng cách (hình học) từ 2 nguồn sáng đến điểm đang xét.

2. Giao thoa khe Young:

(a) Vị trí vân sáng:

$$y_s = k \frac{\lambda D}{\ell}; \quad (2.4)$$

với $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

(b) Vị trí vân tối:

$$y_t = (2k + 1) \frac{\lambda D}{2\ell}; \quad (2.5)$$

trong đó, $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

(c) Bề rộng của vân giao thoa (khoảng vân):

$$i = \frac{\lambda D}{\ell} \quad (2.6)$$

(d) Đặt bản mỏng bề dày e , chiết suất n trên đường đi qua khe S_2 . Hiệu quang lộ thay đổi:

$$\Delta L = L_1 - L'_2 = r_1 - (r_2 + (n-1)e) = r_1 - r_2 - (n-1)e = \frac{\ell y}{D} - (n-1)e \quad (2.7)$$

$$\rightarrow \Delta L = \frac{\ell y}{D} - (n-1)e. \text{ Vân sáng trung tâm } \Delta L = k\lambda = 0.$$

$$\Rightarrow y = \frac{(n-1)eD}{\ell} \quad (2.8)$$

3. Giao thoa bản mỏng có độ dày thay đổi – vân cùng độ dày:

- Hiệu quang lộ của 2 tia phản xạ trên hai mặt của bản mỏng:

$$\Delta L = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2} \quad (2.9)$$

4. Bản mỏng có độ dày không đổi (vân cùng độ nghiêng):

- Hiệu quang lộ của 2 tia phản xạ trên hai mặt của bản mỏng:

$$\Delta L = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2} \quad (2.10)$$

5. Nêm không khí:

- Hiệu quang lộ của 2 tia (một tia phản xạ ở mặt dưới của bản trên và một tia phản xạ ở mặt trên của bản dưới):

$$\Delta L = 2d + \frac{\lambda}{2} \quad (2.11)$$

- Vị trí các vân tối:

$$d_t = k\frac{\lambda}{2}; k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.12)$$

- Vị trí các vân sáng:

$$d_s = (2k-1)\frac{\lambda}{4}; k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.13)$$

6. Vân tròn Newton (bản chất là bài toán “nêm không khí”)

- Vị trí các vân tối:

$$d_t = k\frac{\lambda}{2}; k = 0, 1, 2, \dots \quad (2.14)$$

- Vị trí các vân sáng:

$$d_s = (2k - 1) \frac{\lambda}{4}; k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.15)$$

- Bán kính vân tối thứ k:

$$r_k = \sqrt{R\lambda} \sqrt{k} \quad (2.16)$$

7. Giao thoa kế Rayleigh:

- Độ dịch m khoảng vân:

$$m\lambda = (n - n_0)d \quad (2.17)$$

8. Giao thoa kế Michelson

- Hệ dịch m khoảng vân \rightarrow chiều dài vật:

$$\ell = \frac{m\lambda}{2} \quad (2.18)$$

2.2 Bài tập

Bài 2.1. Khoảng cách giữa hai khe trong máy giao thoa Young $\ell = 1\text{mm}$ khoảng cách giữa màn quan sát tới mặt phẳng chứa hai khe $D = 3\text{m}$. Khi toàn bộ hệ thống đặt trong không khí. Người ta đo được khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp $i = 1,5\text{mm}$.

- Tìm bước sóng của ánh sáng tới.
- Xác định vị trí của vân sáng thứ ba và vân tối thứ tư.
- Đặt trước một trong hai khe sáng một bản mỏng phẳng có hai mặt song song, chiết suất $n = 1,5$, bề dày $e = 10\mu\text{m}$. Xác định độ dịch chuyển của hệ thống vân giao thoa trên màn quan sát.
- Trong câu hỏi c) nếu đổ đầy nước (chiết suất $n' = 1,33$) vào khoảng cách cách giữa màn quan sát và mặt phẳng chứa khe thì hệ thống vân giao thoa có gì thay đổi? Hãy tính khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp trong trường hợp này.

Đáp số: a. $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$; b. $y_{s3} = 4,5 \text{ mm}$; $y_{t4} = 5,25 \text{ mm}$; c. $\Delta y = 1,5 \text{ cm}$;
d. Hệ thống sát lại gần nhau một đoạn $0,37 \text{ mm}$ và $i' = 1,13 \text{ mm}$

Bài 2.2. Hai khe Young cách nhau một khoảng $\ell = 1\text{mm}$, được chiếu bằng ánh sáng đơn sắc có bước sóng chưa biết. Màn quan sát được đặt cách mặt phẳng chứa hai khe một đoạn $D = 2\text{m}$. Khoảng cách từ vân sáng thứ nhất đến vân sáng thứ bảy là $7,2\text{mm}$. Tìm:

- a. Bước sóng của ánh sáng chiếu tới.
- b. Vị trí của vân tối thứ ba và vân sáng thứ tư.
- c. Độ dịch chuyển của hệ vân giao thoa trên màn quan sát, nếu đặt trước một trong hai khe một bản mỏng song song, trong suốt, chiết suất $n = 1,5$, bề dày $e = 0,02\text{mm}$.

Đáp số: a. $\lambda = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}$; b. $y_{t3} = 3 \text{ mm}$; $y_{s4} = 4,8 \text{ mm}$;
c. $\Delta y = 0,02 \text{ m}$

Bài 2.3. Hai khe Young cách nhau một khoảng $\ell = 2\text{mm}$, được chiếu bằng ánh sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda = 0,6\mu\text{m}$. Màn quan sát được đặt cách mặt phẳng chứa hai khe một đoạn $D = 1\text{m}$.

- a) Tìm vị trí vân sáng thứ tư và vân tối thứ năm.
- b) Đặt trước một trong hai khe một bản mỏng song song, trong suốt, chiết suất $n = 1,5$, hệ vân giao thoa trên màn quan sát dịch một khoảng 2mm . Tìm bề dày của bản mỏng.

Đáp số: a. $y_{s4} = 1,2 \text{ mm}$; $y_{t5} = 1,35 \text{ mm}$; b. $e = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

Bài 2.4. Hai khe Young cách nhau một khoảng $\ell = 1\text{mm}$, được chiếu bằng ánh sáng đơn sắc bước sóng $\lambda = 0,5\mu\text{m}$. Màn quan sát được đặt cách mặt phẳng chứa hai khe một đoạn $D = 2\text{m}$.

- a. Tìm khoảng vân giao thoa.
- b. Đặt trước một trong hai khe một bản mỏng song song, trong suốt, bề dày $e = 12\mu\text{m}$, hệ vân giao thoa trên màn quan sát dịch một khoảng 6mm . Tìm chiết suất của bản mỏng.

Đáp số: a. $i = 10^{-3} \text{ m}$; b. $n = 1,25$

Bài 2.5. Hai khe Young cách nhau một khoảng $\ell = 1\text{mm}$, được chiếu bằng ánh sáng đơn sắc có bước sóng chưa biết. Khi hệ thống đặt trong không khí cho khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp $i = 0,6\text{mm}$. Màn quan sát được đặt cách mặt phẳng chứa hai khe $D = 1\text{m}$.

- a) Tìm bước sóng của ánh sáng chiếu tới.
- b) Nếu đổ vào khoảng giữa màn quan sát và mặt phẳng chứa hai khe một chất lỏng thì khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp $i' = 0,45\text{mm}$. Tìm chiết suất của chất lỏng.

Đáp số: a. $\lambda = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}$; b. $n = \frac{4}{3}$

Bài 2.6. Hai khe Young cách nhau một khoảng $\ell = 1,2\text{mm}$, màn quan sát được đặt cách mặt phẳng chứa hai khe $D = 1,2\text{m}$. Chiếu ánh sáng đơn sắc màu xanh có bước sóng $\lambda_1 = 0,56 \cdot 10^{-6}\text{m}$.

a. Hệ thống khe đặt trong không khí. Nếu thay ánh sáng đơn sắc màu xanh $\lambda_1 = 0,56 \cdot 10^{-6}\text{m}$ trên bằng một ánh sáng đơn sắc màu đỏ có bước sóng $\lambda_2 = 0,7 \cdot 10^{-6}\text{m}$ thì độ rộng của mỗi khoảng vân màu đỏ tăng lên bao nhiêu lần so với khoảng vân màu xanh.

b. Cũng hỏi như trên nếu hệ thống khe đặt trong chất lỏng có chiết suất n .

Đáp số: a. 1,25 lần; b. 1,25 lần

Bài 2.7. Một chùm sáng trắng được rọi vuông góc với bản thủy tinh mỏng hai mặt song song, bề dày $e = 0,4\mu\text{m}$, chiết suất $n = 1,5$. Hỏi trong phạm vi quang phổ thấy được của chùm ánh sáng trắng (bước sóng từ $0,4$ đến $0,7\mu\text{m}$), những chùm tia phản chiếu có bước sóng nào sẽ được tăng cường?

Đáp số: $\lambda = 0,48\mu\text{m}$

Bài 2.8. Để đo chiết suất của khí Clo, người ta làm thí nghiệm sau: Trên đường đi của chùm tia sáng do một trong hai khe của máy giao thoa Young phát ra. Người ta đặt một ống thủy tinh dài $d = 2\text{cm}$ có đáy phẳng và song song với nhau. Lúc đầu trong ống chứa không khí, sau đó thay không khí bằng khí Clo, người ta quan sát thấy hệ thống vân giao thoa dịch chuyển đi một đoạn bằng 20 lần khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp (tức là 20 lần khoảng vân). Toàn bộ thí nghiệm được thực hiện trong buồng yên tĩnh và được giữ ở một nhiệt độ không đổi. Máy giao thoa (giao thoa kế Rayleigh) được chiếu bằng ánh sáng vàng Natri có bước sóng $\lambda = 0,589\mu\text{m}$. Chiết suất của không khí $n = 1,000276$. Tìm chiết suất của khí Clo.

Đáp số: $n' = 1,000865$

Bài 2.9. Trên mặt của một bản thủy tinh phẳng chiết suất $n = 1,5$, người ta phủ một màng mỏng trong suốt chiết suất $n' = 1,4$. Chiếu một chùm sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda_0 = 0,6\mu\text{m}$ theo phương vuông góc với mặt bản thủy tinh. Không khí có chiết suất $n_0 = 1$. Hãy xác định độ dày nhỏ nhất của màng mỏng để các cặp tia sáng phản xạ trên hai mặt của màng mỏng giao thoa với nhau và để cho cường độ sáng cực tiểu.

Đáp số: $d = 0,11\mu\text{m}$

Bài 2.10. Để làm giảm sự mất mát ánh sáng do phản chiếu trên một tấm thủy tinh

người ta phủ lên thủy tinh một lớp mỏng chất có chiết suất $n' = \sqrt{n}$, trong đó n là chiết suất của thủy tinh. Trong trường hợp này, biên độ của những dao động sáng phản xạ từ hai mặt của lớp mỏng sẽ bằng nhau. Hỏi bề dày nhỏ nhất của lớp màng mỏng bằng bao nhiêu để khả năng phản xạ của thủy tinh theo hướng pháp tuyến sẽ bằng 0 đối với ánh sáng có bước sóng $\lambda = 0,6\mu\text{m}$?

Đáp số: $d_{\min} = 0,12\mu\text{m}$

Bài 2.11. Một lớp mỏng lơ lửng trong không khí có độ dày $0,42\mu\text{m}$ và chiết suất $n = 1,5$ được rọi sáng bằng ánh sáng trắng tới đập vuông góc vào mặt lớp mỏng. Tìm bước sóng của ánh sáng khả kiến ($0,45\mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,75\mu\text{m}$) phản xạ từ hai mặt của lớp mỏng cho cực đại giao thoa.

Đáp số: $\lambda = 0,492\mu\text{m}$

Bài 2.12. Một chùm ánh sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda_1 = 0,6 \cdot 10^{-6}\text{ m}$ chiếu vuông góc với mặt dưới của bản mỏng nằm không khí. Tìm góc nghiêng của bản mỏng này. Cho biết độ rộng của 10 khoảng vân kế tiếp là 10 mm.

Đáp số: $\alpha \approx \sin \alpha = 3 \cdot 10^{-4}\text{ rad}$

Bài 2.13. Một chùm ánh sáng đơn sắc có bước sóng chưa biết chiếu vuông góc với mặt dưới của bản mỏng nằm không khí có góc nghiêng $\alpha = 1'$. Cho biết độ rộng của 10 khoảng vân kế tiếp là 10 mm. Tìm bước sóng ánh sáng chiếu vào.

Đáp số: $\lambda = 0,58\mu\text{m}$

Bài 2.14. Một chùm ánh sáng đơn sắc song song có bước sóng $\lambda = 0,5\mu\text{m}$ chiếu vuông góc với một mặt của nêm không khí. Quan sát trong ánh sáng phản xạ, người ta đo được độ rộng của mỗi vân giao thoa bằng $i = 0,5\text{mm}$.

a. Xác định góc nghiêng của nêm.

b. Chiếu đồng thời vào mặt nêm không khí hai chùm tia sáng đơn sắc có bước sóng lần lượt là $\lambda_1 = 0,5\mu\text{m}, \lambda_2 = 0,6\mu\text{m}$. Tìm vị trí tại đó các vân tối cho bởi hai chùm sáng nói trên trùng nhau. Coi cạnh của bản mỏng nằm không khí là vân tối bậc không.

