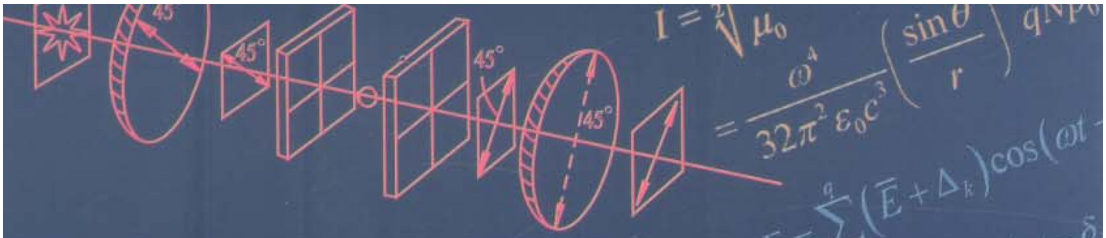


Bài tập và lời giải của các
Trường Đại học nổi tiếng Hoa Kỳ

Major American Universities Ph.D. Qualifying Questions and Solutions

BÀI TẬP VÀ LỜI GIẢI QUANG HỌC

PROBLEMS AND SOLUTIONS ON OPTICS

Biên soạn:
Trường Đại học Khoa học
và Công nghệ Trung Hoa

Chủ biên:
Yung-Kuo Lim

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

Bài tập và lời giải

QUANG HỌC

PROBLEMS AND SOLUTIONS ON OPTICS

Compiled by

The Physics Coaching Class
University of Science and Technology of China

Edited by

Yung-Kuo Lim
National University of Singapore

© World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
New Jersey.London.Singapore.Hong Kong

First published 1995
Reprinted 2001, 2003

BÀI TẬP & LỜI GIẢI

QUANG HỌC

(Tái bản lần thứ nhất)

Người dịch:

NGUYỄN ĐỨC BÍCH

PHẠM VĂN THIỀU

NGUYỄN PHÚC KỲ THỌ

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

114-2010/CXB/47-129/GD Mã số: 8Z076z0-SBQ

LỜI NHÀ XUẤT BẢN

*Bộ sách **Bài tập và lời giải vật lý** gồm bảy cuốn:*

1. *Quang học*
2. *Vật lý chất rắn, Thuyết tương đối & Các vấn đề liên quan*
3. *Điện từ học*
4. *Cơ học*
5. *Vật lý Nguyên tử, Hạt nhân và Các hạt cơ bản*
6. *Cơ học Lượng tử*
7. *Nhiệt động lực học & Vật lý thống kê*

Đây là tuyển tập gồm 2550 bài tập được lựa chọn kĩ lưỡng từ 3100 đề thi vào đại học và thi tuyển nghiên cứu sinh chuyên ngành vật lý của 7 trường đại học nổi tiếng ở Mỹ (Đại học California ở Berkeley, Đại học Columbia, Đại học Chicago, Viện Công nghệ Massachusetts (MIT), Đại học Bang New York ở Buffalo, Đại học Princeton, Đại học Wiscosin). Trong số này còn có các đề thi trong chương trình CUSPEA và các đề thi do nhà vật lý đoạt giải Nobel người Mỹ gốc Trung Quốc C. C Ting (CCT) soạn để tuyển chọn sinh viên Trung Quốc đi du học ở Hoa Kỳ. Những đề thi này được xuất bản kèm theo lời giải của hơn 70 nhà vật lý có uy tín của Trung Quốc và 20 nhà vật lý nổi tiếng kiểm tra, hiệu đính. Tất cả các cuốn sách trên đã được tái bản, riêng cuốn Điện từ học đã được tái bản 6 lần.

Điểm đáng lưu ý về bộ sách này là nó bao quát được mọi vấn đề của vật lý học, từ cổ điển đến hiện đại. Bên cạnh những bài tập đơn giản nhằm khắc sâu những khái niệm cơ bản của Vật lý học, không cần những công cụ toán học phức tạp cũng giải được, bộ sách còn có những bài tập khó và hay, đòi hỏi phải có kiến thức và tư duy vật lý sâu sắc với các phương pháp và kĩ thuật toán học phức tạp hơn mới giải được. Có thể nói đây là một tài liệu bổ sung vô giá cho sách giáo khoa và giáo trình đại học ngành vật lý, phục vụ một phạm vi đối tượng rất rộng, từ các giáo viên vật lý phổ thông, giảng viên các trường đại học cho đến học sinh các lớp chuyên lý, sinh viên khoa vật lý và sinh viên các lớp tài năng của các trường đại học khoa học tự nhiên, đặc biệt là cho những ai muốn du học ở Mỹ.

Nhà xuất bản Giáo dục trân trọng giới thiệu bộ sách tới độc giả.

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

LỜI NÓI ĐẦU

*Làm bài tập là một việc tất yếu và quan trọng trong quá trình học Vật lý nhằm củng cố lý thuyết đã học và trau dồi kĩ năng thực hành. Trong cuốn **Quang học** có 160 bài tập và lời giải: quang hình học (41 bài), quang học sóng (89 bài) và quang học lượng tử (30 bài). Hầu hết các bài chọn đưa vào cuốn sách này đều phù hợp với chương trình vật lý bậc đại học và sau đại học của chuyên ngành quang học. Tuy nhiên, cuốn sách cũng giới thiệu một số bài tập đòi hỏi phải sử dụng kiến thức cũng như kĩ năng vẫn còn khá xa lạ với người học. Ngoài ra, một số kết quả nghiên cứu gần đây cũng được đưa vào cuốn sách này, nhằm giúp người học không chỉ nắm bắt lý thuyết cơ bản mà còn có thể vận dụng kiến thức cơ bản một cách sáng tạo vào việc học tập và nghiên cứu.*

MỤC LỤC

Lời nói đầu

Phần 1 QUANG HÌNH HỌC (1001 – 1041) 3

Phần 2 QUANG HỌC SÓNG (2001 – 2089) 53

Phần 3 QUANG HỌC LƯỢNG TỬ (3001 – 3030) 150

PHẦN 1 QUANG HÌNH HỌC

1001

Cầu vồng được tạo bởi:

a) sự khúc xạ của các tia sáng mặt trời qua các giọt nước trong khí quyển.

b) sự phản xạ của tia sáng mặt trời ở các đám mây.

c) Sự khúc xạ tia sáng mặt trời trong mắt người.

(CCT)

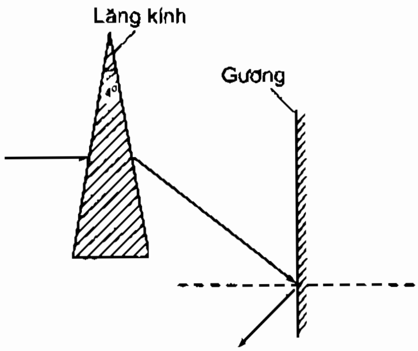
Lời giải.

Đáp án a)

1002

Một tia sáng chiếu theo phương nằm ngang đi qua một lăng kính có chiết suất 1.50, góc chiết quang 4^o, rồi phản xạ trên một gương phẳng đặt thẳng đứng như hình vẽ. Cần phải quay gương một góc bao nhiêu để tia phản xạ nằm ngang.

(Wisconsin)



Hình 1.1

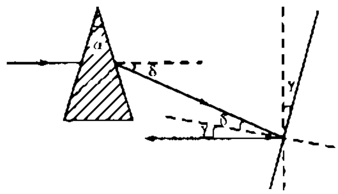
Lời giải.

Vì góc chiết quang của lăng kính rất nhỏ ($\alpha = 4^o$), nên góc lệch δ có thể tính gần đúng là:

$$\delta = (n-1)\alpha = (1{,}5-1)\times 4^o = 2^o$$

Từ hình 1.2 ta thấy rằng để tia phản xạ nằm ngang phải quay gương theo chiều kim đồng hồ một góc γ là:

$$\gamma = \frac{\delta}{2} = 1^o .$$

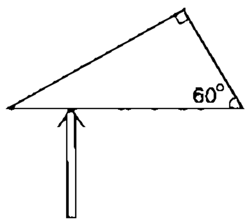


Hình 1.2

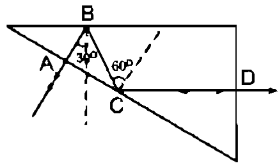
1003

Một chùm sáng hẹp chiếu tới một lăng kính có tiết diện thẳng là một tam giác vuông với một góc nhọn là 60^o như vẽ trên hình 1.3. Chiết suất của lăng kính là $n = 2{,}1$. Chứng tỏ rằng toàn bộ chùm sáng sẽ ló ra hoặc ở mặt bên phải hoặc đi ngược trở lại theo đường của chùm tia tới.

(Wisconsin)



Hình 1.3



Hình 1.4

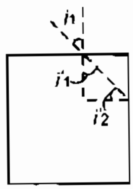
Lời giải.

Như ta thấy trên hình 1.4, chùm tia tới vuông góc với mặt đáy thì góc tới tại B là 30^o, tại C là 60^o và cả hai góc này đều lớn hơn góc giới hạn θ_c của lăng kính

$$\theta_c = \sin^{-1}\frac{1}{n} = 28^o26'$$

Vì thế tia sáng phản xạ toàn phần tại B và tại C. Như vậy chùm sáng một phần phản xạ trở lại từ mặt đáy và ló ra ở mặt bên phải. Do đó toàn bộ chùm tia ló ra hoặc ở mặt bên phải, hoặc đi ngược trở lại theo đường tia tới.

1004



Hình 1.5

Một khối thuỷ tinh hình lập phương có chiết suất 1,5. Một chùm tia sáng tới xiên góc với mặt trên và đi tới mặt bên của khối. Tia sáng có ló ra ở mặt này không? Giải thích.

(Wisconsin)

Lời giải.

Gọi góc tới và góc khúc xạ ở mặt trên tương ứng là i_1 và i_1'. Theo định luật khúc xạ Snell

$$\sin i_1 = n \sin i_1' .$$

Từ hình 1.5 ta thấy $i_1' + i_2 = 90^0$, với i_2 là góc tới mặt bên phải. Do đó, ta có

$$\sin i_1 = n \cos i_2 ,$$

hay

$$i_2 = \cos^{-1}\left(\frac{\sin i_1}{n}\right)$$

Khi $i_1 = 90^0$, thì i_2 có giá trị cực tiểu

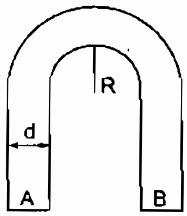
$$i_2 = \cos^{-1}\frac{1}{1,5} = 48^0 10' > i_c = 42^0 \text{ (góc tới hạn)}$$

Vì thế không có tia ló ở mặt này.

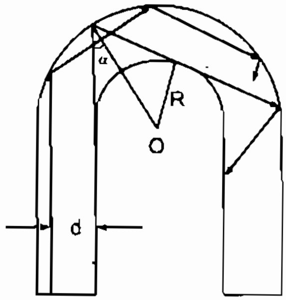
1005

Một thanh thuỷ tinh có tiết diện ngang là hình chữ nhật được uốn cong như hình 1.6. Một chùm sáng song song tới vuông góc mặt phẳng A. Tính giá trị cực tiểu của tỷ số R/d để mọi tia sáng đi vào thanh thủy tinh vuông góc với mặt A sẽ ló ra ở mặt B. Chiết suất của thuỷ tinh là 1,5.

(Wisconsin)



Hình 1.6



Hình 1.7

Lời giải.

Khảo sát những tia sáng đại diện trên hình 1.7. Tia sáng tới khối thuỷ tinh qua mặt A và đi dọc theo mặt trong của khối sẽ đến phản xạ ở mặt ngoài với góc nhỏ nhất α, rồi phản xạ tại đó theo phương tiếp tuyến với mặt trong. Ta cần khảo sát điều kiện để các tia sáng sẽ bị phản xạ toàn phần trước khi tới B.

Nếu $\alpha > \theta_c$ (θ_c là góc tới hạn) thì sẽ xảy ra phản xạ toàn phần, và như vậy toàn thể chùm tia tới sẽ ló ra ở mặt B. Vì thế ta cần có

$$\sin\alpha > \frac{1}{n}.$$

Từ hình vẽ ta có

$$\sin\alpha = \frac{R}{(R+d)}$$

Do đó

$$\frac{R}{(R+d)} \geq \frac{1}{n}$$

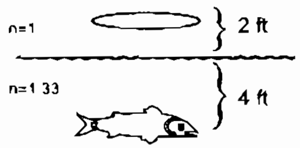
hoặc

$$\left(\frac{R}{d}\right)_{\min} = \frac{1}{n-1} = \frac{1}{1{,}5-1} = 2$$

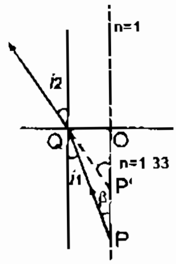
1006

Một con cá nhỏ bơi cách mặt nước hồ Mendota 4 fit được nhìn qua một thấu tính mỏng có tiêu cự 30 fit. Nếu thấu kính đặt phía trên cách mặt nước 2 fit (hình 1.8) thì sẽ nhìn thấy ảnh con cá ở đâu? Giả thiết con cá nằm trên trục chính của thấu kính, và chiết suất của không khí $n_{kk} = 1,0$ và của nước $n_n = 1,33$.

(Wisconsin)



Hình 1.8



Hình 1.9

Lời giải.

Một vật đặt tại P trong nước thì người quan sát ở trong không khí sẽ thấy ảnh của nó tại P', như vẽ trên hình 1.9. Một tia sáng gần trục từ P phát ra sẽ khúc xạ trên mặt nước, và ta có

$$1,33\sin i_1 = \sin i_2$$

Vì i_1, i_2 là rất nhỏ nên gần đúng ta có $1,33 i_1 = i_2$. Ngoài ra

$$i_2 = \alpha \approx \frac{\overline{OQ}}{\overline{OP'}}, \; i_1 = \beta \approx \frac{\overline{OQ}}{\overline{QP}}.$$

Vì thế ta có

$$\overline{OP'} = \frac{1}{1,33} \cdot \overline{OP} = 3ft.$$

Gọi khoảng cách từ tâm thấu kính đến ảnh (tức vị trí biểu kiến) của con cá là d thì

$$d = 2 + \overline{OP'} = 5ft$$

Từ công thức thấu kính $\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d'}$, ta có

$$d' = -6ft.$$

Như vậy ảnh của con cá qua thấu kính vẫn ở chỗ con cá, tức là cách mặt nước 4ft.

1007

Chiết suất của thuỷ tinh có thể tăng khi lẫn tạp chất. Điều này cho phép chế tạo thấu kính có bề dày không đổi. Cho một đĩa tròn bán kính a, độ dày d, hãy tìm sự biến thiên theo bán kính của chiết suất $n(r)$ để tạo ra một thấu kính có tiêu cự f. Xem thấu kính là mỏng ($d \ll a$).

(Chicago)

Lời giải.

Gọi chiết suất của đĩa là n và sự phân bố theo bán kính của chiết suất của đĩa lẫn tạp chất biểu diễn bằng hàm $n(r)$, với $n(0)=n_0$. Các sóng phẳng tới thấu kính, khúc xạ và hội tụ tại tiêu điểm F như vẽ trong hình 1.10. Ta có

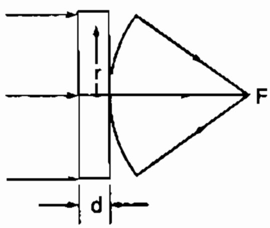
$$\left[n(r)-n_0\right]d=-\sqrt{f^2+r^2}+f\,,$$

tức

$$n(r)=n_0-\frac{\sqrt{f^2+r^2}-f}{d}\,.$$

Khi $f \gg r$, ta thu được

$$n(r)=n_0-\frac{r^2}{2df}\,.$$



Hình 1.10

1008

Chiết suất của không khí ở nhiệt độ 300 K và áp suất 1atm là 1,0003 đối với ánh sáng ở khoảng giữa của quang phổ nhìn thấy. Giả thiết khí quyển là đẳng nhiệt ở 300 K, hãy tính xem khí quyển của quả đất cần phải có mật độ lớn hơn bao nhiêu lần để ánh sáng bị uốn theo mặt cong của quả đất tại mực nước biển ? (Về nguyên tắc khi bầu trời quang mây có thể ngắm mặt trời lặn cả đêm, tuy rằng ảnh mặt trời khi đó bị nén mạnh theo phương thẳng đứng). Giả thiết rằng chiết suất n có tính chất là $n-1$ tỷ lệ với mật độ. (*Gợi ý*: Dùng nguyên lý Fermat). Độ cao $1/e$ của khí quyển đẳng nhiệt này là 8700 m.

(UC, Berkeley)

Lời giải.

Theo đề bài

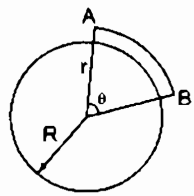
$$n(r)-1=\rho e^{-\frac{r-R}{8700}},$$

trong đó $R=6400\times 10^3$ m là bán kính quả đất và ρ là mật độ không khí. Khi đó

$$n(r)=1+\rho e^{-\frac{r-R}{8700}} \quad (1)$$

$$\frac{dn(r)}{dr}=n'(r)=-\frac{1}{8700}\rho e^{-\frac{r-R}{8700}} \quad (2)$$

Cũng theo đề bài không khí có mật độ đủ lớn để làm cho ánh sáng bị cong theo mặt cong của trái đất ở mức nước biển như trên hình 1.11.



Hình 1.11

Độ lớn quang trình từ A đến B là

$$l=n(r)r\theta.$$

Theo nguyên lý Fermat, độ dài quang trình từ A đến B phải đạt cực trị, tức là

$$\frac{dl}{dr}=\left[n'(r)r+n(r)\right]\theta=0,$$

tức là

$$n'(r)=\frac{-n(r)}{r}. \quad (3)$$

Thay (3) vào (2) ta được

$$\frac{1}{8700}\rho e^{-\frac{r-R}{8700}}=\frac{n(r)}{r}. \quad (4)$$

Tại mức nước biển, $r = R = 6400\times10^3$ m. Dùng giá trị này kết hợp với (1) và (4) ta được

$$\frac{\rho\times6400\times10^3}{8700}=1+\rho\,,$$

Suy ra $\rho = 0.00136$.

Tại mức nước biển , tức là tại 300K và 1atm, $n_0 - 1 = \rho_0 = 0{,}0003$.

Do đó

$$\frac{\rho}{\rho_0}=4{,}53$$

Như vậy chỉ khi không khí có mật độ bằng 4,53 lần mật độ khí thực thì ánh sáng mới bị uốn quanh quả đất với độ cong bằng độ cong của mặt quả đất tại mức nước biển.

1009

Một chùm tia sáng song song lập một góc 5^0 với trục chính của một thấu kính phân kỳ có tiêu cự -20 cm. Hãy xác định ảnh của nó.

(Wisconsin)

Lời giải.

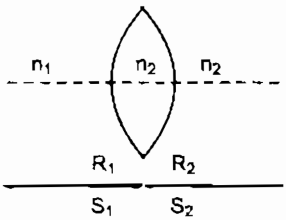
$20\times\tan5^0 = 1{,}75$ cm. Ảnh là ảo nằm trên mặt phẳng tiêu cách trục chính 1,75 cm.

1010

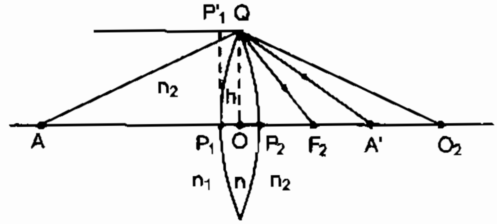
Một thấu kính mỏng có chiết suất n và bán kính các mặt cong là R_1 và R_2, đặt giữa hai môi trường có chiết suất $n1$, $n2$ như trên hình 1.12. Nếu S_1 và S_2 lần lượt là các khoảng cách từ vật và ảnh đến thấu kính, còn f_1 và f_2 là tiêu cự tương ứng, chứng minh rằng

$$\frac{f_1}{S_1}+\frac{f_2}{S_2}=1\,.$$

(Wisconsin)



Hình 1.12



Hình 1.13

Lời giải.

Đầu tiên ta nghiên cứu mối liên hệ giữa f_1, f_2 và R_1, R_2, n_1, n_2, n. Như chỉ ra trên hình 1.13, một tia song song với trục khúc xạ tại Q và cắt trục tại tiêu điểm ảnh F_2; một tia dọc theo trục chính cũng đi qua F_2. Vì quang trình của hai tia phải bằng nhau nên ta có

$$n_1 \overline{P_1'Q} + n_2 \overline{QF_2} = n \overline{P_1P_2} + n_2 \overline{P_2F_2}. \qquad (1)$$

Vì $\overline{QO_2} = \overline{P_1O_2} = R_1$, ta có

$$\overline{P_1O} = R_1 - \overline{OO_2} = R_1 - \sqrt{R_1^2 - h^2} \approx \frac{h^2}{2R_1} \quad \left(\frac{h}{R_1} \ll 1\right).$$

Cũng theo cách tương tự, ta có

$$\overline{P_2O} \approx \frac{h^2}{2R_2}.$$

Do đó $\overline{P_1P_2} = \dfrac{h^2}{2}\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}\right)$. Vì $\overline{P_1'Q} = \overline{P_1O}$,

$$\overline{QF_2} = (h^2 + f_2^2)^{\frac{1}{2}} \approx f_2\left(1 + \frac{h^2}{2f_2^2}\right),$$

$$\overline{P_2F_2} = f_2 - \overline{P_2O} = f_2 - \frac{h^2}{2R_2},$$

Thay vào (1) ta được

$$\frac{n_2}{f_2} = \frac{n - n_1}{R_1} + \frac{n - n_2}{R_2}. \qquad (2)$$

Tương tự, ta cũng có

$$\frac{n_1}{f_1} = \frac{n - n_1}{R_1} + \frac{n - n_2}{R_2}. \qquad (3)$$

Gọi A và A' là một cặp điểm liên hợp. Ta có

$$\overline{AQ} = (h^2 + S_1^2)^{1/2} \approx S_1\left(1 + \frac{h^2}{2S_1^2}\right), \quad \overline{A'Q} = S_2\left(1 + \frac{h^2}{2S_2^2}\right),$$

$$\overline{AP_1} = S_1 - \overline{P_1O} = S_1 - \frac{h^2}{2R_1}, \quad \overline{AP_2} = S_2 - \frac{h^2}{2R_2}.$$

Thay chúng vào phương trình quang trình (1), ta được

$$n_1\overline{AQ} + n_2\overline{A'Q} = n_1\overline{AP_1} + n\overline{P_1P_2} + n_2\overline{A'P_2}$$

Suy ra

$$\frac{n_1}{S_1} + \frac{n_2}{S_2} = \frac{n - n_1}{R_1} + \frac{n - n_2}{R_2} \qquad (4)$$

Kết hợp (2), (3) và (4) suy ra

$$\frac{f_1}{S_1} + \frac{f_2}{S_2} = 1.$$

1011

Một vật mảnh cao 5mm đặt trước và cách thấu kính của một máy ảnh 50cm. Ảnh được điều chỉnh để hiện trên phim và có độ cao 1mm. Nếu phim dịch chuyển về phía sau 1 cm thì độ nhoè của ảnh có độ rộng là 1mm. Tính số F của thấu kính (tức tỉ số của tiêu cự và đường kính của thấu kính - ND)?

(Wisconsin)

Lời giải.

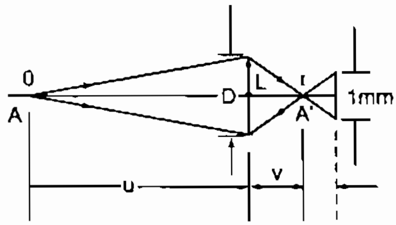
Thay $d = 50\,\text{cm}$ và $\frac{d'}{d} = \frac{1}{5}$ vào công thức thấu kính

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{f}$$

Ta tính được $f = 8{,}33\,\text{cm}$ và $d' = 10\,\text{cm}$. Từ những tam giác đồng dạng trên hình 1.14 ta có

$$\frac{D}{d'} = \frac{0{,}1}{1},$$

hay $D = 0{,}1d' = 1\,\text{cm}$. Do đó $F = f/D = 8{,}33$.

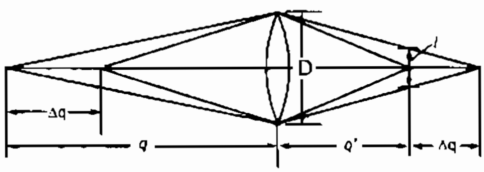


Hình 1.14

1012

Đối với thấu kính của một máy ảnh, người ta định nghĩa "độ sâu của trường" là khoảng cách dịch chuyển của một vật điểm từ vị trí nó cho ảnh rơi chính xác trên phim tới điểm mà nó cho một vòng tròn sáng có đường kính nào đó, chẳng hạn là l, trên phim, gọi là " vòng tròn nhoè". Đối với một bức ảnh cho trước, hãy tìm mối liên hệ giữa độ sâu của trường Δq như một hàm số của khoảng cách vật q, f - stop (tức tỉ số D/f) và l. (Có thể xét những khoảng cách của vật rất lớn hơn tiêu cự)

(Wisconsin)



Hình 1.15

Lời giải.

Từ công thức thấu kính

$$\frac{1}{q}+\frac{1}{q'}=\frac{1}{f}$$

suy ra $\frac{dq'}{dq}=-\left(\frac{q'}{q}\right)^2$. Như vậy đối với độ dịch nhỏ Δq của khoảng cách vật (độ sâu của trường, thì độ dịch của khoảng cách ảnh là

$$|\Delta q'|\approx|\Delta q|\left(\frac{q'}{q}\right)^2.$$

Từ hình 1.15 ta thấy

$$\frac{\Delta q'}{l} = \frac{(q' + \Delta q')}{D} \approx \frac{q'}{D},$$

trong đó D là đường kính của thấu kính. Vì $q \gg f$, $q' \approx f$, ta thu được

$$\Delta q \approx \frac{lq'}{D}\left(\frac{q}{q'}\right)^2 \approx \frac{lf}{D}\left(\frac{q}{f}\right)^2 = \frac{l}{F}\left(\frac{q}{f}\right)^2$$

ở đây $F = \frac{D}{f}$ là f-stop của thấu kính.

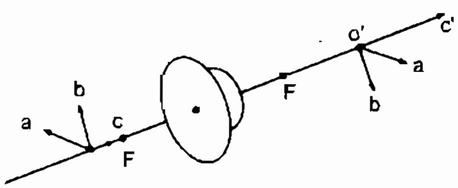
1013

Hãy minh hoạ bằng cách vẽ phác vị trí và sự định hướng của ảnh của một vật hình 3 mũi tên H.1.16. Chiều dài của mỗi mũi tên là $1/2$ đơn vị và điểm O ở cách tâm của một thấu kính lồi một khoảng là $3/2\ f$ ($f = 1$ đơn vị). Tính chiều dài ảnh của các mũi tên.

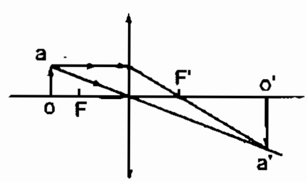
(Wisconsin)

Lời giải.

Ảnh của mũi tên a được vẽ trên hình 1.17. Từ công thức thấu kính suy ra chiều dài ảnh mũi tên này là 1 đơn vị. Do tính đối xứng, chiều dài ảnh của mũi tên b cũng như thế. Ngọn của mũi tên c trùng với tiêu điểm F; do đó ảnh của nó kéo dài từ O' đến vô hạn. Hình 1.16 vẽ vị trí và định hướng của các mũi tên ảnh này.



Hình 1.16



Hình 1.17

1014

Một người 55 tuổi có thể nhìn rõ từ 100 cm đến 300 cm. Xem mắt như là một thấu kính đơn đặt cách võng mạc 2cm.

a) Tính tiêu cự của thấu kính tại điểm cực viễn (300 cm)?

b) Tính tiêu cự của thấu kính tại điểm cực cận (100 cm)?

c) Tính tiêu cự của kính cần đeo ở phần dưới của kính hai tròng để nhìn rõ vật cách mắt 25 cm?

(Wisconsin)

Lời giải.

a) $\frac{1}{f_V}=\frac{1}{d_V}+\frac{1}{d'}$, với $d_V=300$ cm, $d'=2$ cm.

Giải phương trình trên ta được $f_V=1{,}987$ cm.

b) $\frac{1}{f_C}=\frac{1}{d_C}+\frac{1}{d'}$, $d_C=100$ cm, $d'=2$ cm.

Giải phương trình này ta được $f_C=1{,}961$ cm

c) Để nhìn rõ vật ở cách mắt 25 cm thì độ tụ của thấu kính ghép gồm mắt và kính cần đeo là

$$\Phi=\frac{1}{d}+\frac{1}{d'}=\frac{1}{0{,}25}+\frac{1}{0{,}02}=54\text{ đp},$$

với

$$\Phi=\Phi_m+\Phi_k .$$

Do đó $\Phi_k=\Phi-\Phi_m=54-\frac{1}{0{,}01961}=3$ đp (ở đây ta đã lấy $\Phi_m=\frac{1}{f_C}$). Vậy người này cần phải đeo kính viễn thị 3 đp. Tiêu cự tương ứng của kính này là

$$f_k=\frac{1}{\Phi_k}=\frac{1}{3}m=33{,}3\,cm .$$

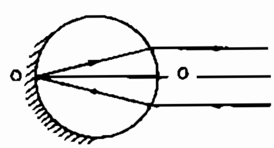
1015

Gương phản xạ lùi là một thiết bị quang học phản xạ ánh sáng quay ngược trở lại so với chiều mà nó tới. Loại quen thuộc nhất là hình lập phương có góc phản xạ, nhưng gần đây nhất là những hình cầu "*Scotchlite*" do công ty 3M sáng chế.

a) Hãy tính chiết suất n và các thông số liên quan khác để đảm bảo hình cầu phản xạ lùi ánh sáng.

b) Hãy vẽ phác sơ đồ làm việc của Scotchlite và thảo luận một cách định tính những yếu tố quyết định hiệu suất phản xạ của nó.

(UC, Berkeley)



Hình 1.18

Lời giải.

a) Hình cầu " Scotchlite" là một qủa cầu chiết suất n, có nửa bán cầu sau là mặt phản xạ. Tiêu cự trong không gian ảnh, f, đối với mặt khúc xạ đơn cho bởi công thức

$$f = \frac{nr}{n-1},$$

Trong đó r là bán kính mặt cầu. Chiết suất của không khí là 1. Chiết suất của thuỷ tinh được chọn sao cho tiêu điểm sau của nửa mặt cầu trước trùng với đỉnh của nửa mặt cầu sau (xem hình 1.18), tức là,

$$f = 2r.$$

Vì thế $n = 2$.

b) Nửa mặt cầu sau của hình cầu Scotchlite phản xạ một phần ánh sáng tới, hệ số phản xạ lùi η cho bởi công thức

$$\eta = T^2 R,$$

trong đó T là độ trong suốt của nửa mặt cầu trước tại đó ánh sáng khúc xạ hai lần, được tính là

$$T = \frac{4n}{(n+1)^2} = 0{,}89,$$

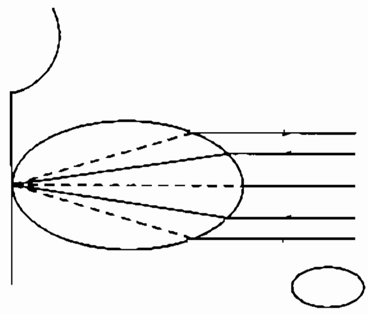
và R là độ phản xạ của nửa mặt cầu sau. Giả thiết ở đây không có sự hấp thụ. Đối với mặt tráng bạc, $R = 0{,}95$, ta có

$$\eta = 0{,}89^2 \times 0{,}95 = 75\,\%.$$

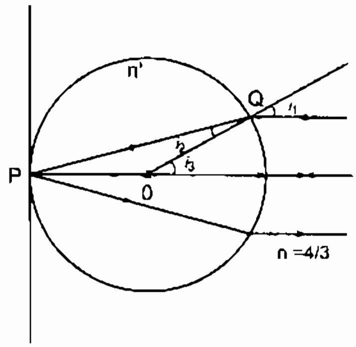
1016

Một màn chắn có dạng một hạt trong suốt (xem hình 1.19) sẽ truyền ngược ánh sáng trở lại nguồn nếu ánh sáng được tụ tiêu trên mặt sau của nó. Nếu nhúng chìm trong nước $\left(n = \frac{4}{3}\right)$, thì chiết suất của vật liệu tạo ra hạt lý tưởng nhất là bao nhiêu?

(Wisconsin)



Hình 1.19



Hình 1.20

Lời giải.

Gọi chiết suất cần tìm là n' (xem hình 1.20). Nếu một chùm tia song song với OP tới P, thì chùm tia phản xạ sẽ trở ngược lại song song với OP. Theo định luật khúc xạ $n'\sin i_2 = n\sin i_1$ đối với các góc nhỏ i_1 và i_2, phương trình này sẽ trở thành $n'i_2 = n\,i_1$. Vì $i_3 = i_1$, $i_3 = 2i_2$, ta có $i_1 = 2i_2$. Do đó $n' = 2\,n = \dfrac{8}{3}$.

1017

Một tia sáng đi vào một giọt nước hình cầu chiết suất n như vẽ trên hình 1.21.

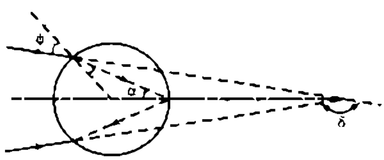
1) Góc tới α của tia sáng trên mặt đối diện là bao nhiêu? Tia này phản xạ một phần hay toàn phần?

2) Tìm biểu thức đối với góc lệch δ.

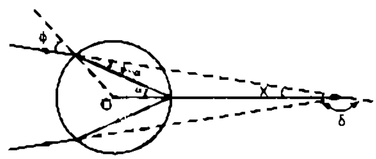
3) Tìm góc φ để gây ra góc lệch cực tiểu.

$$\left(Gợi\ ý: \frac{d\sin^{-1}x}{dx} = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}\right)$$

(CUSPEA)



Hình 1.21



Hình 1.22

Lời giải.

1) Hình 1.22 đã chỉ rõ các góc φ, α, $\varphi-\alpha$, x, δ. Trong đó góc α được tính từ công thức Snell $n\sin\alpha=\sin\varphi$. Vì $\sin\alpha=\frac{1}{n}\sin\varphi<\frac{1}{n}$, tức là góc tới nhỏ hơn góc tới hạn $\sin^{-1}\frac{1}{n}$, do đó tia tới phản xạ một phần trên mặt cầu đối diện.

2) Vì $\alpha=(\varphi-\alpha)+x$, hay $x=2\alpha-\varphi$, ta có $\delta=\pi-2x=\pi-4\alpha+2\varphi$.

3) Để góc lệch là cực tiểu cần phải có $\frac{d\delta}{d\varphi}=-4\frac{d\alpha}{d\varphi}+2=0$, hoặc $\frac{d\alpha}{d\varphi}=\frac{1}{2}$. Vì

$$\alpha=\sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\sin\varphi\right),$$

ta có $\frac{d\alpha}{d\varphi}=\frac{1}{n}\frac{\cos\varphi}{\cos\alpha}$ và từ đây suy ra

$$1-\frac{1}{n^2}\sin^2\varphi=\frac{4}{n^2}\cos^2\varphi\Rightarrow$$

$$1=\frac{1}{n^2}+\frac{3}{n^2}\cos^2\varphi,$$

hay

$$\cos^2\varphi=\frac{n^2-1}{3}$$

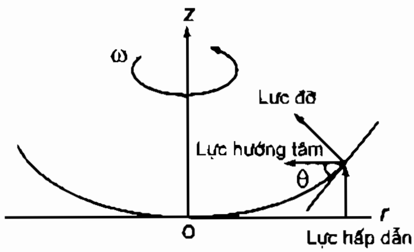
1018

Một thời người ta cho rằng gương trong kính thiên văn cần được chế tạo bằng cách quay một đĩa thủy ngân phẳng với vận tốc góc ω cho trước quanh trục thẳng đứng.

a) Hãy xác định phương trình mặt phản xạ (cũng tức là mặt thoáng của thủy ngân) khi đó.

b) Đĩa phải quay nhanh như thế nào để tạo ra một gương có tiêu cự 10 cm?

(Wisconsin)



Hình 1.23

Lời giải.

a) Do tính đối xứng của mặt phản xạ, ta chỉ cần xét trong một phẳng thẳng kinh tuyến. Giả sử phương trình mặt phản xạ (H.1.23) có dạng

$$z = f(r).$$

Bằng cách những khảo sát động lực học, đối với một yếu tố thể tích dV ta có

$$S\cos\theta = \rho g dV$$

$$S\sin\theta = \rho\omega^2 r dV$$

trong đó ρ và S tương ứng là mật độ (khối lượng riêng) của thuỷ ngân và lực đỡ tác dụng lên dV. Do đó

$$\tan\theta = \frac{\omega^2 r}{g}.$$

Vì

$$\tan\theta = \frac{dz}{dr},$$

ta nhận được phương trình vi phân mô tả mặt phản xạ

$$dz = \frac{\omega^2 r dr}{g}.$$

Lấy tích phân hai vế và đặt $z = 0$ khi $r = 0$, ta có

$$z = \frac{\omega^2 r^2}{2g}.$$

Đối với mặt cầu bán kính R

$$z = R - \sqrt{R^2 - r^2} \approx \frac{r^2}{2R}$$

nếu $r \ll R$. Khi đó tiêu cự của mặt thuỷ ngân quay là

$$f = \frac{R}{2} = \frac{g}{2\omega^2}.$$

Đối với $f = 10$ cm, ta cần có $\omega = 7$ rad/s.

1019

Một gương cầu lõm có bán kính cong 12 inche. Vật đặt cách đỉnh gương 4 inche. Tính độ phóng đại của ảnh và dựng ảnh.

(Wisconsin)

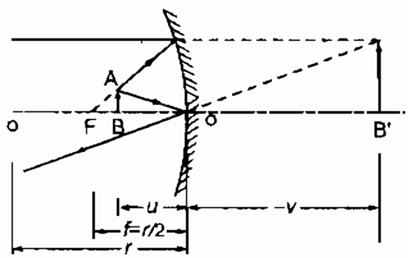
Lời giải.

Tiêu cự của gương cầu lõm là $f = \frac{r}{2} = 6$ inche, khoảng cách vật là $u = 4$ inche.

Dùng công thức $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$, ta tìm được khoảng cách ảnh $v = -12$ inche. Dấu trừ chứng tỏ ảnh là ảo. Độ phóng đại là

$$m = \left|\frac{v}{u}\right| = 3.$$

Sơ đồ dựng ảnh cho trên hình 1.24.



Hình 1.24

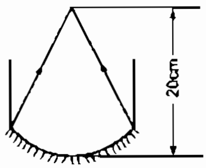
1020

a) Một gương cầu làm cho chùm sáng chuẩn trực hội tụ tại tiêu điểm cách gương $x = 20$ cm.

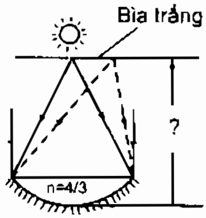
b) Khi gương chứa đầy nước có chiết suất $n = \frac{4}{3}$ và được rọi sáng qua một lỗ nhỏ trên một tấm bìa trắng (H. 1.25).

Hỏi ảnh rõ nét được tạo ra trên tấm bìa ở khoảng cách X là bao nhiêu?

(Wisconsin)



(1)



(2)

Hình 1.25

Lời giải.

Từ a) ta tìm được tiêu cự của gương là $f_a = 20$ cm (trong không khí).

Giả sử tiêu cự của gương là f_b khi nó chứa đầy nước. Khi đó những tia cận trục bị khúc xạ trên mặt phẳng nước, với khoảng cách vật là y, khoảng cách ảnh y' liên hệ với nhau như sau

$$y' = \frac{n'y}{n},$$

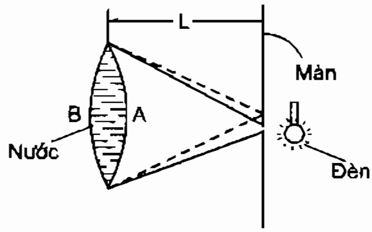
Trong đó n và n' là chiết suất của hai môi trường (xem bài 1006). Vì $y = f_a$, $n' = 1$, $n = 1,33$, ta có $f_b = y' = \frac{f_a}{n} = \frac{20}{\left(\frac{4}{3}\right)} = 15$ cm. Đối với gương cầu lõm nếu khoảng cách vật bằng khoảng cách ảnh thì khi đó nó bằng hai lần tiêu cự, tức là,

$$X = 2f_b = 30 \text{ cm}.$$

1021

Cho hai mặt kính đồng hồ giống nhau dán với nhau, mặt sau của một kính mạ bạc. Dùng cách tự chuẩn trực như được vẽ phác trên hình 1.26, thu được ảnh rõ nét tại $L = 20$ cm. Tìm L để nhận được ảnh rõ nét khi không gian giữa hai kính chứa đầy nước có chiết suất $n = \frac{4}{3}$.

(Wisconsin)



Hình 1.26

Lời giải.

Khi giữa hai kính là không khí, chỉ một kính đồng hồ được mạ bạc phản xạ và hội tụ ánh sáng tạo thành ảnh, tức là hệ tương đương một gương cầu lõm. Công thức đối với gương cầu lõm là

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{2}{r}$$

trong đó $u=v=20$ cm ta tính được $r=20$ cm.

Khi giữa hai kính là nước, tia sáng tới khúc xạ hai lần tại A và phản xạ một lần tại B tạo thành ảnh cuối cùng. Nhớ là ảnh thứ nhất tạo bởi A ở sau gương B và trở thành vật ảo đối với B. Tương tự ảnh tạo bởi B là vật ảo đối với A. Do đó ta có

$$\frac{1}{L}+\frac{1}{x}=\frac{n-1}{20},$$

$$-\frac{1}{x}+\frac{1}{y}=\frac{1}{10},$$

$$-\frac{n}{y}+\frac{1}{L}=\frac{n-1}{20},$$

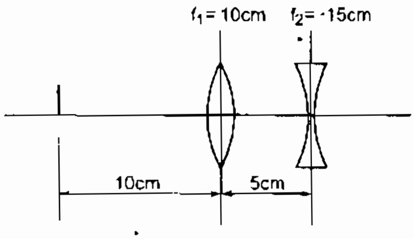
suy ra $L=12$ cm.

Như vậy ảnh rõ nét ở cách hệ $L=12$ cm.

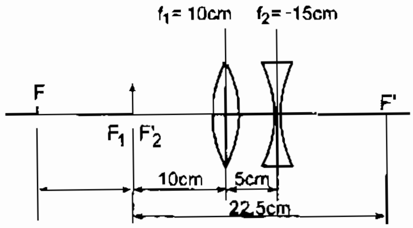
1022

Một vật phẳng đặt trước thấu kính hội tụ tiêu cự 10 cm và cách thấu kính 10cm. Một thấu kính phân kỳ tiêu cự – 15 cm đặt sau thấu kính hội tụ và cách nó 5cm (H. 1.27). Tìm vị trí, kích thước và tính chất của ảnh cuối cùng.

(*Wisconsin*)



Hình 1.27



Hình 1.28

Lời giải.

Đối với thấu kính thứ nhất, khoảng cách vật là $u_1 = 10$ cm. Vì $f_1 = 10$ cm, khoảng cách ảnh là $v_1 = \infty$. Khi đó đối với thấu kính thứ hai, khoảng cách vật là $u_2 = \infty$. Vì $f_2 = -15$ cm, nên $v_2 = -15$ cm. Vì thế ảnh trùng với vật.

Bây giờ ta khảo sát kích thước và tính chất của ảnh cuối cùng. Tiêu cự của hệ thấu kính tổ hợp này là $f = -\dfrac{f_1 f_2}{\Delta}$, với $\Delta = d - f_1 - f_2$. Vì $d = 5$ cm, $f_1 = 10$ cm, $f_2 = -15$ cm, ta có $f = 15$ cm như chỉ rõ trên hình 1.28,

$$\overline{F_1F} = \frac{f_1^2}{\Delta} = 10 \text{ cm},$$

$$\overline{F_2'F'} = \frac{-f_2^2}{\Delta} = -22{,}5 \text{ cm}.$$

Dùng công thức Newton, $xx' = f^2$, đối với $x = -10$ cm ta có

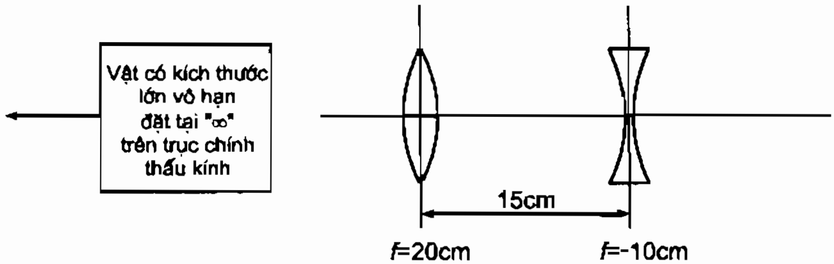
$$x' = -22{,}5 \text{ cm}.$$

Dấu trừ chứng tỏ ảnh ở phía trái của F'. Độ phóng đại là $m = \dfrac{-f}{x} = 1{,}5$. Vậy ảnh thu được là ảnh ảo, cùng chiều và cao bằng 1,5 lần vật.

1023

Như mô tả trên hình 1.29, ảnh của vật được tạo bởi một mình thấu kính hội tụ có chiều cao 0.5 cm. Hãy xác định vị trí và kích thước của ảnh cuối cùng. Dựng hình đối với một điểm của ảnh không nằm trên trục chính của thấu kính. Dùng ít nhất hai tia sáng. (Không nhất thiết phải dùng cùng hai tia cho cả hai thấu kính). Giải thích cách vẽ.

(Wisconsin)



Hình 1.29

Lời giải.

Một vật ở xa vô hạn cho ảnh trên mặt phẳng tiêu sau của thấu kính hội tụ, tức là, tại $20-15=5$ cm sau thấu kính phân kỳ. Dùng công thức thấu kính

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$$

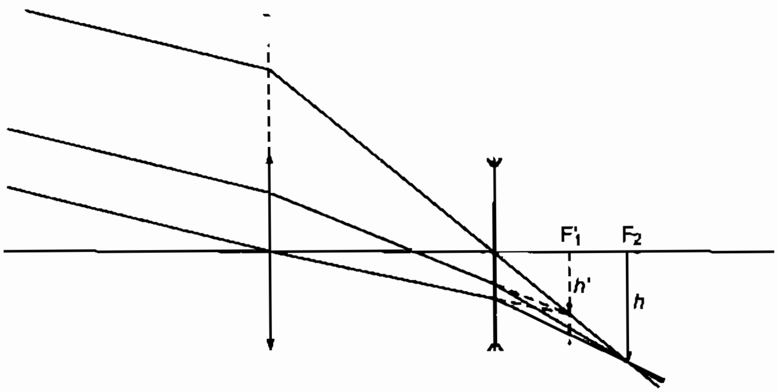
Áp dụng cho thấu kính phân kỳ với $u=-5$ cm và $f=-10$ cm, ta được $v=10$ cm. Độ phóng đại là

$$m=\frac{h}{h'}=\frac{10}{5}=2\,.$$

Vì thế kích thước của ảnh cuối cùng là

$$0.5\times 2=1\text{ cm}$$

Hình 1.30 vẽ sơ đồ các tia sáng:



Hình 1.30

1024

Tìm và mô tả một tổ hợp hai thấu kính hội tụ cho ảnh ảo ngược chiều tại đúng vị trí đặt vật và có độ lớn bằng vật. Dựng ảnh trong trường hợp này.

(Wisconsin)

Lời giải.

L_1, L_2 là hai thấu kính hội tụ, f_1, u_1, v_1, f_2, u_2, v_2 là tiêu cự, khoảng cách vật, khoảng cách ảnh trong dãy tạo ảnh kế tiếp như được chỉ rõ trên hình 1.31.

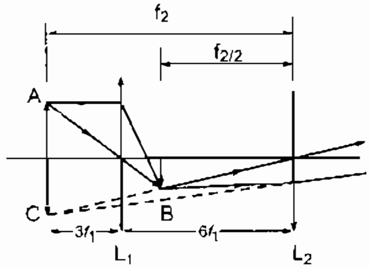
Trước hết xét L_2. Vật đối với L_2 phải ở trong tiêu cự mới cho ảnh ảo. Do đó, nếu B là ảnh của L_1, đồng thời cũng là vật đối với L_2 ở cách $\frac{f_2}{2}$ phía trước L_2, thì ảnh cuối cùng C sẽ ở cách $v_2 = -f_2$ trước L_2, là vị trí đặt vật thật A và C lớn hơn B hai lần.

Bây giờ ta đặt L_1 xen giữa A và B để C lớn gấp hai lần B, tức là bằng A. Như vậy $u_1 = 2v_1$. Hơn nữa vì $f_2 = u_1 + v_1 + u_2$ nên ta có

$$u_1 = \frac{f_2}{3},\ v_1 = \frac{f_2}{6}.$$

Khi đó công thức thấu kính cho ta $9f_1 = f_2$.

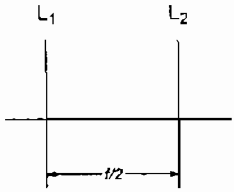
Hai thấu kính L_1 và L_2 có tiêu cự $f_2 = 9f_1$, và vật được sắp xếp như trong hình 1.31.



Hình 1.31

1025

Hai thấu kính mỏng L_1 và L_2 có tiêu cự bằng nhau, đặt cách nhau một khoảng bằng nửa tiêu cự của chúng(H.1.32).



Hình 1.32

a) Xác định vị trí ảnh đối với vật đặt ở bên trái và cách L_1 một khoảng là $4f$.

b) Xác định các tiêu điểm của một thấu ở kính mỏng tương đương với tổ hợp thấu kính này.

c) Xác định các mặt phẳng chính của thấu kính mỏng tương đương với tổ hợp thấu kính này.

(Wisconsin)

Lời giải.

a)Gọi u_1, v_1, u_2, v_2 tương ứng là các khoảng cách vật và ảnh đối với thấu kính L_1 và L_2. Vì $u_1 = 4f$, $\frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u_1} = \frac{3}{4f}$, suy ra $v_1 = \frac{4}{3}f$. Sau đó vì $u_2 = \frac{f}{2} - v_1 = -\frac{5}{6}f$, ta có $\frac{1}{v_2} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u_2} = \frac{11}{5f}$ hay $v_2 = \frac{5f}{11}$.

Vì thế ảnh cuối cùng ở cách L_2 về phía bên phải $\frac{5f}{11}$.

b) Khảo sát một chùm tia sáng song song tới L từ phía bên trái, khi đó $v_1 = f$ và

$$u_2 = \frac{f}{2} - v_1 = -\frac{f}{2}.$$

Do đó

$$\frac{1}{v_2} = -\frac{1}{f} + \frac{2}{f} = \frac{3}{f} \text{ hay } v_2 = \frac{1}{3}f.$$

Do tính đối xứng nên hai tiêu điểm của tổ hợp thấu kính này: một nằm ở bên trái L_1 và cách L_1 một khoảng bằng $\frac{f}{3}$ và một nằm ở bên phải L_2 và cách L_2 một khoảng bằng $\frac{f}{3}$.

c) Trên những mặt phẳng chính, độ phóng đại = 1. Do tính đối xứng, ảnh của vật trên mặt phẳng chính bên trái tạo bởi L_1 phải trùng với ảnh của chính vật ấy ở mặt phẳng chính bên phải tạo bởi L_2, và cả hai phải đặt tại trung điểm giữa hai thấu kính.

Gọi mặt phẳng chính bên trái ở cách L_1 về phía bên trái một đoạn là x. Khi đó $u_1 = x$, $v_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{f}{2}\right) = \frac{1}{4}f$, và từ $\frac{1}{f} = \frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1}$ ta có $x = -\frac{1}{3}f$.

Do đó hai mặt phẳng chính cách L_1 về phía bên phải $\frac{f}{3}$ và cách L_2 về phía bên trái $\frac{f}{3}$.

1026

Một vật tự phát sáng cao h = 40 cm đặt bên trái của thấu kính hội tụ tiêu cự 10 cm. Thấu kính hội tụ thứ hai tiêu cự 20 cm đặt ở bên phải thấu kính thứ nhất và cách thấu kính này 30 cm.

a) Xác định vị trí ảnh cuối cùng.

b) Tính tỷ số độ cao của ảnh cuối cùng với độ cao h của vật.

c) Vẽ hình.

(*Wisconsin*)

Lời giải.

Từ $\frac{1}{f_1} = \frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1}$, trong đó $f_1 = 10$ cm, $u_1 = 40$ cm, ta được $v_1 = 13\frac{1}{3}$ cm.

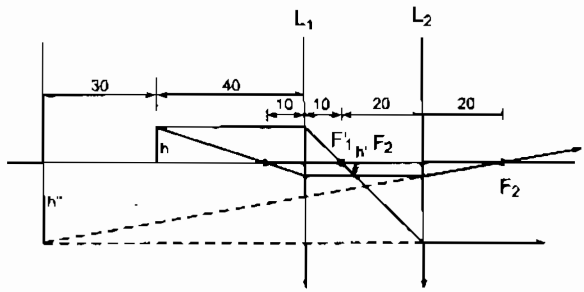
Từ $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{u_2} + \frac{1}{v_2}$ trong đó $f_1 = 20$ cm, $u_2 = \left(30 - \frac{40}{3}\right)$cm, ta được $v_2 = -100$ cm, tức là, ảnh cuối cùng ở bên trái thấu kính thứ hai và cách thấu kính này 100 cm.

b) Tỷ số độ cao ảnh cuối cùng với độ cao h của vật có thể tính được từ

$$m = m_2 \times m_1 = \left(\frac{v_2}{u_2}\right)\left(\frac{v_1}{u_1}\right) = -2\,.$$

Dấu trừ chứng tỏ ảnh ngược chiều.

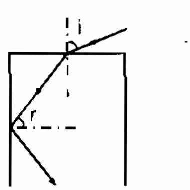
c) Hình 1.33 cho sơ đồ các tia sáng.



Hình 1.33

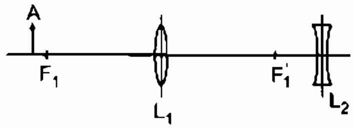
1027

a) Tính chiết suất nhỏ nhất của một thanh chất dẻo (H.1.34) để mọi tia tới một đầu thanh sẽ luôn phản xạ toàn phần trong thanh?



Hình 1.34

b) Vẽ hình chỉ ra sự tạo ảnh đối với vật và các thấu kính trong hình 1.35. Tính tiêu cự của thấu kính thứ hai để ảnh cuối cùng ở vô cực. Vẽ hình. Giải thích tóm tắt cách dựng hình này.



Hình 1.35

Vẽ tất cả những tia khúc xạ tại các mặt phẳng 1 và 2.

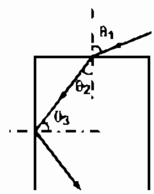
c) Phải thay đổi vị trí của thấu kính thứ hai (phân kỳ) như thế nào để làm cho tổ hợp hai thấu kính thành ống kính chụp ảnh từ xa?

(Wisconsin)

Lời giải.

a) Như ta thấy trên hình 1.36, tia sáng sẽ phản xạ toàn phần trong thanh nếu

$$\theta_3 > \theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\right),$$



Hình 1.36

Trong đó θ_c là góc giới hạn phản xạ toàn phần, n là chiết suất của chất dẻo, giả thiết chiết suất của không khí là 1. Như thế ta cần có

$$\theta_2 = \frac{\pi}{2} - \theta_3 < \frac{\pi}{2} - \sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\right),$$

hoặc

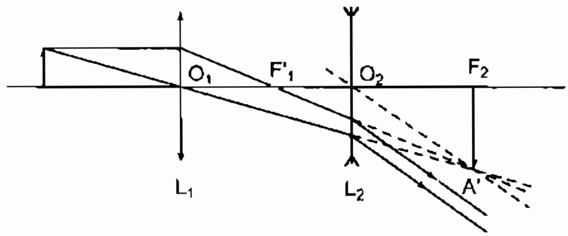
$$\sin\theta_1 = n\sin\theta_2 < n\sin\left(\frac{\pi}{2} - \sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\right)\right)$$

$$= n\cos\left(\sin^{-1}\frac{1}{n}\right)$$

Vì $\theta_1 \le \frac{\pi}{2}$, hay $\sin\theta_1 \le 1$, ta cần có $n\cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\right)\right) > 1$ đối với những tia phản xạ toàn phần trong thanh. Vì thế điều kiện phản xạ toàn phần là

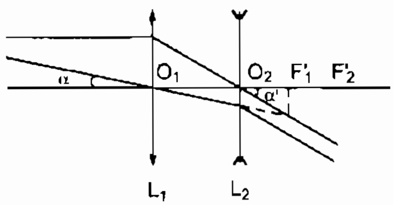
$$\sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\right) < \cos^{-1}\left(\frac{1}{n}\right) \text{ hay } n > \sqrt{2} = 1{,}414.$$

b) Đầu tiên ta xét thấu kính L_1 đặt một mình (xem hình 1.37). Từ A vẽ một tia song song với trục chính của L_1, và đi qua F_1'. Từ A vẽ một tia khác đi qua O_1, là quang tâm của L_1. Tia này không khúc xạ bởi L_1 mà cắt tia trước tại A', tạo thành ảnh. Vẽ $A'F_2$ vuông góc với trục chính. Nếu F_2 là tiêu điểm của L_2, thì các tia AA' và $F_1'A'$ sẽ bị khúc xạ bởi L_2 và trở thành song song với O_2A', điều đó có nghĩa là ảnh cuối cùng sẽ ở vô cực.



Hình 1.37

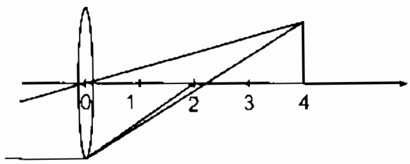
c) Muốn tạo ra ống kính chụp ảnh từ xa ta đặt thấu kính thứ hai giữa thấu kính thứ nhất và F_1' sao cho F_1' trùng với F_2. Nhớ rằng ta yêu cầu $O_2F_2 < O_1F_1'$ (xem H. 1.38). Chùm tia tới hệ với góc α sau khi truyền qua hệ trở thành chùm tia với góc α' $(\alpha' > \alpha)$. Một hệ như thế thường được gọi là kính thiên văn Galileo.



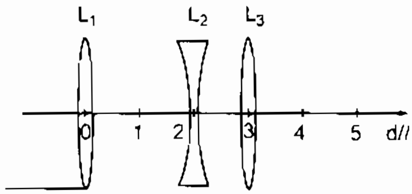
Hình 1.38

1028

Thấu kính hội tụ mỏng L_1 tạo ảnh thật của vật đặt ở rất xa, như vẽ trên hình 1.39. Ảnh ở khoảng cách $4l$ và có độ cao h. Thấu kính phân kì L_2, tiêu cự l, đặt cách L_1 một khoảng $2l$. Thấu kính hội tụ L_3, tiêu cự $2l$, đặt cách L_1 một khoảng $3l$, như được minh hoạ trên hình 1.40.



Hình 1.39



Hình 1.40

a) Tính khoảng cách từ L_1 đến ảnh cuối cùng.

b) Tính độ cao ảnh.

(Columbia)

Lời giải.

a) Dùng công thức thấu kính $\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$. Đối chiếu với hình 1.41 ta có

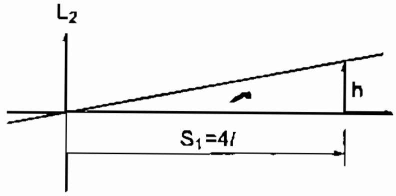
$L_1 : v_1 = 4l$

$L_2 : f_2 = l$, $u_2 = -(4-2)l = -2l$, cho $v_2 = -2l$;

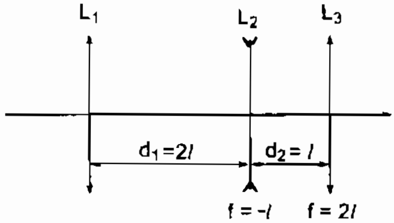
$L_3 : f_3 = 2l$, $u_3 = 2l + l = 3l$, cho $v_3 = 6l$

Vì thế khoảng cách từ L_1 đến ảnh cuối cùng là $3l + 6l = 9l$.

b) Độ phóng đại là $m = \frac{v_2}{u_2} \cdot \frac{v_3}{u_3} = 2$, như vậy ảnh cuối cùng cao là $h' = mh = 2h$



(a)



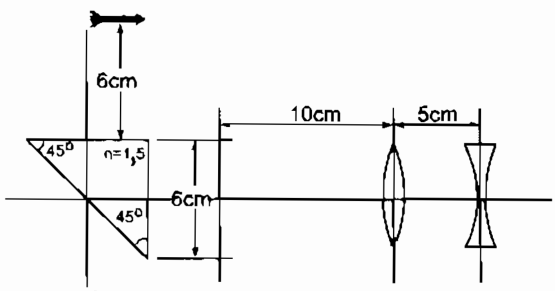
(b)

Hình 1.41

1029

Một hệ gồm một lăng kính và hai thấu kính như hình vẽ (H. 1.42), tìm vị trí và kích thước của ảnh cuối cùng khi vật dài 1cm đặt như hình vẽ.

(Wisconsin)



Hình 1.42

Lời giải.

Đối với lăng kính tam giác vuông cân, $n = 1,5$, góc giới hạn $\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\right) = 42^0$, nhỏ hơn góc tới mặt huyền của lăng kính bằng 45^0. Do đó tại đây xảy ra phản xạ toàn phần và tạo thành ảnh ảo. Lăng kính tương dương với một tấm thủy tinh dày 6 cm, gây ra độ dịch chuyển ảnh là

$$\Delta L = 6\left(1 - \frac{1}{n}\right) = 2\ \text{cm}.$$

Ảnh trên đóng vai trò là vật thật đối với thấu kính thứ nhất và cách thấu kính này một khoảng là

$$u_1 = 10 + 6 + (6 - 2) = 20\text{ cm}.$$

Vì $u_1 = f_1$, ta có $v_1 = \infty$. Khi đó đối với thấu kính thứ hai, $v_2 = \infty$. Với $f_2 = -10$ cm, suy ra

$$u_2 = f_2 = -10\text{ cm}.$$

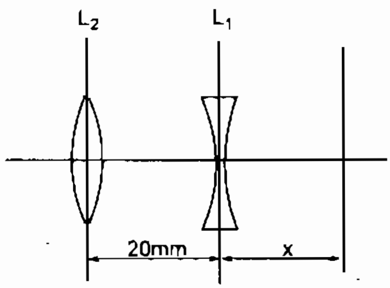
Vì thế ảnh cuối cùng là ảo, ngược chiều, ở cách thấu kính thứ hai 10 cm về phía bên trái.

Kích thước của ảnh là

$$l_2 = \left|\frac{f_2}{f_1}\right| \cdot 1 = 0{,}5\text{ cm}.$$

1030

Thấu kính của máy ảnh loại 35mm có tiêu cự 50 mm được làm thành một ống kính chụp ảnh xa bằng cách đặt một thấu kính phân kỳ giữa nó và phim, như minh hoạ trên hình 1.43. L_1 = thấu kính của máy ảnh, $f_1 = 50$ mm; L_2 = thấu kính phân kì, $f_2 = -100$ mm.



Hình 1.43

a) Tính x nếu hệ tạo ảnh của một vật cách L_1 50cm ở đúng trên phim.

b) Tính độ phóng đại tạo bởi hệ thấu kính này?

(Wisconsin)

Lời giải.

Gọi u_1, v_1, f_1, u_2, v_2, f_2, là khoảng cách vật, khoảng cách ảnh, và các tiêu cự của các thấu kính L_1 và L_2 tương ứng.

a) $u_1 = 50\,cm = 500\,mm$. Từ công thức thấu kính $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u}$ tính được

$v_1 = \frac{500}{9}mm$ và $u_2 = 20mm$ · $v_1 = -\frac{320}{9}mm$. Khi đó, ta được

$$\frac{1}{v_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{u_2} = \frac{29}{1600}, \text{ hay } x = v_2 = 55{,}2mm.$$

b) Độ phóng đại của hệ thấu kính là tích độ phóng đại của mỗi thấu kính:

$$m = \left|\frac{v_1}{u_1}\right| \times \left|\frac{v_2}{u_2}\right| = \frac{\left[\frac{(500 \times 1600)}{(9 \times 29)}\right]}{\left[\frac{(500 \times 320)}{9}\right]}$$

$$= \frac{5}{29} = 0{,}17$$

1031

Trong một kính hiển vi tiêu cự của vật kính là 0,5 cm, của thị kính là 2 cm. Khoảng cách giữa hai thấu kính là 22 cm. Tính khoảng cách từ vật đến vật kính nếu ngắm chừng ở ∞? Tính số bội giác ? Đáp số có thể sai số 10%. Hãy rút tất cả các công thức cần thiết từ phương trình thấu kính $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$. Khoảng cực cận của mắt là 15 cm (tức $OC_c = 15$ cm — ND).

(Wisconsin)

Lời giải.

Áp dụng phương trình thấu kính $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$. Đối với thị kính (ký hiệu bằng chỉ số 2), $q_2 = \infty$, suy ra $p_2 = f_2 = 2$ cm.

Đối với vật kính (chỉ số 1),

$$q_1 = l - p_2 = 20 \text{ cm},$$

Trong đó l là khoảng cách giữa hai thấu kính. Với $f_1 = 0{,}5$ cm, từ công thức thấu kính suy ra $p_1 = 0{,}51$ cm. Vì thế vật đặt trước và cách vật kính 0,51 cm.

Để tìm số bội giác, ta gọi chiều cao vật là y. Chiều cao của ảnh qua vật kính là

$$y' = \frac{q_1}{p_1} y.$$

Khi đó góc trông ảnh cuối cùng là

$$\alpha' = \frac{y'}{f_2} = \frac{q_1}{p_1}\frac{y}{f_2}.$$

Góc trông vật khi không dùng kính hiển vi là

$$\alpha = \frac{y}{OC_c} = \frac{y}{15}$$

Vì thế số bội giác của kính hiển vi là

$$m = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{15\,q_1}{p_1 f_2} = 2,9\times 10^2.$$

1032

Xét sơ đồ như trên hình 1.44. Một nguồn có dạng khe hẹp cần được tạo ảnh trên màn. Ánh sáng được truyền song song giữa hai thấu kính. Chiết suất của lăng kính là

$$n(\lambda) = 1,5 + 0,02(\lambda - \lambda_0)/\lambda_0,$$

trong đó $\lambda_0 = 5000$ Å. Hệ được điều chỉnh dùng cho ánh sáng 5000 Å.

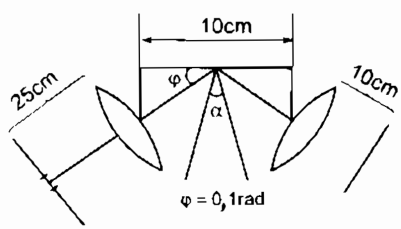
a) Tính tiêu cự của các thấu kính?

b) Tính độ phóng đại dài và độ phóng đại góc của khe trên màn? Ảnh có bị đảo ngược không? Dựng ảnh.

c) Tính độ dịch chuyển khỏi trục của ánh sáng phát từ nguồn $\lambda = 5050$ Å?

Có thể tính gần đúng ở những chỗ có thể.

(Wisconsin)



Hình 1.44

Lời giải.

a) Vì ánh sáng ló ra khỏi thấu kính thứ nhất L_1 là song song nên khe đặt tại mặt phẳng tiêu của L_1, tức là,

$$f_1 = 25 \text{ cm}.$$

Chùm tia sáng song song qua thấu kính thứ hai L_2 tạo ảnh rõ nét trên màn, ta có

$$f_2 = 10 \text{ cm}.$$

b) Khảo sát sơ đồ vẽ trên hình 1.45, trên đó biểu diễn một hệ đồng trục tương đương với hệ ban đầu. Đối với lăng kính có góc chiết quang nhỏ ($\phi = 0{,}1$ rad) nên độ lệch góc cũng rất nhỏ, $\delta = \phi(n-1) = 0{,}05$ rad, và có thể xem gần đúng khoảng cách d giữa L_1 và L_2 là ≈ 10 cm. Vị trí các điểm chính trong hệ có thể tính như sau,

$$\Delta = d - f_1 - f_2 = -25 \text{ cm},$$

$$f = -\frac{f_1 f_2}{\Delta} = 10 \text{ cm},$$

$$\overline{A_1 H} = \frac{fd}{f^2} = 10 \text{ cm},$$

$$\overline{A_2 H'} = \frac{fd}{f_1} = -4 \text{ cm},$$

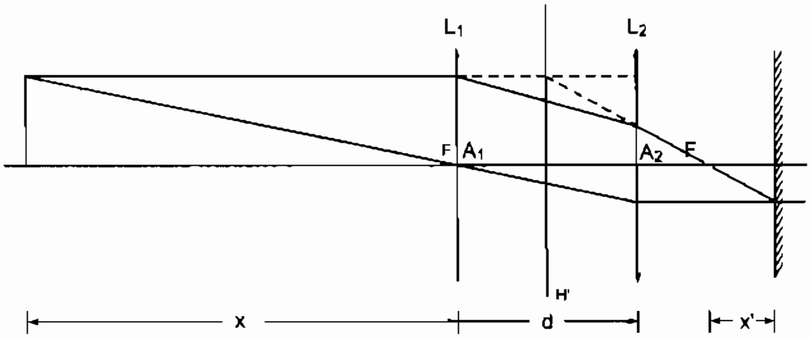
$$\overline{F_1 F} = \frac{f_1^2}{\Delta} = -25 \text{ cm},$$

$$\overline{F_2' F'} = -\frac{f_2^2}{\Delta} = 4 \text{ cm}.$$

Như vậy F' cách màn 4 cm, tức là, $x' = 4$ cm, cho nên độ phóng đại dài là

$$m = -\frac{x'}{f} = -0{,}4$$

Dấu trừ chứng tỏ rằng ảnh là ngược chiều. Sơ đồ tia sáng vẽ trên hình 1.45.



Hình 1.45

Độ phóng đại góc là tỷ số tang của độ dốc của các tia liên hợp, được cho bởi

$$M = \frac{-1}{f+x'}\left(\frac{1}{f+x}\right)^{-1} = -2{,}5\,.$$

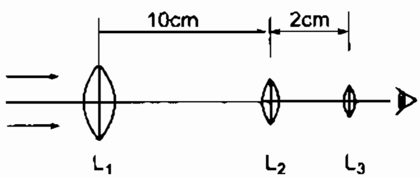
c) Độ lệch góc δ là một hàm số của bước sóng λ

$$\delta = \left[n\left(\lambda\right)-1\right]\phi\,.$$

Vì thế

$$\Delta\delta = \phi\frac{dn}{d\lambda}\Delta\lambda = 0{,}1\times\frac{0{,}02}{5000}\times\left(5050-5000\right) = 2\times10^{-5}\,.$$

1033



Hình 1.46

Xét một kính thiên văn đơn giản cấu tạo gồm ba thấu kính mỏng sau:

$L_1 : f_1 = 10$ cm, Đường kính D = 4 cm

$L_2 : f_2 = 2$ cm, $D = 1{,}2$ cm

$L_3 : f_3 = 2$ cm, $D = 1{,}2$ cm

a) Vẽ một chùm sáng tiêu biểu truyền qua hệ.

b) Hãy xác định vị trí và đường kính của con ngươi ra.

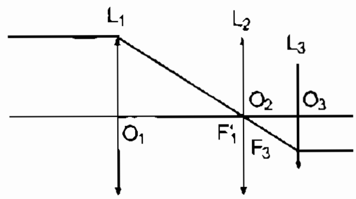
c) Chức năng của thấu kính L_2 là gì?

d) Thiết bị này có phù hợp tốt với mắt không? (Giải thích).

(Wisconsin)

Lời giải.

a) Ta khảo sát chùm sáng song song tới vuông góc L_1 như trên hình 1.47. Ở đây tiêu điểm sau của L_1 và tiêu điểm trước của L_3 trùng với quang tâm của L_2, cho nên các tia sáng không bị khúc xạ tại L_2.



Hình 1.47

b/ Thấu kính L_1 đóng vai trò như khẩu độ và con ngươi vào của kính thiên văn. Ảnh qua L_1 được tạo bởi các thấu kính tiếp sau là con ngươi ra của kính thiên văn, vị trí của ảnh này có thể tính bằng cách dùng hai lần công thức thấu kính:

$$\frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_2'} = \frac{1}{f_2},$$

$$\frac{1}{S_3} + \frac{1}{S_3'} = \frac{1}{f_3},$$

trong đó $S_2 = 10$ cm, $f_2 = f_3 = 2$ cm.

Giải lần lượt hai phương trình này ta có:

$$S_2' = 2{,}5 \text{ cm} \;\; S_3 = 2 - 2{,}5 = -0{,}5 \text{ cm}$$

suy ra

$$S_3' = 0,4 \text{ cm},$$

tức là, con ngươi ra ở sau L_3 và cách L_3 0,4 cm. Từ các tam giác đồng dạng ta có $\frac{D'}{D} = \frac{f_3}{f_1}$, do đó đường kính con ngươi ra là

$$D' = \frac{f_3}{f_1} D = 0,8 \text{ cm}.$$

c) Thấu kính L_2 đặt tại tiêu điểm trước của L_3 thường được gọi là thấu kính trường và được dùng như một cái chắn trường trong cấu hình. Chức năng của nó là hội tụ các tia sáng trước khi chúng đi vào thị kính L_3, sao cho ta có thể nhận được một ảnh phù hợp với thị kính nhỏ. Hơn nữa việc dùng L_2 và L_3 bằng cùng một loại thuỷ tinh, đặt cách nhau một khoảng $(f_2 + f_3)/2$, có cùng một giá trị tiêu cự đối với tất cả các màu, như một thị kính sẽ khử được các quan sát hữu sắc ở mép.

d) Ngoài việc phải có vật kính khẩu độ lớn để cho năng suất phân giải cần thiết ra, các vật sẽ chỉ được phân giải nếu có độ phóng đại đủ lớn để tạo ra sự tách biệt cần thiết đối với mắt. Do đó độ phóng đại cực tiểu cần phải là

$$m_0 = \frac{60}{\frac{140}{D}},$$

trong đó D tính bằng cm. Tuy nhiên, để thích hợp với mắt thì độ phóng đại thực tế phải là 1,5 đến 2 lần độ phóng đại cực tiểu, tức là,

$$m = \frac{120D}{140} = 3,4$$

với $D = 4$ cm đã cho.

Độ phóng đại đối với hệ đã cho là

$$\frac{f_1}{f_3} = 5 > m.$$

Do đó, về mặt độ phóng đại mà nói thì hệ hoàn toàn thoả mãn. Mặt khác, đối với một hệ quang học tốt, con ngươi ra phải trùng với mắt và khoảng cách giữa con ngươi ra với mặt quang học sau của thị kính phải nhỏ hơn 5 mm. Khoảng cách đó ở hệ này chỉ là 4 mm, tức là mắt không chạm vào mặt quang học. Hơn nữa kích thước của con ngươi ra của kính thiên văn phải lớn như của mắt, tức là 2 – 4 mm. Đường kính của con người ra của hệ này là 8mm, nghĩa là chùm tia ló từ kính thiên văn chỉ đi vào mắt một phần.

Vì lý do đó kính thiên văn này không hợp với mắt.

1034

Hai kính thiên văn có cùng kính vật với tiêu cự f_0. Một kính dùng thấu kính hội tụ có tiêu cự f_c làm kính mắt. Một kính dùng thấu kính phân kỳ có tiêu cự $-f_d$ làm kính mắt. Độ phóng đại đối với hai kính thiên văn này bằng nhau đối với các vật ở xa vô hạn. Tính chiều dài của hai kính thiên văn này theo độ phóng đại M? Nêu lý do hợp lí khiến người ta cần phải chọn dùng loạt kính dài hơn ứng với độ phóng đại M cho trước.

(Wisconsin)

Lời giải.

Độ phóng đại thường dùng là số bội giác đối với một dụng cụ quang học được định nghĩa là tỷ số giữa các góc ω và ω' tạo bởi những tia sáng đi từ đỉnh của vật lập với trục chính khi mắt nhìn qua dụng cụ và khi nhìn bằng mắt trần

$$M = \frac{\omega'}{\omega}.$$

Đối với kính thiên văn

$$M = -\frac{f_0}{f_e}.$$

trong đó f_0 và f_e lần lượt là tiêu cự của kính vật và kính mắt. Kính thiên văn có thể dùng thấu kính hội tụ hoặc thấu kính phân kỳ làm kính mắt. Loại dùng thấu kính hội tụ làm kính mắt gọi là kính thiên văn Kepler, loại dùng thấu kính phân kỳ gọi là kính thiên văn Galileo. Đối với chúng độ phóng đại tương ứng là

$$M_K = -\frac{f_0}{f_c}$$

và

$$M_G = \frac{-f_0}{-f_d} = \frac{f_0}{f_d}$$

trong đó dấu trừ chứng tỏ ảnh ngược chiều, dấu cộng ảnh cùng chiều. Theo đề bài

$$-M_K = M_G = M,$$

suy ra $f_c = f_d$.

Đối với một kính thiên văn, tiêu điểm thứ hai của kính vật trùng với tiêu điểm thứ nhất của kính mắt. Do đó chiều dài của kính thiên văn là $L = f_0 + f_e$.

Đối với hai kính thiên văn trên ta có

$$L_K = f_0 + f_c\,,\ L_G = f_0 - f_d\,.$$

Dễ dàng thấy rằng

$$L_K > L_G$$

$$\frac{L_K}{L_G} = \frac{(f_0 + f_c)}{(f_0 - f_d)} = \frac{((f_0/f_c)+1)}{((f_0/f_d)-1)} = \frac{(M+1)}{(M-1)}\,.$$

So sánh với kính thiên văn Galileo, kính thiên văn Kepler có những ưu điểm sau:

a) Giữa kính vật và kính mắt có một mặt phẳng ảnh thật, do đó ta có thể đặt một ô lưới như một dấu mốc để đo đạc.

b) Một cái trường cũng có thể đặt tại mặt phẳng ảnh để cho cửa sổ vào phù mặt phẳng vật tại vô hạn. Điều này cho phép tạo ra một ảnh chất lượng cao hơn với thị trường rộng hơn và không có hiệu ứng vinhet.

Tuy nhiên, kính thiên văn Kepler có nhược điểm là tạo ra một ảnh ngược chiều không thuận tiện đối với người quan sát. Nhưng chỉ cần lắp thêm bộ đảo ảnh là có thể khắc phục nhược điểm đó. Vì vậy mặc dù chiều dài của kính thiên văn Kepler thường dài hơn kính thiên văn Galileo ứng với cùng một độ phóng đại, nhưng kính Kepler vẫn được ưa chuộng hơn.

1035

a) Chứng minh công thức sau đối với thấu kính mỏng

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right).$$

b) Các thấu kính tạo bởi thuỷ tinh *crown* và *flint* được gắn với nhau tạo thành một thấu kính tiêu sắc. Chứng minh rằng tiêu cự của các thành phần tạo bởi thủy tinh crown và flint thoả mãn phương trình

$$\frac{\Delta_c}{f_c} + \frac{\Delta_f}{f_f} = 0\,,$$

trong đó

$$\Delta = \frac{1}{\bar{n}-1}\frac{dn}{d\lambda}\Delta\lambda$$

và $\bar{n}$ là chiết suất của thuỷ tinh tại vùng trung tâm của quang phổ nhìn thấy và $\Delta\lambda$ là khoảng bước sóng (~ 3000Å) của quang phổ nhìn thấy.

c) Đối với thuỷ tinh crown $\Delta_c = 0{,}0169$ và đối với thuỷ tinh flint $\Delta_f = 0{,}0384$. Hãy chứng minh rằng phải dùng một thấu kính thuỷ tinh *crown* hội tụ ghép với một thấu kính thuỷ tinh *flint* phân kỳ để nhận được một thấu kính hội tụ tiêu sắc.

(Columbia)

Lời giải.

a) Xem trong sách giáo khoa.

b) Đối với thấu kính do hai thấu kính thành phần ghép lại thì tiêu cự f thoả mãn phương trình

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_c} + \frac{1}{f_f} \tag{1}$$

Lấy đạo hàm theo biến số λ, ta được

$$\frac{1}{f^2}\frac{df}{d\lambda} = \frac{1}{f_c^2}\left(\frac{df_c}{d\lambda}\right) + \frac{1}{f_f^2}\left(\frac{df_f}{d\lambda}\right) \tag{2}$$

Lấy vi phân công thức

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right) \tag{3}$$

ta được

$$\frac{1}{f^2}\frac{df}{d\lambda} = \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right)\frac{dn}{d\lambda}$$

Kết hợp với (3), ta có

$$\frac{1}{f}\frac{df}{d\lambda} = \frac{1}{\bar{n}-1}\frac{dn}{d\lambda} = \frac{\Delta}{\Delta\lambda}$$

hay

$$\frac{1}{f^2}\frac{df}{d\lambda} = \frac{\Delta}{\Delta\lambda}\frac{1}{f}$$

Như vậy ta có

$$\frac{1}{f_c^2}\frac{df_c}{d\lambda} = \frac{\Delta_c}{\Delta\lambda}\frac{1}{f_c}$$

$$\frac{1}{f_c^2}\frac{df_f}{d\lambda} = \frac{\Delta_f}{\Delta\lambda}\frac{1}{f_f}$$

Thay những biểu thức này vào (2) và chú ý rằng $\frac{df}{d\lambda} = 0$ đối với thấu kính tiêu sắc, ta có

$$\frac{\Delta_c}{f_c} + \frac{\Delta_f}{f_f} = 0 \qquad (4)$$

Đây chính là điều phải chứng minh.

c) Giải (1) và (4), ta có

$$\frac{1}{f_c} = \frac{\Delta_f}{f(\Delta_f - \Delta_c)},$$

$$\frac{1}{f_f} = \frac{-\Delta_c}{f(\Delta_f - \Delta_c)}$$

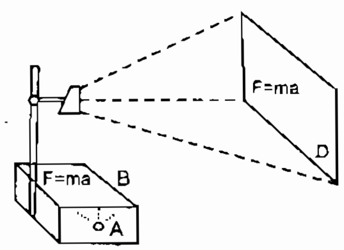
Theo đề bài $\Delta_c < \Delta_f$ và đòi hỏi, ta có $f > 0$, ta có

$$f_c > 0 \text{ và } f_f < 0$$

Nghĩa là để có một thấu kính hội tụ tiêu sắc phải dùng thấu kính thuỷ tinh crown hội tụ ghép với một thấu kính thuỷ tinh flint phân kỳ.

1036

Một máy quang học thông dụng thường gặp là máy chiếu dùng trong các buổi học tập hoặc xêmina về vật lý. Hình 1.48 là sơ đồ của máy đó.



Hình 1.48

Một hay nhiều phần tử quang học được lắp đặt tại các vị trí A, B, C, và D. Hãy mô tả mỗi phần tử đó và giải thích chức năng của chúng trong máy chiếu. Ghi rõ những hệ thức mà khoảng cách giữa các phần tử đó cần phải thoả mãn. Phần tử nào trong dụng cụ này không có sẵn với giá hợp lí của năm 1900?

(Princeton)

Lời giải.

Có hai loại máy chiếu, truyền qua và phản xạ. Thiết bị mô tả dưới đây là loại truyền qua.

A là hệ thống chiếu sáng gồm đèn và một cặp thấu kính hội tụ. B là một tấm giấy trong sẽ được chiếu lên. C là bộ phận tạo ảnh và hệ thống chiếu gồm thấu kính vật và gương. D là màn ảnh.

Ánh sáng phát ra từ đèn được hội tụ bởi thấu kính, chiếu sáng "vật" - chính là tờ giấy trong suốt, có in chữ và hình ảnh cần chiếu. Vật được tạo ảnh bởi thấu kính vật và sau đó được phản xạ và chiếu bởi gương lên màn ảnh để tạo nên một ảnh lớn hơn nhiều.

Kính vật là bộ phận chủ yếu quyết định chất lượng của ảnh tạo thành. Vì thế kính vật cần được thiết kế và chế tạo một cách đặc biệt để có thể khử được tối đa các hiện tượng quang sai, sắc sai, loạn thị và sự cong của thị trường. Những kính vật như thế có thể rất đắt vào năm 1900.

Mặt phẳng ảnh của nguồn tạo bởi các kính tụ sáng phải trùng với con ngươi của kính vật. Điều này có nghĩa là đèn và con ngươi của kính vật là liên hợp đối với kính tụ sáng. Tờ giấy trong suốt và màn ảnh cũng là một cặp liên hợp vật và ảnh đối với kính vật. Khoảng cách tờ giấy trong suốt với kính vật, giữa kính vật và màn ảnh (bao gồm cả khoảng cách giữa kính vật với tâm gương, và khoảng cách từ tâm gương tới màn) và tiêu cự của kính vật đều phải thoả mãn công thức thấu kính.

1037

Một thấu kính (tiêu cự f) cho ảnh của mặt trời trên mặt phẳng tiêu. Chứng minh rằng độ chói của ảnh (W/m^2) gần bằng độ chói của bề mặt mặt trời .

(Columbia)

Lời giải.

Mặt trời có thể xem như một nguồn Lambert có độ chói biểu kiến L và diện tích S. Công suất bức xạ tới thấu kính (có diện tích A và tiêu cự f) là

$$\Phi = \frac{LSA}{R^2}$$

trong đó R là khoảng cách giữa mặt trời và trái đất. Toàn bộ công suất này lại truyền đến ảnh S' (của S).

Độ chói biểu kiến L' của ảnh là

$$\Phi' = L'S'd\Omega',$$

trong đó $d\Omega'$ là góc khối trương bởi thấu kính tại ảnh, tức là,

$$d\Omega' = \frac{A}{f^2}.$$

Nếu bỏ qua sự hấp thụ trong khí quyển và thấu kính thì khi đó $\Phi \approx \Phi'$, tức là,

$$\frac{LSA}{R^2} \approx \frac{L'AS'}{f^2}.$$

Vì $S/R^2 = S'/f^2$, ta có

$$L \approx L'.$$

1038

(Không thể tăng độ chói biểu kiến của một nguồn sáng khuếch tán rộng (góc khối lớn) nhờ các thấu kính . Bài toán này minh hoạ kết luận đó đối với thấu kính đơn). Một nguồn sáng có độ chói S trương một góc khối lớn hơn góc khối nhận Ω của kính thiên văn quan sát nó. Nguồn phát S đơn vị quang năng trên đơn vị diện tích, trong đơn vị góc khối và đơn vị thời gian một cách đẳng hướng. Kính vật của kính thiên văn có diện tích A và là một thấu kính mỏng.

a) Chứng minh rằng năng lượng tới kính thiên văn trong một giây là $S\Omega A$.

b) Chứng minh rằng tích của diện tích ảnh tạo bởi kính vật và góc khối trương bởi kính vật là ΩA.

c) Giải thích tại sao những kết quả trên đây chứng tỏ rằng độ chói biểu kiến của một nguồn rộng không thay đổi bởi kính vật của kính thiên văn.