Đáp số: a. $\alpha = 0,5 \cdot 10^{-3}\text{ rad}$; b. $k_2 = \frac{5}{6}k_1$

Bài 2.15. Một bản mỏng nằm thủy tinh có góc nghiêng $\alpha = 2'$ và chiết suất $n = 1,52$. Chiếu một chùm sáng đơn sắc song song vuông góc với một mặt của bản. Xác định

bước sóng của chùm sáng đơn sắc nếu khoảng cách giữa hai vân tối kế tiếp bằng $i = 0,3\text{mm}$.

Đáp số: $\lambda = 0,529\text{ }\mu\text{m}$

Bài 2.16. 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 $\lambda = 0,6\mu\text{m}$. Coi tâm của hệ vân tròn Newton là vân số 0.

Đáp số: $d_{s1} = 0,15\text{ }\mu\text{m}$

Bài 2.17. Cho một chùm sáng đơn sắc song song bước sóng $\lambda = 0,6\mu\text{m}$, chiếu vuông góc với mặt phẳng của bản mỏng không khí nằm giữa bản thủy tinh phẳng đặt tiếp xúc với mặt cong của một thấu kính phẳng - lồi. Tìm bề dày của lớp không khí tại vị trí vân tối thứ tư của chùm tia phản xạ. Coi tâm của hệ vân tròn Newton là vân số 0.

Đáp số: $d_{t4} = 1,2\text{ }\mu\text{m}$

Bài 2.18. Cho một chùm sáng đơn sắc song song chiếu vuông góc với mặt phẳng của bản mỏng không khí nằm giữa bản thủy tinh phẳng đặt tiếp xúc với mặt cong của một thấu kính phẳng - lồi. Bán kính mặt lồi thấu kính là $R = 8,6\text{m}$. Quan sát hệ vân tròn Newton qua chùm sáng phản xạ và đo được bán kính vân tối thứ tư là $r_4 = 4,5\text{mm}$. Xác định bước sóng của chùm sáng đơn sắc. Coi tâm của hệ vân tròn Newton là vân số 0.

Đáp số: $\lambda = 0,589\text{ }\mu\text{m}$

Bài 2.19. Trong thí nghiệm vân tròn Newton, thấu kính có bán kính cong $R = 5\text{m}$, bán kính của vân sáng ngoài cùng là 10mm . Hỏi có bao nhiêu vân sáng nhìn thấy được khi bước sóng của ánh sáng chiếu tới là 589nm , hệ thống đặt trong chất lỏng có $n = 1,4$, thủy tinh có chiết suất $1,6$.

Đáp số: $k = 48$ vân sáng

Bài 2.20. Cho một chùm sáng đơn sắc song song chiếu vuông góc với mặt phẳng của bản mỏng không khí nằm giữa bản thủy tinh phẳng đặt tiếp xúc với mặt cong của một thấu kính phẳng - lồi. Bán kính mặt lồi thấu kính là $R = 15\text{m}$. Quan sát hệ vân tròn Newton qua chùm sáng phản xạ và đo được khoảng cách giữa vân tối thứ tư và vân tối thứ hai mươi lăm bằng 9mm . Xác định bước sóng của chùm sáng đơn sắc. Coi tâm của hệ vân tròn Newton là vân số 0.

Đáp số: $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$

Bài 2.21. Một chùm sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$ được rọi vuông góc với mặt nêr thủy tinh (chiết suất $n = 1,5$). Xác định góc nghiêng của nêr. Biết rằng số vân giao thoa chứa trong khoảng $\ell = 1 \text{ cm}$ là $N = 10$.

Đáp số: $\alpha = 2.10^{-4} \text{ rad}$

Bài 2.22. Một thấu kính có một mặt phẳng và 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 bằng $D_1 = 10 \text{ mm}$ và $D_2 = 15 \text{ mm}$. Xác định bước sóng ánh sáng dùng trong thí nghiệm.

Đáp số: $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$

Bài 2.23. Trong hệ thống của vân tròn Newton, người ta đổ đầy một chất lỏng có chiết suất nhỏ hơn chiết suất của thủy tinh vào khe giữa thấu kính thủy tinh và bản thủy tinh phẳng. Xác định chiết suất của chất lỏng nếu ta quan sát vân phản chiếu và thấy bán kính của vân tối thứ 3 bằng $3,65 \text{ mm}$. Cho bán kính là $R = 10 \text{ m}$, bước sóng của ánh sáng tới $\lambda = 0,589 \mu\text{m}$, vân tối ở tâm là vân tối số 0 ($k = 0$).

Đáp số: $n = 1,33$

Bài 2.24. 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 $n_1 = 1,5$ và $n_2 = 1,7$. Bán kính cong của mặt cầu của thấu kính là $R = 100 \text{ cm}$, 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 $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$.

Đáp số: $r_3 = 1,33 \text{ mm}$

Bài 2.25. Người ta dùng giao thoa kế Michelson để đo độ giãn nở dài của một vật. Ánh sáng đơn sắc dùng trong thí nghiệm có bước sóng $\lambda = 0,6.10^{-6} \text{ m}$. Khi dịch chuyển gương di động từ vị trí ban đầu (ứng với lúc vật chưa bị nung nóng) đến vị trí cuối (ứng với lúc sau khi vật đã bị nung nóng), người ta quan sát thấy có 5 vạch dịch chuyển trong kính quan sát. Hỏi sau khi giãn nở vật đã dài thêm bao nhiêu?

Đáp số: $\Delta \ell = 1,5.10^{-5} \text{ cm}$

Bài 2.26. Trong thí nghiệm dùng giao thoa kế Michelson, khi dịch chuyển gương đi động một khoảng $L = 0,161\text{mm}$, người ta quan sát thấy hình giao thoa dịch đi 500 vân. Tìm bước sóng của ánh sáng dùng trong thí nghiệm.

Đáp số: $\lambda = 0,644\ \mu\text{m}$

Bài 2.27. Để đo chiết suất của khí Amoniac, trên đường đi của một chùm tia trong giao thoa kế Michelson, người ta đặt một ống đã rút chân không có độ dài là $\ell = 14\text{ cm}$, đầu ống được nút kín bởi các bản thủy tinh phẳng mặt song song. Khi bơm đầy khí Amoniac vào ống, người ta thấy hình giao thoa dịch đi 180 vân. Tìm chiết suất của khí Amoniac, biết rằng ánh sáng dùng trong thí nghiệm có bước sóng $\lambda = 0,59\mu\text{m}$.

Đáp số: $n = 1,00038$

Chương 3: NHIỀU XẠ ÁNH SÁNG

1. Phương pháp đối cầu Fresnel:

- Bán kính đối cầu thứ k:

$$r_k = \sqrt{k} \sqrt{\frac{Rb\lambda}{R+b}}, \quad (3.1)$$

trong đó:

- R là bán kính của mặt cầu S (mặt sóng) bao quanh nguồn điểm O ,
- b là khoảng cách từ điểm được chiếu sáng M tới đối cầu thứ nhất,
- λ là bước sóng ánh sáng do nguồn S phát ra,
- $k = 1, 2, 3, \dots$

2. Nhiễu xạ gây bởi sóng cầu qua lỗ tròn:

- Giả sử vẽ được n đối cầu Fresnel chứa trong lỗ tròn \rightarrow biên độ ánh sáng tổng hợp tại điểm M là:

$$a_M = a_1 - a_2 + a_3 - \dots \pm a_n = \begin{cases} \frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2}; n = 2k + 1 \\ \frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2}; n = 2k \end{cases} \quad (3.2)$$

- Cường độ sáng tại M khi không có lỗ tròn: $n \rightarrow \infty, a_n = 0; I_M = I_0$

$$a_M = \frac{a_1}{2} \Rightarrow I_M = \frac{a_1^2}{4} = I_0 \quad (3.3)$$

- Lỗ tròn chứa số đối cầu lẻ:

$$a_M = \frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2} \Rightarrow I_M = \left(\frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2}\right)^2 > I_0 \quad (3.4)$$

• Lỗ tròn chứa một đối cầu

$$a_M = \frac{a_1}{2} + \frac{a_1}{2} = a_1 \Rightarrow I_M = a_1^2 = 4I_0 \quad (3.5)$$

Điểm M sáng nhất.

- Lỗ tròn chứa số đối cầu chắn:

$$a_M = \frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2} \Rightarrow I_M = \left(\frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2}\right)^2 < I_0 \quad (3.6)$$

• Lỗ tròn chứa hai đối cầu

$$a_M = \frac{a_1}{2} - \frac{a_1}{2} \approx 0 \Rightarrow I_M \approx 0 \quad (3.7)$$

Điểm M tối nhất.

3. Nhiễu xạ gây bởi sóng cầu qua đĩa tròn:

- Giả sử đĩa tròn che m đối cầu \rightarrow biên độ sáng tổng hợp tại điểm M là:

$$a_M = a_{m+1} - a_{m+2} + a_{m+3} - a_{m+4} + \dots \approx \frac{a_{m+1}}{2} \quad (3.8)$$

- Nếu đĩa che mất nhiều đối thì cường độ sáng tại điểm M gần như bằng 0.

4. Nhiễu xạ gây bởi sóng phẳng qua 1 khe hẹp:

- Các tia nhiễu xạ có góc lệch $\varphi = 0 \Rightarrow$ cực đại giữa.

- Các tia nhiễu xạ có góc lệch thỏa mãn:

$$\sin \varphi = k \frac{\lambda}{b}; k = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3.9)$$

\rightarrow cực tiểu nhiễu xạ.

- Các tia nhiễu xạ có góc lệch thỏa mãn:

$$\sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2b}; k = 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (3.10)$$

\rightarrow cực đại nhiễu xạ.

5. Nhiễu xạ gây bởi sóng phẳng qua nhiều khe hẹp. Cách tử nhiễu xạ:

b : bề rộng của 1 khe hẹp, d : khoảng cách giữa các khe hẹp (\rightarrow chu kỳ cách tử).

- Những tia nhiễu xạ có góc lệch thỏa mãn:

$$\sin \varphi = k \frac{\lambda}{d}; k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3.11)$$

\rightarrow cực đại nhiễu xạ.

- Các tia nhiễu xạ có góc lệch thỏa mãn:

$$\sin \varphi = k \frac{\lambda}{b}; k = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3.12)$$

\rightarrow cực tiểu nhiễu xạ.

- Vì $d > b$ nên giữa hai cực tiểu chính có thể có nhiều cực đại chính.
Số cực đại chính nằm giữa hai cực tiểu chính là:

$$\sin \varphi = m \frac{\lambda}{d} < \frac{\lambda}{b} \Rightarrow |m| < \frac{d}{b} \quad (3.13)$$

- Giữa 2 cực đại chính có $N - 1$ cực tiểu phụ và $N - 2$ cực đại phụ.

3.1 Bài tập

Bài 3.1. Tính bán kính của bốn đới cầu Fresnel đầu tiên, biết rằng ánh sáng truyền tới là sóng cầu có bán kính mặt sóng $R=1\text{m}$, bước sóng là $\lambda = 0,5\mu\text{m}$ và điểm quan sát nằm cách tâm sóng ánh sáng một khoảng 2 m.

Đáp số: $r_1 = 0,5 \text{ mm}; \quad r_2 = 0,71 \text{ mm}; \quad r_3 = 0,86 \text{ mm}; \quad r_4 = 1 \text{ mm}$

Bài 3.2. Chiếu ánh sáng đơn sắc bước sóng $\lambda = 0,5\mu\text{m}$ vào một lỗ tròn bán kính chưa biết. Nguồn sáng điểm đặt cách lỗ tròn 2m, sau lỗ tròn 2m đặt màn quan sát. Hỏi bán kính của lỗ tròn bằng bao nhiêu để tâm của hình nhiễu xạ là tối nhất.

Đáp số: $r = 10^{-3} \text{ m}$

Bài 3.3. Một màn ảnh được đặt cách một nguồn sáng điểm đơn sắc ($\lambda = 0,5\mu\text{m}$) một khoảng 2m. Chính giữa khoảng ấy có đặt một lỗ tròn đường kính 0,2cm. Hỏi hình nhiễu xạ trên màn ảnh có tâm sáng hay tối.

Đáp số: Có tâm tối

Bài 3.4. Một nguồn sáng điểm chiếu ánh sáng đơn sắc bước sóng $\lambda = 0,5\mu\text{m}$ vào một lỗ tròn có bán kính $r = 1\text{mm}$. Khoảng cách từ nguồn sáng đến lỗ tròn $R = 1\text{m}$. Tìm khoảng cách từ lỗ tròn đến màn quan sát để lỗ tròn chứa ba đới Fresnel.

Đáp số: $b = 2 \text{ m}$

Bài 3.5. 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 dòng trong thí nghiệm nếu tâm của hình nhiễu xạ có độ sáng cực đại khi lỗ $r_1 = 1,0 \text{ mm}$ và có độ sáng cực đại tiếp theo khi bán kính lỗ $r_2 = 1,29 \text{ mm}$.

Đáp số: $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$

Bài 3.6. Một nguồn sáng điểm S nằm trên trục của lỗ tròn, cách lỗ tròn 2m. Ánh sáng đơn sắc phát ra từ nguồn có bước sóng $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$ chiếu vào một lỗ tròn. Sau lỗ tròn 2 m có đặt màn quan sát vuông góc với trục của lỗ tròn. Hãy xác định bán kính r của lỗ tròn để tâm của ảnh nhiễu xạ trên màn quan sát là tối nhất. Muốn tâm của ảnh nhiễu xạ là sáng nhất thì bán kính của lỗ tròn thay đổi như thế nào.

Đáp số: Tâm nhiễu xạ tối nhất khi $r = 1 \text{ mm}$;

Tâm nhiễu xạ sáng nhất khi $r = 0,71 \text{ mm}$;

Bài 3.7. Một nguồn sáng S đặt cách màn quan sát một khoảng $x = 2\text{m}$. Ánh sáng do nguồn S phát ra có bước sóng $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$. Ở chính giữa khoảng cách x , người ta đặt một màn chắn sáng trên đó có một lỗ tròn đường kính $D = 2\text{m}$. Nguồn sáng S nằm trên trục của lỗ tròn và màn quan sát đặt vuông góc với trục của lỗ tròn. Trong trường hợp này tâm của ảnh nhiễu xạ trên màn quan sát là sáng hay tối.

Đáp số: Tâm nhiễu xạ tối

Bài 3.8. Đặt một màn quan sát cách một nguồn sáng điểm phát ra ánh sáng đơn sắc bước sóng $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$ một khoảng x . Chính giữa khoảng x đặt một đĩa tròn nhỏ chắn sáng đường kính 1mm. Hỏi x bằng bao nhiêu để điểm M_0 trên màn quan sát có độ sáng gần giống như chưa đặt đĩa tròn, biết điểm M_0 và nguồn sáng đều nằm trên trục của đĩa tròn.

Đáp số: $x = 1,67 \text{ m}$

Bài 3.9. Một chùm tia sáng đơn sắc song song bước sóng $\lambda = 0,589 \mu\text{m}$ 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).

Đáp số: $\varphi_1 = 17^\circ 8'$; $\varphi_2 = 36^\circ 5'$; $\varphi_3 = 62^\circ$

Bài 3.10. Chiếu một chùm tia sáng đơn sắc song song vuông góc với một khe hẹp. Bước sóng ánh sáng bằng bề rộng $\frac{1}{6}$ của khe hẹp. Hỏi cực tiểu nhiễu xạ thứ ba được quan sát dưới góc lệch bằng bao nhiêu?

Đáp số: $\varphi = 30^\circ$

Bài 3.11. Một chùm tia sáng đơn sắc song song ($\lambda = 5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$) được rọi thẳng góc với một khe hẹp có bề rộng bằng $b = 2 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$. 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.)

Đáp số: $\ell = 5\text{ cm}$

Bài 3.12. Một chùm tia sáng đơn sắc song song chiếu vuông góc với mặt khe chữ nhật hẹp. Độ rộng của khe hẹp là $b = 0,10\text{ mm}$. Sát phía sau khe hẹp có đặt một thấu kính hội tụ tiêu cự $f = 100\text{ cm}$. Người ta đo được độ rộng của cực đại trung tâm trên màn quan sát là 12 mm . Hãy xác định bước sóng của ánh sáng chiếu vào.

Đáp số: $\lambda = 0,6\text{ }\mu\text{m}$

Bài 3.13. Chiếu một chùm tia sáng đơn sắc song song (bước sóng $\lambda = 4358,34\text{ \AA}$) vuông góc với một cách tử truyền qua. Tìm góc lệch ứng với vạch quang phổ thứ ba, biết rằng trên 1mm của cách tử có 500 vạch.

Đáp số: $\varphi_3 = 40^\circ 49' 30''$

Bài 3.14. Một chùm tia sáng được rọi vuông góc với một cách tử. Biết rằng góc nhiễu xạ đối với vạch quang phổ $\lambda_1 = 0,65\text{ }\mu\text{m}$ trong quang phổ bậc hai bằng $\varphi = 45^\circ$. Xác định góc nhiễu xạ ứng với vạch quang phổ $\lambda_2 = 0,5\text{ }\mu\text{m}$ trong quang phổ bậc ba.

Đáp số: $\varphi_2 = 55^\circ 40'$

Bài 3.15. Cho một chùm tia sáng đơn sắc song song có bước sóng $\lambda = 0,7\text{ }\mu\text{m}$ chiếu vuông góc với mặt của một cách tử truyền qua. Trên mặt phẳng tiêu của thấu kính hội tụ đặt ở sát phía sau cách tử, người ta quan sát thấy vạch quang phổ bậc ba lệch $\varphi = 48^\circ 36'$. Xác định:

- Chu kỳ cách tử và số khe trên 1cm chiều dài của cách tử.
- Số cực đại chính nằm trong khoảng giữa hai cực tiểu chính bậc nhất trong ảnh nhiễu xạ. Cho biết mỗi khe của cách tử có độ rộng $b = 0,7\text{ }\mu\text{m}$, $\sin 48^\circ 36' = 0,75$.

Đáp số: $d = 2,8 \cdot 10^{-4}\text{ cm}$; $n = 3571\text{ khe/cm}$; b. Có 7 cực đại chính

Bài 3.16. Cho một cách tử phẳng có chu kỳ cách tử $d = 2\text{ }\mu\text{m}$. Sau cách tử đặt một thấu kính hội tụ, trên màn quan sát đặt tại mặt phẳng tiêu của thấu kính người ta quan sát thấy khoảng cách giữa hai quang phổ bậc nhất ứng với bước sóng $\lambda_1 = 0,4044\text{ }\mu\text{m}$ và $\lambda_2 = 0,4047\text{ }\mu\text{m}$ bằng $0,1\text{ mm}$. Xác định tiêu cự của thấu kính.

Đáp số: $f = 0,625\text{ m}$

Bài 3.17. Một chùm ánh sáng trắng song song chiếu vuông góc vào mặt một cách tử phẳng. Cho biết trên mỗi milimet chiều dài của cách tử có $n = 50$ khe. Phía sau cách tử đặt một thấu kính hội tụ. Xác định hiệu số các góc nhiễu xạ ứng với vạch đỏ có bước sóng $\lambda_1 = 0,76\mu\text{m}$ nằm ở cuối quang phổ bậc nhất và vạch tím có bước sóng $\lambda_2 = 0,4\mu\text{m}$ nằm ở đầu quang phổ bậc hai.

Đáp số: $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 7'$

Bài 3.18. Cho một chùm tia sáng đơn sắc song song chiếu vuông góc vào mặt của một cách tử phẳng có chu kỳ $d = 2\mu\text{m}$. Xác định bậc lớn nhất của các vạch cực đại trong quang phổ nhiễu xạ cho bởi cách tử đối với ánh sáng đỏ có bước sóng $\lambda_1 = 0,7\mu\text{m}$ và đối với ánh sáng tím có bước sóng $\lambda_2 = 0,42\mu\text{m}$.

Đáp số: $m_{\lambda_1}(\text{max}) = 2; \quad m_{\lambda_2}(\text{max}) = 4$

Bài 3.19. Trong thí nghiệm đo bước sóng ánh sáng, người ta dùng một cách tử phẳng truyền qua dài 5cm, ánh sáng tới vuông góc với mặt của cách tử. Đối với ánh sáng Natri ($\lambda = 0,589\mu\text{m}$) góc nhiễu xạ ứng với vạch quang phổ bậc nhất là $17^\circ 18'$. Đối với ánh sáng đơn sắc có bước sóng cần đo, người ta quan sát thấy vạch quang phổ bậc ba dưới góc nhiễu xạ $38^\circ 22'$.

- Tìm tổng số khe trên cách tử.
- Xác định bước sóng ánh sáng đơn sắc cần đo.

Đáp số: a. $n = 25000$; b. $\lambda = 0,4099\mu\text{m}$

Bài 3.20. Cho một cách tử có chu kỳ là $2\mu\text{m}$.

- Hãy xác định số vạch cực đại chính tối đa cho bởi cách tử nếu ánh sáng dùng trong thí nghiệm là ánh sáng vàng của ngọn lửa Natri ($\lambda = 5890\text{ \AA}$).
- Tìm bước sóng cực đại để có thể quan sát được trong quang phổ cho bởi cách tử đó.

Đáp số: a. $N_{\text{max}} = 7$; b. $\lambda_{\text{max}} = 2\mu\text{m}$

Bài 3.21. Ánh sáng có bước sóng 600nm đến dọi vuông góc với một cách tử nhiễu xạ. Hai cực đại kế tiếp xuất hiện tại các góc nhiễu xạ $\sin\varphi = 0,2$ và $\sin\varphi = 0,3$. Cực đại của phổ bậc 4 không quan sát được. Tính:

- Chu kỳ cách tử.
- Khoảng cách giữa hai cực đại chính bậc nhất trên màn quan sát đặt tại tiêu điểm của thấu kính hội tụ tiêu cự $f = 50\text{ cm}$.

Đáp số: a. $d = 6 \mu\text{m}$; b. $L = 0,1 \text{ m}$

Bài 3.22. Một chùm sáng song song có bước sóng $\lambda = 5.10^{-5} \text{ cm}$, chiếu vuông góc với cách tử truyền qua có chu kỳ $d = 10^{-2} \text{ mm}$, độ rộng của một khe $b = 2,4.10^{-3} \text{ mm}$.

- a. Tìm góc nhiễu xạ ứng với cực đại chính bậc hai.
- b. Có bao nhiêu cực đại chính nằm giữa hai cực tiểu chính bậc nhất.

Đáp số: a. $\varphi = 5,74^\circ$; b. có 9 cực đại chính

Bài 3.23. Một chùm tia sáng đơn sắc song song chiếu vào một cách tử phẳng. Phía sau cách tử đặt một thấu kính hội tụ. Hãy xác định vạch sáng nào trong quang phổ bậc ba sẽ trùng với vạch sáng đỏ ứng với bước sóng $\lambda_1 = 670\text{nm}$ trong quang phổ bậc hai trên màn quan sát đặt trùng với mặt tiêu của thấu kính.

Đáp số: $\lambda_2 = 0,447 \mu\text{m}$

Chương 5: PHÂN CỰC ÁNH SÁNG

5.1 Tóm tắt lý thuyết

1. **Định lý Malus:** Khi cho một chùm tia sáng tự nhiên rọi qua kính phân cực và kính phân tích đặt kế tiếp nhau thì cường độ sáng sau bản T_2 sau kính phân tích liên hệ với cường độ sáng sau bản T_1 :

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha; \quad (5.1)$$

trong đó, I_1 là cường độ sáng sau kính phân cực; α : góc tạo bởi hai quang trục Δ_1 và Δ_2 .

2. **Phân cực do phản xạ, góc tới Brewster:** Khi ánh sáng tự nhiên phản xạ trên mặt phân cách của hai môi trường, ánh sáng phản xạ sẽ bị phân cực toàn phần nếu góc tới i_B thỏa mãn điều kiện:

$$\tan i_B = n_{21}, \quad (5.2)$$

trong đó i_B được gọi là góc tới Brewster, n_{21} là chiết suất tỉ đối của môi trường chứa tia khúc xạ so với môi trường chứa tia tới.

3. **Cường độ sáng sau các lăng kính Nicol:** Khi rọi một chùm tia sáng tự nhiên qua hai lăng kính Nicol đặt kế tiếp nhau thì cường độ sáng I_2 sau lăng kính Nicol thứ hai bằng:

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha; \quad (5.3)$$

trong đó, I_1 là cường độ sáng sau lăng kính Nicol thứ nhất; α : góc giữa hai mặt phẳng chính của hai lăng kính Nicol.

4. **Phân cực do lưỡng chiết:** Tia sáng đi qua bản phân cực bị tách thành hai tia: tia thường E_o và tia bất thường E_e .

5. Ánh sáng phân cực ellip và ánh sáng phân cực tròn:

- Ánh sáng phân cực toàn phần sau khi đi qua bản T có bề dày d bị tách thành hai tia: tia thường $E_o \perp \Delta$ và tia bất thường $E_e \parallel \Delta$.
- Tia sáng sau khi ra khỏi bản T sẽ là tổng hợp của hai tia E_o và E_e : $\vec{E} = \vec{E}_o + \vec{E}_e$

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - 2\frac{xy}{A_1 A_2} \cos \Delta\varphi = \sin^2 \Delta\varphi; \quad (5.4)$$

với $A_1 = A \sin \alpha$, $A_2 = A \cos \alpha$, α là góc hợp bởi phương dao động của ánh sáng trước khi đi vào bản T và quang trục của bản R.

- Hiệu quang lộ của 2 tia O và tia E tại 1 điểm M sau bản:

$$\Delta L = L_o - L_e = (n_o - n_e)d \quad (5.5)$$

- Hiệu số pha của 2 tia O và tia E tại 1 điểm M sau bản:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(L_o - L_e) = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d \quad (5.6)$$

6. Bản phần tư bước sóng: Chiều dày của bản T thỏa mãn điều kiện:

$$\Delta L = (n_o - n_e)d = (2k + 1)\frac{\lambda}{4} \quad (5.7)$$

\Rightarrow ánh sáng phân cực toàn phần \Rightarrow ánh sáng phân cực ellip.

- $\alpha = 45^\circ \Rightarrow$ ánh sáng phân cực tròn.

7. Bản nửa bước sóng: Chiều dày của bản T thỏa mãn điều kiện:

$$\Delta L = (n_o - n_e)d = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \quad (5.8)$$

\Rightarrow ánh sáng phân cực toàn phần \Rightarrow vẫn là ánh sáng phân cực toàn phần nhưng phương dao động của \vec{E} quay đi một góc 2α .

8. Bản một bước sóng: Chiều dày của bản T thỏa mãn điều kiện:

$$\Delta L = (n_o - n_e)d = k\lambda \quad (5.9)$$

\Rightarrow ánh sáng sau khi ra khỏi bản T giống như ánh sáng trước khi vào bản.