(*UC, Berkeley*)

Lời giải.

a) Quang thông tới kính thiên văn trong 1 giây cho bởi công thức

$$\phi = \int\left(Sd\Sigma d\Sigma' \cos\theta \cos' / r^2\right),$$

trong đó $d\Sigma$ là yếu tố diện tích của bề mặt nguồn và $d\Sigma'$ là yếu tố diện tích của kính vật trong kính thiên văn, θ là góc tạo bởi trục chính của kính thiên văn với pháp tuyến của $d\Sigma$, θ' là góc tạo bởi trục này với pháp tuyến của $d\Sigma'$, r là khoảng cách giữa $d\Sigma$ và $d\Sigma'$. Vì $\int\left(d\Sigma/r^2\right)$, góc khối trương bởi nguồn, lớn hơn góc khối nhận Ω của kính thiên văn, nên chỉ có ánh sáng phát xạ từ một diện tích hiệu dụng Ωr^2 mới truyền cả vào kính thiên văn, tức là $\int\left(d\Sigma/r^2\right)=\Omega$. Khi đó vì $\int d\Sigma'=A$, ta có

$$\Phi = S\Omega A.$$

Ở đây ta đã giả thiết khoảng cách giữa nguồn và kính thiên văn là rất lớn và kính thiên văn quan sát trực tiếp nên cả $\cos\theta$ và $\cos\theta'$ đều bằng đơn vị.

b) Diện tích của ảnh, σ', được cho bởi

$$\sigma' = \Omega f^2,$$

trong đó f là tiêu cự của kính vật. Góc khối Ω' trương bởi thấu kính tại vị trí ảnh là

$$\Omega' = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)/f^2$$

trong đó D là đường kính của thấu kính. Do đó ta có

$$\sigma'\Omega' = \frac{\pi D^2}{4f^2}\cdot\Omega f^2 = \frac{\pi D^2}{4}\cdot\Omega = A\cdot\Omega.$$

c) Quang thông qua diện tích ảnh là

$$\Phi = \pi S'\sigma'\sin^2 u',$$

Trong đó S' là độ chói của ảnh, u' là nửa khẩu độ góc của thấu kính, cho bởi $\sin u' = \dfrac{D}{2f}$. Suy ra

$$\Phi' = \pi S'(\Omega f^2)\left(\frac{D}{2f}\right)^2 = S'\Omega A$$

Vì hệ số truyền qua của thấu kính nhỏ hơn đơn vị, tức là $\Phi' \le \Phi$, suy ra $S' < S$. Như vậy không có khả năng tăng độ chói biểu kiến của nguồn khuếch tán rộng nhờ các thấu kính.

1039

Khi mặt trời ở trên đỉnh đầu, một bề mặt trắng phẳng có một quang thông nhất định. Bây giờ ta dùng một thấu kính bán kính r, tiêu cự f hội tụ ảnh mặt trời trên một tấm mỏng. Tính quang thông trong diện tích ảnh. Với r cho trước, tính f để thấu kính không làm tăng quang thông trong ảnh? Từ mặt đất góc nhìn mặt trời khoảng 0.01 rad. Chỉ có ánh sáng trong ảnh mới đi qua thấu kính.

(UC, Berkeley)

Lời giải.

Quang thông tới mặt đất cho bởi công thức

$$\Phi = B\sigma' d\Omega$$

trong đó B là độ chói của mặt trời, xem như nguồn bức xạ Lambert, σ' là diện tích được chiếu sáng trên mặt đất, $d\Omega$ là góc khối trương bởi mặt trời tại σ' và cho bởi công thức

$$d\Omega = \pi\alpha^2,$$

α là khẩu độ góc của mặt trời, theo đề bài có giá trị khoảng 0.01 rad.

Quang thông trên diện tích ảnh sau thấu kính là

$$\Phi' = \pi B\sigma' \sin^2 u' = \pi B\sigma' \left(\frac{r}{f}\right)^2$$

trong đó u' là nửa khẩu độ góc của thấu kính, r và f tương ứng là bán kính và tiêu cự của thấu kính. Khảo sát tỷ số

$$\frac{\Phi'}{\Phi} = \frac{\pi B\sigma' \left(\dfrac{r^2}{f^2}\right)}{\pi B\sigma'(0,01)^2} = \frac{10^4 r^2}{f^2}$$

Ở đây ta lấy độ truyền qua của thấu kính là 1. Như vậy quang thông trên ảnh lớn gấp $10^4 r^2/f^2$ lần quang thông trên chính diện tích này của mặt đất khi không có thấu kính.

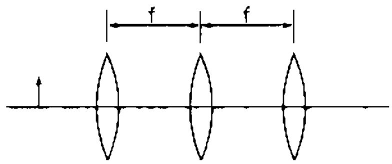
Đối với $\Phi'/\Phi \le 1$ ta có $f \ge 10^2 r$. Từ đó suy ra đối với $f \ge 100r$ thấu kính sẽ không làm tăng quang thông trên diện tích ảnh.

1040

a) Có ba thấu kính hội tụ giống nhau tiêu cự *f*, cùng chung trục chính, cách đều nhau một khoảng bằng *f*, như trên hình 1.49. Một vật đặt cách thấu kính bên trái cùng một khoảng $f/2$. Tìm vị trí và độ phóng đại của ảnh cuối cùng bằng cách vẽ.

b) Nhìn qua một lỗ nhỏ là phương pháp quen biết để tăng thị giác. Nếu mắt bạn là cận thị có thể nhìn rõ vật ở cách mắt 20 cm mà không cần dùng kính, hãy ước tính đường kính của lỗ để qua đó có thể nhìn rõ các vật ở xa.

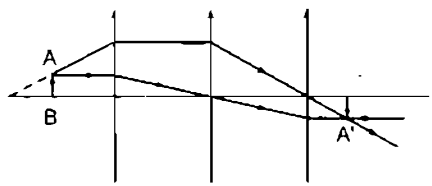
(Columbia)



Hình 1.49

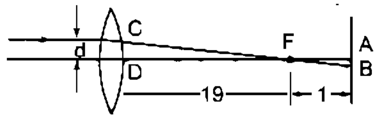
Lời giải.

a) Để dựng ảnh ta dùng hai tia đi từ đỉnh của vật: một tia song song với trục , một tia đi qua tiêu điểm vật của L_1 như trên hình 1.50. Ảnh cuối cùng ở cách thấu kính bên phải cùng một đoạn bằng $f/2$. Độ phóng đại là -1.



Hình 1.50

b) Trong mắt người khoảng cách từ thuỷ tinh thể đến võng mạc là 20 mm. Dùng công thức thấu kính $\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$, ta tìm được $f=19\,\text{cm}$ đối với khoảng cách ảnh là 2,0 cm và khoảng cách vật là 20 cm.



Hình 1.51

Như ta thấy trên hình 1.51, thấu kính hội tụ tạo ảnh của một vật ở rất xa tại tiêu điểm F và tạo thành một vết tròn AB trên võng mạc cách F 1cm phía sau. Một lỗ mở ở trước thấu kính mắt sẽ quyết định đường kính của chùm tia sáng đi vào mắt. Trên hình ta thấy $d=\overline{CD}=19\overline{AB}$. Lưu ý độ phân giải góc của mắt vào cỡ $1'=3\times10^{-4}$ rad, ta tính được giới hạn kích thước phân giải được là $\overline{AB}_m = 3\times10^{-4}\times20 = 6\times10^{-3}$ mm. Còn nếu đường kính của lỗ mở $d < 19\times6\times10^{-3} = 0{,}12$ mm, thì ta có thể nhìn rõ các vật ở xa.

1041

Một mặt đĩa diện tích 1 cm^2 phát xạ đồng đều và đẳng hướng (như một nguồn phát xạ tuân theo định luật Lambert) với độ chói 1W. cm^{-2} $strad^{-1}$ ở một tần số nào đó trong phổ ánh sáng nhìn thấy.

a) Tính thông lượng toàn phần của năng lượng phát ra từ mặt đĩa?

b) Cho một thấu kính bằng thạch anh đúc (n = 1,5) có đường kính 10 cm, tiêu cự 100 cm, tìm ảnh của nguồn phát xạ trên mặt đĩa có diện tích $\frac{1}{4}$ cm^2.

c) Tính năng thông toàn phần tới $\frac{1}{4}$ cm^2 mặt đĩa trong phạm vi sai số vài phần trăm.

d) Bằng cách thay đổi n và kích thước thấu kính có thể làm tăng năng thông tới $\frac{1}{4}$ cm^2 mặt đĩa. Bằng lập luận nào bạn có thể xác định được năng thông cực đại tới $\frac{1}{4}$ cm^2 mặt đĩa có thể đạt được?

(CUSPEA)

Lời giải.

a) $\Phi = BS\int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi} \sin\theta\cos\theta d\theta = \pi BS = 3{,}14$ W,

trong đó B là độ chói của nguồn, S là diện tích của nguồn, θ là góc giữa phương của tia tới với pháp tuyến của mặt nguồn.

b) Độ phóng đại là

$$m = \frac{D'}{D} = \left(\frac{S'}{S}\right)^{\frac{1}{2}} = 0{,}5,$$

trong đó D', D, S' và S là đường kính và diện tích của ảnh và vật tương ứng. Vì $m = \frac{v}{u} = 0{,}5$, ta có $u = 2v$.

Phương trình thấu kính cho ta $u = 3f = 300$ cm, $v = \dfrac{3f}{2} = 150$ cm. Do đó nếu khoảng cách của vật và ảnh tương ứng là 300cm và 150cm thì thấu kính tạo ra ảnh của nguồn có diện tích 0,25 cm.

c) Nếu thấu kính không hấp thụ thì năng thông tới $\dfrac{1}{4}$cm² mặt đĩa bằng năng thông tới thấu kính. Góc khối trương bởi thấu kính tại nguồn là

$$\Omega = \frac{\pi r^2}{u^2}.$$

Khi đó năng thông toàn phần tới thấu kính là

$$\Phi' = BS\Omega = 1 \times 1 \times \pi \frac{5^2}{300^2} = 8{,}7 \times 10^{-4}\ \text{W}.$$

d) Theo nguyên lí thứ hai nhiệt động học, độ chói của ảnh không thể vượt quá độ chói của vật. Như vậy năng thông cực đại tới $\dfrac{1}{4}$cm2 mặt đĩa là

$$\Phi'' = \frac{\Phi S'}{S} = \frac{\Phi}{4} = 0{,}785\ \text{W}.$$

PHẦN 2 QUANG HỌC SÓNG

2001

Độ rộng của một vạch phổ nào đó tại 500 nm là 2×10^{-2} nm. Tính gần đúng hiệu quang trình lớn nhất để các vân giao thoa tạo bởi ánh sáng này có thể thấy rõ?

(Wisconsin)

Lời giải.

Chiều dài kết hợp l_c là

$$l_c = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} = 1.25\times10^{-3}\ \text{cm}.$$

Nếu hiệu quang trình vào cỡ một phần tư l_c, 3×10^{-4} cm, thì ta có thể quan sát rõ các vân giao thoa.

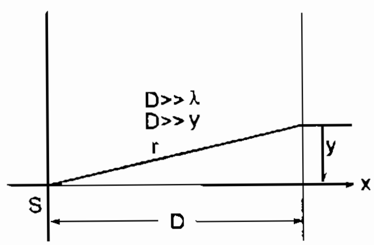
2002

Một nguồn sáng điểm S đặt tại gốc của hệ toạ độ phát sóng cầu hình sin trong đó điện trường E_1 cho bởi $E_1 = A\left(\frac{D}{r}\right)\cos\left(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda}\right)$, trong đó r là khoảng cách từ nguồn S. Ngoài ra còn có một sóng phẳng E_2 truyền dọc theo trục x, với

$$E_2 = A\cos\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right).$$

(Chú ý rằng trong bài toán này ta coi cả E_1 và E_2 là những sóng vô hướng). Cả hai sóng này đều tới một màn ảnh phẳng đặt vuông góc với trục x tại khoảng cách D so với nguồn như thể hiện trên hình 2.1. Tính cường độ tổng hợp I như là một hàm số của khoảng cách y từ trục x với những giá trị của y nhỏ hơn so với D. Biểu diễn I theo y, D, λ và cường độ I_0 tại $y = 0$.

(Wisconsin)



Hình 2.1

Lời giải.

Diện trường E tại điểm trên màn ảnh cách nguồn một khoảng r được cho bởi

$$E = E_1 + E_2 = A\left[\frac{D}{r}\cos\left(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda}\right) + \cos\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)\right]$$

$$\approx A\left[\cos\left(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda}\right) + \cos\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)\right]$$

trong đó ta đã lấy gần đúng $r \approx D$.

Đối với $y \ll D$, ta có

$$r = (D^2 + y^2)^{\frac{1}{2}} \approx D\left(1 + \frac{y^2}{2D^2}\right)$$

và do đó

$$E = A\left[\cos\left(\omega t - \frac{2\pi D\left(1 + \frac{y^2}{2D^2}\right)}{\lambda}\right) + \cos\left(\omega t - \frac{2\pi D}{\lambda}\right)\right]$$

$$= 2A\cos\frac{\pi y^2}{D\lambda}\cdot\cos\left(\omega t - \frac{2\pi D\left(1 + \frac{y^2}{4D^2}\right)}{\lambda}\right)$$

Từ đó suy ra

$$I \propto E^2 \propto \cos^2\frac{\pi y^2}{D\lambda}.$$

Đặt $I = I_0$ tại $y = 0$, ta có

$$I = I_0\cos^2\left(\frac{\pi y^2}{D\lambda}\right)$$

Khi khoảng cách từ tâm tăng các vân trở nên sít nhau hơn. Điều này tương tự với tấm đới Fresnel.

2003

Thí nghiệm hai khe của Young về giao thoa ánh sáng được bố trí như trên hình 2. 2; $\lambda = 5000$ Å. Một bản mỏng trong suốt đặt trước một khe thì vân bậc không chuyển dịch đến vị trí vân sáng bậc 4. Tính bề dày của bản, biết chiết suất của nó là $n = 1,2$.

(Wisconsin)

Lời giải.

Vân cực đại ứng với hiệu quang trình là $\Delta = m\lambda$. Do đó

$$\delta\Delta = \lambda\delta m .$$

Khi bản mỏng được đặt thêm vào như trên hình 2. 2 thì quang trình thay đổi một lượng là

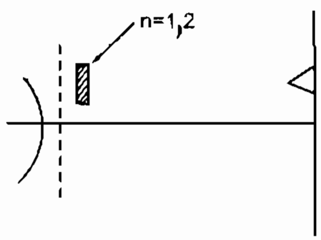
$$\delta\Delta = t(n-1),$$

Trong đó t là độ dày của bản mỏng. Vì hệ vân giao thoa dịch chuyển 4 vân

$$\delta m = 4 .$$

Suy ra $t(n-1) = 4\lambda$, do đó

$$t = \frac{4\lambda}{n-1} = 10\ \mu m .$$



Hình 2.2

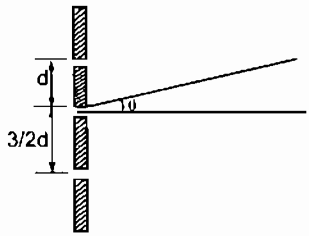
2004

Khảo sát một hệ vân giao thoa tạo bởi ba khe như trên hình 2.3. Giả thiết độ rộng của các khe là như nhau ($\leq \lambda/2$).

a) Tính giá trị của θ ứng với cực đại chính thứ nhất? (tức là sóng thứ cấp từ cả ba khe đều đồng pha).

b) Gọi kết quả tính được ở câu a) là θ_1. Quang thông theo hướng cực đại bậc 0 ($\theta = 0$) là F_0. Tính quang thông theo hướng $\theta_1/2$ (theo đơn vị F_0). Giả thiết $\lambda \ll d$.

(Wisconsin)



Hình 2.3

Lời giải.

a) Điện trường $E(\theta)$ trên màn là tổng của các trường tạo bởi các khe riêng rẽ:

$$E(\theta) = E_1 + E_2 + E_3 = A + Ae^{i\delta} + Ae^{i\frac{5}{2}\delta}$$

trong đó $\delta = \dfrac{2\pi d}{\lambda}\sin\theta$.

Khi đó cường độ tổng cộng theo hướng θ là

$$I(\theta) \sim E(\theta)\cdot E^*(\theta) = A^2\left\{3 + 2\left[\cos\delta + \cos\left(\frac{3\delta}{2}\right) + \cos\left(\frac{5\delta}{2}\right)\right]\right\}$$

Đối với $\theta = 0$, ta có

$$I(0) \sim 9A^2.$$

Biểu thức đối với $I(\theta)$ chứng tỏ rằng cực đại chính thứ nhất ở tại $\delta = 4\pi$, tức là,

$$\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right)\sin\theta_1 = 4\pi,$$

hay

$$\theta_1 \approx \sin\theta_1 \sim \frac{2\lambda}{d}.$$

b)

$$I\left(\frac{\theta_1}{2}\right) \sim A^2\left[3 + 2\left(\cos 2\pi + \cos 3\pi + \cos 5\pi\right)\right] = A^2 \sim \frac{I(0)}{9}.$$

2005

Một màn chắn sáng có hai khe song song được đặt trước một thấu kính và được chiếu sáng từ một nguồn điểm ở xa.

a) Vẽ phác hệ vân giao thoa tạo thành. (Cụ thể là vẽ phác phân bố cường độ trong mặt phẳng tiêu của thấu kính).

b) Vẽ phác đồ thị thứ hai và giải thích ngắn gọn tác dụng của việc dịch chuyển các khe ra xa nhau.

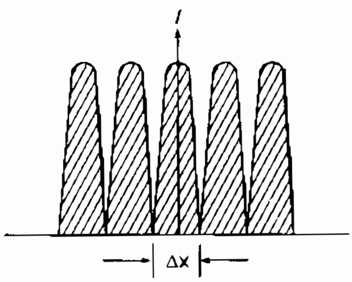
c) Vẽ phác đồ thị thứ ba và giải thích ngắn gọn tác dụng của việc tăng kích thước nguồn để nó trương một góc hữu hạn tại thấu kính.

(Wisconsin)

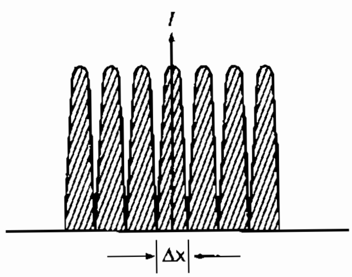
Lời giải.

a) Hình ảnh giao thoa vẽ trên hình 2. 4. Khoảng vân là $\Delta x = \dfrac{\lambda f}{d}$, trong đó d là khoảng cách giữa hai khe, f là tiêu cự của thấu kính.

b) Vì d tăng, Δx giảm, nên các vân sít nhau hơn. Hình ảnh hệ vân giao thoa như được minh hoạ trên hình 2.5.

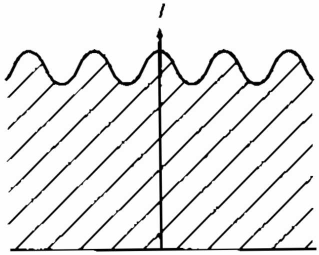


Hình 2.4



Hình 2.5

c) Chồng chất tất cả các vân giao thoa không kết hợp qua hai khe, tạo bởi những phần riêng biệt của nguồn sẽ làm giảm độ tương phản của các hệ vân tạo thành như được minh hoạ trên hình 2.6.



Hình 2.6

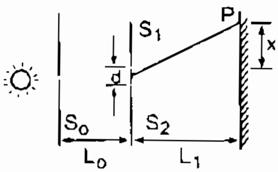
2006

Khảo sát thí nghiệm Young về giao thoa ánh sáng như trên hình 2.7. Giả thiết bước sóng ánh sáng là 6000 Å, độ rộng của hai khe là như nhau $S_0 = S_1 = S_2 = 0,2$ mm, khoảng cách giữa hai khe $d = 2,0$ mm, và $L_1 = 3,0$ m.

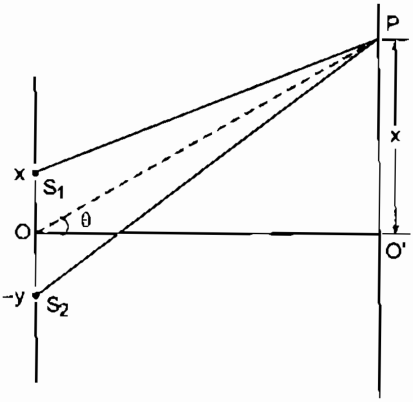
a) Tính L_0 để tạo ra bức tranh giao thoa tốt nhất trên màn?

b) Xác định vị trí vân sáng đầu tiên trên màn?

(Wisconsin)



Hình 2.7



Hình 2.8

Lời giải.

a) Theo định lý Van Cittert Zernike, chiều dài kết hợp cạnh của một nguồn khe rộng cho bởi

$$l_s = \frac{\lambda}{\theta_s},$$

Trong đó θ_s là góc trương bởi khe tại điểm khảo sát tính theo radian. Để cho hình ảnh giao thoa rõ nét thì khoảng cách giữa S_1 và S_2 phải nhỏ hơn l_s tức là,

$$d < l_s,$$

$$\theta_s < \frac{\lambda}{d}.$$

Vì

$$\theta_s = \frac{S_0}{L_0},$$

nên cần phải có

$$L_0 > \frac{d}{\lambda}S_0 = \frac{2\times10^{-4}}{6000\times10^{-10}}\times2\times10^{-3} = 0,67 \text{ m}.$$

b) Theo hình 2.8, xét tổng các đóng góp vào biên độ tại điểm P trên màn của những yếu tố có rộng dy tại các điểm y và $-y$ của các khe S_1 và S_2 tương ứng. Vì $d \gg S_1, S_2$, nên biên độ này tỷ lệ với

$$\left[e^{ik(x-y\sin\theta)} + e^{ik(x+y\sin\theta)}\right]dy = e^{ikz}\cos(ky\sin\theta)\,dy$$

trong đó $k = \dfrac{2\pi}{\lambda}$.

Khi đó biên độ tổng cộng tại P là

$$A \propto \int_{\frac{d}{2}-\frac{S}{2}}^{\frac{d}{2}+\frac{S}{2}} \cos(ky\sin\theta)dy$$

vì $S_1 = S_2 = S$. Với $\sin\theta \approx \dfrac{x}{L_1}$, ta có

$$A(x) = 2A_0S\left(\frac{\sin\frac{\pi x}{\lambda L_1}S}{\frac{\pi x}{\lambda L_1}S}\right)\cdot\cos\left(\frac{\pi x}{\lambda L_1}d\right),$$

trong đó $A_0 = \text{constant}$. Do đó cường độ $I(x)$ là

$$I(x) \propto \cos^2\left(\frac{\pi x}{\lambda L_1}d\right).$$

Đối với $\dfrac{\pi x d}{\lambda L_1} = \pi$, cực đại bậc nhất xảy ra tại

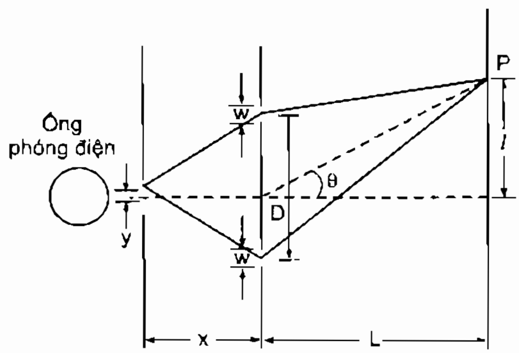
$$x = \frac{\lambda L_1}{d} = 0,9 \text{ mm}.$$

Do đó vân sáng bậc nhất cách vân trung tâm của hệ vân giao thoa là 0,9 mm.

2007

Hình ảnh nhiễu xạ qua hai khe được tạo bởi thiết bị mô tả trên hình (2.9). Một ống phóng điện tạo ra ánh sáng có bước sóng λ truyền qua một khe nhỏ S đặt ngay trước ống phóng điện. Hai khe có độ rộng ω và có tâm cách nhau một khoảng là D. Tìm điều kiện để một vân cực đại được quan sát thấy trên màn tại điểm cách mặt phẳng trung tâm l. Giả thiết $D \ll L, l \ll L$, và ω là rất nhỏ. ω có thể lớn tới mức nào trước khi hệ vân giao thoa biến mất? Khi ω tăng, vân cực đại và cực tiểu bị biến mất đầu tiên ở gần hay ở xa vân trung tâm? Việc tăng độ rộng S của khe tại nguồn có ảnh hưởng như thế nào đến cường độ và độ nét của hệ vân giao thoa?

(Wisconsin)



Hình 2.9

Lời giải.

Sự phân bố cường độ trên màn tạo bởi yếu tố của khe có bề rộng dy của khe nguồn là

$$dI = 2I_0\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)(1+\cos\delta)dy,$$

trong đó $\beta = \frac{\pi\omega l}{\lambda L} = \frac{\pi\omega\sin\theta}{\lambda}$ với $\sin\theta = l/L$, $\delta = \delta_1 + \delta_2$ với

$$\delta_1 = 2\pi D\sin\theta/\lambda, \qquad \delta_2 = 2\pi Dy/\lambda x,$$

và I_0 là hằng số. Lấy tích phân biểu thức này ta tìm được phân bố cường độ tạo bởi nguồn khe

$$I = 2I_0\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2 \int_{-\frac{S}{2}}^{\frac{S}{2}} (1+\cos\delta)dy$$

$$= 2I_0 S\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2 \left\{1 + \frac{\sin\left(\frac{\pi DS}{\lambda x}\right)}{\left(\frac{\pi DS}{\lambda x}\right)}\cos\left(\frac{2\pi D}{\lambda}\sin\theta\right)\right\}$$

Nếu $2\pi D\sin\theta/\lambda = 2\pi Dl/\lambda L = 2n\pi$, tức là, $l = \frac{n\lambda L}{D}$, trong đó n là số nguyên, thì cường độ cực đại được quan sát trên tâm màn là l.

Hình ảnh giao thoa sẽ biến mất đầu tiên nếu $\sin\beta = 0$, hoặc $\beta = \pi\omega l/(\lambda L) = \pi$, tức là, $\omega = \lambda L/l = D$. Một cách tổng quát, $\omega = D/n$, hoặc $n = D/\omega$. Vì ω tăng, nên n giảm. Điều ấy chứng tỏ rằng những cực đại, cực tiểu đầu tiên biến mất phải ở xa tâm màn.

Độ nhìn rõ của các vân xác định bởi

$$V = \left(\frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}\right) = \left|\frac{\sin\frac{\pi DS}{\lambda x}}{\frac{\pi DS}{\lambda x}}\right|,$$

Trong đó I_{max} và I_{min} làcường độ tại những vân cực đại và cực tiểu.

Nếu $\pi DS/(\lambda x) = n\pi$, n là số nguyên, khi đó $V = 0$. Trong giới hạn $S_0 = \lambda x/D$, khi S tăng thì độ nhìn rõ của các vân giảm.

Từ biểu thức đối với I, dễ dàng thấy rằng cường độ trên màn tỷ lệ với độ rộng S của khe tại nguồn.

2006

Lưỡng lăng kính Fresnel. Một lưỡng lăng kính Fresnel chiết suất n và có góc đáy α nhỏ được cấu tạo như trên hình 2.10.

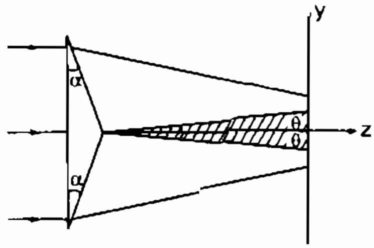
a) Một tia sáng tới từ bên trái vuông góc với đáy lăng kính hoặc ở nửa trên hoặc ở nửa dưới. Tính góc lệch θ trong hai trường hợp này. Giả sử α nhỏ. Vẽ và ghi các kí hiệu cần thiết trên sơ đồ.

b) Một sóng phẳng tới vuông góc mặt đáy và chiếu sáng toàn lăng kính. Các vân giao thoa được quan sát trên màn trong ánh sáng truyền qua; màn đặt song song với đáy lăng kính. Xác định gốc của các vân này. Hãy thiết lập một biểu thức đối với khoảng vân theo góc lệch θ của tia tới. Vẽ và ghi các kí hiệu cần thiết trên sơ đồ.

c) Với một lưỡng lăng kính trong ánh sáng vàng, người ta quan sát được khoảng vân là $100\mu m(10^{-2}cm)$. Hãy tính các góc đáy của lăng kính theo độ. Nói rõ và thuyết minh cách lựa chọn chiết suất và bước sóng của ánh sáng vàng.

(UC, Berkeley)

Hình 2.10



Hình 2.11

Lời giải.

a) Một chùm ánh sáng tới vuông góc mặt đáy sẽ bị khúc xạ tại các mặt bên. Phần chùm sáng tới nửa trên của lăng kính sẽ bị lệch xuống dưới, còn phần tới nửa dưới lăng kính thì lệch lên trên như minh hoạ trên hình 2.11. Độ lớn của góc lệch trong hai trường hợp này là như nhau và với α nhỏ, góc lệch này là

$$\theta = (n-1)\alpha$$

b) Hai chùm tia sáng đối xứng nhau chiếu tới hai nửa lăng kính trên dưới gặp nhau và giao thoa với nhau. Các vân giao thoa dọc theo trục x sẽ xuất hiện trên màn. Khoảng vân được cho bởi

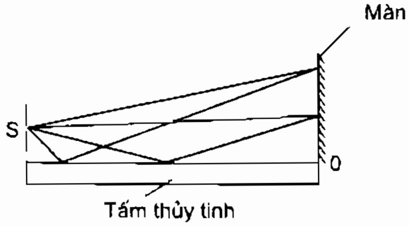
$$\Delta y = \frac{\lambda}{2\sin\theta} \approx \frac{\lambda}{2\theta} = \frac{\lambda}{2(n-1)\alpha}$$

c) Đối với ánh sáng vàng $\lambda = 6000$ Å và chiết suất của lưỡng lăng kính $n = 1,5$ $\Delta y = 100\,\mu$m cho ta $\alpha = 6\times10^{-3} rad = 21'$.

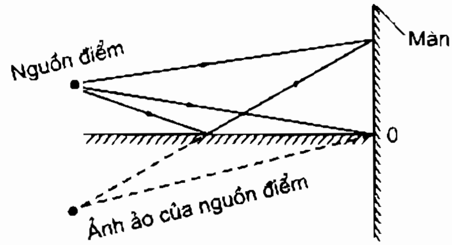
2009

Gương Lloy (xem H. 2.12) có thể dùng để thu các vân giao thoa trên màn từ một nguồn như hình vẽ. Vẽ hệ hai nguồn (kết hợp) tương đương. Biết rằng vân thứ nhất (tại điểm 0) là vân tối. Điều này dẫn tới những hệ quả gì?

(Wisconsin)



Hình 2.12



Hình 2.13

Lời giải.

Hệ hai nguồn tương đương với gương Lloy được vẽ trên hình 2.13. Vân tối tại điểm 0 chứng tỏ rằng chùm tia tới từ mặt gương lệch pha π với chùm tia phản xạ.

2010

Một giao thoa kế Michelson được điều chỉnh để cho một bức tranh giao thoa gồm các vân tròn đồng tâm khi được chiếu bằng nguồn sáng rộng có bước sóng $\lambda = 5000$ Å. Hỏi nhánh di động được của nó phải dịch chuyển như thế nào để xuất hiện 1000 vân từ tâm của ***bulleye***? Nếu tại tâm là vân sáng hãy tính bán kính góc của vân tối thứ nhất theo hiệu quang trình giữa hai nhánh và bước sóng λ.

(Wisconsin)

Lời giải.

Những vòng tròn đồng tâm gọi là những vân đồng độ nghiêng thu được khi hai gương phản xạ chính xác vuông góc với nhau. Hiệu quang trình Δ giữa hai nhánh cho bởi

$$\Delta = 2nd\cos\theta = 2n\left(l_1 - l_2\right)\cos\theta ,$$

trong đó n là chiết suất của môi trường (đối với không khí $n = 1$), $d = l_1 - l_2$ là hiệu quãng đường (OPD) giữa hai nhánh có chiều dài l_1 và l_2, θ là góc tới của tia tới các gương.

1) Để cho 1000 vân xuất hiện từ tâm của khe ngắm (*bulleye*) thì OPD Δ phải thay đổi một lượng bằng 1000λ. Do đó, $2d = 1000\lambda$, hay $d = 500\lambda = 0{,}25$ mm, tức là nhánh di động được phải dịch chuyển 0,25 mm.

2) Nếu tâm là vân sáng thì ta có

$$2d = m\lambda,$$

trong đó m là số nguyên. Đối với vân tối thứ nhất ta có

$$2d\cos\theta = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda.$$

Trừ hai biểu thức trên ta được

$$2d(1 - \cos\theta) = \frac{\lambda}{2}.$$

Đối với θ nhỏ, $\cos\theta \approx 1 - \frac{\theta^2}{2}$, vì thế

$$\theta \approx \sqrt{\lambda/2d} \text{ rad}.$$

Đối với $d = 0{,}25$ mm, ta thu được $\theta = 0{,}032 \text{ rad} = 1{,}8^0$.

2011

Tính độ dày của một màng xà phòng cho vân sáng giao thoa bậc hai của ánh sáng đỏ phản xạ ($\lambda = 7000$ Å). Chiết suất của màng là 1,33. Giả thiết chùm tia tới song song lập một góc 30^0 với pháp tuyến.

(Wisconsin)

Lời giải.

Có thể xem màng xà phòng như một bản hai mặt song song chiết suất $n = 1{,}33$. Hiệu quang trình của các chùm sáng phản xạ từ các mặt trên và dưới là

$$\Delta = 2nd\cos\theta + \frac{\lambda}{2},$$

Để tạo thành hệ vân sáng giao thoa bậc hai, ta có

$$\Delta = 2\lambda,$$

$$d = \frac{3\lambda}{4n\cos\theta},$$

trong đó θ là góc khúc xạ ở trong màng. Từ định luật Snell ta có

$$\sin\theta_0 = n\sin\theta$$

tức là

$$\sin\theta = \frac{1}{n}\sin\theta_0 = \frac{1}{2n}$$

hay

$$\cos\theta = \sqrt{1-\left(\frac{1}{2n}\right)^2},$$

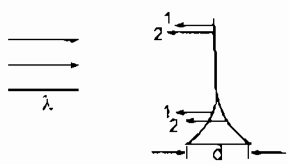
Từ đó suy ra

$$d = 4260 \text{ Å}.$$

2012

Một màng xà phòng đặt thẳng đứng được nhìn ngang bằng ánh sáng đặc trưng của natri ($\lambda = 589\times10^{-9}$ m) phản xạ. Phần trên của màng mỏng đến nỗi nó nhìn là đen đối với mọi màu. Có 5 vân sáng, tâm của vân thứ 5 ở tại đáy. Tính độ dày của màng xà phòng tại đáy? Chiết suất của nước là 1,33.

(Wisconsin)



Hình 2.14

Lời giải.

Độ dày của màng ở phần trên rất nhỏ hơn $\bar{\lambda}/(4n)$, trong đó $\bar{\lambda}$ có giá trị cỡ 550 nm là bước sóng trung bình của quang phổ nhìn thấy, và do đó có thể bỏ qua. Hiệu số pha giữa các tia (đánh dấu là 1 và 2 trong hình 2.14) phản xạ từ phía mặt phải và mặt trái gần đúng bằng π (sự dịch pha do phản xạ), và do đó màng trở thành đen bởi ánh sáng phản xạ.

Hiệu số pha giữa hai chùm tia tại đáy là

$$\delta = \pi + \frac{2nd}{\lambda}\cdot 2\pi,$$

trong đó d là độ dày của màng. Đối với tâm của vân sáng thứ 5 ta có

$$\delta = 10\pi .$$

Dùng giá trị đã cho của λ và n ta được

$$d = 1{,}0\mu\,\mathrm{m}.$$

2013

Một chùm ánh sáng trắng tới vuông góc với một màng mỏng chiết suất $n = 1{,}5$ và dày 5000 Å. Cường độ của chùm tia phản xạ là cực đại đối với bước sóng nào trong quang phổ nhìn thấy (4000 — 7000 A^0) ?

(Wisconsin)

Lời giải.

Giao thoa tăng cường nhau (vân sáng) xuất hiện khi

$$OPD = 2nt = k\lambda + \frac{\lambda}{2} ,$$

trong đó OPD là viết tắt của hiệu quang trình, t là độ dày của màng, k là số nguyên. Vì thế để chùm tia phản xạ cực đại thì bước sóng phải là

$$\lambda = \frac{4nt}{2k+1} = \begin{cases} 6000\text{Å} & k = 2 \\ 4285\text{Å} & k = 3 \end{cases}$$

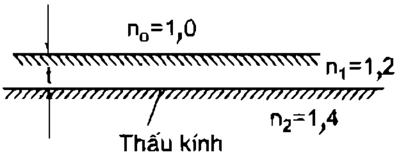
2014

Một thấu kính được phủ bởi một màng mỏng chiết suất 1,2 để làm giảm sự phản xạ trên bề mặt với bước sóng $\lambda = 5000$ Å, còn thuỷ tinh làm thấu kính có chiết suất 1,4 (xem H. 2.15).

a) Độ dày nhỏ nhất của màng phủ phải là bao nhiêu để ánh sáng phản xạ có cường độ nhỏ nhất.

b) Trong trường hợp trên, cường độ ánh sáng phản xạ là nhỏ nhưng khác không. Giải thích. Cần phải thay đổi cái gì và thay đổi bao nhiêu để cường độ ánh sáng phản xạ bằng không?

(Wisconsin)



Hình 2.15

Lời giải.

a) Nếu những chùm sáng phản xạ từ hai mặt của màng phủ là ngược pha, tức

$$2n_1t = \lambda/2,$$

hay $t = \lambda/(4n_1) = 0{,}01\,\mu m$, thì cường độ ánh sáng phản xạ sẽ là nhỏ nhất.

b) Khi ánh sáng tới từ môi trường A có chiết suất n_A sang môi trường B có chiết suất n_B, thì hệ số phản xạ R là

$$R = \left[(n_A - n_B)/(n_A + n_B)\right]^2.$$

Hệ số phản xạ tại mặt trên và mặt dưới của màng phủ tương ứng là

$$R_1 = \left(\frac{n_1 - n_0}{n_1 + n_0}\right)^2 = \left(\frac{1}{1.1}\right)^2$$

và

$$R_2 = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2 = \left(\frac{1}{1.3}\right)^2.$$

Vì $R_1 \neq R_2$, cường độ phản xạ từ hai mặt của màng phủ không bằng nhau nên cường độ phản xạ toàn phần khác không và thậm chí còn gây ra giao thoa nữa. Nếu chiết suất của màng phủ là n_1' sao cho $R_1 = R_2$, tức là

$$\left(\frac{n_1' - n_0}{n_1' + n_0}\right)^2 = \left(\frac{n_1' - n_2}{n_1' + n_2}\right)^2,$$

thì cường độ ánh sáng phản xạ toàn phần sẽ bằng không. Điều này có nghĩa là

$$n' = \sqrt{n_0 n_2} = 1{,}18.$$

2015

Một tấm thuỷ tinh mỏng có độ dày $1,2\times10^{-6}$ m, chiết suất $n=1,50$. Một chùm sáng trong phổ nhìn thấy có bước sóng nằm trong khoảng 400nm đến 700nm chiếu vuông góc vào mặt tấm. Trong chùm tia phản xạ từ tấm thuỷ tinh bước sóng nào được tăng cường mạnh nhất? (nm $=10^{-9}$ m).

(Wisconsin)

Lời giải.

Giao thoa tăng cường nhau xảy ra khi

$$OPD = 2nd + \frac{\lambda}{2} = k\lambda ,$$

trong đó d là độ dày, k là số nguyên. Vì thế đối với phản xạ cực đại

$$\lambda = \frac{2nd}{k-\frac{1}{2}} .$$

Trong dải sóng từ 400 đến 700nm, sóng phản xạ được tăng cường nhất là $\lambda_1 = 424$ nm (đối với $k=9$), $\lambda_2 = 480$ nm (đối với $k=8$), $\lambda_3 = 554$ nm (đối với $k=7$), $\lambda_4 = 655$ nm (đối với $k=6$).

2016

Một màng mỏng TiO_2 chiết suất 2,5 đặt trên khối thuỷ tinh chiết suất 1,5 làm tăng cường ánh sáng phản xạ trong vùng ánh sáng nhìn thấy. Ứng với một bước sóng chọn trước, tính độ dày của màng và độ phản xạ lúc đó.

(Wisconsin)

Lời giải.

Gọi n_0, n_1 và n_2, và d lần lượt là chiết suất của không khí, của màng TiO_2, màng, của thuỷ tinh, và độ dày của màng. Điều kiện để tạo ra giao thoa hủy nhau (vân tối) của ánh sáng phản xạ là

$$OPD = 2nd - \frac{\lambda}{2} = \left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda ,$$

trong đó k là số nguyên, và cộng thêm nửa bước sóng là do sự dịch pha tại mặt tiếp giáp giữa không khí và TiO_2.

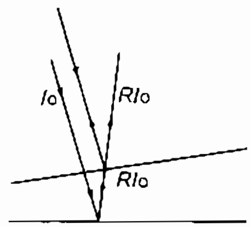
Đối với $k=0$ và $\lambda = 5500\,\text{Å}$, ta có $d=\lambda/(4n_1)=0{,}055\mu\text{m}$. Vì thế độ phản xạ là

$$R_{\lambda_0}=\left(\frac{n_0-\dfrac{n_1^2}{n_2}}{n_0+\dfrac{n_1^2}{n_2}}\right)^2=0{,}376\,.$$

2017

Một màng xà phòng($n=4/3$) được chiếu thẳng góc bởi ánh sáng có bước sóng 500 nm. Cho bề dày d của màng biến thiên và nhìn theo phương của tia phản xạ, hãy tính gần đúng cường độ các cực đại và cực tiểu giao thoa so với cường độ tia tới.

(Wisconsin)



Hình 2.16

Lời giải.

Độ phản xạ tại mỗi mặt của màng xà phòng là

$$R=\left[\frac{(n-n_0)}{(n+n_0)}\right]^2=\left[\frac{\left(\frac{4}{3}-1\right)}{\left(\frac{4}{3}+1\right)}\right]^2\approx 0{,}02\,.$$

Đối với màng có độ phản xạ R thấp thì cường độ chùm tia phản xạ tại mỗi mặt gần đúng là RI_0, trong đó I_0 là cường độ ánh sáng tới. Do đó cường độ của hệ vân giao thoa là

$$I=2RI_0(1+\cos\delta),$$

Trong đó δ là hiệu số pha giữa các chùm tia phản xạ tại hai mặt của màng xà phòng được cho bởi

$$\delta=\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right)\cos\theta,$$

với θ là góc tới.

Từ đó suy ra

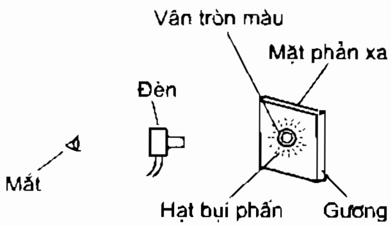
$$I_{max}/I_0 = 4R = 0,08$$

$$I_{min}/I_0 = 0$$

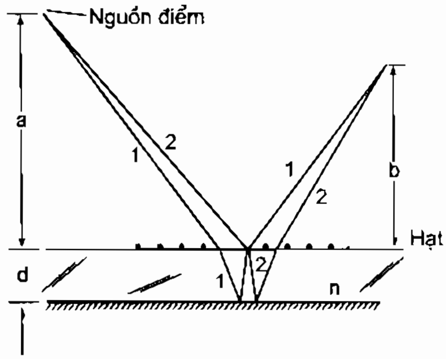
2018

Hãy giải thích trong thí nghiệm chứng minh mô tả trên hình 2.17 các vân tròn màu đã tạo thành như thế nào, và chứng tỏ rằng kích thước tính toán được của các vân này phù hợp với cách giải thích đó. Tại sao các vân này lại sáng như vậy?

(Princeton)



Hình 2.17



Hình 2.18

Lời giải.

Xét hai tia xuất phát từ cùng một điểm trên nguồn như được vẽ trên hình 2.18. Tia 1 phản xạ bởi gương sau đó tán xạ trên một hạt bụi phấn rồi hướng tới một điểm nào đó trong không gian. Tia 2 tán xạ bởi hạt này và hướng tới gương và sau đó phản xạ tới điểm nói trên

OPD của hai tia sẽ xác định giao thoa tại điểm này. Nhìn theo phương vuông góc hình ảnh giao thoa là những đường tròn đồng tâm bán kính r :

$$r = \left(\frac{nm\lambda a^2 b^2}{d(a^2 - b^2)} \right)^{\frac{1}{2}},$$

trong đó n là chiết suất của thuỷ tinh, d là bề dày của tấm thuỷ tinh, λ là bước sóng ánh sáng, a là khoảng cách giữa tấm thuỷ tinh và nguồn điểm, b là khoảng cách giữa tấm thuỷ tinh và điểm giao thoa, m là số nguyên.

Đối với nguồn ánh sáng trắng, các vân màu xuất hiện tương ứng với các tần số khác nhau. Các vân tròn là do hiện tượng giao thoa.