9. Sự quay mặt phẳng phân cực: Chiều tia sáng phân cực dọc theo quang trục \Rightarrow mặt phẳng dao động quay đi một góc α

$$\alpha = [\alpha]\rho d; \quad (5.10)$$

với ρ : khối lượng riêng, d : bề dày bản.

5.2 Bài tập

Bài 5.1. Cho biết khi ánh sáng truyền từ một chất có chiết suất n ra ngoài không khí thì xảy ra hiện tượng phản xạ toàn phần của ánh sáng ứng với góc giới hạn $i_{gh} = 45^\circ$. Xác định góc tới Brewster của chất này, môi trường chứa tia tới là không khí.

Đáp số: $i_B = 54^\circ 43'$

Bài 5.2. Ánh sáng tự nhiên truyền từ không khí tới chiếu vào một bản thuỷ tinh. Cho biết ánh sáng phản xạ bị phân cực toàn phần khi góc khúc xạ $r = 33^\circ$. Xác định chiết suất của bản thuỷ tinh.

Đáp số: $n = 1,56$

Bài 5.3. Xác định góc tới Brewster của một mặt thuỷ tinh có chiết suất $n_1 = 1,57$ khi môi trường ánh sáng tới là:

- Không khí.
- Nước có chiết suất $n_2 = 4/3$.

Đáp số: a. $i_B = 57^\circ 30'$; b. $i_B = 49^\circ 43'$

Bài 5.4. Một chùm tia sáng sau khi truyền qua một chất lỏng đựng trong một bình thuỷ tinh, phản xạ trên đáy bình. Tia phản xạ bị phân cực toàn phần khi góc tới trên đáy bình bằng $42^\circ 37'$, chiết suất của bình thuỷ tinh $n = 1,5$. Tính:

- Chiết suất của chất lỏng.
- Góc tới trên đáy bình để chùm tia phản xạ trên đó phản xạ toàn phần.

Đáp số: a. $n = 1,63$; b. $i_B = 66^\circ 56'$

Bài 5.5. Cho một chùm tia sáng tự nhiên chiếu vào mặt của một bản thuỷ tinh nhúng trong chất lỏng. Chiết suất của thuỷ tinh là $n_1 = 1,5$. Cho biết chùm tia phản xạ trên mặt thuỷ tinh bị phân cực toàn phần khi các tia phản xạ hợp với các tia tới một góc $\varphi = 97^\circ$. Xác định chiết suất n_2 của chất lỏng.

Đáp số: $n_2 = 1,33$

Bài 5.6. Ánh sáng phản chiếu trên một mặt thuỷ tinh đặt trong không khí sẽ bị phân cực toàn phần khi góc khúc xạ $r = 30^\circ$. Tìm chiết suất của loại thuỷ tinh trên.

Đáp số: $n = 1,73$

Bài 5.7. 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 bản thủy tinh) hợp với tia tới một góc $\varphi = 97^\circ$, và bị phân cực toàn phần. Xác định chiết suất của chất lỏng, cho $n_{tt}=1,5$.

Đáp số: $n_1 = 1,33$

Bài 5.8. 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.

Đáp số: $\alpha = 45^\circ$

Bài 5.9. Mặt phẳng chính (mặt phẳng dao động) của hai lăng kính nicol N_1 và N_2 hợp với nhau một góc $\alpha = 60^\circ$. Hỏi:

- Cường độ ánh sáng giảm đi bao nhiêu lần sau khi đi qua nicol N_1 .
- Cường độ ánh sáng giảm đi bao nhiêu lần sau khi đi qua cả hai nicol.

Biết rằng, khi truyền qua mỗi lăng kính nicol, ánh sáng bị phản xạ và hấp thụ mất $k = 5\%$.

Đáp số: a. giảm 2,1 lần; b. giảm 8,86 lần

Bài 5.10. Một chùm tia sáng phân cực thẳng có bước sóng trong chân không $\lambda = 0,589\mu\text{m}$ 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.

Đáp số: a. $\lambda_o = 3,55 \cdot 10^{-7} \text{ m}$; b. $\lambda_e = 3,95 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

Bài 5.11. Một bản thạch anh được cắt song song với quang trục và có độ dày $d = 1\text{mm}$. Chiếu ánh sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda = 0,6\mu\text{m}$ vuông góc với mặt bản. Tính hiệu quang lộ và hiệu pha của tia thường và tia bất thường truyền qua bản thạch anh, biết rằng chiết suất của bản đối với tia thường và tia bất thường lần lượt bằng $n_o = 1,544$, $n_e = 1,535$.

Đáp số: $\Delta\varphi = 30\pi \text{ rad}$

Bài 5.12. Tìm bề dày nhỏ nhất của bản $1/4$ bước sóng nếu chiết suất đối với tia thường và tia bất thường lần lượt là $n_o = 1,658$ và $n_e = 1,488$, bước sóng ánh sáng $\lambda = 0,545\mu\text{m}$.

Đáp số: $d_{\min} = 0,8 \mu\text{m}$

Bài 5.13. Cho biết đối với ánh sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda = 0,545\mu\text{m}$ thì chiết suất của bản phần tư bước sóng đối với tia thường và tia bất thường truyền trong bản có giá trị lần lượt bằng $n_o = 1,658$ và $n_e = 1,488$. Hỏi bản phần tư bước sóng có độ dày nhỏ nhất bằng bao nhiêu?

Đáp số: $d_{\min} = 8,01 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

Bài 5.14. Một bản thạch anh được cắt song song với quang trục của nó với độ dày không vượt quá $0,5\text{mm}$. Xác định độ dày lớn nhất của bản thạch anh này để chùm ánh sáng phân cực phân cực thẳng có bước sóng $\lambda = 0,589\mu\text{m}$ sau khi truyền qua bản thoả mãn điều kiện sau:

- Mặt phẳng phân cực bị quay đi một góc nào đó.
- Trở thành ánh sáng phân cực tròn.

Cho biết hiệu số chiết suất của tia thường và tia bất thường đối với bản thạch anh $n_e - n_o = 0,009$.

Đáp số: a. $d_{\min} = 0,49 \text{ mm}$; b. $d_{\min} = 0,47 \text{ mm}$

Bài 5.15. Một bản tinh thể được cắt song song với quang trục và có bề dày $d = 0,25 \text{ mm}$ được dùng làm bản $1/4$ bước sóng (đối với bước sóng $\lambda = 0,530\mu\text{m}$). Hỏi, đối với những bước sóng nào của ánh sáng trong vùng quang phổ thấy được, nó cũng là một bản $1/4$ bước sóng? Coi rằng đối với mọi bước sóng trong vùng khả kiến ($\lambda = 0,4\mu\text{m} \div 0,7\mu\text{m}$), hiệu chiết suất của tinh thể đối với tia bất thường và tia thường, đều bằng nhau và bằng $n_e - n_o = 0,009$.

Đáp số: $\lambda_1 = 0,692 \mu\text{m}$; $\lambda_2 = 0,60 \mu\text{m}$; $\lambda_3 = 0,473 \mu\text{m}$; $\lambda_4 = 0,430 \mu\text{m}$

Bài 5.16. Một bản thạch anh được cắt song song với quang trục và được đặt vào giữa hai nicol bất chéo nhau sao cho quang trục của bản hợp với mặt phẳng chính của các nicol một góc $\alpha = 45^\circ$. Tìm bề dày nhỏ nhất của bản để ánh sáng bước sóng $\lambda_1 = 0,643\mu\text{m}$ có cường độ sáng cực đại, còn ánh sáng bước sóng $\lambda_2 = 0,564\mu\text{m}$ có cường độ sáng cực tiểu, sau khi chúng truyền qua hệ thống hai nicol trên. Coi hiệu suất của bản thạch anh đối với tia bất thường và tia thường ứng với cả hai bước sóng trên đều bằng $n_e - n_o = 0,009$.

Đáp số: $d = 0,25 \mu\text{m}$

Bài 5.17. Giữa hai kính nicol song song người ta đặt một bản thạch anh có các mặt vuông góc với quang trục. Khi bản thạch anh có độ dày $d_1 = 2\text{mm}$ thì mặt phẳng

phân cực của ánh sáng đơn sắc truyền qua nó bị quay đi một góc $\varphi = 53^\circ$. Xác định độ dày d_2 của bản thạch anh này để ánh sáng đơn sắc không truyền qua được kính nicol phân tích.

Đáp số: $d_2 = 3,4 \text{ mm}$

Bài 5.18. Một bản phân cực có độ dày nhỏ nhất $d_{min} = 1,732 \mu\text{m}$. Cho biết chiết suất của bản đối với tia thường và tia bất thường lần lượt bằng $n_o = 1,658, n_e = 1,488$. Xác định bước sóng của ánh sáng truyền tới bản, biết ánh sáng phân cực thẳng sau khi qua bản mặt phẳng phân cực bị quay đi một góc.

Đáp số: $\lambda = 0,589 \mu\text{m}$

Bài 5.19. Ánh sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda = 545 \text{ nm}$ thì chiết suất của bản phân cực đối với tia thường và tia bất thường lần lượt bằng $n_o = 1,658, n_e = 1,488$. Cho biết ánh sáng phân cực thẳng đi qua bản phân cực trở thành ánh sáng phân cực elip. Hỏi bản có độ dày nhỏ nhất bằng bao nhiêu. Để ánh sáng sau khi qua bản thành ánh sáng phân cực tròn cần thêm điều kiện gì?

Đáp số: $d = 0,589 \mu\text{m}$

Chương 6: THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP EINSTEIN

6.1 Tóm tắt lý thuyết

1. **Phép biến đổi Lorentz:** Xét hai hệ qui chiếu quán tính K và K'. Tại $t = 0$, hai gốc O, O' trùng nhau, K' chuyển động thẳng đều so với K với vận tốc V theo phương x .

$$K \Rightarrow K' \begin{cases} x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{V}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \end{cases} \quad K' \Rightarrow K \begin{cases} x = \frac{x' + Vt'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \frac{t' + \frac{V}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \end{cases} \quad (6.1)$$

2. **Sự co ngắn Lorentz:**

$$\ell = \ell_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (6.2)$$

trong đó, ℓ là chiều dài (dọc theo phương chuyển động) của vật trong hệ quy chiếu mà nó chuyển động (hệ quy chiếu K) với vận tốc v ; ℓ_0 là chiều dài của vật đó trong hệ quy chiếu mà vật đứng yên (hệ quy chiếu K').

3. **Sự giãn nở của thời gian:** Khoảng thời gian $\Delta t'$ trong hệ quy chiếu chuyển động với vận tốc v đối với người quan sát liên hệ với khoảng thời gian Δt trong hệ quy

chiều đứng yên đối với người quan sát bởi biểu thức:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6.3)$$

4. Khối lượng của chất điểm chuyển động:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6.4)$$

5. Hệ thức Einstein liên hệ giữa khối lượng và năng lượng của một vật:

$$E = mc^2 \quad (6.5)$$

6. Mối liên hệ giữa năng lượng và động lượng của vật:

$$E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2 \quad (6.6)$$

7. Động năng của một vật chuyển động với vận tốc v :

$$W_d = m_0 c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right] \quad (6.7)$$

8. Năng lượng ứng với độ biến thiên khối lượng Δm :

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \quad (6.8)$$

6.2 Bài tập

Bài 6.1. Vật chuyển động phải có vận tốc bao nhiêu để kích thước của nó theo phương chuyển động trong hệ qui chiếu gắn với trái đất giảm đi 2 lần.

Đáp số: $v = 2,59 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Bài 6.2. Khối lượng của electron chuyển động bằng hai lần khối lượng nghỉ của nó. Tìm vận tốc chuyển động của electron.

Đáp số: $v = 2,59 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Bài 6.3. Tìm vận tốc của hạt electron để năng lượng toàn phần của nó lớn gấp 10 lần năng lượng nghỉ của nó.

Đáp số: $v = 2,985.10^8 \text{ m/s}$

Bài 6.4. Khối lượng của vật tăng thêm bao nhiêu lần nếu vận tốc của nó tăng từ 0 đến 0,9 lần vận tốc của ánh sáng.

Đáp số: $\frac{m}{m_0} = 2,3$

Bài 6.5. Một hạt vi mô (mêzôn) trong các tia vũ trụ chuyển động với vận tốc bằng 0,95 lần vận tốc ánh sáng. Hỏi khoảng thời gian theo đồng hồ người quan sát đứng trên trái đất ứng với khoảng “thời gian sống” một giây của hạt đó.

Đáp số: $\Delta t' = 3,2 \text{ s}$

Bài 6.6. Hạt electron phải được gia tốc bởi một hiệu điện thế U bằng bao nhiêu để đạt vận tốc bằng 95 % vận tốc ánh sáng. Cho $e = 1,6.10^{-19}\text{C}$, $m_e = 9,1.10^{-31}\text{kg}$.

Đáp số: $U = 1,2.10^6 \text{ V}$

Bài 6.7. Tìm hiệu điện thế tăng tốc U mà prôtôn vượt qua để cho kích thước của nó trong hệ qui chiếu gắn với trái đất giảm đi hai lần. Cho $m_p = 1,67.10^{-27}\text{kg}$, $e = 1,6.10^{-19}\text{C}$.

Đáp số: $U = 9,8.10^8 \text{ V}$

Bài 6.8. Hỏi vận tốc của hạt phải bằng bao nhiêu để động năng của hạt bằng năng lượng nghỉ.

Đáp số: $v = 2,6.10^8 \text{ m/s}$

Bài 6.9. Khối lượng của hạt electron chuyển động lớn gấp hai lần khối lượng của nó khi đứng yên. Tìm động năng của hạt. Cho $m_e = 9,1.10^{-31}\text{kg}$.