2019

Một ô kính cửa sổ dày 5 mm, đường kính 2cm đòi hỏi độ phẳng của mỗi mặt trong giới hạn 1/4 bước sóng xanh lục của thủy ngân ($\lambda = 546$ nm), và cặp mặt song song trong giới hạn 5 giây cung (1 giây cung $= 4{,}85 \times 10^{-6}$ rad). Làm thế nào đo được những tính chất đó để kiểm tra các thông số kỹ thuật của nhà sản xuất? Giả thiết chiết suất của kính là $n = 1{,}00$.

(Wisconsin)

Lời giải.

Để kiểm tra độ phẳng của một mặt, ta đặt một thấu kính phẳng lồi có tiêu cự dài lên trên mặt đó với mặt phẳng của thấu kính hướng lên trên. Sau đó ta chiếu thấu kính từ phía trên bằng ánh sáng xanh lục của thủy ngân như được minh hoạ trên hình 2.19 và quan sát các vân tròn Newton tạo thành. Khoảng cách giữa hai vân kề nhau (khoảng vân) tương ứng với sự thay đổi độ dày của khe không khí (giữa thấu kính và tấm kính) một đoạn bằng $\lambda/2$. Để có độ phẳng trong giới hạn $\lambda/4$ thì độ méo của vân phải nhỏ hơn một nửa khoảng vân.

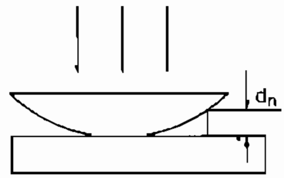
Để kiểm tra độ song song của tấm kính cửa sổ, ta xét nó khi nêm thủy tinh có chiết suất $n = 1{,}500$. Chiếu sáng kính từ phía trên, ta sẽ quan sát được các vân giao thoa sao cho khi đi từ vân này tới vân tiếp sau, độ dày d của kính thay đổi một lượng $\lambda/2n$. đối với góc nêm θ, khoảng vân là

$$S = \frac{\Delta d}{\theta} = \frac{\lambda}{2n\theta}$$

Đối với $\theta \leq 5 \times 4{,}85 \times 10^{-6}$ rad, ta đòi hỏi phải có

$$S \geq \frac{546 \times 10^{-7}}{2 \times 1{,}5 \times 24{,}25 \times 10^{-6}} = 0{,}75\,\text{cm}$$

Cả hai điều kiện trên phải được thoả mãn mới đáp ứng được chỉ tiêu kỹ thuật của nhà sản xuất.



Hình 2.19

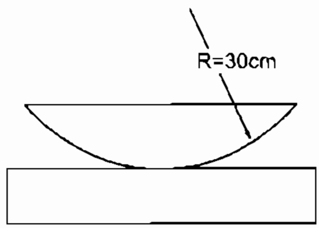
2020

Bán kính mặt lồi của một thấu kính phẳng – lồi là 30cm. Thấu kính được đặt sao cho mặt lồi tiếp xúc với một tấm thuỷ tinh phẳng, rồi chiếu vào mặt trên ánh sáng đỏ có bước sóng 650nm (H. 2.20).

a) Tính đường kính của vân sáng thứ ba trong miền giao thoa.

b) Chứng minh rằng đối với những R lớn thì đường kính này tỷ lệ với $R^{1/2}$.

(SUNY, Buffalo)



Hình 2.20

Lời giải.

a) Bán kính của vân (sáng) tròn Newton cho bởi công thức sau

$$r_j = \sqrt{(2j+1)\frac{\lambda}{2}R} \quad (j = 0, 1, 2, \dots).$$

Vậy vân sáng thứ ba, $j = 2$, có bán kính là

$$r = \sqrt{(4+1)\times\frac{650\times10^{-7}}{2}\times 30} = 0{,}7\text{ mm},$$

Tức đường kính là

$$d = 2r = 1{,}4\text{ mm}.$$

b) Từ công thức trên ta thấy rằng $d = 2r \propto \sqrt{R}$. Điều này chứng tỏ rằng khi rút ra công thức đó ta đã sử dụng phép gần đúng cho rằng R là lớn.

2021

Giao thoa qua hai khe được tạo bởi một chùm sáng phẳng song song có bước sóng λ chiếu qua hai khe có độ rộng $\omega_1 = 20\lambda$ và $\omega_2 = 40\lambda$, tâm của chúng cách nhau 1000λ. Nếu màn giao thoa để cách rất xa hai khe, tức là ở khoảng cách $L \gg 1000\lambda$, hãy xác định các đặc điểm sau đây:

a) Khoảng cách δx giữa các cực đại liên tiếp.

b) Độ rộng Δx_1 và Δx_2 của cực đại trung tâm của hệ vân nhiễu xạ của mỗi khe riêng biệt (tức là giữa các cực tiểu đầu tiên).

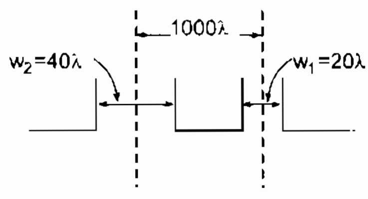
c) Từ đó tính số vân được tạo bởi sự chồng chập của các cực đại trung tâm này.

d) Tỷ số giữa cường độ cực đại và cực tiểu tại tâm của hệ vân.

e) Tìm một biểu thức giải tích đối với cường độ trên màn như một hàm số của x và khi $x = 0$ ở đúng tại tâm của hệ vân.

Nêu rõ những lập luận của bạn

(UC, Berkeley)



Hình 2.21

Lời giải.

a) Vì $\omega_2 = 2\omega_1$, $L \gg \omega_1$, ω_2, ta có thể giả thiết biên độ của vectơ điện trường tạo bởi các khe S_1 và S_2 tương ứng là E và $2E$. Vì $I \propto E^2$ nên cường độ tương ứng là $I_1 = I_0$, tức $I_2 = 4I_0$.

Đối với giao thoa qua hai khe thì vectơ tổng hợp là tổng vectơ E_1 và E_2 tạo với nhau một góc δ bằng hiệu số pha. Vì thế

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\delta$$

$$= I_0 + 4I_0 + 4I_0\cos(2\pi d\sin\theta/\lambda) = 5I_0 + 4I_0\cos(2000\pi\sin\theta)$$

trong đó d là khoảng cách tâm của hai khe, bằng 1000λ, $\sin\theta \approx \frac{x}{L}$, x là khoảng cách từ tâm của hệ vân giao thoa trên màn. Vì $L \gg x$, $\sin\theta \approx \theta$ và cực đại liên tiếp xuất hiện khi $2000\pi\delta\theta = 2\pi$ hay $\delta\theta = \frac{1}{1000}$, ta có

$$\delta x = L\delta\theta = \frac{L}{1000}.$$

b) Phân bố cường độ nhiễu xạ do một khe có độ rộng ω gây ra được cho bởi $\sim\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2$, trong đó $\beta = \frac{\pi\omega}{\lambda}\sin\theta$. Do đó

$$I_1 = I_0\left(\sin\beta_1/\beta_1\right)^2 \text{ khi } \beta_1 = \pi\omega_1\sin\theta/\lambda = 20\pi\sin\theta$$

$$I_2 = 4I_0\left(\sin\beta_2/\beta_2\right)^2 \text{ khi } \beta_2 = \pi\omega_2\sin\theta/\lambda = 40\pi\sin\theta.$$

Các cực tiểu (cường độ bằng 0) thứ nhất xuất hiện tại khoảng cách góc θ_1 và θ_2 tính từ tâm cho bởi công thức

$$20\pi\sin\theta_1 \approx 20\pi\theta_1 = \pi, \text{ hay } \theta_1 = \frac{1}{20} \text{ và } \theta_2 = \frac{1}{40}.$$

Từ đó suy ra độ rộng góc của các cực đại trung tâm là

$$\Delta\theta_1 = 2\theta_1 = \frac{1}{10},$$

$$\Delta\theta_2 = \frac{1}{20}.$$

Khi đó các độ rộng tương ứng là

$$\Delta x_1 = L\theta_1 = L/10$$

$$\Delta x_2 = L\theta_2 = L/20$$

c) Độ rộng của vùng chồng chập của vân cực đại trung tâm nói trên là $L/20$, và số vân là $(L/20)/(L/1000) = 50$.

d) Cực đại và cực tiểu cường độ tại trung tâm của bức tranh giao thoa được cho bởi $\cos\delta = 1$ và $\cos\delta = -1$ tương ứng. Vì thế ta có tỷ số

$$\frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \frac{9I_0}{I_0} = 9.$$

e) Việc tính đến hiệu ứng nhiễu xạ cho các trường tạo bởi S_1 và S_2 tương ứng là

$$E_1 = E_0\left(\sin\beta_1/\beta_1\right)$$

$$E_2 = E_0\left(\sin\beta_2/\beta_2\right)$$

trong đó E_0 là hằng số.

Với $\beta_2 = 2\beta_1$, ta có

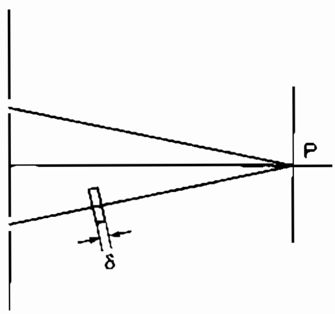
$$E = \left|\vec{E}_1 + \vec{E}_2\right| = E_0 \frac{\sin\beta_1}{\beta_1}(5 + 4\cos\delta)^{\frac{1}{2}}$$

Do đó cường độ là

$$I(x) = I_0\left(\frac{\sin\frac{20\pi x}{L}}{\frac{20\pi x}{L}}\right)^2\left(5 + 4\cos\frac{2000\pi x}{L}\right)$$

2022

Sơ đồ vẽ trên hình (2.22) mô tả một thí nghiệm hai khe được chiếu bằng ánh sáng đơn sắc có bước sóng λ từ một nguồn ở xa tới hai khe, mỗi khe có độ rộng $\omega(\omega \gg \lambda)$, và hệ vân giao thoa được quan sát trên một màn ở xa. Một bản thuỷ tinh mỏng dày δ, chiết suất n đặt giữa một trong hai khe và màn, vuông góc với đường truyền sáng, và cường độ tại tâm điểm P là một hàm số của độ dày δ. Giả thiết bản thuỷ tinh không hấp thụ và phản xạ ánh sáng. Khi $\delta = 0$ thì cường độ ánh sáng tại P bằng I_0.



Hình 2.22

a) Tính cường độ tại điểm P như là một hàm số của δ?

b) Với giá trị nào của δ thì cường độ tại P là cực tiểu?

c) Giả thiết độ rộng ω của một khe bây giờ tăng thành 2ω, các kích thước khác giữ nguyên không thay đổi. Tính cường độ tại P theo δ?

(Columbia)

Lời giải.

a) Đối với hệ hai khe, cường độ tại một điểm trên màn được cho bởi

$$I \sim 4a^2\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2\cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right),$$

trong đó a là biên độ tạo bởi mỗi khe riêng biệt, $4a^2(\sin\beta/\beta)^2$ là số hạng nhiễu xạ của một khe, $\cos^2(\phi/2)$ là số hạng giao thoa ,với

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n-1)\delta$$

là hiệu số pha giữa các sóng bắt nguồn từ hai khe, n là chiết suất của thuỷ tinh và δ là độ dày của bản thuỷ tinh . Cường độ tại điểm trung tâm P tương ứng với $\beta \to 0$, và khi đó $\frac{\sin\beta}{\beta} \to 1$, do đó

$$I \sim 4a^2\cos^2\left(\frac{\pi}{\lambda}(n-1)\delta\right)$$

hay

$$I = I_0\cos^2\left(\frac{\pi}{\lambda}(n-1)\delta\right)$$

trong đó I_0 là cường độ tại P khi $\delta = 0$.

b) Đối với $\pi\delta(n-1)/\lambda = (2k+1)\pi/2 \quad k = 0, \pm1, \pm2, \ldots$, hay

$$\delta = \frac{(2k+1)\lambda}{2(n-1)},$$

thì cường độ tại P là cực tiểu. Đặc biệt đối với $k = 0$, ta có

$$\delta_{\min} = \frac{\lambda}{2(n-1)}.$$

Lưu ý rằng cường độ cực tiểu không chính xác bằng không khi các khe có kích thước hữu hạn.

c) Vì độ rộng của một khe tăng lên là 2ω, nên cường độ tạo bởi khe này cũng tăng thành $2a$. Cường độ của sóng tổng hợp tại P bây giờ là

$$\begin{aligned} I &= a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2\cos\varphi \\ &= a^2 + (2a)^2 + 2a\cdot(2a)\cos\varphi \\ &= a^2(5+4\cos\varphi) = a^2\left[5+4\cos\left(2\pi(n-1)\delta/\lambda\right)\right] \end{aligned}$$

Đối với $\delta = 0$ cường độ tại P là cực đại $I_0' = 9a^2$. So sánh với câu a), ta có

$$\frac{I_0'}{I_0} = \frac{9a^2}{4a^2} = 2,25.$$

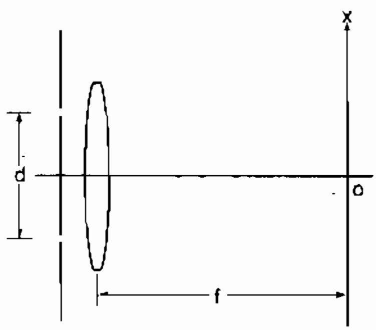
2023

Trong thí nghiệm Young về giao thoa ánh sáng, hai khe nhận ánh sáng từ một ngôi sao xa, và ánh sáng này được tụ tiêu tại một mặt phẳng như vẽ trên hình 2.23.

a) Xác định bức tranh giao thoa như là một hàm số của x.

b) Nếu giao thoa kế đặt tại ngôi sao và nhận ánh sáng từ trái đất với một góc lớn hơn $\theta_{\min}$ thì hệ vân biến mất. Giải thích và tính $\theta_{\min}$.

(Columbia)



Hình 2.23

Lời giải.

a) Gọi độ rộng của mỗi khe là a và kích thước góc của ngôi sao là θ. Một cách tính gần đúng tốt sự phân bố cường độ của hệ vân giao thoa cho bởi kết quả của Bài toán 2007:

$$I(x,\theta) \sim \left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2 \left(1+\frac{\sin\alpha}{\alpha}\cos\gamma\right)$$

trong đó

$$\beta = \frac{\pi a x}{\lambda f} \quad \alpha = \frac{\pi d\theta}{\lambda} \quad \gamma = \frac{2\pi d x}{\lambda f}.$$

b) Độ thị kiến của hệ vân được cho bởi công thức

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

trong đó $I_{\max}$ và $I_{\min}$ lần lượt là cường độ tại các cực đại và cực tiểu giao thoa kề nhau. Do đó

$$V = \frac{\sin\alpha}{\alpha}$$

Khi θ tăng từ 0 đến $\theta_{\min}$, V giảm từ 1 tới 0, trong đó $\theta_{\min}$ cho bởi

$$\frac{\pi d\theta_{\min}}{\lambda} = \pi \text{ , hay } \theta_{\min} = \frac{\lambda}{d}.$$

Hệ vân cũng xuất hiện khi $\theta \geq \theta_{\min}$. Thực tế, mở ngoài $\theta_{\min}$, hệ vân xuất hiện rồi biến mất lặp đi lặp lại nhiều lần, nhưng thăng giáng của V quanh 0 cứ nhỏ dần.

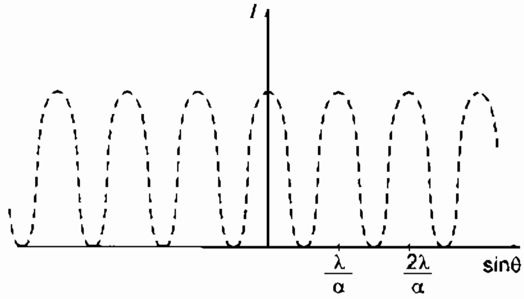
2024

Một hệ nhiễu xạ hai khe được chiếu sáng thẳng góc bằng ánh sáng có bước sóng λ. Khoảng cách giữa các khe là a. Cường độ ánh sáng được ghi trên màn đặt cách xa (so với a) là I_0 khi một khe bị che đi.

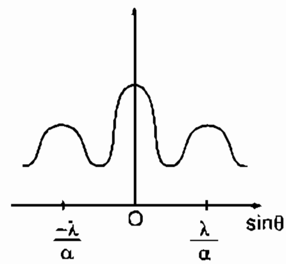
a) Trong trường hợp hai khe đều mở, hãy tính và vẽ đáp ứng của detector như là một hàm số của góc θ, trong đó θ được tính từ pháp tuyến của hệ.

b) Giả thiết khoảng cách giữa các khe "dao động" (jitters) sao cho nó biến thiên theo một thang thời gian lớn hơn nhiều so với chu kỳ ánh sáng nhưng lại rất ngắn so với thời gian đáp ứng của detector cường độ. Giả thiết khoảng cách a có một phân bố xác suất Gauss theo độ rộng Δ và giá trị trung bình $\bar{a}$. Giả thiết $\bar{a} \gg \Delta \gg \lambda$. Không cần tính toán chi tiết hãy vẽ sơ đồ cường độ đo được bằng cảm biến ở tình trạng này.

(MIT)



Hình 2.24



Hình 2.25

Lời giải.

a) Giả thiết độ rộng của khe nhỏ hơn nhiều so với λ, khi đó không cần phải khảo sát sự nhiễu xạ gây bởi mỗi khe. Chỉ cần khảo sát sự giao thoa của các chùm sáng tới từ hai khe gây ra.

Biên độ của sóng tại một điểm trên màn tạo bởi mỗi khe riêng rẽ cho bởi công thức

$$E_1 = Ae^{ikr_1}$$

và

$$E_2 = Ae^{ikr_2} = Ae^{ikr_1} \cdot e^{ika\sin\theta}$$

trong đó $k = 2\pi/\lambda$, r_1 và r_2 là khoảng cách giữa điểm đang xét trên màn và hai khe. Cường độ tổng hợp là

$$I \sim EE^* = 2A^2\left[1 + \cos(ka\sin\theta)\right]$$
$$= 4A^2\cos^2\left(\frac{\pi a\sin\theta}{\lambda}\right)$$

và được vẽ trên hình 2.24.

b) Vì khoảng cách hai khe thay đổi theo một thang thời gian nhỏ so với thời gian đáp ứng của detector, nên bức tranh cường độ sẽ phản ánh phân bố xác suất của khoảng cách khe theo phân bố Gauss

$$p(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\Delta}e^{-\frac{(a-\alpha)^2}{2\Delta^2}}.$$

Do đó, cường độ ghi nhận được sẽ phân bố theo

$$I \sim p(a)\cos^2\left(\frac{\pi a\sin\theta}{\lambda}\right).$$

Từ đó vị trí của các cực đại chính vẫn còn cố định, trong khi đó độ tương phản hay độ thị kiến của bức tranh cường độ giảm khi θ tăng, (xem H. 2.25).

2025

Bằng một hoặc hai đoạn ngắn, hãy mô tả điều kiện để một người quan sát có thể hoặc không thể cảm nhận được một cách trực tiếp các hiệu ứng giao thoa của hai nguồn sáng hoặc âm độc lập, riêng biệt.

(UC, Berkeley)

Lời giải.

Người quan sát có thể cảm nhận trực tiếp hiệu ứng giao thoa nếu hai nguồn sáng hoặc hai nguồn âm đồng pha trong một khoảng thời gian kéo dài hơn thời gian đáp ứng của các giác quan (mắt hoặc tai) con người và công suất của hai nguồn này có thể so sánh được với nhau.

Các nguồn phát sáng và phát âm thông thường không thể thoả mãn điều kiện thứ nhất. Vì thế hiếm khi người quan sát cảm nhận được một cách trực tiếp hiệu ứng giao thoa. Đối với ánh sáng laser có tính kết hợp hợp cao ta có thể nhìn thấy trực tiếp hiệu ứng giao thoa.

2026

a) Phân biệt nhiễu xạ Fraunhofer và nhiễu xạ Fresnel nhờ các thiết bị thực nghiệm đã dùng.

b) Chỉ ra sơ đồ một thiết bị thực nghiệm cho phép quan sát được nhiễu xạ Fraunhofer.

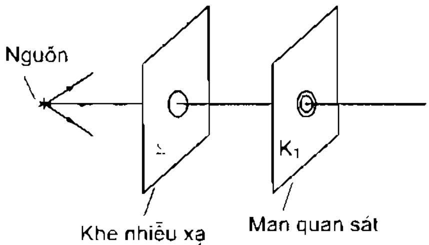
c) Vẽ bức tranh quan sát được trên màn của nhiễu xạ Fraunhofer do một khe (độ rộng a) và do hai khe (độ rộng a, cách nhau d) gây ra. Chỉ rõ những đặc điểm phân biệt của mỗi bức tranh.

d) Tính toán bức tranh giao thoa thu được nếu dùng ba khe cách đều nhau thay cho hai khe trong thí nghiệm Young (màn đặt cách xa khe).

(SUNY, Buffalo)

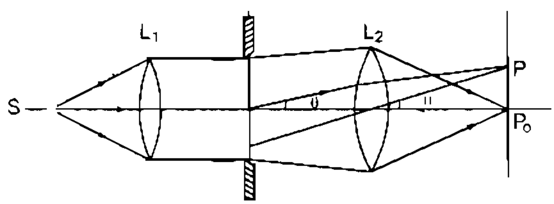
Lời giải.

a) Nhiễu xạ Fraunhofer là nhiễu xạ quan sát được khi nguồn sáng và màn quan sát (H. 2.26) thực tế ở rất xa các khe gây ra nhiễu xạ sao cho cả chùm sáng tới lẫn chùm nhiễu xạ đều có thể xem là các sóng phẳng. Trong thực nghiệm, ánh sáng từ nguồn được làm thành một chùm song song nhờ một thấu kính rồi được hội tụ trên màn nhờ một thấu kính khác đặt sau khe. Nhiễu xạ Fresnel được quan sát khi hoặc nguồn hoặc màn hoặc cả hai đặt ở khoảng cách hữu hạn đối với khe. Ở đây mặt sóng là phân kỳ thay cho sóng phẳng. Không cần thiết phải dùng thấu kính trong quan sát nhiễu xạ Fresnel



Hình 2.26

b) Một nguồn sáng đặt trên mặt phẳng tiêu trước của thấu kính hội tụ L_1, ánh sáng phát ra từ nó có dạng một sóng phẳng. Sóng này đến khe nhiễu xạ, sau khe đặt một thấu kính hội tụ L_2. Màn quan sát đặt ở mặt phẳng tiêu sau của L_2, lúc đó nhiễu xạ Fraunhofer sẽ xuất hiện trên màn. Xem hình 2.27.

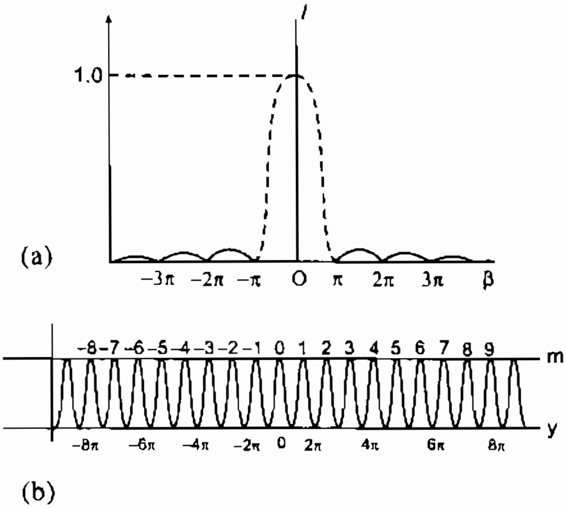


Hình 2.27

c) Phân bố cường độ nhiễu xạ từ một khe có độ rộng a cho bởi công thức

$$I \sim A_0^2 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2$$

trong đó $\beta = \pi a \sin \theta / \lambda$. Phân bố cường độ trên được biểu diễn trên hình 2.28.



Hình 2.28

Phân bố này có các đặc trưng như sau:

1) Cực đại chính xuất hiện khi θ gần bằng không để $(\sin\beta/\beta)^2$ trở thành đơn vị. Nửa độ rộng góc của nó tại khe cho bởi công thức $\sin\beta = \pi$ hoặc $\theta \approx \lambda/a$. Như vậy, độ rộng của khe càng hẹp thì bức tranh nhiễu xạ sẽ càng rộng.

2) Cường độ nhiễu xạ bằng không khi mà các góc (trừ 0) có $\sin\beta = 0$ hoặc $\sin\beta = k\lambda/a$ $(k = 1, 2, \ldots)$. Giữa hai cực tiểu liên tiếp có các cực đại phụ, cường độ của các cực đại này nhỏ hơn nhiều so với cực đại chính, và tắt dần khi k tăng.

3) Độ rộng góc của cực đại chính trung tâm bằng hai lần độ rộng góc của các cực đại khác.

Phân bố cường độ nhiễu xạ bởi N khe có độ rộng a và khoảng cách d cho bởi công thức

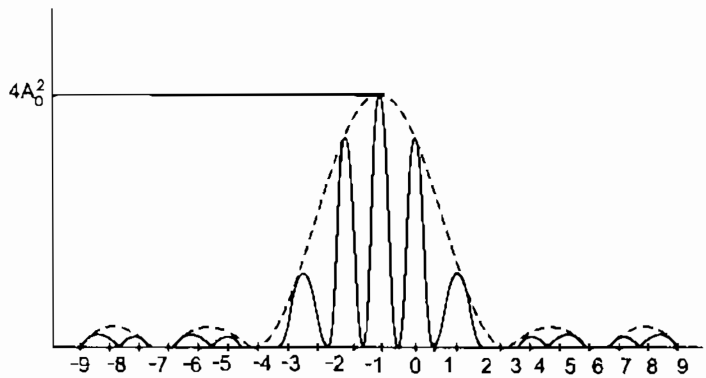
$$I = A_0^2\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2 \times \left(\frac{\sin N\gamma}{\sin\gamma}\right)^2$$

trong đó $\beta = \pi a\sin\theta/\lambda$, $\gamma = \pi d\sin\theta/\lambda$. Thừa số $(\sin\beta/\beta)^2$ gọi là nhân tử nhiễu xạ một khe, còn $(\sin N\gamma/\sin\gamma)^2$ là nhân tử giao thoa nhiều khe.

Đối với $N = 2$, phân bố cường độ nhiễu xạ tạo bởi hai khe cho bởi công thức

$$I = 4A_0^2(\sin\beta/\beta)^2\cos^2\gamma.$$

Bức tranh cường độ nhiễu xạ tạo bởi hai khe cách nhau d (ví dụ, $d=3a$) được vẽ trên hình 2.29, trong đó bức tranh cường độ giao thoa tạo bởi hai khe (H. 2.28b) được điều biến bởi bao hình của bức tranh cường độ nhiễu xạ một khe (H. 2.28a). Các cực đại xuất hiện nếu $\gamma = m\pi$ hoặc $\sin\theta = m\lambda/d$, với $m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$ là bậc giao thoa. Các cực tiểu giao thoa cho bởi công thức $\sin\theta = \left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda/d$. Các cực tiểu nhiễu xạ cho bởi công thức $\sin\theta = k\lambda/a$ ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$) tại đó nhân tử nhiễu xạ bằng không. Một hiệu ứng gọi là *mất bậc* (*missing orders*) xảy ra nếu $d/a = m/k$ là phân số hữu tỷ. Khi đó cực đại giao thoa bậc m và cực tiểu nhiễu xạ bậc k (bằng không) tương ứng với cùng một giá trị của θ và cực đại ấy không xuất hiện hoặc ít nhất cũng giảm tới một cường độ rất thấp. Đối với $d=3a$ các bậc 3, 6, 9 ... sẽ không xuất hiện như ta thấy trên hình 2.29.



Hình 2.29

d) Cường độ nhiễu xạ ba khe cho bởi công thức

$$I = A_0^2 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi a \sin\theta}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi a \sin\theta}{\lambda}\right)^2} \frac{\sin^2\left(\frac{3\pi d \sin\theta}{\lambda}\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d \sin\theta}{\lambda}\right)}.$$

2027

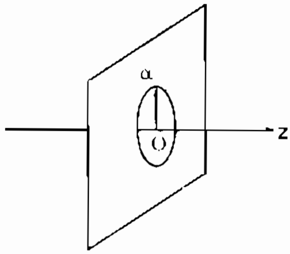
Chứng minh rằng các đới Fresnel nửa chu kỳ của một khe tròn đều có diện tích bằng nhau.

(Wisconsin)

Lời giải.

Chứng minh kết luận này có thể tìm thấy trong bất kỳ sách giáo khoa quang học nào, nên không trình bày ở đây.

2028



Hình 2.30

Một khe tròn bán kính a được chiếu sáng đồng đều bằng một sóng phẳng có bước sóng λ. Lấy trục z trùng với trục của khe, với $z=0$ tại mặt khe, và ánh sáng chiếu tới từ phía giá trị âm của z tới $z=0$ (H 2.30).

Tìm những giá trị của z mà tại đó cường độ sáng trên trục bằng không (nhiễu xạ Fresnel). Có thể giả thiết $z \gg a$.

(MIT)

Lời giải.

Từ cách dựng các đới Fresnel nửa chu kỳ chứng tỏ rằng nếu số đới này là chẵn đối với một điểm trên trục thì cường độ sáng tại điểm này sẽ bằng không. Vì

$$N = \frac{a^2}{\lambda z},$$

hay

$$z = \frac{a^2}{\lambda N}$$

Cường độ sáng tại các điểm z sẽ bằng không khi $N = 2,4,6,\ldots$.

2029

Một ánh sáng đơn sắc có bước sóng λ chiếu thẳng góc vào màn có một lỗ tròn bán kính R. Cường độ sáng sẽ bằng không tại một số điểm nào đó trên trục ở phía sau lỗ. Xác định điểm trên trục cách màn xa nhất có cường độ sáng bằng không? Giả thiết $\lambda/R \ll 1$.

(Wisconsin)

Lời giải.

Điểm xa nhất tại đó cường độ sáng bằng không cách màn là $R^2/(2\lambda)$.

2030

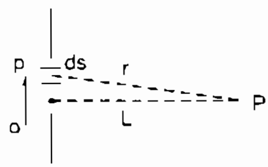
Ánh sáng bước sóng λ, cường độ I_0 chiếu vuông góc vào

a) một đĩa tròn chắn sáng bán kính R,

b) một màn chắn sáng có một lỗ tròn cũng có bán kính R.

Trong mỗi trường hợp hãy tính cường độ sáng tại điểm cách vật một đoạn L ở phía sau và nằm trên trục đối xứng của vòng tròn. Lấy $L >> R$.

(Wisconsin)



Hình 2.31

Lời giải.

Đầu tiên ta khảo sát nhiễu xạ của lỗ tròn (xem H. 2.31). Trường tại P trên trục cách lỗ L biểu diễn bởi công thức

$$A = A_0 \iint \frac{Ke^{ikr}ds}{r},$$

trong đó K là hệ số xiên có thể lấy là $1/i\lambda$ đối với $L \gg R$, $k = 2\pi/\lambda$ là số sóng, ds là yếu tố diện tích hình vành khuyên bán kính ρ, $ds = 2\pi\rho d\rho$, và

$$r = \sqrt{\rho^2 + L^2}$$

là khoảng cách giữa P và ds. Vì $L \gg R \geq \rho$, nên r trong mẫu số của hàm dưới dấu tích phân có thể lấy là L, và trong số mũ có thể lấy là $L\left(1 + \rho^2/2L^2\right)$, đây gọi là phép gần đúng Fresnel. Khi đó ta có

$$A = \frac{A_0}{i\lambda}\frac{e^{ikL}}{L}\int_0^R 2\pi\rho e^{ik\rho^2/2L}d\rho$$

$$= A_0\left[e^{ikL} - e^{ik\left(L + \frac{R^2}{2L}\right)}\right]$$

ở đây ta đã bỏ đi một vài thừa số không đổi. Do đó cường độ là

$$I \sim |A|^2 = 4I_0 \sin^2\left(kR^2/4L\right),$$

trong đó $I_0 = |A_0|^2$.

Đối với nhiễu xạ bởi đĩa chắn sáng hình tròn, trường A' tại P cho bởi nguyên lý Babinet

$$A + A' = A_\infty = A_0 e^{ikL},$$

trong đó A là trường tại P do nhiễu xạ gây bởi lỗ tròn nói ở trên, A_∞ là trường do nhiễu xạ gây bởi lỗ có kích thước vô hạn. Khi đó

$$A' = A_0 e^{ikL} - A = A_0 \exp\left[ik\left(L + \frac{R^2}{2L}\right)\right],$$

Cuối cùng ta có

$$I' \sim |A'|^2 = I_0,$$

Điều này có nghĩa là cường độ gần như khi không có một màn nhiễu xạ nào với điều kiện vật chắn sáng đủ nhỏ.

2031

Một chùm sáng song song đơn sắc tới vuông góc màn chắn sáng có một lỗ tròn bán kính r và được thu tại một điểm nằm trên trục cách lỗ một khoảng L. Người ta nhận thấy cường độ quan sát được dao động khi r tăng từ 0 đến ∞.

a) Tìm bán kính r_a của lỗ đối với cực đại thứ nhất.

b) Tìm bán kính r_b của lỗ đối với cực tiểu thứ nhất.

c) Tìm tỷ số cường độ khi $r = r_a$ và khi $r = r_\infty$.

d) Giả sử màn được thay bằng đĩa chắn sáng bán kính r_a. Tính cường độ.

(Chicago)

Lời giải.

Đối với ánh sáng tới song song và một điểm trên trục cách lỗ một khoảng L, bán kính đới Fresnel cho bởi công thức

$$r_k = \sqrt{k\lambda L},\ (k = 1, 2, 3, \ldots)$$

a) Đối với cực đại thứ nhất, $k = 1$, $r_a = r_1 = \sqrt{\lambda L}$.

b) Đối với cực tiểu thứ nhất, $k = 2$, $r_b = r_2 = \sqrt{2\lambda L}$.

c) Vì k tiến tới vô hạn, cho nên tổng biên độ là

$$A_\infty = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \ldots = \frac{A_1}{2} + \left(\frac{A_1}{2} - A_2 + \frac{A_3}{2}\right)$$
$$+ \left(\frac{A_3}{2} - A_4 + \frac{A_5}{2}\right) + \ldots \approx \frac{A_1}{2}$$

Vì

$$A_2 \approx \frac{1}{2}(A_1 + A_3)\ , A_4 \approx \frac{1}{2}(A_3 + A_5), \ldots,$$

ta có: $$I_\infty \sim A_\infty^2 = A_1^2/4 \sim I_1/4\ ,$$

với I_1 là cường độ tạo bởi đới thứ nhất tại điểm khảo sát. Nói cách khác tỷ số cường độ khi $r = r_a$ và khi $r = r_\infty$ là 4.

d) Theo nguyên lý Babinet, tổng các biên độ trường A_1 và A_1' tạo bởi một cặp màn chắn bổ sung cho nhau (ở đây là màn chắn có một lỗ tròn và màn chắn là một đĩa tròn có cùng bán kính - ND) bằng A_∞ (biên độ của sóng khi hoàn toàn không có màn chắn), tức là $A_1 + A_1' = A_\infty$ (với A_1' là biên độ trường tạo bởi màn chắn là một đĩa không trong suốt bán kính r_a. Do đó cường độ là

$$I' \sim (A_\infty - A_1)^2 \sim I_1/4 = I_\infty\ .$$

2032

Một tấm không trong suốt có một lỗ nhỏ bán kính 0,5 mm. Ánh sáng là sóng phẳng (có bước sóng $\lambda = 5000$ Å) tới mặt tấm. Tìm khoảng cách xa nhất từ tấm tới chỗ đặt màn để ánh sáng hội tụ thành một chấm sáng. Xác định cường độ của chấm sáng này đối với cường độ sáng khi tấm chắn được bỏ đi. Nói rõ cách giải quyết mỗi vấn đề.

(Wisconsin)

Lời giải.

Khoảng cách cực đại r từ lỗ tới màn sao cho tại đó ánh sáng hội tụ thành một chấm sáng chính là khoảng cách mà đối với nó diện tích của lỗ ứng với đới thứ nhất

$$\rho_1^2 = \lambda r$$

với ρ là bán kính của lỗ. Từ đó suy ra

$$r=\frac{\rho_1^2}{\lambda}=\frac{0,5^2}{5000\times10^{-7}}=500\ \text{mm}.$$

Bỏ qua màn chắn sáng, số đới Fresnel sẽ tiến tới vô hạn. Khi đó tổng biên độ sẽ là

$$\begin{aligned}A&=A_1-A_2+A_3-\ldots\ldots\\&=\frac{A_1}{2}+\left(\frac{A_1}{2}-A_2+\frac{A_3}{2}\right)+\left(\frac{A_3}{2}-A_4+\frac{A_5}{2}\right)+\ldots\\&\approx\frac{A_1}{2}\end{aligned}$$

Vì thế

$$I'\sim A_1^2/4\text{ , tức là } I'\sim I_1/4\,.$$

Như vậy khi này cường độ bằng $1/4$ biên độ trước khi bỏ màn chắn.

2033

Một sóng phẳng cực ngắn có bước sóng $\lambda=1\text{cm}$ chiếu tới một màn chắn có chứa một lỗ tròn bán kính điều chỉnh được. Một detector diện tích nhạy rất nhỏ đặt lỗ, trên trục của lỗ và cách lỗ 1m. Nếu bán kính lỗ tăng dần từ không thì đến giá trị nào detector phát hiện được cực đại thứ nhất của nó? Cực tiểu thứ hai sau cực đại thứ nhất? Tại bán kính đó, hãy tìm vị trí các cực đại và cực tiểu dọc theo trục của lỗ.

(Wisconsin)

Lời giải.

Đối với sóng phẳng tới, bán kính các đới Fresnel cho bởi công thức $\rho_m=\sqrt{mr_0\lambda}$, với $m=1,2,3,\ldots$ trong đó r_0 là khoảng cách từ lỗ đến detector. Đối với cực đại thứ nhất, $m=1$, $\rho_1=0.1$ m.

Đối với $m=4$, khi đó diện tích lỗ tương ứng với 4 đới Fresnel, detector phát hiện cực tiểu thứ hai của nó. Như vậy

$$\rho_4=\sqrt{4r_0\lambda}=0,2\ \text{m}.$$

Tại bán kính 0,2m vị trí của cực đại và cực tiểu có thể tìm từ công thức

$$\rho_4=\sqrt{kr_k\lambda}\quad(k=1,2,3,\ldots\ldots),$$

hay $r_k=\rho_4^2/(k\lambda)$.

Đối với k là số nguyên lẻ, thì $r_1 = 4$ m, $r_3 = 1{,}33$ m, $r_5 = 0{,}8$ m, ... chính là vị trí của các cực đại; đối với k là số nguyên chẵn, $r_2 = 2$ m, $r_4 = 1$ m, $r_6 = 0{,}67$ m ... chính là vị trí của các cực tiểu.

2034

Một tấm đới Fresnel được tạo ra bằng cách phân chia một bức ảnh thành 5 đới riêng biệt. Đới thứ nhất bao gồm một đĩa tròn chắn sáng bán kính r_1. Đới thứ hai là một vành trong trong suốt đồng tâm từ r_1 đến r_2, tiếp theo là một vành không trong suốt từ r_2 đến r_3, rồi đến một vành trong suốt thứ hai từ r_3 đến r_4 và đới cuối cùng từ r_4 đến vô hạn là đen hoàn toàn. Các bán kính từ r_1 đến r_4 lập thành tỷ số $r_1 : r_2 : r_3 : r_4 = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \sqrt{4}$.

Tấm đới được đặt trong mặt phẳng x-y và được chiếu sáng bởi một sóng phẳng đơn sắc có bước sóng 500 nm. Vết sáng rõ nhất ở sau tấm đới, nằm trên trục và cách tấm đới 1m.

a) Tính bán kính r_1?

b) Tính cường độ của vết sáng theo cường độ của sóng tới?

c) Tìm vị trí các cực đại cường độ trên trục?

(UC, Berkeley)

Lời giải.

a) Tiêu cự của các đới cho bởi công thức

$$f = \frac{r_j^2}{j\lambda}.$$

Đối với $j = 1$, f = 1m, $\lambda = 500$ nm, ta có $r = 0{,}707$ mm.

b) Biên độ tổng hợp tạo bởi các đới trong suốt thứ hai và thứ tư là

$$A = A_2 + A_4 \approx 2A_1$$

trong đó A_1 là biên độ trường tạo bởi một mình đới thứ nhất nếu nó là trong suốt. Vì $A_1 = 2A_\infty$, với A_∞ là trường tại điểm đó khi tấm được bỏ đi, ta có

$$I \sim A^2 \approx 16A_\infty^2 \sim 16I_0$$

c) Tấm đới Fresnel có một loạt các tiêu cự cho bởi công thức

$$f_m = \frac{1}{m}\left(\frac{r_1^2}{\lambda}\right)$$

trong đó m là số nguyên lẻ. Vì thế ta có thể tìm được các cực đại cường độ trên trục tại các điểm cách tấm đới $1/3$ m, $1/5$ m, $1/7$ m, ...

2035

Ánh sáng từ một nguồn điểm đơn sắc bước sóng λ hội tụ thành một ảnh điểm bởi một tấm đới Fresnel có 100 đới trong suốt với số thứ tự lẻ (1, 2, 3,....199) xen kẽ với các đới không trong suốt với số thứ tự chẵn. So sánh cường độ của chấm ảnh với cường độ tại chính điểm đó khi tấm đới bị bỏ đi và đối với một thấu kính có cùng tiêu cự và đường kính tương ứng với 200 đới của tấm đới. Giả thiết đường kính của các lỗ hở là nhỏ so với khoảng từ nguồn tới ảnh.

(Columbia)

Lời giải.

Gọi biên độ sáng từ các đới là $A_1, A_3, \ldots A_{199}$. Vì tất cả chúng đều gần đúng bằng A_1, nên biên độ tổng hợp của đới phẳng là

$$A = A_1 + A_3 + \ldots + A_{199} \approx 100A_1 .$$

Khi đó cường độ là

$$I \sim A^2 \sim 10^4 \times A_1^2 .$$

Khi ta thay thế tấm đới bằng một thấu kính có cùng tiêu cự như tấm đới, tất cả biên độ sóng $A_1, A_2, \ldots A_{199}$, A_{200} đều cùng pha nên sẽ hội tụ. Do đó biên độ tổng hợp A' là

$$A' = \sum_{i=1}^{200} A_i \approx 200A_1 ,$$

Do đó cường độ

$$I' = 4 \times 10^4 \times A_1^2 .$$

hay

$$I'/I = 4 .$$

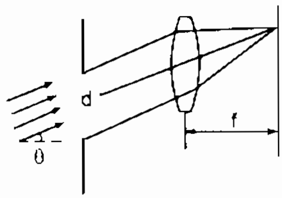
Như vậy, cường độ khi có thấu kính lớn gấp 4 lần cường độ khi có tấm đới.

2036

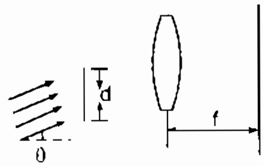
a) Một sóng phẳng kết hợp bước sóng λ chiếu tới một màn có chứa một khe dài vô hạn, bề rộng d. Phương truyền của chùm sáng vuông góc với khe và tạo thành góc θ với pháp tuyến của màn (H. 2.32). Tìm sự phân bố cường độ ở xa khe trên mặt phẳng tiêu của một thấu kính mỏng tiêu cự f. (Giả thiết thấu kính có đường kính lớn vô hạn).

b) Thay cho màn có khe bằng một tấm phẳng có bề rộng d (H. 2.33), tìm phân bố cường độ trên mặt phẳng tiêu của thấu kính.

(Columbia)



Hình 2.32



Hình 2.33

Lời giải.

a) Dùng các toạ độ như đã chỉ rõ trên hình (2.34) thì sóng phẳng tới được biểu diễn như sau

$$e^{\frac{i2\pi}{\lambda}y'\sin\theta}.$$

Phân bố biên độ trên mặt phẳng tiêu của thấu kính tính theo nhiễu xạ Fraunhofer gây bởi khe là

$$A \propto \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} e^{i\frac{2\pi}{\lambda}\sin\theta} e^{i2\pi f_y y'} dy'$$

$$\propto \frac{\sin\left[\pi\left(\frac{\sin\theta}{\lambda} - f_y\right)d\right]}{\pi\left(\frac{\sin\theta}{\lambda} - f_y\right)}$$

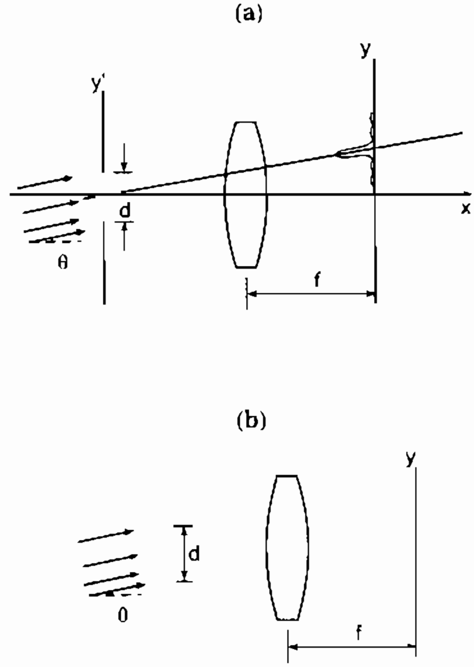
với

$$f_y = \frac{y}{\lambda f}.$$

Do đó

$$I = a^2 \frac{\sin^2\left[\pi\left(\frac{\sin\theta}{\lambda} - \frac{y}{\lambda f}\right)d\right]}{\left[\pi\left(\frac{\sin\theta}{\lambda} - \frac{y}{\lambda f}\right)d\right]^2}$$

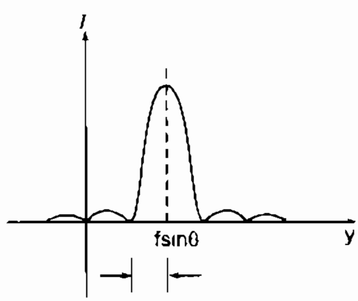
trong đó $a = constant$



Hình 2.34

Cực đại chính được xác định bởi $\frac{\sin\theta}{\lambda}-\frac{y}{\lambda f}=0$, hay $y=f\sin\theta$. Các cực tiểu được xác định bởi $\pi\left(\frac{\sin\theta}{\lambda}-\frac{y}{\lambda f}\right)d=k\pi$, hay $y=f\sin\theta-\frac{k\lambda f}{d}$, trong đó $k=\pm1,\pm2\ldots$.

b) Nếu thay màn có khe bằng một màn bổ sung, tức là một tấm chắn có cùng độ rộng d, thì theo nguyên lý Babinet sự phân bố cường độ trên mặt phẳng tiêu giữ nguyên không thay đổi chỉ trừ trong miền lân cận điểm trung tâm $y=f\sin\theta$ như chỉ ra trên hình 2.35.



Hình 2.35

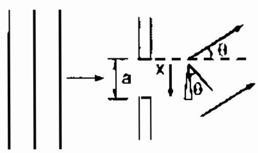
2037

Một sóng phẳng có số sóng k chiếu tới một khe có độ rộng a. Khe được chắn bởi một nêm trong suốt có bề dày tỷ lệ với khoảng cách tính từ đỉnh khe ($t=\gamma x$), (xem H. 2.36). Chiết suất của nêm là n. Cường độ ánh sáng tại một góc θ được cho bởi

$$I\alpha \sin^2(\beta a)/(\beta a)^2 .$$

Tìm một biểu thức đối với β theo k, n, γ, và θ.

(Wisconsin)



Hình 2.36

Lời giải.

Đối với nêm có bề dày $t=\gamma x$, góc chiết quang (tính bằng rad) lấy bằng γ là một phép gần đúng tốt. Khi đó góc lệch của ánh sáng khi truyền qua nêm là

$$\delta=(n-1)\gamma .$$

Phân bố cường độ do nhiễu xạ qua một khe là

$$I \propto \frac{\sin^2\left(\frac{1}{2}ak\sin\theta\right)}{\left(\frac{1}{2}ak\sin\theta\right)^2}$$

trong đó $k=2\pi/\lambda$ và θ là góc tạo bởi tia nhiễu xạ với trục của khe. Đối với khe chắn bởi nêm, ta chỉ cần thay $\theta-\delta$ vào vị trí của θ trong công thức trên, tức là

$$I \propto \frac{\sin^2\left\{\frac{1}{2}ak\sin\left[\theta-(n-1)\gamma\right]\right\}}{\left\{\frac{1}{2}k\sin\left[\theta-(n-1)\gamma\right]\right\}^2} .$$

Từ đó suy ra

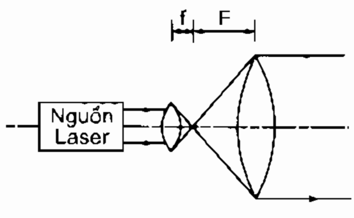
$$\beta=\frac{1}{2}k\sin\left[\theta-(n-1)\gamma\right] .$$

Như vậy phân bố giữ nguyên như đối với nhiễu xạ qua một khe, trừ điều là tại tâm được dịch đi một góc $(n-1)\gamma$.

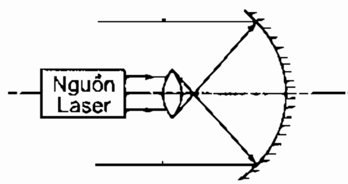
2038

Giả thiết bạn muốn quan sát sự phản xạ của tia sáng laser từ mặt trăng. Hãy giải thích cách dùng một thấu kính hay gương thiên văn với khẩu độ rộng cùng với một nguồn laser và một thấu kính tiêu cự ngắn để nhận được một chùm tia laser với độ phân kỳ nhỏ. Thấu kính thiên văn và thấu kính tiêu cự ngắn có những đặc trưng gì để nhận được một chùm tia laser có độ rộng góc 10^6 rad (từ cực tiểu thứ nhất ở một phía đến cực tiểu thứ nhất ở phía bên kia)? Bạn có thể giả thiết một khẩu độ hình chữ nhật tại vật kính nếu muốn.

(Wisconsin)



Hình 2.37



Hình 2.38

Lời giải.

Nguyên nhân chính của sự phân kỳ một chùm tia sáng là do nhiễu xạ khẩu độ, độ phân kỳ góc tỷ lệ nghịch với bán kính của khẩu độ. Do đó có thể làm giảm sự phân kỳ bằng cách mở rộng tiết diện của chùm tia. Hình 2.37 và 2.38 trình bày cách bố trí để đạt được mục đích này, đó là dùng một thấu kính hoặc một gương khẩu độ rộng. Chúng có thể được xem là một kính thiên văn dùng đảo ngược.

Chùm laser từ nguồn có bán kính r và do đó có độ phân kỳ góc

$$\theta_1 = 1{,}22\frac{\lambda}{r} .$$

ta dùng một thấu kính tiêu cự ngắn và một thấu kính (hay gương) khẩu độ rộng với bán kính và tiêu cự tương ứng là r, f và R, F. Độ phân kỳ góc của tia sáng từ hệ thấu kính là

$$\theta_2 = \frac{\theta_1 f}{F} = \frac{1{,}22\,\lambda f}{r F},$$

trong khi đó độ phân kỳ góc của tia sáng từ gương là

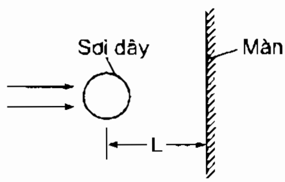
$$\theta_3 = \frac{1{,}22\lambda}{R} .$$

Đối với $\theta_2, \theta_3 \le 10^{-6}$, nếu giả thiết $\lambda = 5000$ Å và $r = 6$ mm, ta cần phải có $\frac{F}{f} \ge 100$ hay $R \ge 0{,}6\,m$.

2039

Sơ đồ thí nghiệm chứng minh thực hiện trên lớp (H. 2.39) nhằm chứng minh rằng có thể "đo bước sóng của một tia laser nhờ một cái thước". Hãy quan sát bằng mắt (không được chạm vào dụng cụ, vì sự hiệu chỉnh là phức tạp), và dùng các số liệu của bạn để tính bước sóng của tia laser.

(Princeton)



Hình 2.39

Lời giải.

Như đã chỉ ra trên hình 2.39, chùm laser chiếu vào một sợi dây mảnh có đường kính d, đã được đo từ trước. Các vân nhiễu xạ xuất hiện trên một màn quan sát ở xa phía sau sợi dây. Ta sẽ tính được bước sóng của tia laser bằng cách đo, nhờ một cái thước, chiều dài L giữa sợi dây và màn quan sát và khoảng vân Δ trên màn quan sát, và dùng hệ thức $\lambda = d\Delta/L$.

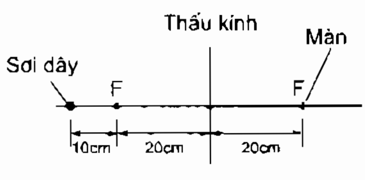
2040

Một sợi dây thẳng nằm ngang có đường kính 0,01 mm được đặt ở trước một thấu kính mỏng với tiêu cự bằng + 20 cm và cách thấu kính 30 cm .

a) Xác định vị trí và độ phóng đại của ảnh sợi dây?

b) Giả sử rằng một ánh sáng được chuẩn trực gửi tới từ phía trái, song song với trục chính, và một màn quan sát được đặt ở tiêu diện ảnh (tức là cách thấu kính 20cm ở phía sau) của thấu kính, bạn sẽ quan sát được hình nhiễu xạ như thế nào? Hãy tính toán định lượng, nếu có thể.

(Princeton)



Hình 2.40

Lời giải.

(a) Công thức thấu kính

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$$

với $u=30$ cm, $f=20$ cm cho $v=60$ cm. Độ phóng đại là $M=-\frac{v}{u}=-2$.

(b) Vì ánh sáng tới là chuẩn trực, nhiễu xạ Fraunhofer do sợi dây sẽ xẩy ra. Theo nguyên lý Babinet, hình nhiễu xạ trên màn quan sát, trừ vân sáng chính giữa, giống như hình nhiễu xạ gây bởi một khe hẹp có cùng độ rộng, với phân bố cường độ (sáng) được cho bởi

$$I=I_0\left(\sin\beta/\beta\right)^2 ,$$

trong đó $\beta=\pi d\sin\theta/\lambda\approx\pi dy/(f\lambda)$, y là khoảng cách trên màn quan sát tính từ trục chính, và d là đường kính của sợi dây.

2041

Biến tích (*apodization*) quang học là quá trình theo đó khẩu độ của hệ được thay đổi để tái phân bố năng lượng trong hình nhiễu xạ. Để cải thiện độ phân giải, xét thí dụ trong đó độ truyền qua được biến đổi nhờ một hàm cosin, $\cos\pi x/b$, giữa $-b/2$ và $+b/2$, trong đó b là độ rộng của khe.

(a) Tính vị trí của cực tiểu thứ n của hình nhiễu xạ Fraunhofer gây bởi một khe, và so sánh nó với vị trí của cực tiểu thứ n của khe chưa thực hiện quá trình biến tích có cùng độ rộng b.

(b) Tính cường độ xuất hiện trên hình nhiễu xạ đã được thực hiện quá trình biến tích ở giữa cực tiểu thứ $(n-1)$ và thứ n, ở gần cực đại thứ n. Trong từng trường hợp, hãy chuẩn hoá kết quả của bạn theo cường độ của cực đại giữa.

(UC, Berkeley)

Lời giải.

(a) Đối với khẩu độ đã được thực hiện quá trình biến tích, biên độ sáng của nhiễu xạ của trường ở xa là

$$A(v)=\int_{-b/2}^{b/2}e^{ikx\sin\theta}\cos\left(\frac{\pi x}{b}\right)dx$$

$$=\cos\left(\frac{vb}{2}\right)\left(\frac{1}{v-\frac{\pi}{b}}-\frac{1}{v+\frac{\pi}{b}}\right)$$

$$I \sim A^2 = \cos^2\left(\frac{\nu b}{2}\right)\frac{4\left(\frac{\pi}{b}\right)^2}{\left[\nu^2 - \left(\frac{\pi}{b}\right)^2\right]^2},$$

trong đó

$$\frac{\nu b}{2} = \frac{\pi b}{\lambda}\sin\theta \text{ , tức là, } \nu = \frac{2\pi}{\lambda}\sin\theta \ .$$

Vị trí của cực tiểu thứ n được xác định bởi

$$\frac{\nu b}{2} = \frac{\pi}{2}(2n+1)$$

hay

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{2b}(2n+1) \ .$$

Đối với khẩu độ chưa được thực hiện quá trình biến tích, cường độ của nhiễu xạ Fraunhofer là

$$I \sim b^2\left(\frac{\sin\frac{\nu b}{2}}{\frac{\nu b}{2}}\right)^2$$

và vị trí của cực tiểu thứ n được cho bởi $\frac{\nu b}{2} = n\pi$ hay

$$\sin\theta' = \frac{n\lambda}{b} \ .$$

Do đó

$$\sin\theta - \sin\theta' = \frac{\lambda}{2b} \ .$$

(b) Vị trí của cực tiểu thứ $(n-1)$ đối với khẩu độ đã được thực hiện quá trình biến tích xác định bởi

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{2b}(2n-1).$$

Khi đó vị trí ở giữa cực tiểu thứ $(n-1)$ và thứ n được cho bởi $\sin\theta = n\lambda/b$. Biết rằng cường độ ở gần cực đại thứ n xác định bằng $\frac{\nu b}{2} = n\pi$. Tại vị trí này cường độ là

$$I \sim A^2 = \frac{4}{\left(\frac{\pi}{b}\right)^2\left(4n^2-1\right)^2} \ .$$

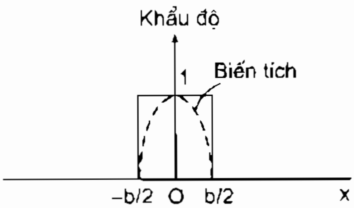
Gọi cường độ của cực đại đầu tiên (cực đại giữa) là I_0, nó được xác định bởi điều kiện xác định $\frac{\nu b}{2}=0$. Do đó, đối với khẩu độ đã được thực hiện quá trình biến tích

$$\frac{I}{I_0}=\frac{1}{(4n^2-1)^2},$$

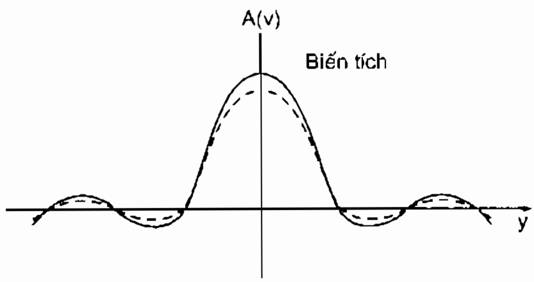
trong khi đó đối với khẩu độ chưa được thực hiện quá trình biến tích, I được xác định bởi $\frac{\nu b}{2}=n\pi-\frac{\pi}{2}$, do đó

$$\frac{I}{I_0}=\frac{4}{\left[(2n-1)\pi\right]^2}.$$

Hình 2.41 và hình 2.42 cho thấy rằng việc dùng khẩu độ đã được thực hiện quá trình biến tích sẽ tập trung năng lượng nhiều hơn vào cực đại giữa nhờ làm giảm các cực đại thứ cấp.



Hình 2.41



Hình 2.42

2042

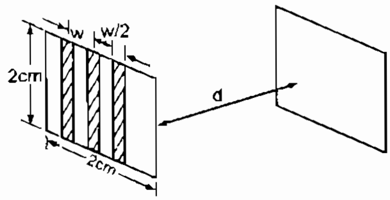
Ánh sáng mặt trời chiếu vào một buồng tối rộng qua một lỗ 2cm×2cm, được chắn bằng một dãy các sợi dây song song với bề rộng $\omega/2$ và khoảng cách giữa hai tâm là ω. Ánh nắng chiếu lên tấm kính ảnh ở khoảng cách d phía sau lỗ (H. 2.43). Đường kính góc của mặt trời vào khoảng 0,01 rad. Mô tả đặc tính nổi bật các ảnh trong các trường hợp sau đây

$(\omega, d) =$ (a) (1mm, 1mm)

(b) (1 mm, 10 m)

(c) (0,005 mm, 10 m)

(Wisconsin)



Hình. 2.43

Lời giải.

(a) Vì $d = \omega$, ứng dụng được quang hình học. Trên màn sẽ có bóng của lỗ vuông và các sợi dây.

(b) Vì $\omega \ll d$, $\alpha = 0{,}01 \ll 1$, hình nhiễu xạ Fraunhofer xuất hiện trên tấm kính ảnh. Từ phương trình cách tử $\omega \sin\theta \simeq \omega\theta = m\lambda$,trong đó m là bậc nhiễu xạ, ta có $\theta \approx \lambda/\omega = 0{,}0005 \ll \alpha$ đối với $\lambda = 5000$ Å. Do đó hình nhiễu xạ gây bởi tập hợp các sợi dây đối với các mầu khác nhau có thể chồng chất lên nhau và cường độ là đồng đều, tức là, không có vân trên kính ảnh.

(c) Đối với $\omega = 0{,}005 mm$, $\theta \approx 0{,}1 >> \alpha$. Bức tranh nhiễu xạ màu sẽ xuất hiện trên kính ảnh.

2043

(a) Xét hình nhiễu xạ Fraunhofer gây bởi hai khe không bằng nhau. Gọi a và b là các bề rộng của hai khe đó và c là khoảng cách giữa hai tâm của chúng. Tìm biểu thức cường độ của hình nhiễu xạ đối với góc nhiễu xạ θ bất kỳ, giả thiết các khe được chiếu bởi ánh sáng vuông góc với bước sóng λ.

(b) Sử dụng công thức của bạn ở câu (a) để tìm biểu thức cho hình nhiễu xạ trong các trường hợp đặc biệt sau đây và vẽ phác các hình nhiễu xạ này:

(1) $a = b$,

(2) $a = 0$.

(UC, Berkeley)

Lời giải.

(a) Biên độ nhiễu xạ gây bởi hai khe a và b lần lượt là

$$A_a = \frac{a\sin u}{u}, \ u = \frac{1}{2}ka\sin\theta = \frac{\pi a \sin\theta}{\lambda},$$

$$A_b = \frac{b\sin v}{v}, \ v = \frac{1}{2}kb\sin\theta = \frac{\pi b \sin\theta}{\lambda}.$$

Cường độ tổng hợp do sự giao thoa của chúng được cho bởi

$$I(\theta) = |A_a + A_b|^2 = A_a^2 + A_b^2 + 2A_a A_b \cos\omega ,$$

trong đó

$$\omega = \frac{2\pi c \sin\theta}{\lambda} .$$

Do đó

$$I(\theta) = a^2 \frac{\sin^2 u}{u^2} + b^2 \frac{\sin^2 v}{v^2} + 2ab \frac{\sin u}{u} \cdot \frac{\sin v}{v} \cos\omega .$$

(b) (1) Khi $a = b$, trong trường hợp này $u = v$, và ta có

$$I(\theta) = 2a^2 \frac{\sin^2 v}{v^2}(1 + \cos\omega) = 4a^2 \frac{\sin^2 v}{v^2} \cos^2 \frac{\omega}{2} .$$

(2) Khi $a = 0$,

$$I(\theta) = b^2 \frac{\sin^2 v}{v^2} .$$

2044

Xét một chùm ánh sáng đơn sắc chiếu tới một khe hẹp. Bước sóng ánh sáng là λ và bề rộng của khe là $\omega = 5\lambda$ (H. 2.44).

Vẽ phác cường độ hình nhiễu xạ như là một hàm của góc trong miền cách xa khe hẹp.

Tìm vị trí của cực đại thứ nhất và cực tiểu thứ nhất.

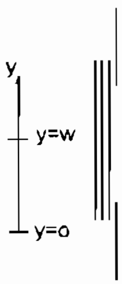
Bây giờ muốn có ánh sáng tới nửa trên của khe hẹp (tức là $y > \omega/2$) lệch pha một cách đồng đều và đúng bằng 180^0. Mô tả một thiết bị lý tưởng để thực hiện điều này và vẽ phác cường độ tổng hợp của hình nhiễu xạ

Tính cường độ theo góc; Chỉ ra vị trí cực tiểu thứ nhất và cho một ước lượng về vị trí đối với cực đại thứ nhất.

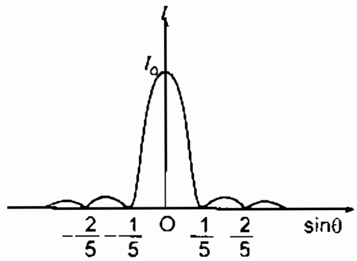
(Chicago)

Lời giải.

(a) Bức tranh về cường độ nhiễu xạ Fraunhofer sẽ được thấy trên màn quan sát ở cách xa khe hẹp được biểu diễn trên hình 2.45 như là một hàm của góc θ tính từ trục đối xứng.



Hình 2.44



Hình 2.45

Biểu thức giải tích của phân bố cường độ là

$$I = I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2},$$

ở đây

$$u = \frac{\pi\omega\sin\theta}{\lambda}.$$

(b) Vị trí của cực tiểu thứ nhất được xác định bởi

$$\frac{\pi\omega\sin\theta}{\lambda} = 5\pi\sin\theta = \pm\pi .$$

Do đó

$$\theta = arc\sin\left(\pm\frac{1}{5}\right) = \pm 11{,}5^{\circ} .$$

Vị trí của cực đại được xác định bởi

$$\frac{dI(u)}{du} = 0,$$

hay

$$\tan u = u .$$

Đó là một phương trình siêu việt, có thể tìm được nghiệm của phương trình này bằng phương pháp đồ thị. Cạnh cực đại giữa ứng với $u = 0$, cực đại thứ nhất được xác định bởi

$$u_1 = \pm 1{,}43\pi .$$

Do đó

$$\theta_1 = arc\sin\left(\pm\frac{1.43}{5}\right) = \pm 16{,}6^{\circ} .$$

(c) Gắn một bản trong suốt, chiết suất n, có độ dày đồng đều $d \quad \lambda/[2(n-1)]$ vào nửa trên của khe hẹp sẽ làm lệch pha của nửa trên của ánh sáng tới đúng bằng 180^0. Sự bố trí này tương đương với một thiết bị hai khe hẹp với bề rộng khe giống nhau $\omega/2$ và khoảng cách giữa hai tâm là $\omega/2$. Phân bố cường độ của ánh sáng nhiễu xạ khi đó là

$$I = I_0 \frac{\sin^2 u'}{u'^2} \cdot \cos^2 v \ .$$

trong đó

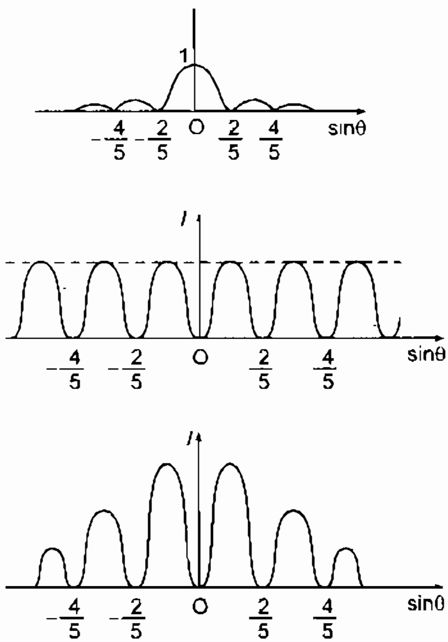
$$u' = \frac{\pi\omega\sin\theta}{2\lambda} = \frac{5}{2}\pi\sin\theta \,,$$

$$v = \frac{\pi\omega\sin\theta}{2\lambda} + \frac{\pi}{2} = \frac{5}{2}\pi\sin\theta + \frac{\pi}{2} \,.$$

Do đó

$$I = I_0 \sin^4\left(\frac{5}{2}\pi\sin\theta\right) \Big/ \left(\frac{5}{2}\pi\sin\theta\right)^2 \,.$$

Hình 2.46 biểu diễn $\left(\dfrac{\sin u'}{u'}\right)^2$, $\cos^2 v$ và I như là hàm của $\sin\theta$.



Hình 2.46

(d) Cực tiểu thứ nhất xảy ra tại $\sin\theta = 0$, tức là tại tâm. Cực tiểu tiếp theo cho bởi

$$\frac{5}{2}\pi \sin\theta = \pm\pi ,$$

tức là, tại

$$\sin\theta = \pm\frac{2}{5} ,$$

hay

$$\theta = arc\sin\left(\pm\frac{2}{5}\right) = \pm 23{,}5^0 .$$

Vị trí của cực đại thứ nhất gần đúng cho bởi

$$\sin\theta = \pm\frac{1}{5} .$$

Do đó

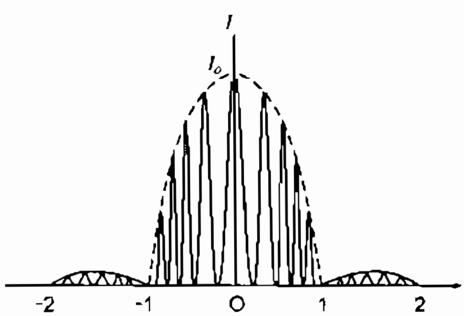
$$\theta = arc\sin\left(\pm\frac{1}{5}\right) = \pm 11{,}5^0 .$$

Chú ý rằng trong trường hợp này cực đại giữa biến mất.

2045

Vẽ phác hình giao thoa trên màn quan sát đặt tại tiêu điểm của thấu kính hội tụ phát sinh từ hai khe hẹp được chiếu bằng ánh sáng phẳng đơn sắc. Hai khe giống nhau có bề rộng a, khoảng cách giữa hai tâm là d, và d/a 5.

(Wisconsin)



Hình. 2.47

Lời giải.

Phân bố cường độ trên màn quan sát cho bởi

$$I = I_0\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2\cos^2\gamma,$$

trong đó

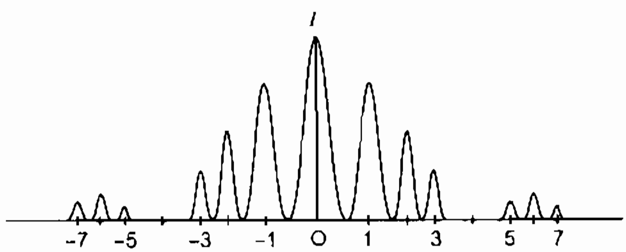
$$\beta = \frac{\pi a\sin\theta}{\lambda},\ \gamma = \frac{\pi d\sin\theta}{\lambda} = 5\beta.$$

Hình giao thoa được biểu diễn trên hình 2.47. Chú ý rằng vì $\frac{d}{a} = 5$ nên thiếu các bậc 5, 10, 15...

2046

Một sóng ánh sáng phẳng từ một nguồn laser có bước sóng 6000Å. Ánh sáng chiếu vào hai khe hẹp. Sau khi đi qua hai khe, ánh sáng rơi vào một màn quan sát đặt cách sau hai khe 100 cm. Phân bố cường độ của hình giao thoa trên màn được biểu diễn trên hình 2.48. Độ rộng của mỗi khe và khoảng cách giữa hai khe là bao nhiêu?

(Wisconsin)



Hình 2.48

Lời giải.

Đối với giao thoa hai khe hẹp

$$I \sim \left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)\cos^2\gamma,$$

trong đó

$$\beta = \frac{\pi b\sin\theta}{\lambda},\ \gamma = \frac{\pi d\sin\theta}{\lambda},\ \text{với}\ \sin\theta \approx \frac{y}{D},$$

b là độ rộng của mỗi khe, d - khoảng cách giữa tâm của hai khe, D – khoảng cách giữa màn quan sát và hai khe, và λ – bước sóng của ánh sáng tới. Các cực tiểu được cho bởi $\gamma=\left(n+\frac{1}{2}\right)\pi \quad n=\pm1,\pm2,\ldots$. Do đó khoảng cách vân Δy được xác định bởi

$$\Delta y=\frac{\Delta\gamma}{\pi}\frac{\lambda D}{d}=\frac{\lambda D}{d} .$$

Do đó, vì theo hình vẽ $\Delta y=1$ cm, nên

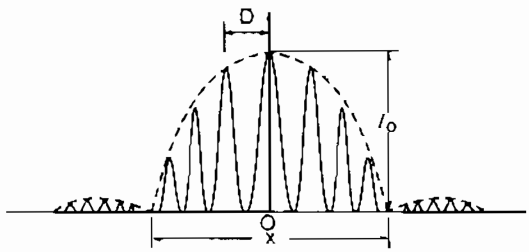
$$d=\lambda D/\Delta y\approx6\times10^{3}\,\text{cm}.$$

Hình giao thoa cho thấy thiếu bậc $d/b=4$, từ đó ta có độ rộng của mỗi khe $b=d/4=1{,}5\times10^{3}$ cm.

2047

Hình. 2.49 biểu diễn hình nhiễu xạ Fraunhofer gây bởi 3 khe hẹp. Bề rộng của ba khe là ω, khoảng cách giữa các khe là d, khoảng cách giữa màn quan sát và các khe là f, và bước sóng của ánh sáng là λ. Hãy tìm biểu thức đối với x, D, và I_0/I_1 theo các tham số của thí nghiệm này.

(Wisconsin)



Hình. 2.49

Lời giải.

Phân bố cường độ gây bởi ba khe được cho bởi công thức

$$I\sim A_0^2\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2\left[\frac{\sin(3\gamma)}{\sin\gamma}\right]^2,$$

trong đó

$$\beta=\frac{\pi\omega\sin\theta}{\lambda},\ \gamma=\frac{\pi d\sin\theta}{\lambda},\ \sin\theta\approx\frac{x}{2f} .$$

Vì $\lim\limits_{\gamma \to m\pi} \dfrac{\sin(3\gamma)}{\sin\gamma} \to 3$, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$, ta tìm thấy cực đại chính khi $\theta = 0$.

Cực đại thứ nhất xuất hiện khi mà $\dfrac{\pi d \sin\theta}{\lambda} = \pi$. Khoảng vân được cho bởi $\Delta\gamma = \pi$, hay $D \approx f\sin\theta$, tức là,

$$D \approx \frac{\lambda f}{d} .$$

Cực tiểu thứ nhất của cường độ nhiễu xạ xảy ra khi $\dfrac{\pi\omega\sin\theta}{\lambda} = \pi$, hay

$$x = \frac{2\lambda f}{\omega} .$$

Các cực tiểu giao thoa thứ nhất và thứ hai xảy ra khi $\dfrac{3\pi d\sin\theta}{\lambda} = \pi$ và 2π. Cực đại phụ thứ nhất sẽ xuất hiện giữa chúng, tức là, khi mà

$$3\gamma \approx 3\pi/2, \text{ hay } \sin\theta \approx \frac{\lambda}{2d} .$$

Do đó ta có

$$I_1 \sim A_0^2 \cdot \left(\frac{\sin\frac{\pi\omega}{2d}}{\frac{\pi\omega}{2d}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin\frac{3\pi}{2}}{\sin\frac{\pi}{2}} \right)^2 = A_0^2 \left(\frac{\sin\frac{\pi\omega}{2d}}{\frac{\pi\omega}{2d}} \right)^2 ,$$

Đối với cực đại giữa với $\beta = \gamma = 0$, ta cũng có

$$I_0 \sim 9A_0^2 .$$

Do đó $I_0/I_1 \approx 9$ nếu $\omega/d \ll 1$.

2048

Hình nhiễu xạ dưới đây (H. 2.51) được tạo ra trên màn quan sát là do ánh sáng truyền qua ba khe hẹp, với bề rộng mỗi khe là ω và khoảng cách giữa tâm của chúng là d (H. 2.50). Bề rộng của hình bao A và khoảng cách giữa các đỉnh B sẽ thay đổi như thế nào nếu:

(a) Bề rộng ω của khe tăng?

(b) Khoảng cách d tăng?

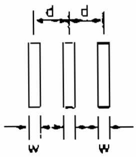
(c) Bước sóng ánh sáng tăng?

Các biên độ của trường E gửi đến điểm 2 trên màn quan sát được biểu diễn bằng tổng ba vectơ bằng nhau ở bên phải với các pha phù hợp đối với vị trí này (H. 2.52). Như ta thấy trên hình vẽ, tổng của ba vectơ đó bằng không, cường độ tại điểm này trên màn quan sát bằng không. Vẽ một giản đồ vectơ tương tự chỉ rõ các pha tương ứng:

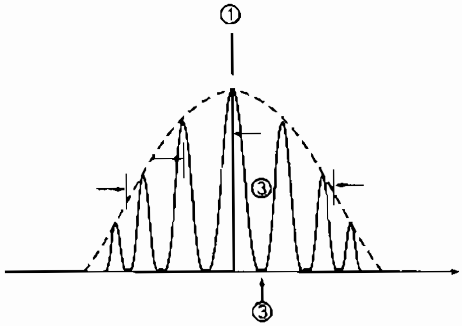
(d) tại điểm 1.

(e) tại điểm 3.

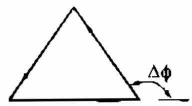
(Wisconsin)



Hình 2.50



Hình 2.51



Hình 2.52

Lời giải.

(a) Phân bố cường độ sáng trên màn quan sát được cho bởi

$$I \propto \left(\frac{\sin\frac{N\pi d\sin\theta}{\lambda}}{\sin\frac{\pi d\sin\theta}{2d}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin\frac{\pi\omega\sin\theta}{\lambda}}{\frac{\pi\omega\sin\theta}{\lambda}} \right)^2 ,$$

trong đó $N = 3$, $\sin\theta \approx x/l$ (l là tiêu cự của một thấu kính đặt sau các khe hoặc khoảng cách giữa màn quan sát và các khe).

Từ công thức trên ta nhận được bề rộng của hình bao $A \propto \lambda l/\omega$ và khoảng cách của các đỉnh $B \propto \lambda l/d$. Do đó ta kết luận:

(a) A giảm và B giữ nguyên không đổi khi ω tăng.

(b) A giữ nguyên không đổi nhưng B giảm khi d tăng.

(c) Cả A và B đều sẽ tăng khi bước sóng ánh sáng tăng.

(d) Giản đồ vectơ đối với điểm 1 là $\rightarrow\rightarrow\rightarrow$

(e) Giản đồ vectơ đối với điểm 3 là $\overset{\rightarrow}{\underset{\rightarrow}{\leftarrow}}$

2049

Một sóng phẳng với bước sóng λ truyền tới một hệ gồm 3 khe hẹp với bề rộng a đặt cách nhau các khoảng cách d. Khe ở giữa được che bằng một cái lọc sáng để tạo sự thay đổi pha 180^o.

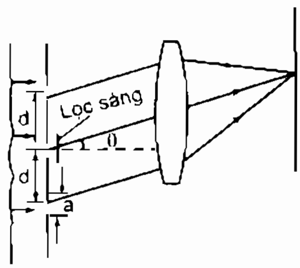
Tìm góc θ đối với

a) cực tiểu nhiễu xạ thứ nhất,

b) cực tiểu giao thoa thứ nhất,

c) cực đại giao thoa thứ nhất.

(*Wisconsin*)



Hình. 2.53

Lời giải.

Theo nguyên lý Huygens-Fresnel, biên độ (sáng) tại một điểm trên màn quan sát (đối với nhiễu xạ Fraunhofer) được cho bởi

$$\psi = \frac{A_0}{a} e^{-i\omega t}\left[\int_0^a e^{i2\rho x} dx + \int_d^{d+a} e^{i(2\rho x+\pi)} dx + \int_{2d}^{2d+a} e^{i2\rho x} dx\right]$$

$$= A_0 e^{-i\omega t} e^{i\rho a} \frac{\sin(\rho a)}{\rho a}(1 - e^{i2\rho d} + e^{i4\rho d})e^{i2\rho d}$$

$$= A_0 e^{i(\beta + 4\gamma - \omega t)} \frac{\sin\beta}{\beta} \frac{\cos(3\gamma)}{\cos\gamma},$$

trong đó $\rho = \frac{\pi}{\lambda}\sin\theta$, $\beta = \rho a$, $\gamma = \rho d$. Do đó

$$I \sim \left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2 \left[\frac{\cos(3\gamma)}{\cos\gamma}\right]^2.$$

(a) Cực tiểu nhiễu xạ thứ nhất xuất hiện tại

$$\beta = \pm\pi \text{, tức là, } \theta = \pm\sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{a}\right).$$

(b) Cực tiểu giao thoa thứ nhất xuất hiện tại

$$3\gamma = \pm\frac{\pi}{2} \text{, tức là, } \theta = \pm\sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{6d}\right).$$

(c) Cực đại giao thoa thứ nhất xuất hiện tại

$$\gamma = \pm\frac{\pi}{2}, \text{ tức là, } \theta = \pm\sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{2d}\right).$$

2050

Xét một màn chắn sáng với 5 khe hẹp đặt cách đều nhau (khoảng cách d). Một sóng ánh sáng phẳng đơn sắc (bước sóng λ) chiếu vuông góc tới màn chắn sáng đó. Vẽ phác cường độ (sáng) truyền qua đối với góc lập với pháp tuyến từ $\theta = 0$ tới xấp xỉ $\theta = 1/5$ rad. Giả thiết $d/\lambda = 10$. Hình vẽ phác của bạn phải biểu diễn được các cực đại và các cực tiểu của cường độ (sáng). Tỷ số cường độ (sáng) của đỉnh lớn nhất so với đỉnh nhỏ nhất xấp xỉ bằng bao nhiêu? Khoảng cách góc của cực đại phụ thứ nhất so với $\theta = 0$ gần đúng là bao nhiêu?

(Wisconsin)

Lời giải.

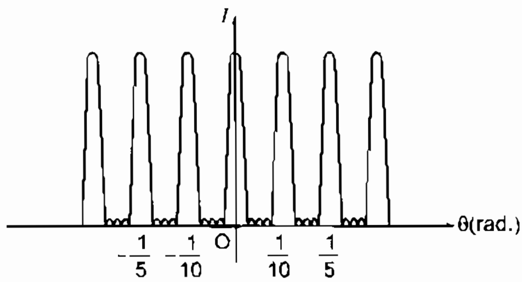
Đối với giao thoa nhiều khe,

$$I \propto \left(\frac{\sin\frac{N\delta}{2}}{\sin\frac{\delta}{2}}\right)^2 = \left(\frac{\sin\frac{5\pi d\sin\theta}{\lambda}}{\sin\frac{\pi d\sin\theta}{\lambda}}\right)^2 = \left(\frac{\sin(50\pi\sin\theta)}{\sin(10\pi\sin\theta)}\right)^2.$$

Từ $\theta = 0$ tới $\frac{1}{5}$ rad ta có thể lấy gần đúng $\sin\theta \approx \theta$. Khi đó

$$I \propto \left(\frac{\sin(50\pi\theta)}{\sin(10\pi\theta)}\right)^2.$$

Do đó, các cực đại cường độ (sáng) xảy ra khi $10\pi\theta = m\pi$, tức là, $\theta = m/10$, ở đây $m = 0, \pm1, \pm2, \ldots$. Các cực tiểu cường độ (sáng) xảy ra khi $50\pi\theta = n\pi$, tức là, $\theta = n/50$ ở đây n là một số nguyên như sau $n \neq 0, \pm5, \pm10, \ldots$.



Hình 2.54

Hình 2.54 biểu diễn phân bố cường độ (sáng). Đỉnh thấp nhất nằm giữa hai đỉnh cao nhất kề nhau, nên đối với đỉnh đó

$$\theta = \frac{1}{2} \times \frac{1}{10} = 0{,}5 \text{ rad.}$$

Tỷ số cường độ (sáng) giữa đỉnh thấp nhất và đỉnh cao nhất là

$$\frac{I(\theta = 0{,}05)}{I(\theta = 0)} = \left(\frac{\sin(50\pi \times 0{,}05)}{\sin(10\pi \times 0{,}05)}\right)^2 \Bigg/ \left(\frac{\sin(50\pi \times 0)}{\sin(10\pi \times 0)}\right)^2$$

$$= \left[\frac{\sin(0{,}5\pi)}{\sin(0{,}5\pi)}\right]^2 \Bigg/ \left[\lim_{\varepsilon \to 0} \frac{\sin(50\pi\varepsilon)}{\sin(10\pi\varepsilon)}\right]^2 = \frac{1}{25}.$$

Hình vẽ phác chỉ ra khoảng cách góc của cực đại phụ thứ nhất so với $\theta = 0$ là $\frac{3}{2} \times \frac{1}{50} = 0{,}03$ rad.

2051

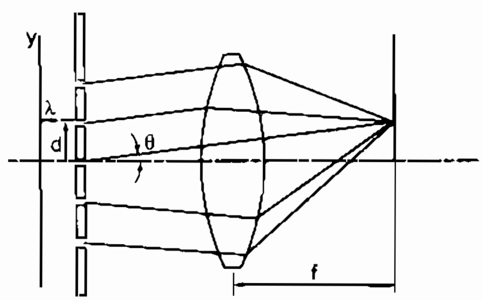
Một sóng phẳng đơn sắc (bước sóng λ) tới đập vào một tập hợp gồm 5 khe hẹp được đặt cách nhau một khoảng d (H. 2.54). Bạn có thể giả thiết rằng bề rộng của mỗi khe nhỏ hơn nhiều so với d. Đối với hình giao thoa tổng hợp trên màn quan sát, hãy xác định bằng giải tích hoặc bằng cách gần đúng các điều sau đây. (*Gợi ý*: Việc dùng giản đồ véctơ có thể là hữu ích.)

(a) Độ rộng góc của vân sáng chính giữa (góc giữa cực đại chính và cực tiểu thứ nhất).

(b) Cường độ cực đại phụ so với cường độ cực đại chính.

(c) Vị trí góc của cực đại phụ thứ nhất.

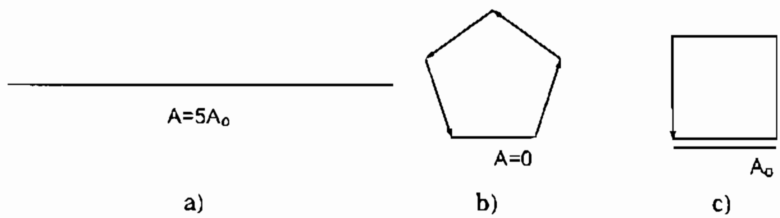
(Wisconsin)



Hình. 2.55

Lời giải.

Mỗi khe hẹp đóng góp một véctơ có độ lớn bằng nhau A_0. Những đóng góp này có thể được cộng lại theo giản đồ véctơ ở hình 2.56. Khi $\theta = 0$, tất cả năm véctơ là đồng pha và véctơ tổng cộng là một đường thẳng bằng $A = 5A_0$, biểu diễn cực đại chính giữa (xem H. 2.56(a)). Đối với cực tiểu thứ nhất, giản đồ véctơ qui về hình ngũ giác đều (xem H. 2.56(b)). Ở đây ta có $\delta = \dfrac{2\pi d \sin\theta}{\lambda} = \dfrac{2}{5}\pi$, tức là, $\theta \approx \sin\theta = \dfrac{\lambda}{5d}$.



Hình. 2.56

Đối với cực đại phụ thứ nhất, véctơ tổng cộng bằng A_0 (xem hình 2.56 (c)). Ở đây

$$\delta = \frac{2\pi d \sin\theta}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \text{ tức là, } \theta \approx \sin\theta = \frac{\lambda}{4d}.$$

(a) Độ rộng góc của vân sáng chính giữa là $\theta \approx \dfrac{\lambda}{5d}$.

(b) Tỷ số giữa cường độ cực đại phụ và cường độ cực đại chính giữa là

$$\left(\frac{A_0}{5A_0}\right)^2 = \frac{1}{25}.$$

(c) Vị trí góc của cực đại phụ thứ nhất là $\theta \approx \dfrac{\lambda}{4d}$.

2052

Một sóng phẳng với bước sóng λ tới đập vuông góc vào một cách tử gồm 6 khe hẹp song song giống hệt nhau và cách xa một khoảng d.

(a) Các cực đại giao thoa xuất hiện tại những góc nào so với pháp tuyến?

(b) Độ rộng góc của các cực đại giao thoa bằng bao nhiêu, tính từ cực đại tới điểm không gần nhất?

(c) Tỷ số giữa cường độ tại một cực đại giao thoa và cường độ cực đại (tương ứng) thu được từ trường hợp chỉ có một khe hẹp.