Đáp số: $E_d = 8,2.10^{-14} \text{ J}$

Bài 6.10. Để động năng của hạt bằng một nửa năng lượng nghỉ của nó thì vận tốc của hạt phải bằng bao nhiêu?

Đáp số: $v = 2,22.10^8 \text{ m/s}$

Bài 6.11. Khi năng lượng của vật biến thiên 4,19 J thì khối lượng của vật biến thiên bao nhiêu? Đáp số: $\Delta m = 4,65.10^{-17} \text{ kg}$

Chương 7: QUANG HỌC LƯỢNG TỬ

7.1 Bức xạ nhiệt

7.1.1 Tóm tắt lý thuyết

1. **Năng suất phát xạ toàn phần:** (độ trung năng lượng) của vật đen tuyệt đối là năng lượng do một đơn vị diện tích bề mặt vật đen tuyệt đối bức xạ ra trong một giây, được xác định theo định luật Stephan Boltzmal:

$$R(T) = \sigma T^4, \quad (7.1)$$

với T là nhiệt độ tuyệt đối của vật; σ là hằng số Stefan Boltzmal $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.
Năng suất phát xạ toàn phần liên hệ với công suất phát xạ và năng lượng phát xạ bởi biểu thức:

$$R(T) = \frac{P}{S} = \frac{Q}{tS}; \text{ với } \begin{cases} P : \text{ công suất phát xạ} \\ S : \text{ diện tích bề mặt của vật} \\ Q : \text{ Năng lượng phát xạ} \\ t : \text{ thời gian phát xạ} \end{cases} \quad (7.2)$$

2. **Nếu vật bức xạ không phải là vật đen tuyệt đối** thì năng suất phát xạ toàn phần:

$$R'(T) = \alpha \sigma T^4, \quad (7.3)$$

trong đó α là hệ số hấp thụ, không thứ nguyên, nhỏ hơn 1.

3. **Hệ số phát xạ đơn sắc** của vật ở nhiệt độ T ứng với bước sóng λ

$$r(\lambda, T) = \frac{dR(T)}{d\lambda} \quad (7.4)$$

hay

$$R(T) = \int_0^\infty r(\lambda, T) d\lambda \quad (7.5)$$

4. **Định luật Wien:** Bước sóng λ_{\max} ứng với cực đại của năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối liên hệ với nhiệt độ của nó theo công thức:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (7.6)$$

trong đó b là hằng số Wien $b = 2,8978.10^{-3}\text{m.K}$.

5. **Công thức Planck đối với hàm phổ biến:**

$$\epsilon_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{kT} - 1} \quad (7.7)$$

với $h = 6,625.10^{-34}\text{J.s}$ là hằng số Plank.

7.1.2 Bài tập

Bài 7.1. Tìm công suất bức xạ của một lò nung, cho biết nhiệt độ của lò bằng $t = 727^\circ\text{C}$, diện tích của cửa lò bằng 250 cm^2 . Coi lò là vật đen tuyệt đối.

Đáp số: $P = 1417,5\text{ W}$

Bài 7.2. Tìm nhiệt độ của một lò nung, cho biết mỗi giây lò phát ra một năng lượng bằng $8,28\text{ calo}$ qua một lỗ nhỏ có kích thước bằng 6 cm^2 . Coi bức xạ được phát ra từ một vật đen tuyệt đối.

Đáp số: $T = 1004\text{ K}$

Bài 7.3. Vật đen tuyệt đối có dạng một quả cầu đường kính $d = 10\text{ cm}$ ở nhiệt độ T không đổi. Tìm nhiệt độ T , cho biết công suất bức xạ ở nhiệt độ đã cho bằng 12 kcal/phút .

Đáp số: $T = 828\text{ K}$

Bài 7.4. Nhiệt độ của sợi dây tóc vonfram của bóng đèn điện luôn biến đổi vì được đốt nóng bằng dòng điện xoay chiều. Hiệu số giữa nhiệt độ cao nhất và thấp nhất bằng 80° , nhiệt độ trung bình bằng 2300K . Hỏi công suất bức xạ biến đổi bao nhiêu lần, coi dây tóc bóng đèn là vật đen tuyệt đối.

Đáp số: $\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = 1,15$

Bài 7.5. Nhiệt độ của vật đen tuyệt đối tăng từ 1000 K đến 3000 K. Hỏi:

1. Năng suất phát xạ toàn phần của nó tăng bao nhiêu lần?
2. Bước sóng ứng với năng suất phát xạ cực đại thay đổi bao nhiêu lần?

Đáp số: 1. $\frac{R_2}{R_1} = 81$ lần; 2. $\frac{\lambda_{m1}}{\lambda_{m2}} = 3$ lần

Bài 7.6. Một vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ $T_1 = 2900$ K. Do vật bị nguội đi nên bước sóng ứng với năng suất phát xạ cực đại thay đổi $\Delta\lambda = 9\mu\text{m}$. Hỏi vật lạnh đến nhiệt độ bằng bao nhiêu?

Đáp số: $T_2 = 290$ K

Bài 7.7. Một ngôi nhà gạch trát vữa có diện tích mặt ngoài tổng cộng là 800m^2 , nhiệt độ của mặt bức xạ là 27°C và hệ số hấp thụ khi đó bằng 0,8. Tính:

- a. Năng lượng bức xạ trong một ngày đêm từ ngôi nhà đó.
- b. Bước sóng ứng với năng suất phát xạ cực đại của ngôi nhà nếu coi nó là vật đen tuyệt đối.

Cho hằng số Stefan – Boltzman $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$, hằng số Wien $b = 2,898.10^{-3} \text{ m.K}$

Đáp số: a. $W = 3,17.10^{10} \text{ J}$; b. $\lambda_m = 9,65 \mu\text{m}$

Bài 7.8. Một thỏi thép đúc có nhiệt độ 727°C . Trong một giây, mỗi cm^2 của nó bức xạ một lượng năng lượng 4J. Xác định hệ số hấp thụ của thỏi thép ở nhiệt độ đó, nếu coi rằng hệ số hấp thụ là như nhau đối với mọi bước sóng.

Đáp số: $a = 0,7$

Bài 7.9. Công suất bức xạ của vật đen tuyệt đối bằng 10^5 kW . Tìm diện tích bức xạ của vật đó nếu bước sóng ứng với năng suất phát xạ cực đại của nó bằng $0,7 \mu\text{m}$. Cho hằng số Stefan – Boltzman $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$, hằng số Wien $b = 2,898.10^{-3} \text{ m.K}$.

Đáp số: $S = 6 \text{ m}^2$

Bài 7.10. Bề mặt kim loại nóng chảy có diện tích 10cm^2 mỗi phút bức xạ ra một lượng năng lượng 4.10^4 J . Nhiệt độ bề mặt là 2500K . Tìm:

- a. Năng lượng bức xạ của mặt đó, nếu coi nó là vật đen tuyệt đối.
- b. Tỷ số giữa các năng suất phát xạ toàn phần của mặt đó và của vật đen tuyệt đối ở cùng một nhiệt độ.

Đáp số: a. $W = 1,33.10^5 \text{ J}$; b. $a = 0,33$

Bài 7.11. Dây tóc vonfram trong bóng đèn có đường kính $d = 0,03\text{cm}$ và dài $\ell = 5\text{cm}$. Khi mắc vào mạch điện 127 V, dòng điện chạy qua đèn có cường độ 0,31A. Tìm nhiệt độ của đèn, giả sử ở trạng thái cân bằng nhiệt toàn bộ nhiệt lượng do đèn phát ra đều ở dạng bức xạ. Cho biết tỷ số giữa năng suất phát xạ toàn phần của vonfram với năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ cân bằng của dây tóc đèn bằng 0,31.

Đáp số: $T = 2620\text{ K}$

Bài 7.12. Khi nghiên cứu quang phổ phát xạ của mặt trời, người ta nhận thấy bức xạ mang năng lượng cực đại có bước sóng $\lambda_m = 0,48\mu\text{m}$. Coi mặt trời là vật đen lý tưởng. Tìm:

- Công suất phát xạ toàn phần của mặt trời.
- Mật độ năng lượng nhận được trên mặt trái đất.

Cho biết bán kính mặt trời $r = 6,5 \cdot 10^5\text{ km}$, khoảng cách từ mặt trời đến trái đất $d = 1,5 \cdot 10^8\text{ km}$, hằng số Stefan – Boltzman $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}\text{ W/m}^2\text{K}^4$, hằng số Wien $b = 2,898 \cdot 10^{-3}\text{ mK}$.

Đáp số: a. $P = 4 \cdot 10^{26}\text{ W}$; b. $w = 1,4 \cdot 10^3\text{ W/m}^2$

Bài 7.13. Tìm bước sóng ứng với năng suất phát xạ cực đại của

- Dây tóc bóng đèn (3000K).
- Mặt trời (6000K).
- Bom nguyên tử khi nổ (10^7 K)

Coi các nguồn là vật đen tuyệt đối.

Đáp số: a. $\lambda_m = 9,63 \cdot 10^{-7}\text{ m}$; b. $\lambda_m = 4,98 \cdot 10^{-7}\text{ m}$;
c. $\lambda_m = 2,898 \cdot 10^{-10}\text{ m}$

Bài 7.14. Hỏi cần cung cấp cho một quả cầu kim loại được bôi đen có bán kính 2cm một công suất bằng bao nhiêu để giữ cho nhiệt độ của nó cao hơn nhiệt độ của môi trường 27°C . Cho biết nhiệt độ môi trường bằng 20°C và coi nhiệt độ giảm chỉ do bức xạ.

Đáp số: $P = 2,987\text{ W}$

7.2 Thuyết photon của Einstein và bản chất của bức xạ điện từ

7.2.1 Tóm tắt lý thuyết

1. **Thuyết photon của Einstein:** 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 (bị lượng tử hóa), tuy nhiên Planck chưa nêu được bản chất gián đoạn của bức xạ điện từ. Năm 1905 Einstein dựa trên thuyết lượng tử về năng lượng đã đưa ra thuyết lượng tử ánh sáng (thuyết photon).

(a) Ánh sáng gồm những hạt rất nhỏ gọi là photon (hay lượng tử ánh sáng). Mỗi photon mang một năng lượng xác định bằng:

$$\epsilon = h\nu \quad (7.8)$$

trong đó $h = 6,624.10^{-34}(\text{J.s})$ là hằng số Planck, ν là tần số của sóng ánh sáng tương ứng với photon đó.

(b) Trong chân không cũng như trong mọi môi trường khác, photon truyền đi cùng một vận tốc xác định $c = 10^8 \text{ m/s}$.

(c) Cường độ của chùm ánh sáng tỷ lệ với số photon phát ra từ nguồn sáng trong một đơn vị thời gian.

2. Động lực học photon:

(a) Năng lượng của photon ứng với bức xạ điện từ đơn sắc tần số ν

$$\epsilon = h\nu \quad (7.9)$$

(b) Khối lượng của photon

$$m = \frac{\epsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} \quad (7.10)$$

(c) Động lượng của photon

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (7.11)$$

3. Hiệu ứng quang điện ngoài:

Hiệu ứng quang điện là hiện tượng các electron được giải phóng khỏi mặt ngoài của bản kim loại khi rọi một chùm ánh sáng thích hợp tới mặt bản kim loại đó.

(a) Giới hạn quang điện:

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A} \quad (7.12)$$

trong đó, A là công thoát electron của kim loại.

(b) Phương trình Einstein:

$$h\nu = A + \frac{1}{2}m_e v_{0\max}^2 \quad (7.13)$$

trong đó $\frac{1}{2}m_e v_{0\max}^2$ là động năng ban đầu cực đại của quang electron bắn ra, m_e là khối lượng của electron.

(c) Hiệu điện cản U_c : Để triệt tiêu dòng quang điện người ta đặt lên 2 cực của tế bào quang điện 1 hiệu điện thế cản U_c sao cho công cản của điện trường bằng động năng ban đầu cực đại của quang electron.

$$eU_c = \frac{1}{2}m_e v_{0\max}^2 \quad (7.14)$$

4. Hiệu ứng Compton:

Khi chiếu chùm tia X, có bước sóng λ vào các chất nhẹ như grafit, parafin..., trong phổ tia X bị tán xạ, ngoài vạch có bước sóng bằng bước sóng λ của chùm tia X chiếu tới còn phát hiện được vạch có bước sóng $\lambda' > \lambda$. Thực nghiệm chứng tỏ, λ chỉ phụ thuộc vào góc tán xạ θ mà không phụ thuộc vào cấu tạo của chất được chiếu tia X. Đây là hiện tượng chứng tỏ bản chất của photon là có động lượng.

m_{0e} : khối lượng nghỉ của electron

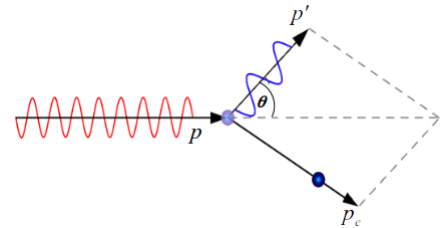
$\frac{m_{0e}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$: khối lượng của electron chuyển động

$\epsilon = m_{0e}c^2$: năng lượng nghỉ của electron

$\epsilon' = \frac{m_{0e}c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$: năng lượng của electron chuyển động.

$p' = \frac{m_{0e}v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$: động năng của electron chuyển động,

động năng ban đầu của electron $p = 0$.



Hạt	Động lượng		Năng lượng	
	Trước va chạm	Sau va chạm	Trước va chạm	Sau va chạm
Photon γ	$p_\gamma = mc = \frac{h\nu}{c}$	$p'_\gamma = \frac{h\nu'}{c}$	$h\nu$	$h\nu'$
Electron	0	$\frac{m_{0e} v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	$m_{0e} c^2$	$\frac{m_{0e} c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Độ dịch Compton:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\Lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}, \quad (7.15)$$

trong đó θ là góc tán xạ; Λ_c : bước sóng Compton, $\Lambda_c = \frac{h}{m_{0e}c} = 2,4 \cdot 10^{-12} \text{m}$.

7.2.2 Bài tập

Bài 7.15. Tìm giới hạn quang điện đối với các kim loại có công thoát 2,4eV, 2,3eV, 2eV.

Đáp số: $\lambda_{01} = 5,18 \cdot 10^{-7} \text{ m}$; $\lambda_{02} = 5,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$; $\lambda_{03} = 6,21 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

Bài 7.16. Giới hạn quang điện của kim loại dùng làm catốt của tế bào quang điện $\lambda_0 = 0,5 \mu\text{m}$. Tìm:

- Công thoát của electron đối với kim loại đó.
- Vận tốc ban đầu cực đại của các quang electron khi catốt được chiếu bằng ánh sáng đơn sắc bước sóng $\lambda = 0,25 \mu\text{m}$.

Đáp số: a. $A_{\text{th}} = 39,75 \cdot 10^{-20} \text{ J}$; b. $v_{0\text{max}} = 0,93 \cdot 10^6 \text{ m/s}$

Bài 7.17. Chiếu một bức xạ điện từ đơn sắc bước sóng $\lambda = 0,41 \mu\text{m}$ lên một kim loại dùng làm catốt của tế bào quang điện thì có hiện tượng quang điện xảy ra. Nếu dùng một hiệu điện thế hãm 0,76 V thì các quang electron bắn ra đều bị giữ lại. Tìm:

- Công thoát của electron đối với kim loại đó.
- Vận tốc ban đầu cực đại của các quang electron khi bắn ra khỏi catốt.

Đáp số: a. $A_{\text{th}} = 36,32 \cdot 10^{-20} \text{ J}$; b. $v_{0\text{max}} = 0,52 \cdot 10^6 \text{ m/s}$

Bài 7.18. Công thoát của kim loại dùng làm catốt của tế bào quang điện $A = 2,48 \text{ eV}$. Tìm:

- Giới hạn quang điện của tấm kim loại đó.
- Vận tốc ban đầu cực đại của các quang electron khi catốt được chiếu bằng ánh

sáng đơn sắc bước sóng $\lambda = 0,36\mu\text{m}$.

c. Hiệu điện thế hãm để không có một electron nào đến được anôt.

Đáp số: a. $\lambda_0 = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$; b. $v_{0\text{max}} = 0,584 \cdot 10^6 \text{ m/s}$;
c. $U_h = 0,97 \text{ V}$

Bài 7.19. Khi chiếu một chùm ánh sáng có bước sóng $\lambda = 0,234\mu\text{m}$ vào một kim loại dùng làm catôt của tế bào quang điện thì có hiện tượng quang điện xảy ra. Biết tần số giới hạn của catôt $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. Tìm:

- Công thoát của electron đối với kim loại đó.
- Hiệu điện thế hãm để không có một electron nào đến được anôt.
- Vận tốc ban đầu cực đại của các quang electron.

Đáp số: a. $A_{\text{th}} = 39,75 \cdot 10^{-20} \text{ J}$; b. $U_h = 2,83 \text{ V}$;
c. $v_{0\text{max}} = 10^6 \text{ m/s}$

Bài 7.20. Khi chiếu một chùm ánh sáng vào một kim loại dùng làm catôt của tế bào quang điện thì có hiện tượng quang điện xảy ra. Nếu dùng một hiệu điện thế hãm 3V thì các quang electron bắn ra đều bị giữ lại. Biết tần số giới hạn của catôt $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. Tìm:

- Công thoát của electron đối với tấm kim loại đó.
- Tần số của ánh sáng chiếu tới. ra từ catôt.

Đáp số: a. $A_{\text{th}} = 39,75 \cdot 10^{-20} \text{ J}$; b. $f = 13,25 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Bài 7.21. Công thoát của kim loại dùng làm catôt của tế bào quang điện $A = 2,15 \text{ eV}$. Tìm:

- Giới hạn quang điện của tấm kim loại đó.
- Vận tốc ban đầu cực đại của các quang electron khi catôt được chiếu bằng ánh sáng đơn sắc bước sóng $\lambda = 0,489\mu\text{m}$.
- Hiệu điện thế hãm để không có một electron nào đến được anôt.

Đáp số: a. $\lambda_0 = 0,37 \cdot 10^{-6} \text{ m}$; b. $v_{0\text{max}} = 0,36 \cdot 10^6 \text{ m/s}$;
c. $U_h = 0,39 \text{ V}$

Bài 7.22. Khi chiếu vào một kim loại những ánh sáng lần lượt có bước sóng 2790\AA và 2450\AA thì có các quang electron bắn ra. Hiệu điện thế hãm để giữ chúng lại lần lượt là $0,66\text{V}$ và $1,26\text{V}$. Cho biết điện tích của electron $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ và vận tốc ánh sáng $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, hãy tính hằng số Planck.

Đáp số: $h = 6,43.10^{-34} \text{ J.s}$

Bài 7.23. Tìm động lượng, khối lượng của photon có tần số $\nu = 5.10^{14} \text{ Hz}$.

Đáp số: $p = 1,1.10^{-27} \text{ kg.m/s}$; $m = 3,7.10^{-36} \text{ kg}$

Bài 7.24. Tìm năng lượng và động lượng của photon ứng với bước sóng $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$.

Đáp số: $\epsilon = 3,3.10^{-19} \text{ J}$; $p = 1,1.10^{-27} \text{ kg.m/s}$

Bài 7.25. Tìm năng lượng và động lượng của photon ứng với bước sóng $\lambda = 10^{-12} \text{ m}$.

Đáp số: $\epsilon = 19,88.10^{-14} \text{ J}$; $p = 6,62.10^{-22} \text{ kg.m/s}$

Bài 7.26. Xác định vận tốc cực đại của các quang electron bị bật khỏi mặt kim loại bạc khi chiếu tới mặt kim loại.

a. Các tia tử ngoại có $\lambda_1 = 0,155 \mu\text{m}$

b. Các tia có $\lambda_2 = 0,001 \text{ nm}$

Cho công thoát của bạc bằng $0,75.10^{-18} \text{ J}$.

Đáp số: a. $v = 10^6 \text{ m/s}$; b. $v = 2,85.10^8 \text{ m/s}$

Bài 7.27. Trong hiện tượng tán xạ Compton, bước sóng ban đầu của photon là $\lambda = 0,03 \text{ Å}$ và vận tốc của electron bắn ra là $v = \beta c = 0,6c$. Xác định độ tăng bước sóng $\Delta\lambda$ và góc tán xạ θ ($\Lambda_c = 2,426.10^{-12} \text{ m}$).

Đáp số: $\Delta\lambda = 0,0134 \text{ Å}$; $\theta = 63^\circ 23'$

Bài 7.28. Photon có năng lượng 250 keV bay đến và chạm với một electron đứng yên và tán xạ Compton theo góc 120° . Xác định năng lượng của photon tán xạ. ($\Lambda_c = 2,426.10^{-12} \text{ m}$).

Đáp số: $\epsilon' = 2,3.10^{-14} \text{ J}$

Bài 7.29. Photon ban đầu có năng lượng $0,8 \text{ MeV}$ tán xạ trên một electron tự do và thành photon ứng với bức xạ có bước sóng bằng bước sóng Compton. Tính:

a. Góc tán xạ.

b. Năng lượng của photon tán xạ.

Đáp số: a. $\theta = 50^\circ 11'$; b. $\epsilon' = 8,19.10^{-14} \text{ J} = 0,2 \text{ MeV}$

Bài 7.30. Tính năng lượng và động lượng của photon tán xạ khi photon có bước sóng ban đầu $\lambda = 0,05.10^{-10} \text{ m}$ đến và chạm vào electron tự do và tán xạ theo góc $60^\circ, 90^\circ$.

Đáp số: $\epsilon' = 2,68.10^{-14} \text{ J}; \quad p' = 0,89.10^{-22} \text{ kgm/s}$

Bài 7.31. Trong hiện tượng tán xạ Compton, bức xạ Rơngxen có bước sóng λ đến tán xạ trên electron tự do. Tìm bước sóng đó, cho biết động năng cực đại của electron bắn ra bằng 0,19 MeV. $\Lambda_c = 2,426.10^{-12}\text{m}$.

Đáp số: $\lambda = 0,057 \text{ \AA}$

Bài 7.32. Trong hiện tượng Compton, bước sóng của chùm photon bay tới là $0,03\text{\AA}$. Tính phần năng lượng truyền cho electron đối với photon tán xạ dưới những góc 60° , 90° , 180° .

Đáp số: $\theta = 60^\circ \Delta\epsilon = 1,19.10^{-14} \text{ J}; \quad \theta = 90^\circ \Delta\epsilon = 2,96.10^{-14} \text{ J};$
 $\theta = 180^\circ \Delta\epsilon = 4,09.10^{-14} \text{ J}$

Bài 7.33. Tìm động lượng của electron khi có photon bước sóng $\lambda = 0,05 \text{ \AA}$ đến va chạm và tán xạ theo góc $\theta = 90^\circ$. Lúc đầu electron đứng yên. ($\Lambda_c = 2,426.10^{-12}\text{m}$).

Đáp số: $p_e = 1,6.10^{-22} \text{ kgm/s}$

Chương 8: CƠ HỌC LƯỢNG TỬ

8.1 Tóm tắt lý thuyết

1. Lượng tính sóng hạt của vi hạt: Giả thuyết de Broglie:

Hạt vi mô có năng lượng xác định E , động lượng xác định p ứng với một sóng phẳng đơn sắc có tần số dao động ν và có bước sóng λ cho bởi:

$$\begin{cases} E = h\nu = \hbar\omega \\ p = \frac{h}{\lambda}; \vec{p} = \hbar\vec{k} \end{cases} \quad (8.1)$$

trong đó, \hbar là hằng số Planck rút gọn, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

- Hiệu điện thế để gia tốc hạt U : $eU = W_d$
- Hạt chuyển động với vận tốc nhỏ ($v \ll c$)

$$\left. \begin{aligned} p &= m_0 v = \frac{h}{\lambda} \\ W_d &= \frac{1}{2} m_0 v^2 = \frac{p^2}{2m_0} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{m_0 v} = \frac{h}{\sqrt{2m_0 W_d}} = \frac{h}{\sqrt{2m_0 eU}} \quad (8.2)$$

- Hạt chuyển động với vận tốc lớn $v \approx c$ (chuyển động tương đối tính). Động lượng và động năng của hạt:

$$\begin{cases} p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ W_d = m_0 c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right] = eU \end{cases} \quad (8.3)$$

Từ mối liên hệ giữa động lượng và năng lượng $E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}} = \frac{hc}{\sqrt{W_d(W_d + 2m_0 c^2)}} = \frac{hc}{\sqrt{eU(eU + 2m_0 c^2)}} \quad (8.4)$$

2. Hệ thức bất định Heisenberg

- Hệ thức giữa độ bất định về tọa độ và độ bất định về động lượng của vi hạt:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \approx \hbar \quad (8.5)$$

- Hệ thức giữa độ bất định về năng lượng và thời gian sống của vi hạt:

$$\Delta E \cdot \Delta t \approx \hbar \quad (8.6)$$

3. Hàm sóng

- Hàm sóng phẳng đơn sắc:

$$\psi = \psi_0 \exp[-i(\omega t - \vec{k}\vec{r})] = \psi_0 \exp[-\frac{i}{\hbar}(Et - \vec{p}\vec{r})] \quad (8.7)$$

trong đó, $k = 2\pi/\lambda$ là số sóng.

- Ý nghĩa của hàm sóng:

Xác suất tìm vi hạt trong thể tích $dxdydz = dV$ là:

$$|\psi|^2 dV = \psi^* \psi dV \quad (8.8)$$

4. Phương trình Schrodinger:

$$\Delta\psi(\vec{r}) + \frac{2m}{\hbar^2}[E - U(\vec{r})]\psi(\vec{r}) = 0, \quad (8.9)$$

trong đó, $U(\vec{r})$ là trường thế.

- Đối với vi hạt tự do:

$$\Delta\psi(\vec{r}) + \frac{2m}{\hbar^2}E\psi(\vec{r}) = 0, \quad (8.10)$$

5. Hạt vi mô trong giếng thế một chiều bề cao vô hạn:

$$U(x) = \begin{cases} 0 & \text{khi } 0 < x < a \\ \infty & \text{khi } x \leq 0 \text{ và } x \geq a \end{cases} \quad (8.11)$$

Hàm sóng có dạng:

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin\left(\frac{n\pi}{a}x\right) \quad (8.12)$$

tương ứng với năng lượng:

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} n^2, \quad (8.13)$$

trong đó $n = 1, 2, 3, \dots$

6. Hiệu ứng đường ngầm:

Vì hạt có năng lượng $E < U_0$ vẫn có xác suất vượt qua được rào thế U_0 . Đây là hiệu ứng thuần túy lượng tử, vì trong cơ học cổ điển một hạt có năng lượng $E < U_0$ thì không thể vượt qua được hàng rào thế năng.