(d) Vẽ phác hình giao thoa như là một hàm của góc.

(Wisconsin)

Lời giải.

(a) Phân bố cường độ đối với nhiễu xạ Fraunhofer được cho bởi

$$I = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi\omega\sin\theta}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi\omega\sin\theta}{\lambda}\right)^2} \frac{\sin^2\left(\frac{N\pi d\sin\theta}{\lambda}\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d\sin\theta}{\lambda}\right)},$$

trong đó N là số khe hẹp (trong trường hợp này $N = 6$), ω là bề rộng của một khe, d là hằng số cách tử, I_0 là cường độ theo hướng $\theta = 0$ từ một khe bất kỳ.

Các cực đại giao thoa xuất hiện khi $\frac{\pi d\sin\theta}{\lambda} = k\pi$, ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), tức là, $\sin\theta = \frac{k\lambda}{d}$.

(b) Các cực tiểu, với cường độ bằng không, xảy ra khi

$$\frac{N\pi d\sin\theta}{\lambda} = m\pi, \ (m = \textit{số nguyên} \neq 0, \pm N, \pm 2N, \dots),$$

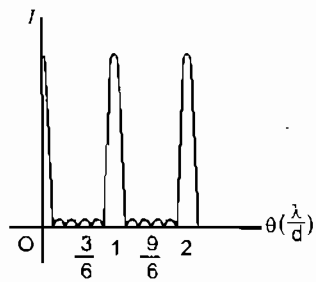
tức là,

$$\frac{\pi d\sin\theta}{\lambda} = \pm\pi/N, \ \ \pm 2\pi/N, \dots, \ \ (N-1)\pi/N, \dots .$$

Do đó, độ rộng góc của các cực đại giao thoa là $\Delta\theta \approx \lambda/(Nd)$.

(c) $I(0) = N^2 I_0 = 36 I_0$.

(d) Phân bố cường độ như là một hàm góc được biểu diễn trên hình 2.57



Hình 2.57

2053

Một cách tử nhiễu xạ truyền qua có 250 vạch/mm được chiếu sáng bằng ánh sáng nhìn thấy theo hướng vuông góc với mặt phẳng cách tử.

Các bước sóng nào xuất hiện ở tại góc nhiễu xạ bằng 30^0 ? và chúng có màu gì?

(Wisconsin)

Lời giải.

Phương trình cách tử $d\sin\theta = k\lambda$ (k = số nguyên) đối với $d = 1/250$ mm và $\theta = 30^0$ cho

$$\lambda = 20000/k \ (\text{Å}).$$

Đối với ánh sáng nhìn thấy (4000Å -7000Å) ta có các màu sau đây,

$$\lambda_1 = 4000 \text{ Å } (k=5), \text{ tím},$$

$$\lambda_2 = 5000 \text{ Å } (k=4), \text{ lục},$$

$$\lambda_3 = 6670 \text{ Å } (k=3), \text{ đỏ}.$$

2054

Một cách tử nhiễu xạ có N vạch, hai vạch liên tiếp cách nhau một khoảng d. Một bức xạ đơn sắc có bước sóng λ được chiếu vuông góc lên cách tử từ bên trái; bức xạ song song ló ra từ cách tử ở phía bên phải dưới một góc θ và được hội tụ trên một màn quan sát nhờ một thấu kính.

(a) Tìm biểu thức phân bố cường độ của hình giao thoa trên màn quan sát như một hàm của θ. Bỏ qua hiệu ứng nhiễu xạ do bề rộng hữu hạn của khe.

(b) Năng suất phân giải $\Delta\lambda/\lambda$ của cách tử là một thước đo độ lệch bước sóng nhỏ nhất mà cách tử có thể phân giải. Dùng tiêu chuẩn Rayleigh và kết quả của phần (a), hãy chứng tỏ rằng năng suất phân giải ở bậc m là $\dfrac{\Delta\lambda}{\lambda} = \dfrac{1}{mN}$.

(Wisconsin)

Lời giải.

(a) Độ lệch pha giữa các tia đến từ các khe liền kề là $\varphi = kd\sin\theta = (2\pi/\lambda)d\sin\theta$. Do đó, điện trường tổng hợp tại một điểm ở trên màn quan sát là một tổng của N số hạng:

$$E = Ae^{-ikr_1}[1 + e^{-i\varphi} + e^{-2i\varphi} + \ldots + e^{-(N-1)i\varphi}]$$

$$= Ae^{-ikr_1} \cdot e^{-i(N-1)\varphi/2} \cdot \frac{\sin\dfrac{N\varphi}{2}}{\sin\dfrac{\varphi}{2}}.$$

Khi đó cường độ của hình giao thoa là

$$I = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{N\pi}{\lambda} d\sin\theta\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} d\sin\theta\right)}.$$

(b) Tiêu chuẩn Rayleigh phát biểu rằng hai vạch phổ chỉ có thể phân giải được khi cực đại của một vạch này trùng với cực tiểu của một vạch khác. Do đó ta đòi hỏi rằng ánh sáng với bước sóng $\lambda + \Delta\lambda$ tạo ra cực đại chính bậc m của nó tại cùng một góc đối với cực tiểu thứ nhất của bước sóng λ ở cùng bậc. Đối với bậc m, cực đại chính được cho bởi $\frac{\varphi}{2} = m\pi$ và cực tiểu thứ nhất cho bởi $\frac{N\varphi}{2} = Nm\pi - \pi$. Do đó ta có

$$\frac{N\pi}{\lambda + \Delta\lambda} d\sin\theta = Nm\pi - \pi, \quad \frac{N\pi}{\lambda} d\sin\theta = Nm\pi .$$

Lập thành tỷ số ta có

$$\frac{\lambda + \Delta\lambda}{\lambda} = \frac{Nm}{Nm - 1}, \text{ hay } \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{Nm-1} \approx \frac{1}{Nm} .$$

2055

(a) Xác định phân bố cường độ của một bức xạ bị nhiễu xạ trên một cách tử mà bề rộng của các vạch của nó là không đáng kể.

(b) Tìm số cực đại phụ giữa hai cực đại chính liên tiếp.

(c) Cường độ của các cực đại phụ có bằng nhau không? Giải thích.

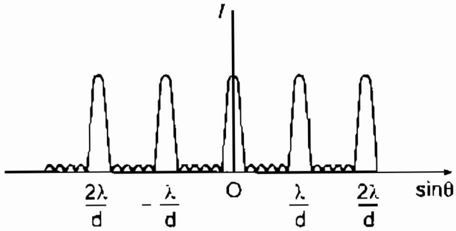
(Wisconsin)

Lời giải.

(a) $I = I_0 \frac{\sin^2 N\phi/2}{\sin^2 \phi/2}$, trong đó $\phi = \frac{2\pi d\sin\theta}{\lambda}$ là độ lệch pha giữa hai chùm sáng bị nhiễu xạ kề nhau, d là hằng số cách tử, N là tổng số vạch cách tử.

(b) $N - 2$.

(c) Cường độ của các cực đại phụ này không bằng nhau, vì giữa 0 và $\pi/2$, khi $\phi/2$ tăng, mẫu số tăng trong khi đó tử số là một hàm tuần hoàn của $N\phi/2$. Cường độ do tỷ lệ với tỷ số trên nên không phải là hằng số. Phân bố cường độ đối với $N=6$ được biểu diễn trên hình 2.58.



Hình 2.58

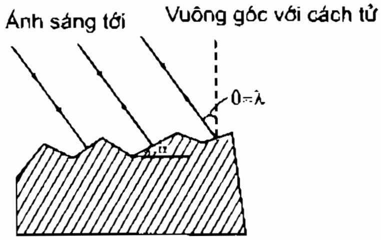
2056

Một cấu hình cách tử quang học hữu ích là làm ánh sáng nhiễu xạ đảo ngược trở lại dọc theo chính nó.

(a) Nếu cách tử có N vạch trên một đơn vị dài, thì những bước sóng nào bị nhiễu xạ đảo ngược trở lại với góc tới θ, trong đó θ là góc lập giữa pháp tuyến với cách tử và tia tới?

(b) Nếu hai sóng với các bước sóng λ_1 và $\lambda_1/2$ truyền tới, liệu có tạo được một chùm sáng đơn sắc nhờ cấu hình này được không? Bằng cách nào?

(Wisconsin)



Hình 2.59

Lời giải.

(a) Loại cách tử này được gọi là "cách tử sặc sỡ". Như hình 2.59 chỉ rõ góc tới θ bằng α, nó là góc giữa mặt rãnh cách tử và mặt phẳng cách tử. Khi đi ngang qua mỗi rãnh sẽ có một hiệu quang lộ $\Delta=2d\sin\theta$, trong đó $d=1/N$. Những bước sóng nào thoả mãn phương trình cách tử $m\lambda=2d\sin\theta$ ($m=1, 2, 3, ...$), tức là, $\lambda=2d\sin\theta/m$ sẽ bị nhiễu xạ đảo ngược trở lại dọc theo hướng tia tới.

(b) Một cách tử làm nhiễu xạ ánh sáng ngược trở lại đối với bước sóng λ_1 nào đó cũng sẽ làm nhiễu xạ ánh sáng ngược trở lại đối với các bước sóng $\lambda_1/2$, $\lambda_1/3$, v.v.... Do đó, cách tử này không thể phân tách các bước sóng λ_1 và $\lambda_1/2$. Vì vậy nó không thể tạo được chùm sáng đơn sắc từ chùm sáng gồm các bước sóng λ_1 và $\lambda_1/2$.

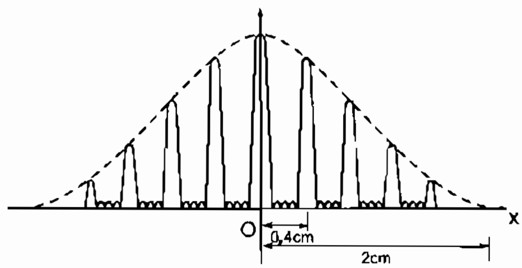
2057

Bức tranh cường độ I theo vị trí x được biểu diễn trên hình 2.60 đo được trên một bức tường ở cách một tập hợp gồm N khe hẹp song song giống nhau một khoảng cách bằng 20m. Ánh sáng với bước sóng $\lambda = 6000$ Å truyền qua các khe hẹp, mỗi khe có bề rộng a, và khe nọ cách khe kia một khoảng d.

(a) Xác định các giá trị của *N*, *a* và *d*. (Đưa ra lập luận cho mỗi câu trả lời.)

(b) Tìm một biểu thức cho đường cong đứt nét là hình bao đối với các cực đại chính, và giải thích ý nghĩa vật lí của nó.

(Wisconsin)



Hình 2.60

Lời giải.

(a) Công thức phân bố cường độ gây bởi nhiễu xạ qua cách tử

$$I = I_0\left[\frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta\right)}{\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta}\right]^2\left[\frac{\sin\left(\frac{N\pi d}{\lambda}\sin\theta\right)}{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda}\sin\theta\right)}\right]^2,$$

chứng tỏ rằng có $N-2$ cực đại phụ giữa hai cực đại chính liên tiếp. Vì $N-2=2$ đối với hình nhiễu xạ trên, nên ta có $N=4$.

Cực tiểu nhiễu xạ thứ nhất xuất hiện khi $\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta = \pi$. Từ hình vẽ ta thấy rằng $\sin\theta = 2\,cm/20\,m = 2/2000$, do đó

$$a = \frac{\lambda}{\sin\theta} = 0{,}6\times10^{-3}\ \text{m}.$$

Cực đại chính thứ nhất xuất hiện khi $\frac{\pi d}{\lambda}\sin\theta = \pi$. Do $\sin\theta = 0{,}4cm/20m$

$0{,}4/2000$, nên ta có

$$d = \frac{\lambda}{\sin\theta} = 3{,}0\times10^{-3}\text{ m}.$$

(b) Đường cong đứt nét cho bởi thừa số nhiễu xạ của chỉ một khe.

$$\left[\frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta\right)}{\frac{\pi a}{\lambda}\sin\theta}\right]^2$$

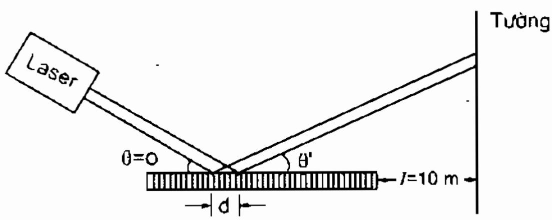
và nó biểu diễn phân bố cường độ của ánh sáng nhiễu xạ từ mỗi một khe. Phân bố cường độ đối với giao thoa từ *N* khe, vì được cho bởi thừa số giao thoa nhiều khe

$$\left[\frac{\sin\left(\frac{N\pi d}{\lambda}\sin\theta\right)}{\sin\left(\frac{\pi d\sin\theta}{\lambda}\right)}\right]^2,$$

nên bị biến điệu bởi hình bao cho bởi phân bố cường độ nhiễu xạ của chỉ một khe.

2058

Một chùm tia laser ($\lambda = 6{,}3\times10^{-5}$ cm) được chiếu tới theo hướng là là trên một cái thước bằng thép của một thợ máy (thước được chia độ, với mỗi độ chia là 1/16 inch). Ánh sáng phản xạ từ bề mặt của thước và được chiếu lên trên một bức tường thẳng đứng ở cách xa 10 mét (H. 2.61).



Hình 2.61

(a) Tìm điều kiện cho θ' để cực đại giao thoa ở trên bức tường. Để đơn giản giả thiết rằng ban đầu chùm tia laser gần như song song với mặt thước.

(b) Khoảng cách theo phương thẳng đứng giữa vết sáng bậc không và bậc một của hình giao thoa là bao nhiêu?

(Wisconsin)

Lời giải.

(a) Hiệu quang lộ của các tia sáng song song biểu diễn trên hình 2.61 là

$$\Delta = d\left(\cos\theta - \cos\theta'\right) \approx d\left(1 - \cos\theta'\right)$$

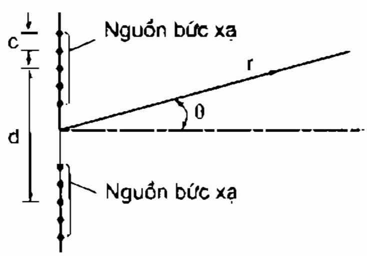
vì $\theta \approx 0$. Các cực đại giao thoa xuất hiện khi $\Delta = m\lambda$ (m là số nguyên), hay

$$\cos\theta' = 1 - m\lambda/d\,.$$

(b) Khi $m = 0$, $\theta' = 0$. Khi $m = 1$, $\theta_1' = 1 - \lambda/d = 0{,}9996$ lấy $d = 1$ độ chia ($\frac{1}{16}$ inch). Khoảng cách theo phương thẳng đứng ở trên tường giữa vân sáng thứ không và thứ nhất là $x = l \cdot \tan\theta_1' = 0{,}28m$.

2059

Một trường âm thanh được tạo ra bởi một cấu hình gồm các nguồn thẳng giống hệt nhau được nhóm lại thành hai dãy như nhau, mỗi dãy gồm N nguồn như được minh hoạ trên hình 2.62.



Hình 2.62

Tất cả các nguồn bức xạ nằm trên mặt phẳng vuông góc với trang giấy, và tạo ra sóng có bước sóng λ.

(a) Giả thiết rằng $r \gg d$, c, λ tìm cường độ của âm thanh được tạo ra như một hàm của cường độ cực đại I_m, λ, θ, N, c và d là khoảng cách giữa các tâm của hai dãy.

(b) Bằng cách lấy giới hạn một cách thích hợp, hãy tìm một kết quả gần đúng cho hình giao thoa gây ra bởi hai khe có bề rộng a và tâm của chúng cách nhau một khoảng d.

(SUNY, Buffalo)

Lời giải.

(a) Phân bố cường độ tạo bởi mỗi dãy các nguồn được biểu diễn bởi

$$I \sim \left(\frac{\sin\frac{N\delta}{2}}{\sin\frac{\delta}{2}}\right)^2,$$

trong đó $\delta = 2\pi c\sin\theta/\lambda$. Biểu thức

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\phi$$

đối với cường độ tổng hợp của hai nguồn kết hợp có hiệu số pha ϕ cho

$$\begin{aligned} I &= 2I_1(1+\cos\varphi) \\ &= 4I_1\cos^2(\varphi/2) \\ &\sim 4\left(\frac{\sin\frac{N\delta}{2}}{\sin\frac{\delta}{2}}\right)^2 \cos^2\left(\frac{\pi d\sin\theta}{\lambda}\right), \end{aligned}$$

vì ϕ $\frac{2\pi d\sin\theta}{2}$. Khi $\frac{\delta}{2} = 0$ cường độ là cực đại, suy ra, $I_m \sim 4N^2$. Do đó

$$I = \frac{I_m}{N^2}\left(\frac{\sin\frac{\delta}{2}}{\sin\frac{\delta}{2}}\right)^2 \cos^2\left(\frac{\pi d\sin\theta}{\lambda}\right).$$

(b) Đối với hệ hai khe, ta lấy giới hạn $N \to \infty$ nhưng giữ cho $Nc = a$, a là bề rộng của mỗi khe:

$$\begin{aligned} \lim_{N\to\infty} I &= \lim_{N\to\infty} I_m \frac{\sin^2\left(\frac{a\pi}{\lambda}\sin\theta\right)}{N^2\sin^2\left(\frac{a\pi}{N\lambda}\sin\theta\right)}\cos^2\left(\frac{\pi}{\lambda}d\sin\theta\right) \\ &= \lim_{x\to 0}\frac{I_m\sin^2\left(\frac{a\pi}{\lambda}\sin\theta\right)\cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda}\sin\theta\right)}{\dfrac{\sin^2\left(\frac{a\pi}{\lambda}x\sin\theta\right)}{x^2}} \\ &= I_m\frac{\sin^2\left(\frac{a\pi}{\lambda}\sin\theta\right)}{\left(\frac{a\pi}{\lambda}\sin\theta\right)^2}\cdot\cos^2\left(\frac{\pi}{\lambda}d\sin\theta\right). \end{aligned}$$

2060

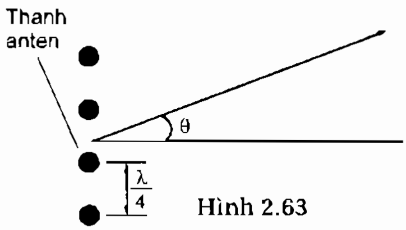
Hình 2.63 biểu diễn một dãy các thanh anten rađa đồng bộ pha đặt cách nhau $1/4$ bước sóng. Pha truyền đi được thay đổi từng bậc bằng $\pi/6$

từ thanh này đến thanh khác, tức là, thanh "0" có pha 0, thanh 1 có pha $\pi/6$, thanh 2 có pha $2\pi/6$, thanh 3 có pha $3\pi/6$, v.v..

(a) Hỏi búp (*lobe*) giao thoa tăng cường nhau bậc không xuất hiện với góc θ bằng bao nhiêu?

(b) Có các búp cực đại thứ cấp không?

(Wisconsin)



Hình 2.63

Lời giải.

(a) Giả thiết rằng biên độ phức của sóng truyền đi từ thanh "0" là A. Khi đó biên độ phức của các thanh kế tiếp 1, 2,... lần lượt được biểu diễn bằng $Ae^{i\delta}$, $Ae^{i2\delta}$, ..., trong đó

$$\delta = \frac{2\pi\lambda}{4\lambda}\sin\theta + \frac{\pi}{6} = \frac{\pi}{2}\left(\sin\theta + \frac{1}{3}\right).$$

Biên độ tổng hợp được cho bởi

$$A + Ae^{i\delta} + Ae^{i2\delta} + \ldots + Ae^{i(N-1)\delta} = \frac{Ae^{-\frac{iN\delta}{2}}\sin\left(N\frac{\delta}{2}\right)}{e^{-\frac{i\delta}{2}}\sin\frac{\delta}{2}},$$

và cường độ tổng hợp $\sim A^2\left[\sin(N\delta/2)/\sin(\delta/2)\right]^2$. Các búp cực đại giao thoa xảy ra khi $\delta/2 = m\pi$, với m là số nguyên hay $\frac{\pi}{4}\left(\sin\theta + \frac{1}{3}\right) = m\pi$.

(a) Khi $m = 0$, $\sin\theta = -1/3$. Do đó cực đại giao thoa bậc không xảy ra với $\theta = \arcsin(-1/3)$.

(b) Đối với cực đại thứ cấp đầu tiên, $m = \pm 1$ hay $\sin\theta = \pm\frac{11}{3}$. Vì $|\sin\theta| < 1$, cho nên không một cực đại thứ cấp nào có thể xuất hiện.

2061

Mô tả giao thoa kế Fabry-Perot. Tìm phương trình xác định vị trí của các cực đại, và cho biết hình dạng của chúng. Xác định năng suất phân giải của dụng cụ này?

(Columbia)

Lời giải.

Đây là dụng cụ sử dụng các vân giao thoa gây ra bởi ánh sáng được truyền qua sau nhiều lần phản xạ trong lớp không khí mỏng giữa hai tấm kính phẳng được tráng bạc mỏng ở mặt bên trong. Một thấu kính đặt đằng sau các tấm kính làm cho các tia song song truyền qua hội tụ để giao thoa với nhau. Những vân tròn đồng tâm được tạo thành với các cực đại thoả mãn điều kiện

$$2d\cos\theta = m\lambda$$

trong đó d là khoảng cách giữa các mặt tráng bạc, θ là một nửa-góc ở đỉnh của hình nón có đỉnh ở tâm của thấu kính và các đường sinh tựa trên vân tròn; m là số nguyên. Để chứng minh những điều trên, có thể xem bất kì một cuốn sách giáo khoa nào về quang học.

Năng suất phân giải của dụng cụ là tỷ số $\frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ của hai bước sóng λ và $\lambda + \Delta\lambda$ sao cho các cực đại cường độ của một bậc đã cho của hai sóng giao nhau tại $I = \frac{1}{2}I_{\max}$:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = m\frac{\pi r}{1 - r^2}$$

trong đó r^2 là hệ số phản xạ của các mặt.

2062

Hãy tìm khoảng cách góc của hai ngôi sao rất gần nhau có thể phân giải được bằng một kính thiên văn phản xạ với các dữ liệu như sau: vật kính 8cm, tiêu cự 1,5 mét, thị kính 80X. Giả thiết bước sóng là 6.000 Å. (1Å = 10^{-8} cm).

(Wisconsin)

Lời giải.

Năng suất phân giải góc của kính thiên văn là

$$\Delta\theta_1 = 1,22\frac{\lambda}{D} = 1,22 \times \frac{6.000 \times 10^{-8}}{8} \approx 2''$$

Năng suất phân giải của mắt người là khoảng 1 phút góc. Sử dụng một thị kính với độ phóng đại 80X, năng suất phân giải của mắt là $\Delta\theta_2 = 1'/80 < 2''$. Do đó, khoảng cách góc có thể phân giải được của các ngôi sao khi dùng kính thiên văn này là $\Delta\theta = \max(\Delta\theta_1, \Delta\theta_2) = 2''$.

2063

Bạn đang chụp một bức ảnh trái đất ban đêm từ một vệ tinh. Bạn có hy vọng rằng có thể phân giải được hai đèn pha của một ô-tô từ xa 100 km nếu như bạn dùng một máy ảnh có một thấu kính điều tiêu 50 mm với số f bằng 2 (theo định nghĩa, $f = \frac{f'}{D}$, với f' là tiêu cự của thấu kính máy ảnh và D là đường kính khẩu độ của nó) ?

(Wisconsin)

Lời giải.

Theo tiêu chuẩn Rayleigh, năng suất phân giải góc là

$$\theta_1 = 1{,}22\frac{\lambda}{D} = 1{,}22\frac{\lambda}{f'/f}$$

$$\approx 1{,}22 \times \frac{0{,}6\times 10^{-3}}{50/2} \approx 3\times 10^{-5}\ (rad),$$

Lấy khoảng cách giữa hai đèn pha của một ôtô là 1 m, thì khoảng cách góc của chúng nhìn từ vệ tinh là

$$\theta \approx \frac{1}{100\times 10^{3}} \approx 1\times 10^{-5}\ \text{rad} < \theta_1 .$$

Do đó, ta không thể phân giải được hai đèn pha của một ô-tô.

2064

Bằng cách khảo sát sự nhiễu xạ ánh sáng qua một khe hẹp với bề rộng D, hãy ước lượng đường kính của các miệng hố hình miệng núi lửa nhỏ nhất trên mặt trăng mà ta có thể thấy rõ được qua một kính thiên văn, nếu đường kính của vật kính là $1/2$ mét. Giả sử bước sóng của ánh sáng là 5×10^{-7} m và khoảng cách từ trái đất đến mặt trăng là $3{,}8\times 10^{8}$ mét.

(Wisconsin)

Lời giải.

Năng suất phân giải góc của kính thiên văn là

$$\theta_1 \approx \lambda/D = 10^{-6}\ \text{rad} .$$

Đường kính miệng hố hình miệng núi lửa nhỏ nhất là

$$3{,}8\times 10^{8}\times 10^{-6} = 380\ \text{m}.$$

2065

Các đèn pha của một ôtô cách nhau là 1,3 m. Con ngươi của một học sinh có đường kính 4 mm. Bước sóng trung bình của ánh sáng là $\lambda = 5.500$ Å. Hãy ước lượng khoảng cách mà tại đó có thể phân biệt được rõ hai đèn pha.

(UC, Berkeley)

Lời giải.

Năng suất phân giải góc của mắt là $\theta = \frac{1,22\lambda}{D} = 1,68\times10^{-4}$ rad. Do đó khoảng cách mà tại đó các đèn pha có thể phân giải được là $\frac{1,3}{\theta} = 7,75$ km.

2066

Kính thiên văn Không gian, theo dự tính hiện nay, sẽ có một gương đường kính bằng 2 m và đặt trên quĩ đạo bên ngoài khí quyển của trái đất. Hãy ước lượng (bậc độ lớn) khoảng cách giữa hai ngôi sao cách trái đất 10^{22} cm và có thể chớm phân giải được bằng kính thiên văn này.

(Columbia)

Lời giải.

$$\theta \approx \frac{\lambda}{D} = \frac{6\times10^{-5}}{2\times10^{2}} = 3\times10^{-7} \text{ rad},$$

$$d \approx 3\times10^{-7}\times10^{22} = 3\times10^{15}\text{ cm} = 3\times10^{10} \text{ km}.$$

2067

(a) Chứng tỏ rằng đối với nhiễu xạ Fraunhofer gây bởi một khe hẹp, hướng của cực tiểu thứ nhất theo cả hai phía của cực đại giữa được xác định bởi $\theta = \lambda/\omega$, trong đó ω bề rộng của khe hẹp và $\omega >> \lambda$.

(b) Khẩu độ hình chữ nhật phía trước của một kính thiên văn là bao nhiêu để phân giải được hai đường song song cách nhau một kilômét trên bề mặt của mặt trăng? Giả thiết ánh sáng có $\lambda = 500\times10^{-9}$ m và khoảng cách tới mặt trăng là 400.000 km.

(Wisconsin)

Lời giải.

(a) Phân bố cường độ được cho bởi $I \sim \left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2$, trong đó $\beta = \frac{\pi\omega\sin\theta}{\lambda}$. Đối với cực tiểu thứ nhất, $\beta = \pi$ nên ta có $\sin\theta = \frac{\lambda}{\omega}$, hay $\theta \approx \frac{\lambda}{\omega}$ vì $\omega \gg \lambda$.

(b) $\theta = \dfrac{1}{4\times10^5}$, $\omega = \dfrac{5\times10^{-7}}{\theta} = 0,2$ m.

2068

Một máy ảnh 35 mm có một thấu kính với tiêu cự 50 mm. Nó được dùng để chụp ảnh một người cao 175 cm, và nhận được ảnh cao 30 mm.

(a) Người đó đứng cách xa máy ảnh bao nhiêu?

(b) Hãy ước lượng độ phân giải tốt nhất có thể đạt được trên phim khi dùng ánh sáng với $\lambda = 5000$ Å, nếu đường kính khẩu độ thấu kính là 1cm.

(Wisconsin)

Lời giải.

(a) Từ hệ phương trình

$$\begin{cases} \dfrac{1}{u} + \dfrac{1}{v} = \dfrac{1}{5} \\ m = \dfrac{3}{175} = \dfrac{v}{u} \end{cases}$$

ta nhận được

$$u = 296,7 \text{ cm}, \ v = 50,9 \text{cm}.$$

Vậy người đó đứng cách xa máy ảnh 297 cm.

(b) Năng suất phân giải của thấu kính là

$$\Delta\theta = \frac{1,22\lambda}{D}.$$

Vì $\Delta\theta = \dfrac{\Delta x}{v}$, ta có

$$\Delta x = \Delta\theta \cdot v = 1,22\lambda v / D = 1,22 \times 5000 \times 10^{-8} \times 51 = 3,1 \times 10^{-3} \text{ cm}.$$

2069

Hai ngôi sao có khoảng cách góc bằng 1×10^{-6} radian. Cả hai phát ra ánh sáng với các bước sóng là 5770 và 5790 Å.

(a) Trong kính thiên văn cần một thấu kính với đường kính bằng bao nhiêu để phân biệt được ảnh của hai ngôi sao trên?

(b) Cần một cách tử nhiễu xạ lớn tới mức nào để phân biệt được hai bước sóng trên? Bạn hãy trả lời rõ ràng và đầy đủ, giải thích các lập luận của bạn.

(UC, Berkeley)

Lời giải.

(a) Năng suất phân giải góc của kính thiên văn được cho bởi

$$\theta = \frac{1{,}22\lambda}{D} .$$

Đối với $\lambda = 5790$ Å ta có

$$D = \frac{1{,}22 \times 5790 \times 10^{-8}}{1 \times 10^{-6}} = 70{,}6 \text{ cm}$$

Vì kết quả này lớn hơn so với trường hợp $\lambda = 5770$ Å, nên đường kính cần thiết để phân biệt được hai ngôi sao phải ít nhất là 70,6 cm.

(b) Năng suất phân giải đơn sắc của một cách tử được xác định bởi

$$\frac{\bar{\lambda}}{\Delta\lambda} = mN ,$$

trong đó N là số vạch tổng cộng trên cách tử, $\bar{\lambda}$ là bước sóng trung bình, và m là bậc nhiễu xạ. Người ta thường dùng các bậc từ 1 đến 3 để quan sát. Đối với $m = 1$,

$$N = \frac{\bar{\lambda}}{\Delta\lambda} = \frac{\frac{5770 + 5790}{2}}{5790 - 5770} = 289 .$$

Đối với $m = 3$, $N = 96$.

Do đó cần một cách tử nhiễu xạ với 289 vạch để phân biệt được các bước sóng nêu trên.

2070

Hai anten vô tuyến parabol, đường kính đều là D, được đặt cách nhau một khoảng $d \gg D$ và hướng thẳng đứng lên trên. Mỗi anten được dao động bằng một máy phát với tần số định danh là f, và bước sóng $\lambda(\ c/f) \ll D$.

(a) Hãy xác định dạng gần đúng của bức tranh bức xạ ở khoảng cách rất xa ($r \gg D^2/\lambda$) của một anten nếu nó hoạt động một cách đơn lẻ.

(b) Hãy xác định dạng gần đúng của bức tranh bức xạ ở khoảng cách rất xa ($r \gg d$, $r \gg D^2/\lambda$) nếu cả hai anten được dẫn động đồng pha bởi cùng một máy phát?

(c) Giả thiết các anten được dẫn động bởi các máy phát riêng rẽ, mỗi máy có tần số định danh đều là f. Nếu hình bức xạ của câu (b) nói trên được duy trì về cơ bản là dừng trong một khoảng thời gian t nào đó, thì cần phải có điều kiện gì để có sự ổn định tần số của hai máy phát?

(Wisconsin)

Lời giải.

(a) Hình bức xạ ở khoảng cách lớn r đối với trường hợp chỉ có một anten hoạt động gần đúng là hình nhiễu xạ Fraunhofer gây bởi một lỗ tròn:

$$I = I(0)\left[\frac{2J_1(kR\sin\theta)}{kR\sin\theta}\right]^2,$$

trong đó $R = D/2$, $k = 2\pi/\lambda$, $\sin\theta = \rho/r$, ρ là khoảng cách xuyên tâm của điểm đang khảo sát tính từ tâm của hình bức xạ, và J_1 là hàm Bessel loại 1, bậc 1.

(b) Những sóng phát đi từ hai anten được dẫn động đồng pha bởi cùng một máy phát sẽ giao thoa với nhau và gây ra một phân bố cường độ

$$I = I(0)\left[\frac{2J_1(kR\sin\theta)}{kR\sin\theta}\right]^2 \cos^2\alpha,$$

trong đó $\alpha = kd\sin\theta/2$.

(c) Nếu hình bức xạ ở câu (b) được duy trì về cơ bản là dừng trong khoảng thời gian t nào đó, thì hai máy phát phải kết hợp một phần. Thời gian kết hợp t_c do được xác định bởi

$$t_c \cdot \Delta f \approx 1$$

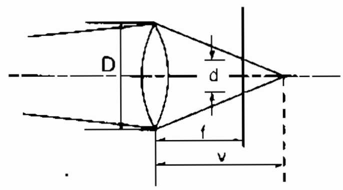
phải lớn hơn t. Do đó ta cần phải có điều kiện

$$\Delta f \approx \frac{1}{t_c} < \frac{1}{t}.$$

2071

Một máy ảnh (tiêu cự 50 cm, đường kính khẩu độ D), nhạy với ánh sáng trông thấy, được điều chỉnh để chụp rõ nét ảnh các ngôi sao; khi đó máy ảnh được sử dụng mà không có sự điều chỉnh lại để chụp vật ở một khoảng cách 100 mét. Đánh giá khẩu độ D để cho độ phân giải tốt nhất đối với vật này? Tính D bằng cm.

(Wisconsin)



Hình 2.64

Lời giải.

Vì máy ảnh được điều chỉnh để chụp ảnh rõ nét của các ngôi sao, nên phim được đặt chính xác ở cách thấu kính 50cm (tiêu cự của thấu kính). Đối với một vật cách xa 100 m, ảnh của nó, được xác định bằng công thức thấu kính

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f},$$

nằm ở đằng sau phim. Vết sáng của vật ở trên quang trục sẽ xuất hiện trên phim như một cái đĩa có đường kính d. Độ phân giải tốt nhất nhận được nếu d là cùng cỡ với đĩa Airy của thấu kính và được cho bởi

$$d=\frac{1,22\lambda f}{D}.$$

Từ hình học chỉ rõ trên hình 2.64, ta có

$$\frac{d}{D}=\frac{v-f}{v}.$$

Do đó ta cần có

$$d=\frac{(v-f)D}{v}=\frac{fD}{u}=\frac{1,22\lambda f}{D},$$

hay $D=\sqrt{1,22\lambda u}\approx 0,82$ cm khi lấy $\lambda=5500$ Å.

2072

Một thấu kính máy ảnh thượng hạng với tiêu cự 60 mm được điều chỉnh để chụp ảnh rõ nét của các vật ở cách nó 15m. Khẩu độ (mở hết) bằng bao nhiêu để độ nhoè do nhiễu xạ của ánh sáng trông thấy sẽ gần giống như là độ nhoè khi không điều chỉnh lại để chụp các ngôi sao xa (ở ∞)?

(Wisconsin)

Lời giải.

Công thức thấu kính

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

cho khoảng cách của ảnh là

$$v=\frac{uf}{u-f} \ .$$

Độ nhoè nhiễu xạ quy định bởi tiêu chuẩn Rayleigh $\theta=\frac{1,22\lambda}{D}$. Khi đó đường kính độ nhoè là

$$d=\theta v=\frac{1,22\lambda v}{D} \ .$$

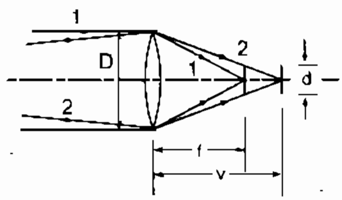
Theo hình 2.65, độ nhoè khi không điều chỉnh lại để chụp ảnh của ácc ngôi sao xa là

$$d=\frac{(v-f)D}{f} \ .$$

Nếu cả hai bằng nhau, ta cần có

$$D=\sqrt{\frac{1,22\lambda vf}{(v-f)}}=\sqrt{1,22\lambda u} \ .$$

Lấy $\lambda=5500$ Å đối với ánh sáng trông thấy và $u=15$ m, ta có $D=0,32$ cm.



Hình 2.65

2073

Một gương parabol với khẩu độ tỷ đối nhỏ (đường kính 10 cm, tiêu cự 500 cm) được dùng để chụp ảnh các ngôi sao. Xác định những hạn chế chủ yếu đối với độ phân giải, trước hết là trên trục rồi sau đó là ở ngoài trục. Đánh giá kích thước của "đĩa tròn" ảnh đối với một ngôi sao trên trục với ánh sáng trông thấy.

(Wisconsin)

Lời giải.

Để chụp ảnh các ngôi sao, hạn chế chủ yếu đối với độ phân giải là nhiễu xạ Fraunhofer gây bởi khẩu độ của kính thiên văn. Đường kính của "đĩa tròn" ảnh (đĩa Airy) của một ngôi sao trên trục là

$$d = \frac{1{,}22\lambda f}{D} .$$

Với $D = 10$ cm, $f = 500$ cm và $\lambda = 5000$ Å ta có

$$d = 0{,}3 \times 10^{-2}\ \text{cm}.$$

Đối với một ngôi sao ở ngoài trục, tia sáng làm thành góc θ với trục của kính thiên văn. Do đó đường kính hiệu dụng của khẩu độ qui về $D\cos\theta$,và đường kính đĩa Airy trở thành

$$d' = \frac{1{,}22\lambda f}{D\cos\theta} .$$

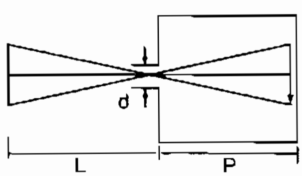
2074

Một máy ảnh kiểu buồng tối gồm một hộp, trong đó hình ảnh hiện lên trên mặt phim ở khoảng cách P tính từ lỗ nhỏ với đường kính d . Vật đặt cách lỗ một khoảng L, và sử dụng ánh sáng với bước sóng λ (Hình 2.66).

(a) Đường kính d của lỗ phải xấp xỉ bằng bao nhiêu sẽ cho độ phân giải của ảnh là tốt nhất?

(b) Sử dụng (đường kính của) lỗ từ ở (a), khoảng cách D tối thiểu giữa hai điểm trên vật phải bằng bao nhiêu để còn có thể phân giải được trên ảnh?

(Wisconsin)



Hình 2.66

Lời giải.

(a) Theo quang hình ta biết rằng một điểm trên vật có thể thành một đĩa sáng ở trên phim với đường kính Δ_1 được cho bởi

$$\frac{\Delta_1}{L+P}=\frac{d}{L},$$

Mặt khác, vì hiện tượng nhiễu xạ do lỗ gây ra, điểm đó cũng có thể tạo thành một đĩa Airy sáng trên phim với đường kính

$$\Delta_2 \approx \frac{\lambda P}{d}.$$

Đường kính tổng cộng của ảnh của một điểm (trên vật) khi đó là

$$\Delta=\Delta_1+\Delta_2=\frac{(L+P)d}{L}+\frac{\lambda P}{d}.$$

Cực tiểu hóa Δ đối với d ta có

$$d=\sqrt{\frac{\lambda LP}{L+P}}.$$

(b) Để ảnh của hai điểm phân biệt ở sát nhau trên vật vẫn còn phân giải được thì khoảng cách giữa hai ảnh phải không nhỏ hơn Δ_2. Theo quang hình học, ta có

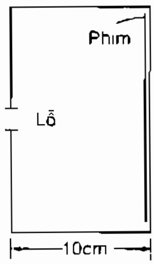
$$\frac{D}{L}=\frac{\Delta_2}{P}.$$

Do đó $D=\frac{\lambda L}{d}=\sqrt{\frac{\lambda L(L+P)}{P}}$.

2075

Ước lượng kích cỡ tối ưu cho khẩu độ của một máy ảnh kiểu buồng tối. Bạn có thể giả thiết rằng cường độ (sáng) là đủ và vật được nhìn ở vô cùng. Đặt mặt phẳng phim cách lỗ 10 cm (Hình 2.67).

(MIT)



Hình 2.67

Lời giải.

Theo lời giải của Bài 2074, kích thước tối ưu của khẩu độ là

$$d = \sqrt{\frac{\lambda LP}{L+P}} \approx \sqrt{\lambda P}$$

đối với

$$L \gg P\,.$$

Do đó $d \approx 2,3\times 10^{-2}$ cm khi lấy $\lambda = 5500$ Å.

2076

Xác định sự khác biệt giữa quang học được thực hiện tại các bước sóng gần 100Å với quang học gần 5000Å. Đặc biệt là những điều tương phản:

(a) Việc sử dụng các thấu kính.

(b) Việc sử dụng các gương.

(c) Năng suất phân giải màu sắc của cách tử với bề rộng cố định.

(d) Khoảng cách góc phân giải được bé nhất của một hệ tạo ảnh với đường kính cố định.

(Wisconsin)

Lời giải.

(a) Ánh sáng với bước sóng gần 5000Å là ánh sáng trông thấy, trong khi đó bước sóng gần 100Å thuộc vùng tia –X, không thể nhìn thấy bằng mắt.

Vì chiết suất của thuỷ tinh là lớn hơn một đối với ánh sáng trông thấy và nhỏ hơn một đối với tia -X, nên những thấu kính bằng thuỷ tinh thông thường có thể được dùng để hội tụ ánh sáng trông thấy, trong khi đó các tia-X chỉ có thể bị khúc xạ bởi tinh thể.

(b) Không giống như ánh sáng trông thấy có thể phản xạ bằng các gương thông thường, các tia –X có thể xuyên qua hầu hết các chất và chỉ có thể phản xạ khi truyền tới với góc giới hạn.

(c) Khả năng phân giải màu sắc của một cách tử được cho bởi hệ thức $\lambda/\Delta\lambda = mN$, trong đó $\Delta\lambda$ là độ biến thiên nhỏ nhất của bước sóng còn có thể phân giải được, N là tổng số vạch cách tử và m là bậc nhiễu xạ. Đối với m, N cho trước, vì λ là rất nhỏ đối với tia –X, nên $\Delta\lambda$ cũng rất là nhỏ.

(d) Góc phân giải nhỏ nhất cho bởi

$$\Delta\theta = 1{,}22\lambda/D,$$

trong đó D đường kính của khẩu độ. Vì $\Delta\theta \propto \lambda$, nên khoảng cách góc cực tiểu còn phân giải được phải nhỏ hơn rất nhiều đối với các tia-X.

2077

So sánh ưu điểm của ba dụng cụ sau đây dùng để nghiên cứu quang phổ nguyên tử (trong vùng ánh sáng trông thấy).

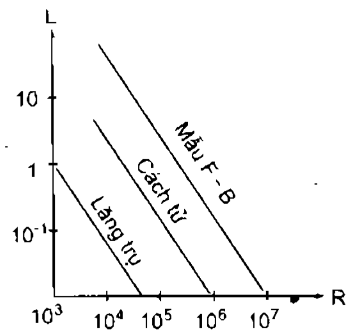
(1) Cách tử nhiễu xạ phẳng.

(2) Lăng trụ thuỷ tinh 60^0.

(3) Giao thoa kế Fabry-Perot.

Khảo sát về mặt định lượng tới mức có thể những đặc điểm như: độ phân giải, độ tán sắc, tầm xa, bản chất nguồn sáng, v.v.... Chỉ ra một cách rõ ràng những đặc điểm hình học và vật lý quan trọng trong mỗi trường hợp. (Để xác định, bạn có thể giả thiết cả ba dụng cụ có "khẩu độ" như nhau.)

(Wisconsin)



Hình 2.68

Lời giải.

Đối với các bước sóng phân biệt được, lăng trụ thuỷ tinh có năng suất phân giải thấp nhất, trong khi đó giao thoa kế Fabry-Perot có khả năng phân giải cao nhất và có thể dùng để nghiên cứu cấu trúc tinh tế của quang phổ. Khả năng phân giải màu sắc của một máy quang phổ được xác định bở hệ thức $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$. Đối với lăng kính, $R = B\left(\frac{dn}{d\lambda}\right)$, trong đó B là chiều dài của cạnh đáy và n là chiết suất đối với bước sóng λ. Đối với một cách tử phẳng, $R = mN$, trong đó m là bậc nhiễu xạ và N là tổng số vạch cách tử. Đối với giao thoa kế Fabry-Perot, $R = \frac{m\pi}{1-r}\sqrt{r}$, trong đó r là hệ số phản xạ của các gương và m là bậc giao thoa $\approx \frac{2s}{\lambda}$, s là khoảng cách giữa các bản. Thí dụ, đối với bước sóng 500 nm, một lăng kính thuỷ tinh flin ($n = 1{,}6$ $\frac{dn}{d\lambda} \approx 8\times 10^2\ cm^{-1}$) với $B = 10$ cm có $R \sim 10^4$; một cách tử phẳng với chu kỳ cách tử 14000 vạch/inch và chiều rộng cách tử 6 inch có $R \sim 10^5 - 10^6$, một giao thoa kế Fabry-Perot có $R \sim 10^6 - 10^7$.

Độ tán sắc góc, được định nghĩa là $\frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda}$. Đối với lăng kính có góc chiết quang α ở góc lệch cực tiểu, độ tán sắc góc được cho bởi $\frac{2\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sqrt{1 - n^2\sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)}}\left(\frac{dn}{d\lambda}\right)$; $\frac{m}{d\cos\theta}$ đối với một cách tử phẳng có chu kỳ d, và $\frac{\cos\theta}{\lambda}$ đối với giao thoa kế Fabry-Perot. Đối với các dụng cụ trên, độ tán sắc góc tương ứng là $1{,}3\times 10^3$, 10^4 và $2\times 10^4\ cm^{-1}$.

Đối với một lăng kính, vùng bước sóng nghiên cứu chỉ bị giới hạn bởi độ hấp thụ của vật liệu. Đối với các cách tử, vùng bước sóng bị giới hạn để tránh sự phủ vạch của các bước sóng khác nhau. Nếu một vùng trải từ λ_1 đến λ_2 là quan sát được với các bậc thứ m và bậc thứ $(m+1)$, thì sẽ có một sự xen phủ nếu $m\lambda_2 < (m+1)\lambda_1$. Xét trường hợp giới hạn đối với giao thoa kế Fabry-Perot trong đó bậc thứ $(m+1)$ của λ trùng với bậc thứ m của $\lambda + \Delta\lambda$. Giá trị $\Delta\lambda = \frac{\lambda}{m} = \frac{\lambda^2}{2d\cos\theta} \approx \frac{\lambda^2}{2d}$ với $\theta \approx 0$ là vùng bước sóng lớn nhất mà ta phải chiếu sáng dụng cụ để tránh sự xen phủ của các vành mầu khác nhau và được gọi là miền phổ tự do.

Năng suất góp sáng L của một dụng cụ phụ thuộc vào hệ số truyền qua T, khẩu độ A và góc khối Ω được trương bởi cổng sáng theo hệ thức $L \approx TA\Omega$. Hình 2.68 biểu diễn mối quan hệ giữa R và L đối với ba loại dụng cụ trên. Hiệu suất của một dụng cụ thường được biểu thị bằng $E = RL$.

2078

Một chùm ánh sáng phân cực elip một phần, truyền theo hướng z, đi qua một kính phân tích phân cực thẳng lí tưởng. Khi trục truyền qua của kính phân tích nằm dọc theo hướng x, cường độ truyền qua là cực đại và có giá trị $1{,}5I_0$. Khi trục truyền qua nằm dọc theo hướng y, cường độ truyền qua là cực tiểu và có giá trị I_0.

(a) Hãy xác định cường độ truyền qua khi trục truyền qua lập một góc θ với trục x? Câu trả lời của bạn phụ thuộc vào tỷ phần ánh sáng không bị phân cực là bao nhiêu?

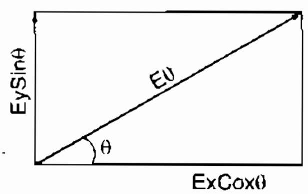
(b) Chùm tia ban đầu được tạo ra trước tiên đi qua bản một phần tư-bước sóng sau đó đi qua kính phân cực thẳng. Bản một phần tư-bước sóng có các trục đóng thẳng hàng với các trục x và y. Bây giờ ta thấy rằng cường độ truyền qua hai dụng cụ là cực đại khi trục truyền qua của kính phân tích làm thành một góc 30^0 với trục x. Hãy xác định cường độ cực đại này và tỷ phần cường độ tới không bị phân cực.

(CUSPEA)

Lời giải.

(a) Gọi cường độ của ánh sáng không bị phân cực sau khi đi qua kính phân tích là I_u. Cường độ này sẽ luôn luôn là không đổi bất kể trục truyền qua làm với trục x một góc bằng bao nhiêu. Gọi cường độ của các thành phần x và y của ánh sáng phân cực elip tương ứng là I_{ex} và I_{ey}. Ta có

$$I_x = 1{,}5I_0 = I_u + I_{ex}$$
$$I_y = 1{,}0I_0 = I_u + I_{ex}$$



Hình 2.69

Một dao động elip có thể được coi như là tổng hợp của hai dao động tuyến tính vuông góc lệch pha 90^0 như được biểu diễn trên hình 2.69. Vectơ cường độ điện trường của nó có thể được biểu diễn bởi

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_x \cos\theta + \vec{E}_y \sin\theta \ .$$

Khi đó cường độ của thành phần bị phân cực I_e là $I_e \sim \left|\vec{E}_0\right|^2$, hay

$$I_e = I_{ex} \cos^2\theta + I_{ey} \sin^2\theta \ .$$

Do đó, khi viết $I_u = I_u \cos^2\theta + I_u \sin^2\theta$, ta có

$$I(\theta) = I_e + I_u = \left(I_{ex} + I_u\right)\cos^2\theta + \left(I_{ey} + I_u\right)\sin^2\theta$$
$$= 1{,}5I_0\cos^2\theta + I_0\sin^2\theta.$$

Như vậy $I(\theta)$ không phụ thuộc vào tỷ phần nào của ánh sáng không bị phân cực.

(b) Một bản $\lambda/4$ sẽ gây ra sự thay đổi pha một lượng bằng 90^0 giữa hai thành phần vuông góc với nhau và làm cho ánh sáng phân cực elip trở thành phân cực thẳng. Vì

$$\frac{\sqrt{I_{ey}}}{\sqrt{I_{ex}}} = \tan 30^0 = \frac{1}{\sqrt{3}},$$

Ta có

$$I_{ey} = \frac{I_{ex}}{3}.$$

Kết hợp với hai phương trình gốc, ta tính được

$$I_{ex} = 0{,}75I_0,\ I_{ey} = 0{,}25I_0,$$
$$I_u = 0{,}75I_0.$$

Do đó cường độ cực đại là

$$I_{ex} + I_{ey} + I_u = 1{,}75I_0$$

khi $\theta = 30^0$. Tỷ phần không bị phân cực của cường độ tới là

$$\frac{I_u}{1{,}5I_0 + I_0} = 0{,}60.$$

2079

Bốn kính phân cực lí tưởng được ghép khít với nhau sao cho trục của mỗi bản quay một góc 30^0 theo chiều kim đồng hồ so với bản trước. Cường độ của một chùm sáng không bị phân cực được truyền qua chồng các bản phân cực trên là bao nhiêu?

(Wisconsin)

Lời giải.

Ánh sáng không phân cực có thể được xem như là tổng hợp của hai thành phần phân cực thẳng không kết hợp có các mặt phẳng phân cực vuông góc với nhau. Khi đó nếu cường độ của ánh sáng tới là I_0, thì cường độ của ánh sáng ló ra từ kính phân cực thứ nhất là $I_0/2$. Theo định luật Malus, cường độ của ánh sáng ló ra từ một bản phân cực chỉ còn bằng $\cos^2\theta$ lần cường độ ánh sáng phân cực thẳng chiếu tới, trong đó θ là góc giữa trục truyền qua của bản phân cực và mặt phẳng phân cực của ánh sáng tới. Do đó cường độ của ánh sáng ló ra từ bản phân cực thứ tư là

$$I_4 = I_3\cos^2\theta = I_2\cos^4\theta = I_1\cos^6\theta = \frac{I_0\cos^6\theta}{2} = \frac{27I_0}{128}.$$

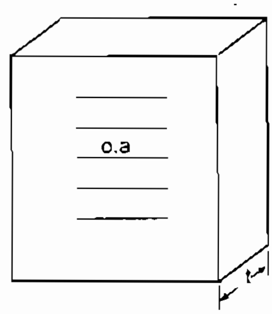
2080

Một tinh thể thạch anh mỏng có độ dày t được cắt sao cho quang trục (q.t) của nó song song với mặt tinh thể (H. 2.70). Đối với ánh sáng vàng Na (589 nm), chiết suất của tinh thể là 1,55 đối với ánh sáng phân cực song song với quang trục và 1,54 đối với ánh sáng phân cực vuông góc với quang trục.

Nếu hai chùm sáng, phân cực tương ứng song song và vuông góc với quang trục, bắt đầu đi vào tinh thể là cùng pha, thì tinh thể phải có độ dầy bao nhiêu để các chùm tia ló hiện lệch pha 90°?

Phát biểu chính xác cách dùng tinh thể trên như thế nào để tạo ra một chùm ánh sáng phân cực tròn?

(Wisconsin)



Hình 2.70

Lời giải.

(a) $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} t(n_e - n_0) = \frac{\pi}{2}$, suy ra

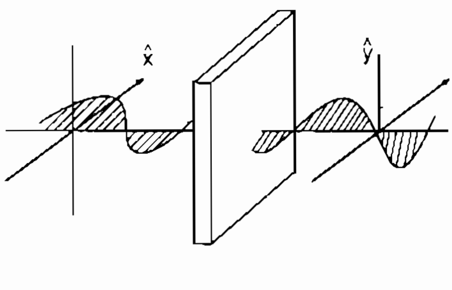
$$t = \frac{\lambda}{4(n_e - n_0)} = 14,7\ \mu m\,.$$

(b) Hãy cho chùm tia sáng không bị phân cực đi qua một kính phân cực để trở thành ánh sáng phân cực thẳng. Ánh sáng phân cực này được chiếu vuông góc lên tinh thể trên. Nếu trục truyền qua của kính phân cực làm thành một góc 45° với quang trục của tinh thể, thì ánh sáng ló ra sẽ là phân cực tròn.

2081

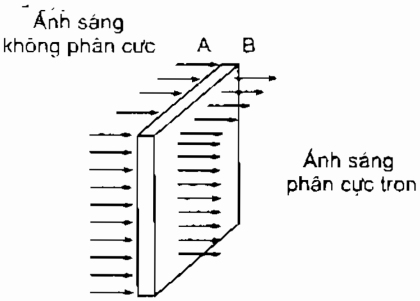
Giả thiết bạn được cung cấp một số tấm thuộc hai loại chất quang hoạt. Các tấm loại P là các kính phân cực hoàn hảo: chúng cho ánh sáng (tới vuông góc) phân cực song song với trục $\hat{n}$ nào đó truyền qua và hấp thụ ánh sáng phân cực vuông góc với $\hat{n}$. Các tấm loại Q là các bản một phần tư: chúng làm tăng pha của ánh sáng (tới vuông góc) phân cực song song với một trục $\hat{m}$ nào đó một góc bằng $\pi/2$ so với ánh sáng phân cực vuông góc với $\hat{m}$.

a) Hãy trình bày cách kết hợp hai loại tấm này để tạo ra một dụng cụ biến đổi ánh sáng tới phân cực song song với một trục $\hat{x}$ nào đó thành ánh sáng đi ra phân cực vuông góc với $\hat{x}$ (xem hình 2.71). Sự mất mát về cường độ trong dụng cụ mà bạn tạo ra là bao nhiêu?

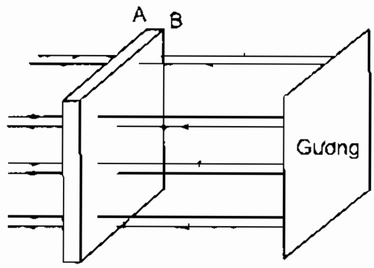


Hình 2.71

a) Hãy mô tả cách kết hợp hai loại tấm này để tạo ra một "kính phân cực tròn" – một dụng cụ biến đổi ánh sáng không phân cực đi vào mặt A thành ánh sáng phân cực tròn đi ra từ mặt B (xem H. 2.72). Sự mất mát về cường độ ít nhất có thể trong quá trình này là bao nhiêu?



Hình 2.72



Hình 2.73

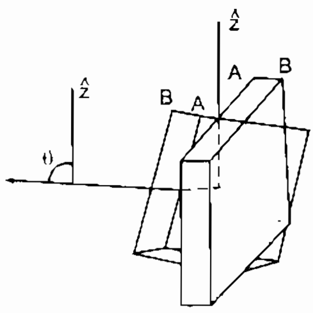
(c) Nếu cường độ đi vào mặt A là I_0 với bước sóng λ, thì độ lớn của mômen lực tác dụng lên kính phân cực tròn trong câu (b) là bao nhiêu?

(d) Nếu ánh sáng ló ra từ một kính phân cực tròn được chiếu vuông góc lên một gương phẳng, thì sự mất mát về cường độ của ánh sáng trong khi đi qua kính phân cực lần thứ hai là bao nhiêu? (xem H. 2.73)

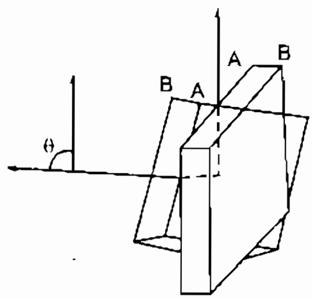
(e) Lấy hai kính phân cực tròn mà bạn đã tạo ra trong câu (b). Xoay nhẹ một tấm và đặt chúng cạnh nhau như trên hình 2.74. Giả thiết ánh sáng không phân cực được chiếu vuông góc lên hệ này. Xác định cường độ của ánh sáng truyền qua như một hàm của θ.

(f) Bây giờ đảo ngược mặt các tấm (xem H. 2.75). Xác định cường độ của ánh sáng truyền qua như một hàm của θ.

(MIT)



Hình 2.74



Hình 2.75

Lời giải.

Đặt hai tấm loại P cạnh nhau sao cho tấm thứ nhất có trục $\vec{n}$ lệch 45^0 so với trục $\vec{x}$ và tấm thứ hai có trục $\vec{n}$ lệch 90^0 so với trục $\vec{x}$. Tấm tổ hợp sẽ biến đổi ánh sáng tới phân cực song song với $\vec{x}$ thành ánh sáng đi ra phân cực vuông góc với $\vec{x}$. Theo định luật Malus, cường độ ánh sáng đi ra giảm chỉ còn bằng $I_0 \cos^4 45^0 = I_0/4$, trong đó I_0 là cường độ ánh sáng tới.

Tổ hợp một kính phân cực (mặt A) và một bản một phần tư bước sóng (mặt B) sao cho các trục $\vec{n}$ và $\vec{m}$ lập với nhau một góc 45^0. Tấm tổ hợp sẽ biến đổi ánh sáng không phân cực thành ánh sáng phân cực tròn. Cường độ ánh sáng ló ra giảm chỉ còn bằng $I_0/2$ nếu sự hấp thụ của bản một phần tư bước sóng là không đáng kể.

Mômen động lượng J và năng lượng W của ánh sáng phân cực tròn liên hệ với nhau qua hệ thức $J = W\omega^{-1}$, trong đó $\omega = 2\pi\nu$, ν là tần số của ánh sáng. Vậy, mômen lực tác dụng lên kính phân cực là

$$\tau = \frac{dJ}{dt} = \omega^{-1}\frac{dW}{dt} = \frac{1}{2}I_0\,\omega^{-1} = \frac{I_0\lambda}{4\pi c},$$

vì chỉ có $I_0/2$ chuyển thành ánh sáng phân cực tròn.

Ánh sáng phân cực tròn được phản xạ trở lại đi qua bản một phần tư bước sóng; kết quả là một ánh sáng phân cực phẳng, phân cực vuông góc với trục truyền qua của kính phân cực (bản A). Do đó, không có ánh sáng được truyền ngược về phía sau qua tổ hợp.

Cường độ của ánh sáng truyền qua là

$$I = \frac{1}{2}I_0\cos^2\theta .$$

(f) Cường độ ánh sáng truyền qua là

$$I = \frac{1}{2}I_0\sin^2\theta .$$

2082

Xét một bộ bù (*compensator*) Babinet được biểu diễn trên hình 2.76. Dụng cụ này được tạo thành từ hai miếng vật liệu quang học đơn trục với chiết suất n_e và n_0 tương ứng với ánh sáng phân cực vuông góc và song song so với quang trục. Một chùm ánh sáng hẹp với bước sóng trong chân không là λ, phân cực thẳng trong mặt phẳng XZ với góc 45^0 so với X và Z và truyền qua bộ bù từ trái sang phải dọc theo trục +Y như biểu diễn trên hình 2.77.

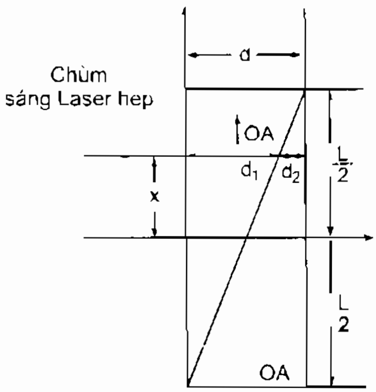
Đối với $d \ll L$, hãy xác định độ dịch pha của các thành phần X và Z của chùm ánh sáng đi ra. Biểu thị đáp số của bạn theo $n_0, n_e, \lambda, L, d, x$.

(b) Với các giá trị nào của x thì ánh sáng ló ra sẽ là

(1) phân cực thẳng?

(2) phân cực tròn?

(Chicago)

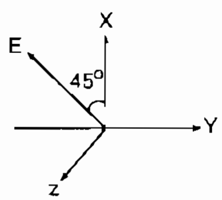


Hình 2.76

↑ OA – Quang trục trong mặt phẳng giấy và song song với trục-X.

• OA Quang trục vuông góc với mặt phẳng giấy và song song với trục-Z.

$d \ll L$.



Hình 2.77

Lời giải.

a) Vì ánh sáng tới phân cực với góc 45^0 so với trục-X và trục-Z, nên nó tương đương với hai thành phần phân cực theo hướng X và Z có biên độ

$$E_x = E_z = E/\sqrt{2}\,.$$

Độ lệch pha giữa hai thành phần của chùm sáng do xuyên qua lăng kính trái và lăng kính phải lần lượt được xác định bởi

$$\Delta\phi_1 = 2\pi d_1(n_0 - n_e)/\lambda$$

và

$$\Delta\phi_2 = 2\pi d_2(n_0 - n_e)/\lambda ,$$

trong đó d_1 và d_2 tương ứng là quãng đường đi qua bên trong lăng kính trái và lăng kính phải, vì lăng kính thứ nhất có chiết suất là n_0 và n_e đối với các thành phần phân cực theo phương X và Z tương ứng; trong khi đó đối với lăng kính thứ hai thì đảo lại.

Khi đó độ lệch pha giữa các thành phần phân cực theo phương X và Z của chùm sáng ló ra là

$$\Delta\phi = \Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 = 2\pi(n_0 - n_e)(d_1 - d_2)/\lambda .$$

Theo các tam giác đồng dạng ta có

$$\frac{d_1}{d} = \frac{\frac{L}{2} + x}{L} .$$

Do đó, vì $d = d_1 + d_2$, ta có

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda}(n_0 - n_e)\frac{xd}{L} .$$

b) Ánh sáng ló ra có thể là

(i) phân cực thẳng, nếu

$$\Delta\phi = N\pi \text{ , tức là, } x = \frac{N\lambda L}{4(n_0 - n_e)d} ,$$

(ii) phân cực tròn, nếu

$$\Delta\phi = \frac{(2N+1)\pi}{2} \text{ , tức là, } x = \frac{2N+1}{8}\frac{\lambda L}{(n_0 - n_e)d} ,$$

ở đây $N = 0$ hoặc nguyên.

2083

Khảo sát thí nghiệm hai khe của Young có sửa đổi (H. 2.78): Q là nguồn ánh sáng điểm đơn sắc với bước sóng λ. S_1 là một màn có một khe hẹp dài và S_2 là màn chắn có hai khe với bề rộng a đặt cách nhau một khoảng $d \gg a$, P_1, P_2, P_3 và P_4 là các bộ lọc phân cực. Đối với mỗi một cách bố trí dưới đây, hãy mô tả và giải thích ngắn gọn về cường độ hình giao thoa trên màn S_3.

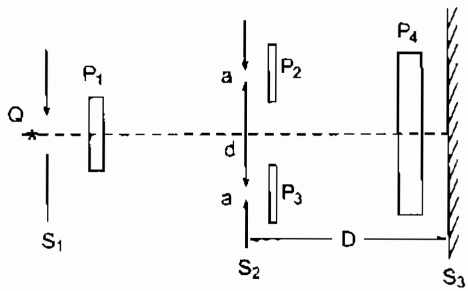
(a) Tất cả các kính phân cực được bỏ đi. (Hãy rút ra công thức xác định cường độ hình giao thoa trên S_3.)

(b) P_1 được bỏ đi, P_2 và P_3 có các trục truyền qua vuông góc với nhau, trong khi đó trục của P_4 làm thành một góc 45^0 với trục của P_2.

(c) Như câu (b) nhưng với P_4 được bỏ đi.

(d) P_1 được đặt vào và làm thành một góc 45^0 so với P_2, P_2 và P_3 vẫn đặt chéo nhau, P_4 vuông góc với P_1.

(CUSPEA)



Hình 2.78

Lời giải.

a) Phân bố cường độ trên S_3 là phân bố cường độ của các vân giao thoa dược hình thành bởi hai khe được điều biến do thừa số nhiễu xạ qua một khe và được cho bởi

$$I(\theta) \propto \cos^2\left(\frac{1}{2}kd\sin\theta\right)\frac{\sin^2(\frac{1}{2}ka\sin\theta)}{\sin^2\theta},$$

trong đó $k = 2\pi/\lambda$ và θ là góc giữa phương nhiễu xạ và trục.

b) Vì ánh sáng đi tới S_2 là ánh sáng không phân cực, nên chùm sáng đi ra từ P_2 và P_3 (P_2, P_3 chéo nhau) là không kết hợp và sẽ không có giao thoa dù có đi qua P_4 hay không. Ta kết luận rằng không có hình giao thoa xuất hiện đối với (b) và (c). Chỉ thấy hình ảnh nhiễu xạ qua một khe của các khe.

c) Vì ánh sáng đi tới P_4 là ánh sáng phân cực thẳng, nên các chùm sáng ló ra từ P_2 và P_3 là kết hợp và các thành phần của chúng dọc theo trục của P_4 sẽ giao thoa mặc dù cho độ lệch pha giữa các thành phần này là π. Ta nhận lại hình giao thoa nhưng các vân sáng tối bây giờ bị đảo ngược so với hình giao thoa trong câu (a).

2084

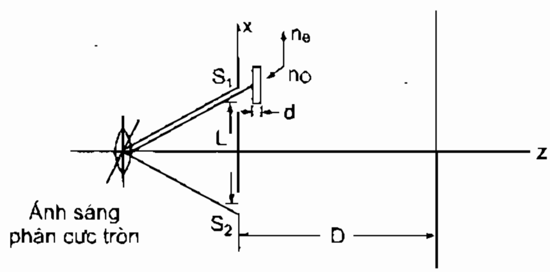
Một nguồn ánh sáng phân cực tròn chiếu sáng một màn với hai khe hẹp cách đều nguồn và cách nhau nhau một khoảng L (xem H. 2.79). Một bản lưỡng chiết mỏng có độ dày d được đặt sau một trong hai khe. Chiết suất của bản là n_0 song song với khe và n_e vuông góc với khe. Một màn thứ hai, song song với màn thứ nhất, được đặt tại khoảng cách $D >> L$ sau màn thứ nhất. Nếu một trong các khe bị che, cường độ tổng cộng trên màn thứ hai là I_0 (bỏ qua hiệu ứng nhiễu xạ). Khi mở cả hai khe, một người khi đo cường độ toàn phần, lấy tổng theo các phân cực, có thể quan sát được hình giao thoa như thế nào?

(UC, Berkeley)

Lời giải.

Việc đi qua bản lưỡng chiết sau S_1 gây ra một độ lệch pha giữa hai thành phần vuông góc (các chùm tia thường O và bất thường E) bằng

$$\delta = 2\pi d(n_0 - n_e)/\lambda ,$$



Hình 2.79

trong khi các pha của hai thành phần vuông góc của ánh sáng ló ra từ S_2 giữ nguyên không đổi. Xét các thành phần O và E đi đến màn thứ hai sau khi rời khỏi S_1 và S_2. Hiệu quang lộ giữa các chùm tia rời khỏi S_1 và S_2 đối với hai thành phần tương ứng là

$$\Delta_0 = (n_0 - 1)d$$

và

$$\Delta_e = (n_e - 1)d\,.$$

Rõ ràng rằng chỉ khi $(n_0 - n_e)d = m\lambda$ (m là số nguyên) các chùm tia O và E mới có thể kết hợp một cách hoàn hảo ở cùng một thời điểm. Khi đó độ tương phản của các vân sẽ là một đơn vị. Trái lại, độ tương phản sẽ nhỏ hơn đơn vị, đặc biệt khi $(n_0 - n_e)d = (m + 1/2)\lambda$, các vân giao thoa sẽ biến mất.

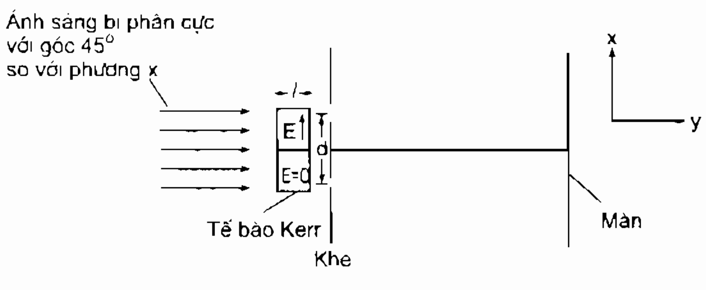
2085

Một chùm sáng, với $\lambda = 5000\,\text{Å}$ truyền theo phương z bị phân cực với góc 45° so với phương x. Nó đi qua tế bào Kerr, tức là, một chất có $n_x - n_y = KE^2$, trong đó n_x và n_y là chiết suất đối với ánh sáng phân cực theo các phương x và y. E là cường độ của một điện trường ngoài hướng theo phương x. Tế bào có độ dài 1 cm và $K = 2{,}5 \times 10^{-6}$ (mét)^2/(vôn)^2.

a) Nếu ánh sáng, sau khi đi qua tế bào Kerr, đi vào một kính phân cực mà mặt phẳng phân cực của nó vuông góc với mặt phẳng phân cực của chùm tia ban đầu, hãy xác định giá trị nhỏ nhất của E để hệ số truyền qua là lớn nhất. Giả thiết rằng ảnh hưởng của điện trường lên sự phản xạ ở tế bào Kerr là không đáng kể.

b) Trạng thái phân cực của ánh sáng ló ra từ tế bào Kerr như thế nào nếu giá trị của E^2 bằng một nửa giá trị được tính trong câu (a)?

c) Khảo sát bố trí thí nghiệm như trên hình 2.80.



Hình 2.80

Điện trường chỉ tác dụng ở nửa trên của tế bào Kerr, và, sau khi đi qua tế bào Kerr, ánh sáng đi vào hai khe như trên hình vẽ. Không có kính phân cực đặt sau các khe. Giả thiết rằng điện trường tác động đến n_x nhưng không tác động đến n_y, hãy thảo luận về hình giao thoa ở khoảng cách xa đằng sau các khe đối với các giá trị khác nhau của E^2.

(UC. Berkeley)

Lời giải.

a) Tế bào Kerr gây ra tính lưỡng chiết. Vì hướng của điện trường lập một góc 45° đối với hướng phân cực của ánh sáng, nên biên độ của các thành phần phân cực song song theo hướng x và y là như nhau. Khi hiệu pha δ giữa các thành phần là

$$\delta = \frac{2\pi l(n_{\dot{y}} - n_y)}{\lambda} = \frac{2\pi lKE^2}{\lambda} = (2j+1)\pi\ , \ \ j = 0 \text{ hay nguyên,}$$

thì tế bào Kerr có tác dụng như một bản nửa bước sóng và làm quay mặt phẳng phân cực 90° sao cho nó trùng với trục truyền qua của kính phân tích và cho độ truyền qua lớn nhất. Đặt $j = 0$ dẫn đến E nhỏ nhất, E_{min} được cho bởi

$$E_{min}^2 = \frac{\lambda}{2Kl} = 10\,V^2/m^2 \text{ đối với } l = 1\,cm\,.$$

b) Nếu $E^2 = \frac{1}{2}E_{min}^2 = \frac{\lambda}{4Kl}, \delta = \frac{\pi}{2}$ và ánh sáng ló ra là phân cực tròn.

c) Hình giao thoa trên màn ở xa tương tự như hình giao thoa đối với một hệ hai khe, nhưng độ tương phản phụ thuộc vào trạng thái phân cực của chùm sáng ló ra từ khe trên và khe dưới. Trạng thái phân cực của ánh sáng ló ra từ khe dưới giữ nguyên không đổi, trong khi đó ánh sáng ló ra từ khe trên phụ thuộc vào cường độ của điện trường tác dụng. Khi $\delta = 2j\pi$, trong đó j là một số nguyên, hay

$$E^2 = \frac{j\lambda}{Kl}\ ,$$

thì trạng thái phân cực của các chùm sáng ló ra từ hai khe trở thành giống nhau. Điều này tạo ra một hình giao thoa hoàn hảo với độ tương phản bằng đơn vị. Còn khi

$$\delta = (2j+1)\pi, \text{ hay } E^2 = \frac{(2j+1)\lambda}{2Kl}\,,$$

mặt phẳng phân cực của ánh sáng ló ra từ khe trên vuông góc với mặt phẳng phân cực của ánh sáng ló ra từ khe dưới. Bây giờ sẽ không có giao thoa giữa các chùm sáng. Trong các trường hợp trung gian, độ tương phản nằm giữa đơn vị và không.

2086

Mặt phẳng phân cực của ánh sáng phân cực thẳng truyền dọc theo quang trục của một số tinh thể (thí dụ, các tinh thể thạch anh hay dường) quay một góc phụ thuộc vào độ dầy của tinh thể. Trong các tinh thể này, các chiết suất n_P và n_T đối với ánh sáng phân cực tròn phải hay trái hơi khác nhau.

Hiện tượng này gọi là hiện tượng gì? Hãy giải thích ngắn gọn hiện tượng quay mặt phẳng phân cực đó.

Xác định biểu thức góc quay φ của mặt phẳng phân cực đối với ánh sáng có tần số ω khi đi qua tinh thể có độ dầy d .

(Wisconsin)

Lời giải.

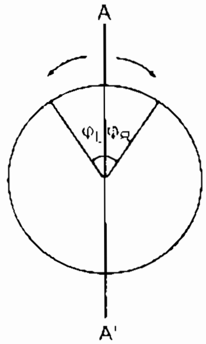
a) Hiện tượng này gọi là hiện tượng quang hoạt. Một chất quang hoạt có hai chiết suất, một là n_P cho loại quay phải và hai là n_T cho loại quay trái. Vì sóng tới phân cực thẳng có thể được xem như là chồng chất của các sóng phân cực tròn P (phải) và phân cực tròn T (trái), cùng đi qua một mẫu chất quang hoạt, độ lệch pha giữa hai thành phần này sẽ thay đổi và mặt phẳng phân cực của ánh sáng phân cực thẳng tổng hợp sẽ bị quay đi một góc nào đó.

b) Nếu $n_P \neq n_T$, thì góc quay của thành phần-T sau khi đi qua một tinh thể độ dày d là

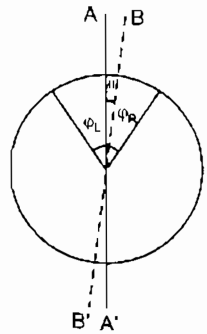
$$\varphi_L = \frac{\omega d}{c} n_T \ ,$$

và góc quay của thành phần-P là $\varphi_P = \dfrac{\omega d}{c} n_P$, vì các vận tốc truyền sóng tương ứng là c/n_T và c/n_P. Khi đó mặt phẳng phân cực của ánh sáng tổng hợp quay một góc φ bằng (xem H. 2.81)

$$\phi = \frac{\phi_P - \phi_T}{2} = \frac{\omega d}{2c}(n_P - n_T) \ .$$



(a) *Trước khi đi vào tinh thể*

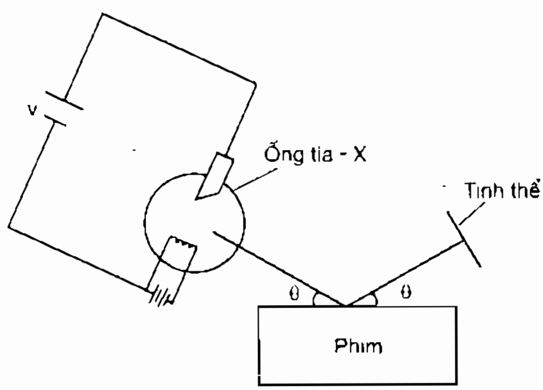


(b) *Sau khi đi qua tinh thể có độ dày d*

Hình 2.81

2087

Cho một bố trí thí nghiệm như trên hình 2.82, trong đó tinh thể được giả thiết là có các mặt phẳng nguyên tử song song và cách nhau một khoảng d. Ống tia-X có hiệu điện thế anôt-catôt là V vôn. Góc θ có thể thay đổi. Hãy xác định góc θ_m mà dưới nó không có một cường độ nào của tia-X được ghi nhận trên phim.



Hình 2.82

Giải thích một cách bán định lượng cách tạo ra ánh sáng phân cực tròn từ một nguồn sáng không phân cực, bằng cách dùng kính phân cực thẳng và một miếng thạch anh được nung chảy để nguội (tức là, đẳng hướng) và một bàn kẹp máy nén.

(UC, Berkeley)

Lời giải.

a) Khi định luật Bragg

$$2d\sin\theta = m\lambda \quad (m = 1,2,3,...)$$

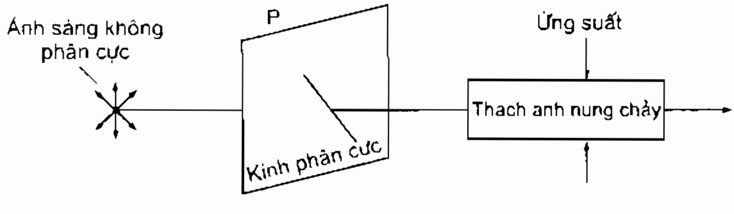
được thoả mãn, ta nhận được các vết rất đậm trên phim. Bước sóng λ được cho bởi

$$\lambda = \sqrt{150/V}\ \text{Å}.$$

Góc θ nhỏ nhất mà phim còn ghi nhận được ứng với $m = 1$, do đó

$$\theta_{min} = \arcsin\left(\frac{\lambda}{2d}\right) = \arcsin\left(\frac{1}{2d}\sqrt{\frac{150}{V}}\right).$$

b) Một vài vật liệu quang học có ứng suất nhạy, chẳng hạn như thuỷ tinh, nhựa và thạch anh nung chảy để nguội, có thể tạo ra sự bất đẳng hướng quang học bằng cách tác dụng một ứng suất cơ học. Tính chất này gọi là hiệu ứng quang đàn hồi. Trục quang học hiệu dụng là phương của ứng suất và độ lưỡng chiết cảm sinh $(n_e - n_0)l$, trong đó l là độ dày dọc theo phương ứng suất, tỷ lệ với ứng suất. Một chùm ánh sáng không phân cực đi qua một kính phân cực trở thành ánh sáng phân cực thẳng, rồi được chiếu vuông góc lên một miếng thạch anh nung chảy để nguội và bị nén theo phương vuông góc với chùm sáng và ở góc 45° so với trục của kính phân cực (H. 2.83). Nếu ứng suất được tác dụng sao cho $(n_e - n_0)l = \lambda/4$, thì miếng thạch anh hoạt động như là một bản một phần tư-sóng và làm cho ánh sáng phân cực thẳng biến thành ánh sáng phân cực tròn.



Hình 2.83

2088

Giả thiết ánh sáng phân cực tròn quay phải (xác định theo chiều quay đồng hồ khi người quan sát nhìn hướng về sóng đang tới) chiếu vào một tấm hấp thụ. Tấm này được treo bằng một sợi chỉ thẳng đứng. Ánh sáng được chiếu thẳng đứng lên trên và đập vào mặt dưới của tấm.

a) Nếu ánh sáng phân cực tròn với công suất là 1W với bước sóng 6200 Å, và nếu toàn bộ ánh sáng này bị tấm hấp thụ thì mômen lực τ_0 tác dụng lên tấm (tính ra dyn-cm) là bao nhiêu?

b) Giả thiết rằng thay cho tấm hấp thụ, bạn dùng một mặt gương tráng bạc thông thường, do đó ánh sáng bị phản xạ ngược lại 180^0 so với hướng ban đầu của nó. Bây giờ hãy xác định mômen lực theo theo đơn vị là τ_0.

c) Giả thiết rằng tấm là một bản nửa-sóng trong suốt. Ánh sáng đi xuyên qua bản và không đập vào bất kỳ cái gì cả. Tính mômen lực theo đơn vị τ_0.Nếu tấm là một bản nửa-sóng trong suốt với mặt trên tráng bạc, mômen xoắn là bao nhiêu theo đơn vị của τ_0?

(Chicago)

Lời giải.

a) Nếu chùm sáng phân cực tròn bị hấp thụ hoàn toàn bởi một vật mà nó đập vào, thì vật được truyền cho một mômen động lượng

$$\tau_0 = W/\omega$$

Sao cho có một mômen lực tác dụng lên vật, trong đó *W* tổng năng lượng vật hấp thụ được trong một giây và ω tần số góc của ánh sáng. Do đó

$$\tau_0 = W/\omega = \frac{W\lambda}{2\pi c} = \frac{1\times 0{,}62\times 10^{-6}}{2\pi\times 3\times 10^{8}} = 3{,}3\times 10^{-16}\, N.m$$

$$= 3{,}3\times 10^{-9}\, dyn.cm\,.$$

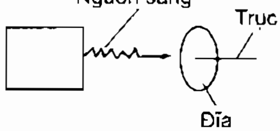
b) Ánh sáng bị phản xạ hoàn toàn, như vậy hướng quay của mặt phẳng phân cực trong không gian giữ nguyên không đổi, do đó mômen lực bằng không.

c) Sau khi đi qua bản một nửa-sóng, ánh sáng phân cực tròn quay phải trở thành phân cực tròn quay trái. Mômen lực tác dụng bằng độ biến thiên của mômen động lượng, và bằng $2\tau_0$.

d) Ánh sáng đi qua bản nửa-sóng hai lần và vẫn còn ở cùng trạng thái phân cực khi nó lại ló ra ngoài. Do đó không có mômen lực tác dụng lên tấm hấp thụ.

2089

Một nguồn sáng đặc biệt gửi 1W ánh sáng đến một cái đĩa đen phẳng (hấp thụ 100%). Đĩa được lắp vào một trục song song với chùm sáng (H. 2.84). Đĩa bắt đầu quay khi nó hấp thụ ánh sáng.



Hình 2.84

a) Bạn có thể nói gì về ánh sáng này?

b) Đĩa được đổi từ mặt đen thành một mặt gương. Điều gì sẽ xảy ra đối với mômen lực? Tại sao?

c) Bạn có thể thay đổi đĩa để làm cho mômen lực tăng vượt quá các giá trị mà bạn đã tính được trong các câu (a) và (b) hay không? Để đơn giản hãy giữ đĩa sao cho ánh sáng chiếu tới vuông góc với nó.

. d) Giả thiết ánh sáng trông thấy (5000Å) và hãy ước lượng mômen lực cho trường hợp hấp thụ ở câu (a).

(UC, Berkeley)

Lời giải.

a) Từ sự kiện đĩa hấp thụ toàn bộ ánh sáng và bắt đầu quay, ta kết luận rằng ánh sáng là phân cực tròn. Mômen lực

$$\tau_0 = W/\omega$$

tác dụng lên đĩa, trong đó W là công suất hấp thụ và ω là tần số góc của ánh sáng.

b) Bây giờ ánh sáng bị phản xạ hoàn toàn sao cho hướng quay của mặt phẳng phân cực của ánh sáng trong không gian vẫn còn giữ nguyên không đổi. Không có mômen lực tác dụng nên đĩa vẫn đứng yên.

c) Đặt bản phần tư-sóng trước mặt gương trong trường hợp (b). Khi đi qua bản $\lambda/4$ hai lần, ánh sáng tới phân cực tròn quay-T (hay quay-P) sẽ bị phản xạ ngược lại thành quay-P (hay quay-T). Điều này sẽ làm tăng mômen lực thành $2\tau_0$. Không thể có sự tăng như vậy đối với trường hợp (a).

d) Mômen lực đối với trường hợp hấp thụ (a) là

$$\tau = \frac{W}{\omega} = \frac{W\lambda}{2\pi c} = \frac{1\times 0{,}5\times 10^{-6}}{2\pi\times 3\times 10^{8}} = 2{,}65\times 10^{-16}\, N.m\,.$$

PHẦN 3 QUANG HỌC LƯỢNG TỬ

3001

Một laser hồng ngọc phát ra ánh sáng với bước sóng 6943 Å, mà ta có thể coi gần đúng như một sóng phẳng.

(a) Hãy mô tả định tính sự vận hành của một laser, bao gồm cả sơ đồ các mức năng lượng gần đúng của các nguyên tử có liên quan.

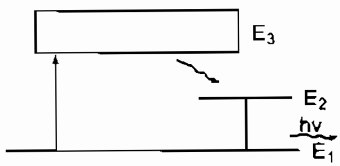
(b) Bước sóng và tần số của ánh sáng này là bao nhiêu khi nó đi qua nước (chiết suất $n = 4/3$)?

(c) Tỷ phần của mỗi thành phần phân cực của ánh sáng laser phản xạ là bao nhiêu khi chùm sáng đi vào nước với góc 45^0 so với pháp tuyến của mặt nước?

(d) Biên độ các vectơ điện trường và từ trường của sóng phẳng này là bao nhiêu khi truyền qua nước, nếu công suất lấy trung bình theo thời gian của chùm sáng ở trong nước là 100 mW/cm^2?

(e) Chiều dài kết hợp của laser trong chân không (tức là, khoảng cách mà qua nó ánh sáng vẫn còn là kết hợp cho đến 1/4 của bước sóng) là bao nhiêu, nếu độ rộng dải của laser là $\Delta\nu = 30$MHz?