8.2 Bài tập

Bài 8.1. Tìm khối lượng của các lượng tử sau:

- a. Ánh sáng đỏ ($\lambda = 0,7 \mu\text{m}$)
- b. Tia Rơngen ($\lambda = 0,25 \text{ \AA}$)
- c. Tia Gamma ($\lambda = 0,0124 \text{ \AA}$).

Đáp số: a. $m = 3,2 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$; b. $m = 8,8 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$; c. $m = 1,8 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$

Bài 8.2. Tìm năng lượng, khối lượng và động lượng của photon có bước sóng $\lambda = 0,016 \text{ \AA}$.

Đáp số: $E = 1,2 \cdot 10^{-12} \text{ J}$; $m = 1,38 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$; $p = 4,1 \cdot 10^{-22} \text{ kgm/s}$

Bài 8.3. Electron phải có vận tốc bằng bao nhiêu để động năng của nó bằng năng lượng của photon có bước sóng $\lambda = 5200 \text{ \AA}$.

Đáp số: $v = 9,5 \cdot 10^5 \text{ m/s}$

Bài 8.4. Tìm vận tốc của electron để động lượng của nó bằng động lượng của photon có bước sóng $\lambda = 5200 \text{ \AA}$.

Đáp số: $v = 1400 \text{ m/s}$

Bài 8.5. Tìm bước sóng de Broglie của:

- a. Electron có vận tốc 10^8 cm/s
- b. Một quả cầu có khối lượng $m = 1 \text{ g}$ và vận tốc 1 cm/s .

Đáp số: a. $\lambda = 7,3 \text{ \AA}$; b. $\lambda = 6,6 \cdot 10^{-29} \text{ m}$

Bài 8.6. So sánh tỷ số giữa các bước sóng de Broglie của electron và quả cầu khối lượng 1 g có cùng vận tốc.

Đáp số: $\frac{\lambda_e}{\lambda_c} = 10^{27}$

Bài 8.7. Tìm bước sóng của photon có năng lượng bằng 1 eV .

Đáp số: $\lambda = 12,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

Bài 8.8. Vận tốc của electron và proton bằng 10^6 m/s . Xác định bước sóng de Broglie của chúng. ($m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$).

Đáp số: a. $\lambda_e = 7,28 \cdot 10^{-14} \text{ m}$; b. $\lambda_p = 0,396 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

Bài 8.9. Bức xạ gồm các photon có năng lượng $6,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Tìm tần số dao động và bước sóng trong chân không của bức xạ đó.

Đáp số: a. $\nu = 9,7 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$; b. $\lambda = 3100 \text{ \AA}$

Bài 8.10. Vận tốc lan truyền của tia tím có tần số $\nu = 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ ở trong nước bằng $v = 2,23 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Tìm độ biến thiên tần số và độ biến thiên bước sóng của tia đó khi chuyển từ nước vào chân không.

Đáp số: $\Delta\lambda = 1,03 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

Bài 8.11. Tìm số photon có trong bức xạ xanh bước sóng 520 nm trong chân không. Cho biết năng lượng của chùm bức xạ đó bằng 10^{-3} J .

Đáp số: a. $N = 26 \cdot 10^{14} \text{ photon}$

Bài 8.12. Tìm động lượng và bước sóng của electron chuyển động với vận tốc $v = 0,6c$.

Đáp số: p. $p = 2 \cdot 10^{-22} \text{ kgm/s}$; b. $\lambda = 3,3 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

Bài 8.13. Tìm bước sóng de Broglie của:

- a. Electron được tăng tốc bởi hiệu điện thế 1 V , 100 V , 1000 V .
- b. Electron đang chuyển động tương đối tính với vận tốc 10^8 m/s .

Đáp số: a. $\lambda_1 = 12,25 \cdot 10^{-10} \text{ m}$; $\lambda_2 = 1,225 \cdot 10^{-10} \text{ m}$; $\lambda_3 = 0,338 \cdot 10^{-10} \text{ m}$;
b. $\lambda = 0,69 \cdot 10^{-11} \text{ m}$

Bài 8.14. Tìm sự phụ thuộc giữa bước sóng de Broglie của hạt tương đối tính và hiệu điện thế tăng tốc U . Khối lượng và điện tích của hạt là m và e .

Bài 8.15. Xác định bước sóng de Broglie của electron có động năng

a. $E_d = 100 \text{ eV}$.

b. $E_d = 3 \text{ MeV}$.

Đáp số: a. $\lambda = 1,23 \cdot 10^{-10} \text{ m}$; b. $\lambda = 0,62 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

Bài 8.16. Một hạt mang điện được gia tốc bởi hiệu điện thế $U = 200 \text{ V}$, có bước sóng de Broglie $\lambda = 0,0202 \cdot 10^{-8} \text{ m}$ và điện tích về trị số bằng điện tích của electron. Tìm khối lượng của hạt đó.

Đáp số: $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Bài 8.17. Electron có bước sóng de Broglie $\lambda = 6 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. Tìm vận tốc chuyển động của electron.

Đáp số: $v = 1,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$

Bài 8.18. Electron không vận tốc ban đầu được gia tốc bởi một hiệu điện thế U . Tính U biết rằng sau khi gia tốc hạt chuyển động ứng với bước sóng de Broglie 10^{-10} m .

Đáp số: $U = 150 \text{ V}$

Bài 8.19. Hạt α chuyển động trong một từ trường đều theo một quỹ đạo tròn có bán kính $r = 0,83 \text{ cm}$. Cảm ứng từ $B = 0,025 \text{ T}$. Tìm bước sóng de Broglie của hạt đó.

Đáp số: $\lambda = 10^{-11} \text{ m}$

Bài 8.20. Hạt electron có vận tốc ban đầu bằng không được gia tốc bởi một hiệu điện thế U . Tìm bước sóng de Broglie của hạt sau khi được gia tốc trong hai trường hợp $U = 51 \text{ V}$ và $U = 510 \text{ kV}$.

Đáp số: $U = 51 \text{ V } \lambda = 1,72 \text{ Å}$; $U = 510 \text{ kV } \lambda = 0,014 \text{ Å}$

Bài 8.21. Electron có động năng $E_d = 15 \text{ eV}$, chuyển động trong một giọt kim loại kích thước $d = 10^{-6} \text{ m}$. Xác định độ bất định về vận tốc (ra %) của hạt đó.

Đáp số: $\Delta x \Delta p \approx h \rightarrow \frac{\Delta v}{v} = 0,06\%$; $\Delta x \Delta p \approx \hbar \rightarrow \frac{\Delta v}{v} = 0,01\%$

Bài 8.22. Hạt vi mô có độ bất định về động lượng bằng 1% động lượng của nó. Xác định tỷ số giữa bước sóng de Broglie và độ bất định về toạ độ của hạt

$$\text{Đáp số: } \Delta x \Delta p \approx h \rightarrow \frac{\Delta x}{\lambda} = 100; \quad \Delta x \Delta p \approx \hbar \rightarrow \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{100}{2\pi}$$

Bài 8.23. Hạt vi mô có độ bất định về vị trí cho bởi $\Delta x = \lambda/2\pi$, với λ là bước sóng de Broglie của hạt. Tìm độ bất định về vận tốc của hạt đó.

$$\text{Đáp số: } \Delta x \Delta p \approx h \rightarrow \Delta v = 2\pi v; \quad \Delta x \Delta p \approx \hbar \rightarrow \Delta v = v$$

Bài 8.24. Dùng hệ thức bất định Heisenberg hãy đánh giá động năng nhỏ nhất E_{\min} của electron chuyển động trong miền có kích thước ℓ cỡ 0,1nm.

$$\begin{aligned} \text{Đáp số: } \Delta x \Delta p \approx h &\rightarrow E_d = 9,65 \cdot 10^{-17} \text{ J} = 603 \text{ eV}; \\ \Delta x \Delta p \approx \hbar &\rightarrow E_d = 2,45 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 15 \text{ eV} \end{aligned}$$

Bài 8.25. Vị trí của một quả cầu khối lượng $2\mu\text{g}$ được xác định với độ bất định bằng $2\mu\text{m}$. Trong trường hợp này, độ bất định về vận tốc bằng bao nhiêu? Hạt có thể tuân theo cơ học cổ điển không?

$$\begin{aligned} \text{Đáp số: } \Delta x \Delta p \approx h &\rightarrow \Delta v = 1,31 \cdot 10^{-22} \text{ m/s}; \\ \Delta x \Delta p \approx \hbar &\rightarrow \Delta v = 0,25 \cdot 10^{-22} \text{ m/s} \end{aligned}$$

Bài 8.26. Ước lượng độ bất định của động lượng electron bị giam trong trường thế một chiều

$$U(x) = \begin{cases} \infty & x \leq 0 \\ eEx & x > 0 \end{cases} \quad (8.14)$$

trong trường hợp năng lượng của hạt có giá trị cực tiểu khả dĩ. Cho cường độ điện trường $E = 3 \cdot 10^7 \text{ V/cm}$.

$$\text{Đáp số: } \text{Độ bất định của động lượng } p = \sqrt[3]{\hbar m e E} \approx 3,58 \cdot 10^{-25} \text{ kgm/s}$$

Bài 8.27. Một vi hạt có khối lượng m chuyển động trong trường thế có dạng $U = k|x|^3$. Dựa vào hệ thức bất định Heisenberg ước lượng kích thước dài của miền trong đó vi hạt tồn tại với năng lượng cực tiểu khả dĩ.

$$\text{Đáp số: } \Delta x = 2|x| \approx \sqrt[5]{\frac{8\hbar^2}{3mk}}$$

Bài 8.28. Dựa vào hệ thức bất định cho năng lượng ước lượng độ rộng của mức năng lượng electron trong nguyên tử hydro ở trạng thái

a. Cơ bản ($n = 1$)

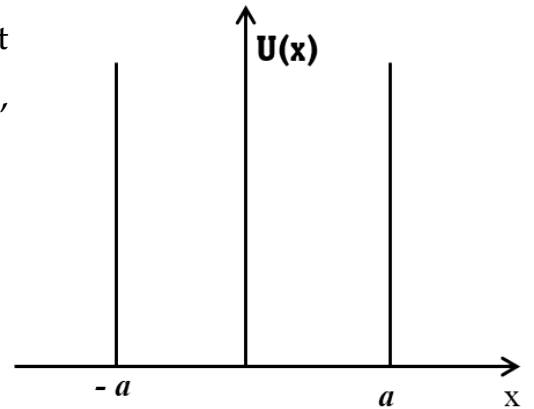
b. Kích thích với thời gian sống $\Delta t \sim 10^{-8}\text{s}$.

Bài 8.29. Viết phương trình Schrodinger cho hạt chuyển động dưới tác dụng của lực $F = -kx$.

Bài 8.30. Viết phương trình Schroedinger cho electron chuyển động trong trường Coulomb gây bởi hạt nhân đứng yên mang điện tích Ze .

Bài 8.31. Viết phương trình Schrodinger đối với hạt vi mô chuyển động một chiều trong trường thế $U = \frac{kx^2}{2}$.

Bài 8.32. Tìm hàm sóng và mức năng lượng của các trạng thái dừng của hạt khối của hạt khối lượng m nằm trong giếng thế một chiều có dạng vuông góc với các thành cao vô hạn, bề rộng $2a$ (hình vẽ)



Bài 8.33. Hạt electron nằm trong giếng thế sâu vô cùng, có bề rộng là a . Tìm hiệu nhỏ nhất giữa hai mức năng lượng kề sát nhau ra đơn vị eV trong hai trường hợp $a = 10\text{cm}$, $a = 10 \text{ \AA}$. Có nhận xét gì về kết quả thu được ?

Đáp số: $a = 10 \text{ cm} \rightarrow \Delta E = 1,8 \cdot 10^{-35} \text{ J} = 1,1 \cdot 10^{-16} \text{ eV}$;

$a = 10 \text{ \AA} \rightarrow \Delta E = 1,8 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,1 \text{ eV}$

Bài 8.34. Hạt nằm ở trạng thái cơ bản ($n = 1$) trong giếng thế một chiều bề rộng a , có các thành tuyệt đối không thấm ($0 < x < a$). Tìm xác suất tồn tại của hạt trong các miền: $0 < x < a/3$ (miền I) và $a/3 < x < 2a/3$ (miền II).

Đáp số: $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{n\pi x}{a}$; $P = \int |\psi(x)|^2 dx$;
 $\rightarrow P_I = 0,195$; $P_{II} = 0,604$

Bài 8.35. Một vi hạt chuyển động trong giếng thế năng một chiều có bề rộng a và thành cao vô cùng:

$$U(x) = \begin{cases} 0 & 0 < x < a \\ \infty & x \leq 0, x \geq a \end{cases} \quad (8.15)$$

Hạt ở trạng thái lượng tử $n = 2$. Tìm những vị trí x ứng với cực đại và cực tiểu của xác suất tìm thấy hạt.

Hạt ở trạng thái lượng tử $n = 2$. Tìm xác suất để hạt nằm trong khoảng $a/3 < x < 2a/3$.

Tìm vị trí x để tại đó xác suất tìm thấy hạt ở các trạng thái $n = 1$ và $n = 2$ bằng nhau.

Đáp số: $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{n\pi x}{a};$

a. Cực đại khi $x = a/4$ và $3a/4$; cực tiểu khi $x = a/2$

b. $a/3 < x < 2a/3 : P = 0,195;$

c. tại $x = 2a/3$ thì xác suất $P_1 = P_2$.

Bài 8.36. Một chùm electron mang năng lượng $E = 25 \text{ eV}$ gặp trên đường đi một hàng rào thế có độ cao $U_0 = 9 \text{ eV}$. Xác định hệ số phản xạ R và hệ số truyền qua D của sóng de Broglie qua hàng rào này.

Bài 8.37. Một chùm electron mang năng lượng $E = 25 \text{ eV}$ gặp trên đường đi một hàng rào thế có độ cao $U = 26 \text{ eV}$. Xác định xác suất tỷ đối η tìm thấy hạt electron trong các miền II tại khoảng cách $x = 1 \text{ \AA}$ tính từ giới hạn của các miền I, II (nghĩa là tỉ số giữa mật độ xác suất tồn tại electron tại điểm $x = 1 \text{ \AA}$ và mật độ xác suất tồn tại electron ở giới hạn miền với $x = 0$).

Chương 9: VẬT LÝ NGUYÊN TỬ

9.1 Tóm tắt lý thuyết

1. Nguyên tử hiđrô:

Từ phương trình Schrodinger:

$$\Delta\psi(\vec{r}) + \frac{2m}{\hbar^2}[E - U(\vec{r})]\psi(\vec{r}) = 0, \quad (9.1)$$

trong đó, $U(\vec{r})$ là thế năng tương tác giữa hạt nhân và electron. Giải phương trình Schrodinger trong hệ tọa độ cầu, ta thu được:

- Hàm sóng của electron:

$$\psi_{nlm}(r, \theta, \varphi) = R_{nl}(r) \cdot Y_{lm}(\theta, \varphi), \quad (9.2)$$

với n là số lượng tử chính: $n = 1, 2, 3, \dots$

- ℓ là số lượng tử orbital: $\ell = 0, 1, 2, \dots, n - 1$

- m là số lượng tử từ: $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \ell$

- Năng lượng của electron trong nguyên tử hiđrô phụ thuộc vào số nguyên $n \Leftrightarrow$ năng lượng đã bị lượng tử hóa.

$$E_n = -\frac{Rh}{n^2} \quad (9.3)$$

trong đó, $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{s}^{-1}$ là hằng số Rydberg, n là số lượng tử chính.

- Năng lượng ion hóa là năng lượng cần thiết để bứt electron ra khỏi nguyên tử:

$$E = E_\infty - E_1 = Rh = 13,6 \text{eV} \quad (9.4)$$

- Ứng với một số lượng tử n , tức là với mỗi mức năng lượng E_n , có n^2 trạng thái lượng tử khác nhau khi chưa xét đến spin, ta nói E_n suy biến bậc n^2 .

- Khi không có kích thích bên ngoài, electron ở trạng thái năng lượng thấp nhất, gọi là trạng thái cơ bản. Đó là trạng thái bền. Khi có kích thích bên ngoài, electron thu thêm năng lượng và nhảy lên mức năng lượng cao hơn gọi là mức kích thích. Nhưng electron chỉ ở trạng thái này trong một thời gian ngắn ($10^{-8}s$), sau đó trở về trạng thái năng lượng E_n thấp hơn và phát ra bức xạ điện từ mang năng lượng $h\nu$, nghĩa là phát ra vạch quang phổ có tần số ν :

$$\nu_{nn'} = R\left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (9.5)$$

- $n' = 1, n = 2, 3, 4...$ ta được dãy Lyman nằm trong vùng tử ngoại.
- $n' = 2, n = 3, 4...$ ta được dãy Balmer trong vùng ánh sáng nhìn thấy.
- $n' = 3, n = 4, 5...$ ta được dãy Paschen nằm trong vùng hồng ngoại....

2. Nguyên tử kim loại kiềm:

- Tương tự như nguyên tử hydro, đối với các nguyên tử kim loại kiềm, trạng thái của electron hóa trị phụ thuộc vào ba số lượng tử $n, \ell, m \Leftrightarrow$ hàm sóng của electron là $\psi_{nlm}(\vec{r})$.

Năng lượng của electron hóa trị phụ thuộc vào hai số lượng tử n và ℓ :

$$E_{n,\ell} = -\frac{Rh}{(n + \Delta_\ell)^2}, \quad (9.6)$$

số bổ chính Ridberg Δ_ℓ phụ thuộc giá trị của ℓ và phụ thuộc vào từng nguyên tử.

- Tần số bức xạ phát ra do sự chuyển mức năng lượng của electron hóa trị:

$$\nu = \frac{R}{(n_1 + \Delta_{\ell_1})^2} - \frac{R}{(n_2 + \Delta_{\ell_2})^2} \quad (9.7)$$

Quy tắc chuyển trạng thái (quy tắc chọn lọc): $\Delta\ell = \pm 1$.

- Kí hiệu các số hạng quang phổ (trong biểu thức của ν) là nX .
với $X = S, P, D, F, \dots$ ứng với $\ell = 0, 1, 2, 3, \dots$

3. Môment động lượng quỹ đạo \vec{L} :

Môment động lượng orbital \vec{L} của electron có nhiều hướng khác nhau nhưng độ lớn cho bởi:

$$L = \sqrt{\ell(\ell + 1)}\hbar \quad (9.8)$$

và hình chiếu của môment động lượng \vec{L} lên phương z bất kì luôn được xác định bởi hệ thức:

$$L_z = m\hbar, \quad (9.9)$$

trong đó, $\ell = 0, 1, 2, \dots$ và $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \ell$,

Với ℓ xác định, có tất cả $2\ell + 1$ giá trị khác nhau của m . Tương ứng, với mỗi giá trị ℓ xác định, tương ứng có giá trị $|\vec{L}|$ xác định, và có $2\ell + 1$ giá trị khác nhau của L_z .

9.2 Bài tập

Bài 9.1. Cho bước sóng của bốn vạch trong dãy Balmer của quang phổ hiđrô là:

$$\begin{aligned} \text{Vạch đỏ}(H_\alpha) : & \quad 0,656\mu m; \quad \text{Vạch lam}(H_\beta) : \quad 0,486\mu m \\ \text{Vạch chàm}(H_\gamma) : & \quad 0,434\mu m; \quad \text{Vạch tím}(H_\delta) : \quad 0,410\mu m \end{aligned} \quad (9.10)$$

Tìm bước sóng ánh sáng của 3 vạch trong dãy Paschen của quang phổ hồng ngoại.

$$\text{Đáp số: } \lambda_{43} = 1,875 \mu m; \quad \lambda_{53} = 1,282 \mu m; \quad \lambda_{63} = 1,093 \mu m$$

Bài 9.2. Xác định bước sóng lớn nhất và nhỏ nhất trong dãy Paschen trong quang phổ hiđrô.

$$\text{Đáp số: } \lambda_{max} = 1,88 \mu m; \quad \lambda_{min} = 0,83 \mu m$$

Bài 9.3. Xác định bước sóng của vạch quang phổ thứ hai, thứ ba trong dãy Balmer trong quang phổ hiđrô.

$$\text{Đáp số: } \lambda_{42} = 0,49.10^{-6} \text{ m}; \quad \lambda_{52} = 0,437.10^{-6} \text{ m}$$

Bài 9.4. Xác định bước sóng của vạch quang phổ thứ hai và thứ ba trong dãy Lyman trong quang phổ hiđrô.

$$\text{Đáp số: } \lambda_{31} = 0,103.10^{-6} \text{ m}; \quad \lambda_{41} = 0,98.10^{-6} \text{ m}$$

Bài 9.5. Electron trong nguyên tử hiđrô chuyển từ mức năng lượng thứ ba về mức năng lượng thứ nhất. Xác định bước sóng của bức xạ điện từ do nó phát ra.

$$\text{Đáp số: } \lambda = 1,03.10^{-7} \text{ m}$$

Bài 9.6. Xác định bước sóng lớn nhất và nhỏ nhất trong dãy Lyman trong quang phổ hiđrô.

Đáp số: $\lambda_{max} = 1,22.10^{-7} \text{ m}$; $\lambda_{min} = 0,92.10^{-7} \text{ m}$

Bài 9.7. 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 hiđrô (dãy Lyman).

Đáp số: $\epsilon_{min} = 1,02 \text{ eV}$; $\epsilon_{max} = 13,5 \text{ eV}$

Bài 9.8. Nguyên tử hiđrô 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 hiđrô 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 ?

Đáp số: $\lambda_{31} = 1216 \text{ Å}$; $\lambda_{21} = 1026 \text{ Å}$; $\lambda_{32} = 6563 \text{ Å}$

Bài 9.9. Tìm năng lượng nhỏ nhất (tính ra eV) của các electron để khi kích thích các nguyên tử hiđrô, quang phổ của nguyên tử hiđrô có ba vạch. Tìm bước sóng của ba vạch đó.

Đáp số: $\lambda_{21} = 1216 \text{ Å}$; $\lambda_{31} = 1026 \text{ Å}$; $\lambda_{32} = 6563 \text{ Å}$

Bài 9.10. Nguyên tử hiđrô 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.

Đáp số: số vạch bằng $n(n - 1)/2$

Bài 9.11. Photon có năng lượng 16,5eV làm bật electron ra khỏi nguyên tử đang ở trạng thái cơ bản. Tính vận tốc của electron khi bật ra khỏi nguyên tử.

Đáp số: $v = 10^6 \text{ m/s}$

Bài 9.12. Tìm năng lượng tối thiểu (ra eV) mà các electron phải có để có thể làm xuất hiện tất cả các vạch quang phổ hiđrô khi cho electron này va chạm với các nguyên tử hiđrô.

Đáp số: $\epsilon = 13,6 \text{ eV}$

Bài 9.13. Xác định điện thế kích thích đầu tiên đối với nguyên tử hiđrô.

Đáp số: $U = 10,2 \text{ V}$

Bài 9.14. Xác định các giá trị khả dĩ của mômen động lượng orbital của electron trong nguyên tử hiđrô bị kích thích, cho biết năng lượng kích thích bằng $E = 12\text{eV}$.

Đáp số: $\ell = 0, 1, 2 \rightarrow L = 0, \sqrt{2}\hbar, \sqrt{6}\hbar$

Bài 9.15. Gọi α là góc giữa phương từ trường ngoài và mômen orbital \vec{L} của electron trong nguyên tử. Tính góc α nhỏ nhất, cho biết electron trong nguyên tử ở trạng thái d .

Đáp số: $\alpha = 35^\circ 10'$

Bài 9.16. Tính độ lớn của mô men động lượng orbital và giá trị hình chiếu của mômen động lượng orbital của electron trong nguyên tử ở trạng thái f .

Đáp số: $L = 2\sqrt{3}\hbar$

Bài 9.17. Nguyên tử hiđrô ở trạng thái cơ bản hấp thụ photon mang năng lượng $10,2\text{eV}$ và nhảy lên trạng thái kích thích n . Tìm độ biến thiên mômen động lượng orbital của electron, biết trạng thái kích thích của electron ở trạng thái p .

Đáp số: $\Delta L = \sqrt{2}\hbar$

Bài 9.18. Năng lượng liên kết của electron hoá trị trong nguyên tử Liti ở trạng thái $2s$ bằng $5,59\text{eV}$, ở trạng thái $2p$ bằng $3,54\text{eV}$. Tính các số bổ chính Rydberg đối với các số hạng quang phổ s và p của Liti.

Đáp số: $\Delta_s = -0,41; \Delta_p = -0,04$

Bài 9.19. Tìm bước sóng của các bức xạ phát ra khi nguyên tử Li chuyển trạng thái $3S \rightarrow 2S$ cho biết các số bổ chính Rydberg đối với nguyên tử Li: $\Delta_s = -0,41, \Delta_p = -0,04$.

Đáp số: $\lambda_1 = 0,82 \cdot 10^{-6} \text{ m}; \lambda_2 = 0,68 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

Bài 9.20. Nguyên tử Na chuyển từ trạng thái năng lượng $4S \rightarrow 3S$. Tìm bước sóng của các bức xạ phát ra. Cho số bổ chính Rydberg đối với Na bằng $\Delta_s = -1,37, \Delta_p = -0,9$.

Đáp số: $\lambda_1 = 5890 \text{ Å}; \lambda_2 = 11400 \text{ Å}$

Bài 9.21. Các chuyển dời nào dưới đây bị cấm bởi các qui tắc lựa chọn

- a. $^2S_{1/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$ b. $^2S_{1/2} \rightarrow ^2D_{3/2}$ c. $^2P_{1/2} \rightarrow ^2S_{1/2}$ d. $^2D_{5/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$
e. $^2F_{7/2} \rightarrow ^2D_{3/2}$ f. $^2D_{3/2} \rightarrow ^2F_{5/2}$ g. $^2F_{5/2} \rightarrow ^2P_{5/2}$

Đáp số: b, d, e, g

Bài 9.22. Tính giá trị hình chiếu mômen động lượng orbital của electron ở trạng thái d .

Đáp số: $\Delta L_z = 0, \pm\hbar, \pm\hbar$

Bài 9.23. Trong nguyên tử Na, electron hóa trị ở trạng thái ứng với $n = 3$. Tìm những trạng thái năng lượng có thể chuyển về trạng thái này (có xét đến spin).

Bài 9.24. Bước sóng của vạch cộng hưởng của nguyên tử kali ứng với sự chuyển dời $4P \rightarrow 4S$ bằng 7665\AA . Bước sóng giới hạn của dãy chính bằng 2858\AA . Tìm số bổ chính Rydberg Δ_s và Δ_p đối với Kali.

Đáp số: $\Delta_s = -2,23; \Delta_p = -1,915$

Bài 9.25. Khảo sát sự tách vạch quang phổ: $mD - nP$ trong từ trường yếu.

Bài 9.26. Có bao nhiêu electron s , electron p và electron d trong lớp K ? L ? M?