(Columbia)



Hình 3.1

Lời giải.

a) Laser hồng ngọc (ruby) là một hệ ba-mức được bơm quang học. Một sơ đồ mức-năng lượng đơn giản hoá được biểu diễn trên hình 3.1. Khi hồng ngọc được chiếu sáng bằng một đèn chớp cường độ cao, các nguyên tử ở trạng thái cơ bản E_1 bị kích thích lên mức E_3, sau đó nhanh chóng chuyển về trạng thái giả bền E_2 bằng một chuyển dời không-bức xạ vì thời gian sống ở E_3 rất ngắn (khoảng10^{-9} giây). Vì sự rã từ E_2 là tương đối chậm, nên nếu năng lượng của đèn chớp đủ mạnh và được được bơm quang học, thì sẽ xảy ra sự đảo ngược độ cư trú giữa E_1 và E_2. Khi đạt được điều kiện này, sự khuếch đại sẽ xẩy ra tại bước sóng tương ứng với $E_2 - E_1$. Khi các nguyên tử rơi từ mức E_2 xuống mức cơ bản E_1, thì một bức xạ hùynh quang đỏ đặc trưng của ruby ở bước sóng này được phát ra dưới dạng một xung mạnh. Bơm quang học được thực hiện bằng cách dùng hai gương phẳng đặt ở hai đầu của thanh hồng ngọc để tạo thành một hốc cộng hưởng, nó có tác dụng làm phản xạ tới lui và khuếch đại liên tục các kiểu quang phổ này, truyền dọc theo trục và dao động với các tần số cộng hưởng của hốc. Các tần số này nằm trong độ rộng tần số của quang phổ hồng ngọc.

b) Bước sóng trong Å là

$$\lambda_{\text{nước}} = \frac{\lambda_{\text{không khí}}}{n} = \frac{6493}{\frac{4}{3}} \approx 5207 \text{ Å}.$$

c) Góc khúc xạ xác định bởi định luật Snell là

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{3}{4}\sin 45^0\right) \approx 32^0.$$

Năng suất phản xạ của thành phần phân cực vuông góc với mặt phẳng tới là

$$R_{\perp} = \left[\frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}\right]^2 \approx 0{,}05,$$

năng suất phản xạ của thành phần phân cực song song với mặt phẳng tới là

$$R_{//} = \left[\frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)}\right]^2 \approx 0{,}0028.$$

d) Đối với một sóng điện từ phẳng, $\sqrt{\varepsilon}E = \sqrt{\mu}H$. Công suất trung bình theo thời gian của chùm sáng trên một đơn vị tiết diện chính là cường độ của nó

$$I = \langle EH\rangle = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}}\langle E^2\rangle = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}}E_0^2 = \frac{n}{2c\mu}E_0^2,$$

trong đó E_0 là biên độ của điện trường, c là vận tốc của ánh sáng trong chân không và n là chiết suất của nước. Độ từ thẩm của nước là $\mu \approx \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m.

Do đó

$$E_0 = \sqrt{\frac{2Ic\mu}{n}} = 7{,}5 \text{ V/m},$$

$$B_0 = \frac{E_0}{v} = \frac{E_0 n}{c} = 3{,}3 \times 10^{-8} T.$$

B_0 là biên độ của cảm ứng từ.

e) Theo nguyên lý bất định

$$\Delta t.\Delta \nu \sim 1,$$

trong đó $\Delta\nu$ độ rộng của vạch quang phổ của áng sáng laser, Δt là thời gian kết hợp. Vậy chiều dài kết hợp là

$$\Delta l = \frac{c}{\Delta \nu} = \frac{3 \times 18^8}{3 \times 10^6} = 10 \text{ m}.$$

3002

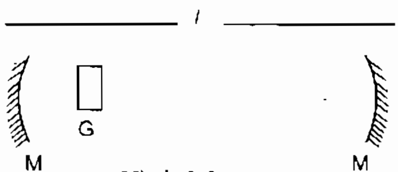
Một laser mẫu (H. 3.2) gồm hai gương phản xạ gần như lí tưởng M và môi trường hoạt G, với độ rộng dải Δf có tâm tại f_0.

a) Những tần số nào là cho phép đối với sự hoạt động laser trong hốc quang học ? Biểu diễn đáp số của bạn theo τ , thời gian cần thiết để ánh sáng thực hiện một hành trình kín bên trong hốc.

b) Giả thiết rằng laser hoạt động với mọi loại mode khả dĩ của hốc trong phạm vi bề rộng dải khuếch đại. Cũng giả thiết rằng các loại mode này là hoàn toàn ổn định về pha, tức là, không có thăng giáng về pha. Lại cũng giả thiết rằng các pha được điều chỉnh sao cho tất cả các mode này đều tức thời đồng pha tại $t = 0$. Hỏi tín hiệu laser ở đầu ra sẽ thay đổi theo thời gian như thế nào?

c) Nếu muốn tạo ra một xung có độ kéo dài 1 pico-giây (10^{-12}s) với bước sóng 6000Å, thì bề rộng dải Δf phải là bao nhiêu? Có bao nhiêu mode laser liên quan đến điều này? (l = 1,5m)

(CUSPEA)



Hình 3.2

Lời giải.

a) Những mode duy nhất cho phép trong hốc là các sóng dừng với bước sóng λ và tần số f xác định bởi

$$n\lambda = 2l, f = \frac{c}{\lambda} = \frac{cn}{2l} = \frac{n}{\tau},$$

trong đó n là số nguyên.

b) Giả thiết có N mode trong độ rộng dải khuếch đại. Với các điều kiện đã cho, tín hiệu đầu ra của laser, có thể được biểu diễn như sau

$$E(t) = \sum_n^N \left(A_n \cos\frac{2\pi nt}{\tau} + B_n \sin\frac{2\pi nt}{\tau} \right)$$

c) Phương trình trên chứng tỏ rằng tín hiệu đầu ra là một hàm tuần hoàn của thời gian với chu kỳ τ (xem H. 3.3). Khi độ lệch pha giữa mode cao nhất và mode thấp nhất là 2π , tín hiệu đầu ra sẽ ngừng. Do đó độ kéo dài Δt của xung được xác định bởi

$$\frac{2\pi(N-1)\Delta t}{\tau} = 2\pi, \text{ tức là } \Delta t \approx \frac{\tau}{N}.$$

Theo nguyên lý bất định $\Delta t.\Delta f \sim 1$, ta có

$$\Delta f \sim \frac{1}{\Delta t} = 10^{12} \text{ Hz}.$$

Vì $\lambda f = c$ hay $d\lambda = -\frac{\lambda^2}{c}df$, dải bước sóng tương ứng là

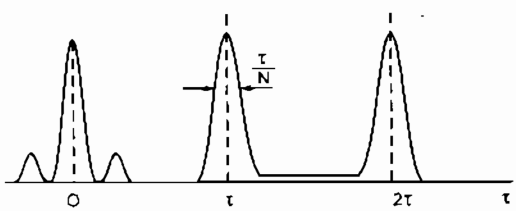
$$\Delta\lambda = \Delta f \frac{\lambda^2}{c} \approx 12 \text{ Å}.$$

Theo định nghĩa

$$\tau = \frac{2l}{c} = 10^{-8} s,$$

ta có

$$N \approx \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{10^{-8}}{10^{-12}} = 10^4.$$



Hình 3.3

3003

Một laser He – Ne hoạt động ở bước sóng 6328Å có một hốc cộng hưởng với hai gương phẳng hai đầu đặt cách nhau 0, 5 m. Hãy xác định độ tách tần số giữa các mode dọc theo trục của laser này. Hãy đánh giá xem laser này có hoạt động ở một hoặc vài tần số trục hay không , biết rằng độ rộng của vạch Ne 6328Å được quan sát thấy trong phát xạ tự phát thường là 0,016Å.

(Wisconsin)

Lời giải.

Các tần số trục của laser được xác định bởi

$$\frac{\lambda n}{2} = l \text{ hay } f = \frac{nc}{2l},$$

l là độ dài của hốc. Khi đó độ tách tần số giữa các các mode kế tiếp là

$$\Delta f = \frac{c}{2l}.$$

Độ rộng của dải tần số của vạch Ne 6328Å được cho bởi

$$\Delta f' = c\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2}.$$

trong đó λ = 6328Å, $\Delta\lambda$ = 0,016Å. Do đó

$$\frac{\Delta f'}{\Delta f} = \frac{2l\Delta\lambda}{\lambda^2} = 3{,}996,$$

laser sẽ hoạt động với 4 (ít nhất là 3) tần số trục.

3004

Laser electron-tự do (FEL) đầu tiên đã được đưa vào hoạt động khoảng cuối 1976 hay đầu 1977.

a) Từ viết tắt *laser* có nghĩa là gì?

b) Tín hiệu đầu ra của một laser là gì?

c) Tín hiệu đầu ra được tạo như thế nào trong FEL ? (Năng lượng được cung cấp như thế nào? Nó được biến đổi thành tín hiệu đầu ra như thế nào? v.v..)

d) Hãy nhận diện một ích lợi đặc biệt của FEL hơn các loại laser kể trên.

(Wisconsin)

Lời giải.

a) Laser là từ viết tắt của "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*", có nghĩa là *Khuếch đại ánh sáng bằng bức xạ cảm ứng*.

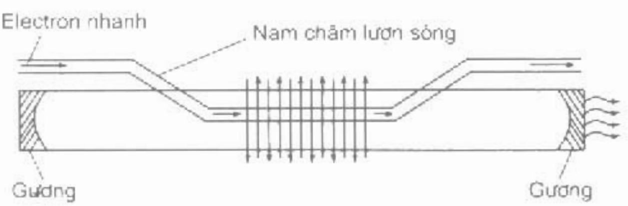
b) Đầu ra của một laser là một chùm sáng có tính kết hợp cao, cả về không gian lẫn thời gian, đồng thời cũng có tính định hướng cao.

c) Như biểu diễn trên hình 3.4, một chùm electron năng lượng cao đi qua một từ trường ngang gợn sóng; các electron lần lượt bị tăng tốc và giảm tốc theo phương ngang và bức xạ điện từ được tạo ra bằng bức xạ hãm (*bremsstrahlung*). Các sóng điện từ ban đầu cũng có thể được cung cấp nhờ một laser. Nếu tồn tại một điều kiện đồng bộ giữa vận tốc của electron và vận tốc pha của các sóng, thì năng lượng có thể được truyền từ các electron sang các sóng. Các sóng được tạo dựng trong hốc giữa hai gương và cuối cùng sinh ra một tín hiệu ở đầu ra của laser.

d) Những lợi ích của FEL là

(i) FEL điều hưởng được. Bằng cách thay đổi năng lượng của các electron tới cho phép bức xạ kết hợp được tạo ra với bất kỳ bước sóng nào từ vi sóng tới ánh sáng trông thấy, và vượt xa hơn.

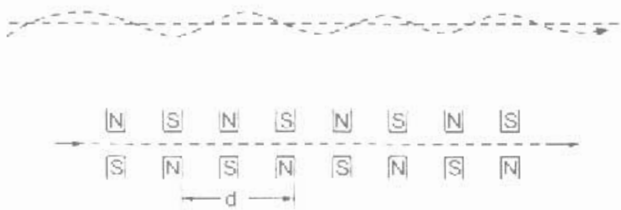
(ii) Nó có thể cung cấp bức xạ có công suất đỉnh cao, dải sóng rộng và kết hợp.



Hình 3.4

3005

Một máy lượn sóng gồm một mạng tuần hoàn một chiều các nam châm với cực tính xen kẽ nhau. Mỗi một đơn vị lặp lại trong mạng các nam châm có chiều dài d và có N đơn vị như thế. Một electron với vận tốc v ($v \sim c$) đi qua máy lượn sóng này, trên một đoạn đường chỉ với các độ lệch nhỏ, như biểu diễn trên hình 3.5. Chuyển động của electron dọc theo đoạn đường này sinh ra bức xạ, mà mạnh nhất là ở một tần số cơ bản nào đó ứng với bước sóng λ.



Hình 3.5

a) Hãy cho biết bức xạ điện từ sẽ được phát ra theo hướng về phía trước đối với những phần nào của đoạn đường?

b) Tìm bước sóng λ bằng cách dùng điều kiện đòi hỏi rằng bức xạ về phía trước này từ những đoạn kế tiếp phải giao thoa tăng cường nhau.

c) Nếu máy lươn sóng gồm N đơn vị với chiều dài d, thì độ rộng phổ $\Delta\lambda/\lambda$ của bức xạ sinh ra bởi một chùm các electron có cùng năng lượng sẽ là bao nhiêu?

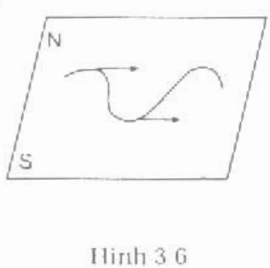
d) So sánh cường độ của bức xạ về phía trước tạo ra bởi toàn bộ máy lượn sóng với cường độ của bức xa gây bởi chỉ một đơn vị.

e) Nếu vận tốc của các electron khác với vận tốc ánh sáng một phần triệu, hãy tìm bước sóng của bức xạ sinh ra từ một máy lượn sóng với $d = 10$ cm.

(CUSPEA)

Lời giải.

a) Như ta thấy trên hình 3.6, bức xạ điện từ theo hướng về phía trước sẽ được phát ra tai các điểm mà tiếp tuyến với quỹ đạo song song với trục



Hình 3.6

b) Điều kiện đòi hỏi là

$$kr - \omega t = k(r + d) - \omega\left(t + \frac{d}{v}\right) + 2\pi$$

tức là,

$$\frac{c}{\lambda}\frac{d}{v} = \frac{d}{\lambda} + 1.$$

Đặt $\beta = v/c$, ta có

$$\lambda = d\left(\frac{1}{\beta} - 1\right).$$

c) $\Delta\lambda/\lambda = 1/N$.

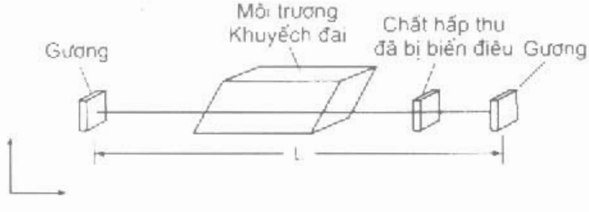
d) $I \approx N^2$..

e) Với $\beta = 1 - 10^{-6}$,

$\lambda \approx d(\beta - 1) = 10 \times 10^{-6}$ cm = 1000Å.

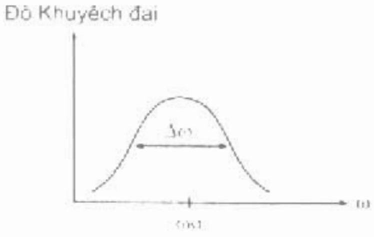
3006

Một kỹ thuật thực nghiệm mới và quan trọng được sử dụng trong một số lĩnh vực nhỏ của vật lý là dùng các xung ánh sáng cực ngắn để nghiên cứu các hiện tượng diễn ra nhanh. Những xung cực ngắn được tạo ra bằng cách khoá mode một laser - một phương pháp sẽ được nghiên cứu trong bài toán này. Mô hình laser gồm một hốc quang học có độ dài L với các kích thước ngang d tạo bởi hai gương phẳng như biểu diễn trên hình 3.7.

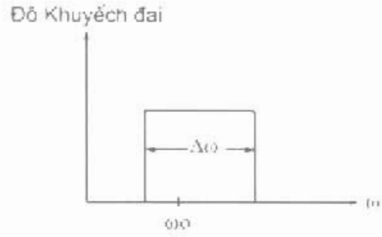


Hình 3.7

Môi trường khuếch đại (có thể là rắn, lỏng, hay khí) được đặc trưng bằng một phổ khuếch đại nào đó (Hình 3.8); chỉ có ánh sáng nằm trong dải tần số này mới được khuyếch đại. Để đơn giản việc tính toán, ta giả thiết rằng phổ khuếch đại là hình chữ nhật như biểu diễn trên hình 3.9.



Hình 3.8



Hình 3.9

Cụ thể, xét trường hợp môi trường khuếch đại là thủy tinh Nd, nó có $\omega_0 = 1{,}8.10^{15}s^{-1}$, $\Delta\omega = 6.10^{12}s^{-1}$ và lấy chiều dài của laser là L = 150cm.

a) Xác định độ phân tách $\delta\omega_L$ giữa các mode dọc kề cận nhau. Tạm bỏ qua bộ biến điệu đối với phần này của bài toán, cũng bỏ qua sự tán sắc, và, để đơn giản, lấy chiết suất của môi trường khuếch đại bằng một.

b) Phổ khuếch đại hình chữ nhật sẽ dẫn đến kết quả là mỗi mode bên trong dải khuếch đại đều có biên độ như nhau. Nếu cường độ của một mode riêng lẻ là I_0, hãy xác định cường độ tổng cộng khi độ lệch pha φ_n giữa các mode khác nhau được phân bố một cách ngẫu nhiên?

c) Bằng cách đưa một chất hấp thụ đã được biến điệu vào trong hốc, người ta có thể khoá pha của tất cả các mode về cùng một giá trị, sao cho các sóng truyền qua sẽ giao thoa tăng cường nhau, tạo ra các xung ánh sáng. Xác định cường độ như một hàm của thời gian trong trường hợp khoá pha hay khoá mode này. Khoảng thời gian, độ phân tách của xung, và cường độ (tính theo I_0) của xung là bao nhiêu? Chỉ xét một kiểu phân cực.

(Không mấy liên quan đến bài toán này, nhưng để bạn có thêm thông tin, một chất hấp thụ đã được biến điệu có độ hấp thụ hiệu dụng là một hàm của thời gian – thí dụ, $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2\cos(\omega t)$). Một mode trong hốc bất kỳ với độ lệch pha sai so với sự điều biến này sẽ cảm thấy một sự suy giảm phụ, do đó chỉ các mode bị khoá pha mới được khuyếch đại.)

(Princeton)

Lời giải.

a) Các mode dọc có thể tồn tại trong hốc với chiều dài L là các mode có

$$L = n\frac{\lambda}{2} \ (n = 1, 2, 3, ...),$$

tức là,

$$\omega_L = \frac{2\pi c}{\lambda} = \frac{\pi nc}{L},$$

Do đó độ phân tách giữa các mode kề cận là

$$\delta\omega_L = \frac{\pi c}{L} = 6{,}3\times 10^{8}\, s^{-1}.$$

b) Nếu các độ lệch pha ϕ_n của các mode khác nhau được phân bố ngẫu nhiên, thì các mode là không kết hợp với nhau, và cường độ tổng cộng là tổng cường độ của các mode riêng lẻ; do đó

$$I = \text{phần nguyên của } \left(\frac{\Delta\omega}{\delta\omega L}\right).I_0 = 9549 I_0.$$

c) Với khoá mode, cường độ bây giờ phải được tìm trước hết bằng cách cộng các điện trường, chứ không phải là cộng các cường độ một cách trực tiếp

$$I(t) = I_0\left|e^{-i\omega_1 t} + \dots + e^{-i\omega_n t}\right|^2 = I_0\left[\frac{\sin\frac{n\delta\omega_L t}{2}}{\sin\frac{n\delta\omega_L t}{2}}\right]$$

trong đó

$$\omega_n = n\delta\omega_L,\; n = \text{phần nguyên của } \left(\frac{\Delta\omega}{\delta\omega_L}\right) = 9549.$$

Độ kéo dài của xung là

$$\Delta t = \frac{2\pi}{n\delta\omega_L} = \frac{2L}{nc} = 1{,}05\times 10^{-12}\, s.$$

Độ phân tách xung là khoảng cách giữa hai cực đại:

$$\Delta_t = \frac{2\pi}{\delta\omega_L} = 10^{-8}\, s.$$

Cường độ đỉnh xảy ra tại $t = 0$ là

$$I(0) = I_0.n^2 = 9{,}12\times 10^{7} I_0$$

3007

Một photon phóng ra, với tần số f trong hệ quy chiếu đứng yên của một electron dùng làm bia, được thấy tán xạ với góc -90^0 với tần số f', trong khi đó bia tán xạ với góc θ^0.

a) Xác định tỷ số f'/f theo θ.

b) Xác định năng lượng toàn phần của electron theo f, f' và khối lượng m của electron .

c) Nếu năng lượng photon mất đi bằng 0,2 năng lượng nghỉ của electron, thì vận tốc của electron tán xạ sẽ là bao nhiêu?

d)Một người quan sát O chuyển động theo hướng song song với hướng của electron tới với vận tốc u khi va chạm electron-photon xảy ra. Người quan sát O có thể dùng hệ thức nào để xác định năng lượng của electron trong trạng thái tán xạ của nó (tính theo m, v, u và c)?

(SUNY, Buffalo)

Lời giải.

a) Đối chiếu với hình 3.10 và 3.11, ta có

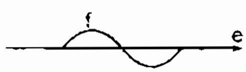
$$p_e \sin\theta = p_{f'}, p_e \cos\theta = p_f,$$

trong đó

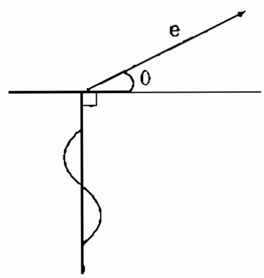
$$p_e = mv, p_f = \frac{hf}{c}, p_{f'} = \frac{hf'}{c}.$$

Do đó

$$\tan\theta = \frac{f'}{f}.$$



Hình 3.10



Hình 3.11

b) Năng lượng toàn phần của electron là

$$E = [m^2c^4 + p_e^2c^2]^{1/2} = [m^2c^4 + (f^2 + f'^2)h^2]^{1/2}.$$

c) Khối lượng nghỉ của electron là mc^2 và năng lượng photon mất là $0,2mc^2$. Theo định luật bảo toàn năng lượng, ta có

$$mc^2 + hf = \gamma mc^2 + hf'$$

trong đó

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Với

$$hf - hf' = (\gamma - 1)mc^2 = 0,2mc^2,$$

ta nhận được

$$\gamma = 1,2 \text{ hay } v = 0,53c.$$

d) $E' = \dfrac{E - \vec{p}_0.\vec{u}}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} = \dfrac{E - p_0 u\cos\theta}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}$,

trong đó

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}, \; p_0 = hf/c.$$

3008

Giả thiết một photon thuộc phổ nhìn thấy với năng lượng 3eV bị hấp thụ bởi một trong số các tế bào hình nón (các cảm biến ánh sáng) trong mắt bạn và kích thích một thế tác dụng sinh ra một điện thế 0,07 vôn lên dây thần kinh quang học với dung kháng 10^{-9} F.

(a) Xác định điện tích cần thiết.

(b) Xác định năng lượng của thế tác dụng.

(Wisconsin)

Lời giải.

a) $Q = VC = 0,07 \times 10^{-9} = 7 \times 10^{-11} C.$

b) $E = \dfrac{QV}{2} = \dfrac{1}{2} \times 7 \times 10^{-11} \times 0,07 = 2,5 \times 10^{-12} J.$

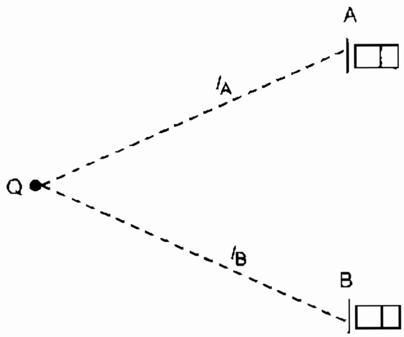
3009

Một nguồn điểm Q phát ánh sáng kết hợp đẳng hướng với hai tần số ω và $\omega + \Delta\omega$, với công suất bằng nhau và bằng I jun/giây, với mỗi tần số. Hai máy dò, A và B, mỗi máy có một điện tích nhạy (sáng) nhỏ S có khả năng phản ứng với các photon riêng lẻ, được đặt cách Q một khoảng là l_A và l_B như trên hình 3.12. Sau đây, ta lấy $\dfrac{\Delta\omega}{\omega} \ll 1$ và giả thiết thí nghiệm được thực hiện trong chân không.

a) Xác định tốc độ đếm các photon riêng rẽ (số photon/giây) tại A và tại B như là một hàm của thời gian. Xét các thang thời gian $\gg 1/\omega$.

b) Nếu bây giờ các xung đầu ra từ A tới B được đưa vào một mạch trùng phùng với thời gian phân giải τ, thì tốc độ đếm trùng phùng trung bình theo thời gian là bao nhiêu? Giả thiết rằng $\tau \ll 1/\Delta\omega$ và nhớ rằng một mạch trùng phùng sẽ tạo ra một xung đầu ra nếu hai xung đầu vào đến cách nhau trong khoảng thời gian τ.

(CUSPEA)



Hình 3.12

Lời giải.

a) Các sóng với tần số góc ω_1 và ω_2 đến tại A có thể được biểu diễn tương ứng bởi

$$E_1 = \frac{E_0}{l_A} e^{i(\omega_1 t - k_1 l_A)}$$

$$E_2 = \frac{E_0}{l_A} e^{i(\omega_2 t - k_2 l_A)}$$

trong đó $\omega_1 = \omega$, $\omega_2 = \omega + \Delta\omega$. Khi đó sóng tổng hợp tại A là

$$E_A = E_1 + E_2 = (E_0/l_A)[e^{i(\omega_1 t - k_1 l_A)} + e^{i(\omega_2 t + k_2 l_A)}]$$

và cường độ trung bình theo thời gian tại A là

$$I_A \sim \frac{1}{2} E_A E_A^* = \left(\frac{E_0}{l_A}\right)^2 \{1 + \cos[(\omega_2 - \omega_1)t - (k_2 - k_1) l_A]\}.$$

Độ lệch pha không đổi $(k_2 - k_1) l_A$ có thể được đặt bằng không bằng cách chọn gốc thời gian thích hợp. Cường độ của sóng ω_1 tại A là

$$I_1 \sim \frac{1}{2} E_1 E_1^* = \frac{1}{2}\left(\frac{E_0}{l_A}\right)^2.$$

Vì nguồn có công suất I và là đẳng hướng,

$$I_1 \sim \frac{I}{4\pi l_A^2},$$

ta được

$$\left(\frac{E_0}{l_A}\right)^2 = \frac{I}{2\pi l_A^2}.$$

Do đó

$$I_A = \frac{I}{2\pi l_A^2}[1 + \cos(\Delta\omega t)].$$

Tốc độ đếm photon tại A là

$$R_A(t) = \frac{I_A(t)S}{\hbar\omega}$$

$$= \frac{IS}{2\pi\hbar\omega l_A^2}[1 + \cos(\Delta\omega t)].$$

Tương tự, tại B ta có

$$I_B(t) = \frac{I}{2\pi l_B^2}\{1 + \cos[\Delta\omega t + (l_B - l_A)(k_1 - k_2)]\}.$$

Vì

$$k_1 = \frac{\omega_1}{c} = \frac{\omega}{c},$$

$$k_2 = \frac{\omega_2}{c} = \frac{\omega + \Delta\omega}{c},$$

$$k_1 - k_2 = -\frac{\Delta\omega}{c},$$

ta có

$$I_B(t) = \frac{I}{2\pi l_B^2}\left\{1 + \cos\left[\Delta\omega t + \frac{(l_A + l_B)}{c}\Delta\omega\right]\right\},$$

Do đó

$$R_B(t) = \frac{IS}{2\pi\hbar\omega l_A^2}\left\{1 + \cos\left[\Delta\omega t + \frac{(l_A - l_B)\Delta\omega}{c}\right]\right\}.$$

b) Xác suất để một tín hiệu từ A tại thời gian t đi cùng với tín hiệu từ B trong khoảng thời gian $\pm\tau$ là $2\tau R_B(t)$. Do đó tốc độ đếm trùng phùng là

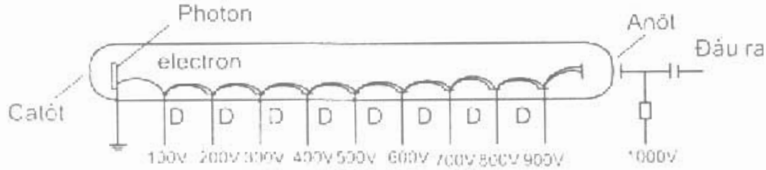
$$R_{AB}(t) = R_A(t)R_B(t)(2\tau)$$

$$= \frac{I^2S^2\tau}{2\pi^2\hbar^2\omega^2 l_A^2 l_B^2}[1 + \cos(\Delta\omega t)]\left\{1 + \cos\left[\Delta\omega\left(t + \frac{l_A - l_B}{c}\right)\right]\right\}$$

3010

Mô tả ngắn gọn hoạt động một ống nhân quang. Một ống như thế có thể được dùng để phân biệt hai photon có năng lượng khác nhau 50% không?

(Columbia)



Hình 3.13

Lời giải.

Một ống nhân quang là một dụng cụ làm tăng số electron từ một electron-quang điện lên năm hay sáu lần. Ngoài catôt phát quang ra, ống nhân quang còn có nhiều đinot (*dynode*) được duy trì ở các điện thế cao dần (xem H. 3.13). Thường thường, điện thế được tăng từ đinot này đến đinot khác theo các bước 100-vôn. Hiệu điện thế này gia tốc các electron sao cho khi chúng đập vào bề mặt của một đinot, mỗi electron làm cho ba hay bốn electron thứ cấp được bắn ra. Tiếp theo, các electron thứ cấp này lại được gia tốc đến đinot kế tiếp và quá trình cứ lặp lại như thế. Theo cách đó, một electron tại catôt được nhân lên thành một triệu electron tại anôt sau mười chặng.

Dòng anôt I tổng cộng, theo định nghĩa tỷ lệ với số trung bình $\bar{N}$ của các electron tới được anot, về trung bình cũng tỷ lệ với năng lượng E của photon tới. Số N của các electron thu được thoả mãn phân bố Poisson

$$P(N) = \bar{N}^N e^{-\bar{N}} / N!.$$

Đối với $\bar{N}$ lớn, phân bố Poisson gần đúng là phân bố Gauss:

$$P(N) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left[-\frac{(N-\bar{N})^2}{2\sigma^2}\right],\ \sigma = \sqrt{\bar{N}}\ .$$

Độ rộng-một nửa ΔN của phân bố này, (xem H. 3.14) được xác định bởi

$$P\left(\bar{N}+\frac{\Delta N}{2}\right)\Big/ P(\bar{N}) = \frac{1}{2} = \exp\left[-\frac{(\Delta N/2)^2}{2\sigma^2}\right],$$

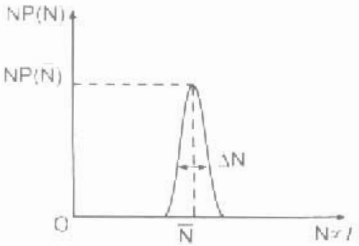
tức là,

$$\Delta N = \sqrt{2\ln 2.\sigma^2} = 2\sqrt{2\bar{N}\ln 2}.$$

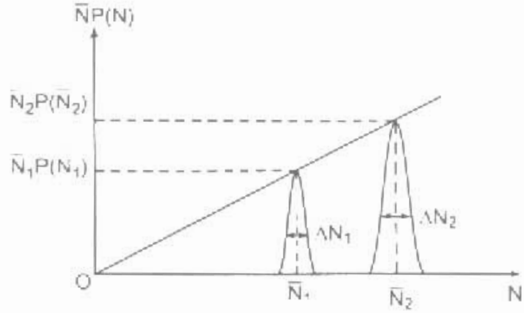
Với một ống có 10 đinot, mỗi cái có tỷ lệ phát thứ cấp là 5, thì $\bar{N} \sim 5^{10}$. Từ hình 3.15, ta thấy rằng để phân biệt hai photon với năng lượng E_1 và E_2, khác nhau 50% ta cần có

$$\frac{\Delta N}{N} \approx 2\sqrt{\frac{2\ln 2}{5^{10}}} \leq 50\%.$$

Vì điều này được thoả mãn, ta kết luận rằng một ống như thế có thể phân biệt được hai photon.



Hình 3.14



Hình 3.15

3011

a) Giải thích ý nghĩa của

i) độ rộng Doppler của vạch quang phổ.

ii) độ rộng tự nhiên của một vạch quang phổ.

b) Mô tả thí nghiệm để thực hiện các phép đo "phi Doppler" của các vạch quang phổ. (Không cần định lượng, nhưng câu trả lời của bạn phải làm rõ để chứng tỏ bạn hiểu những cơ sở vật lí có liên quan).

(Wisconsin)

Lời giải.

a) (i) Sự mở rộng vạch (do hiệu ứng) Doppler của các vạch quang phổ được gây bởi chuyển động nhiệt hỗn loạn của các nguyên tử phát xạ và tỷ lệ với $T^{1/2}$, với T là nhiệt độ tuyệt đối của nguồn đó.

(ii) Theo nguyên lí bất định Heisenberg, $\Delta t \cdot \Delta E \sim h$, một trạng thái kích thích có thời gian sống Δt có độ bất định về năng lượng là ΔE. Vạch phổ tương ứng $\nu = \frac{E}{h}$, do đó có độ rộng tự nhiên là $\Delta\nu = \frac{\Delta E}{h} \sim \frac{1}{\Delta t}$.

b) Có thể dùng phương pháp hấp thụ photon kép để thực hiện các phép đo "phi Doppler" của các vạch quang phổ. Một phân tử khi hấp thu hai photon $\hbar\omega_1(\vec{k}_1)$ và $\hbar\omega_2(\vec{k}_2)$ sẽ bị kích thích từ trạng thái i lên trạng thái f. Nếu phân tử đứng yên

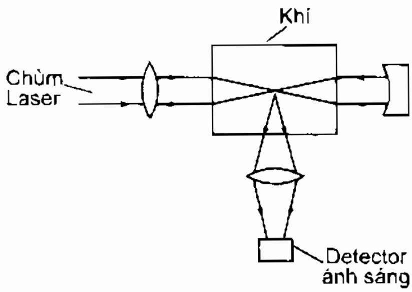
$$E_f - E_i = \hbar(\omega_1 + \omega_2),$$

Và sự dịch chuyển Doppler không xảy ra. Nếu phân tử chuyển động với vận tốc $\vec{v}$ thì

$$E_f - E_i = \hbar\left[\omega_1 + \omega_2 - \vec{v}\cdot\left(\vec{k}_1 + \vec{k}_2\right)\right]$$

và xảy ra dịch chuyển Doppler $\vec{v}\cdot\left(\vec{k}_1 + \vec{k}_2\right)$. Độ dịch này bằng không, nếu $\vec{k}_1 = -\vec{k}_2$.

Hai chùm ánh sáng laser cùng tần số ω chiếu ngược chiều nhau đến một mẫu chất khí như được biểu diễn trên hình 3.16. Sự hấp thụ hai photon xảy ra có thể phát hiện được bằng dịch chuyển huỳnh quang $f \to m$ (với m là một trạng thái trung gian).



Hình 3.16

3012

a) Xét sự phát xạ hay hấp thụ ánh sáng nhìn thấy bởi các phân tử của một khí nóng. Hãy rút ra công thức tính phân bố tần số $f(\nu)$ đối với một vạch phổ, có tần số trung tâm ν_0, do sự mở rộng Doppler. Giả sử khí là lí tưởng ở nhiệt độ T, có phân tử lượng là M.

Xét một bình chứa đầy khí acgon ở áp suất 10 Torr (1Tor = 1mmHg) và nhiệt độ 200^0 C. Bên trong bình có một mẩu natri nhỏ được đốt nóng sao cho bình có chứa một ít hơi natri. Quan sát vạch hấp thụ 5896Å của natri trong ánh sáng từ đèn dây tóc tungsten đi qua bình. Hãy xác định

b) Độ lớn của mở rộng Doppler của vạch đó.

c) Độ lớn của mở rộng do va chạm của vạch đó.

Ở đây giả sử rằng số nguyên tử natri là rất nhỏ so với số nguyên tử acgon. Hãy có những đánh giá hợp lí đối với những đại lượng mà bạn cần nhưng không được cho trong đề bài và biểu diễn đáp số về độ mở rộng vạch ra ăngtrôm (Å). Lấy nguyên tử lượng của natri là 23.

(*CUSPEA*)

Lời giải.

a) Độ dịch Doppler của tần số, nhìn theo phương z, được cho bởi

$$\nu = \nu_0\left(1+\frac{v_z}{c}\right)$$

tức là

$$v_z = c\left(\frac{\nu-\nu_0}{\nu_0}\right)$$

Vận tốc của các phân tử tuân theo phân bố Maxwell-Boltzmann

$$dP = \left(\frac{M}{2\pi RT}\right)^{3/2} e^{-\frac{Mv^2}{2RT}} dv_x dv_y dv_z$$

trong đó M là phân tử lượng của chất khí và R là hằng số khí. Lấy tích phân theo v_x và v_y từ 0 đến vô cùng, ta được phân bố đối với v_z

$$dP = \left(\frac{M}{2\pi RT}\right)^{1/2} e^{-\frac{Mv_z^2}{2RT}} dv_z$$

Từ đây suy ra phân bố tần số

$$dP = \frac{1}{\nu_0}\left(\frac{Mc^2}{2\pi RT}\right)^{1/2} e^{-Mc^2(\nu-\nu_0)^2/2RT\nu_0^2} d\nu$$

b) Phân bố tần số có dạng phân bố Gauss với độ lệch chuẩn σ được cho bởi

$$\sigma^2 = \frac{RT\nu_0^2}{Mc^2}$$

Suy ra

$$\Delta\nu \approx \sqrt{\frac{RT}{Mc^2}}\nu_0$$

hay

$$\Delta\lambda \approx \sqrt{\frac{RT}{Mc^2}}\lambda_0 = \sqrt{\frac{(8,3)(473)}{(40\times 10^{-3})}}\frac{\lambda_0}{(3\times 10^8)}$$

$$= 1,04\times 10^{-6}\lambda_0 = 1,04\times 10^{-6}\times 5896\,\text{Å} = 6,13\times 10^{-3}\,\text{Å}$$

c) Quãng đường tự do trung bình Λ được cho bởi

$$\Lambda = \frac{1}{n\sigma}$$

trong đó $\sigma = \pi r^2 \approx 3\times 10^{-20}$ m^2, với $r \approx 10^{-10}$ m. Số phân tử trong một đơn vị thể tích là

$$n = \frac{A}{V} = \frac{pA}{RT}$$

với A là số Avogadro. Do đó

$$n = \frac{(1,01\times 10^5\times 10/760)}{(8,3)(473)}\times 6,02\times 10^{23}$$

$$= 2,04\times 10^{23}\,m^{-3}$$

Thay vào biểu thức của quãng đường tự do trung bình, ta được $\Lambda = 1,7\times 10^{-4}$ m. Khoảng thời gian trung bình giữa hai va chạm liên tiếp là $\tau = \Lambda / v$, trong đó v là vận tốc trung bình của nguyên tử natri

$$v \approx \sqrt{\frac{RT}{M}} = \sqrt{\frac{(8,3)(473)}{23\times 10^{-3}}} \approx 413 ms^{-1}.$$

Do đó

$$\tau = \frac{1,7\times 10^{-4}}{413} = 4\times 10^{-7} s$$

Sự mở rộng vạch phổ do va chạm được xác định bởi tần số va chạm $\Delta v = 1/\tau$. Biểu diễn qua bước sóng, độ mở rộng này là

$$\Delta\lambda = \frac{c}{v^2}\Delta v = \frac{\lambda^2}{c\tau} = 3\times 10^{-5}\,\text{Å}$$

3013

Xét một khí các nguyên tử A ở nhiệt độ $T = 300\,\text{K}$, $p = 100\,\text{Torr}$. Khối lượng của mỗi nguyên tử là $4{,}2\times10^{-27}\,\text{kg}$ và hằng số Boltzmann là $1{,}4\times10^{-23}\,\text{J/K}$. Một số nguyên tử ở trạng thái kích thích A^* và phát xạ sóng điện từ có tần số υ.

a) Đánh giá độ mở rộng Doppler $\Delta\upsilon_D/\upsilon$.

b) Giả sử một tiết diện hợp lí đối với va chạm A^*-A và đánh giá độ mở rộng vạch do áp suất $\Delta\upsilon_P/\upsilon$ của vạch phổ đó.

(Wisconsin)

Lời giải.

a) $$\frac{\Delta\upsilon_D}{\upsilon} = \frac{1}{c}\sqrt{\frac{kT}{m}} = \frac{1}{3\times10^8}\sqrt{\frac{1{,}4\times10^{-23}\times300}{4{,}2\times10^{-27}}} = 3\times10^{-6}$$

b) Độ mở rộng vạch do áp suất $\Delta\upsilon_P$ là tần số va chạm của một phân tử chất khí

$$\Delta\upsilon_P = v/\Lambda$$

trong đó v là vận tốc trung bình của phân tử được tính bằng $\sqrt{kT/m}$ và Λ là quãng đường tự do trung bình của phân tử được tính theo công thức

$$\frac{1}{\pi r^2 n} = \frac{1}{\pi r^2}\sqrt{\frac{kT}{p}}$$

với $r \approx 10^{-10}\,\text{m}$ là bán kính của phân tử, n là số phân tử trong một đơn vị thể tích. Do đó

$$\Delta\upsilon_P = \pi r^2 n\sqrt{\frac{kT}{m}} = \frac{\pi p r^2}{\sqrt{kmT}} = 7{,}2\times10^7\,\text{Hz}$$

Đối với ánh sáng nhìn thấy $\lambda = 5000\,\text{Å}$ hay $\upsilon = 6\times10^{14}$ Hz, ta có

$$\Delta\upsilon_P/\upsilon = 1{,}2\times10^{-7}$$

3014

Một dịch chuyển electron trong các iôn ^{12}C phát ra photon có bước sóng ở gần $\lambda = 500\,\text{nm}$ ($h\upsilon = 2{,}5$ eV). Các iôn này ở trạng thái cân bằng nhiệt tại nhiệt độ $kT = 20$ eV, mật độ $n = 10^{24}/\text{m}^3$ và một từ trường không đều biến thiên tới $B = 1\,\text{T}$.

a) Thảo luận một cách ngắn gọn cơ chế mở rộng vạch đối với dịch chuyển nói ở trên để quan sát được độ rộng $\Delta\lambda$ lớn hơn nhiều so với trường hợp T, n, B có giá trị rất nhỏ.

b) Đối với một trong những cơ chế đó, hãy tính độ rộng $\Delta\lambda$ bằng cách dùng cỡ độ lớn để đánh giá các thông số cần thiết.

(Wisconsin)

Lời giải.

a) Chuyển động nhiệt của các iôn làm mở rộng các vạch phổ do hiệu ứng Doppler. Độ mở rộng này tỷ lệ với $\sqrt{T}$ với T là nhiệt độ tuyệt đối.

Những va chạm giữa các iôn cũng gây ra sự mở rộng vạch. Độ mở rộng này tỷ lệ với $\sqrt{T}$ và với mật độ iôn n hay áp suất p của chất khí.

Khi nguồn được đặt trong từ trường, vạch phổ cũng bị tách ra với độ dịch năng lượng tỷ lệ với cảm ứng từ B. Sự tách này được gọi hiệu ứng Zeeman. Nếu từ trường là không đều thì các độ dịch phổ sẽ biến thiên trong khoảng từ 0 đến một giá trị cực đại phụ thuộc vào B, tức là vạch phổ được mở rộng với độ rộng tỷ lệ với B.

b) Độ mở rộng Doppler được cho bởi

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{c}\sqrt{\frac{kT}{m}} = \frac{1}{3\times10^8}\left(\frac{20\times1,6\times10^{-19}}{12\times1,67\times10^{-27}}\right)^{1/2}$$

$$= \frac{1,3\times10^4}{3\times10^8} \approx 4\times10^{-5}$$

Do đó

$$\Delta\lambda = 5000\times4\times10^{-5} = 0,2\ \text{Å}.$$

Độ mở rộng do va chạm được cho bởi

$$\Delta\nu \approx r^2 n\sqrt{\frac{kT}{m}} = 10^{-20}\times10^{24}\times1,3\times10^4 = 1,3\times10^8\ s^{-1}$$

hay

$$\Delta\lambda = \lambda^2\Delta\nu/c \approx 0,1\ \text{Å}$$

Độ dịch năng lượng của một vạch phổ gây bởi hiệu ứng Zeeman được cho bởi

$$\Delta E = \mu_B B\Delta(Mg)$$

với M là số lượng tử từ, g là thừa số Landé và μ_B là manheton Bohr

$$\mu_B = \frac{eh}{4\pi mc} = 0{,}93 \times 10^{-23} A \cdot m^{-2}$$

Lấy $\Delta(Mg) \sim 1$ và với $B = 1$ T, ta có

$$\Delta E \approx 10^{-23} J$$

Suy ra

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2 \Delta\nu}{c} = \frac{\lambda^2 \Delta E}{hc} \approx \left(\frac{5000^2 \times 10^{-23}}{6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{18}} \right) = 0{,}1 \text{ Å}$$

3015

Trong những ngày không có mây và khí quyển tương đối ít bụi và độ ẩm thấp, bầu trời ở những vùng xa mặt trời có màu lam thẫm, đó là do sự tán xạ bởi các phân tử.

a) Nếu độ phân cực điện của phân tử nhờ điện trường $\vec{E}$ của photon phụ thuộc tần số, thì hãy chứng tỏ điều đó sẽ dẫn tới sự phụ thuộc bước sóng của tán xạ ánh sáng mặt trời tương tự như đã được quan sát. Hãy biện luận về sự phụ thuộc góc của tán xạ.

b) Nếu trong mỗi yếu tố thể tích ΔV của không khí có các cạnh là nhỏ so với λ, thì số phân tử trung bình là $N_0 \Delta V \gg 1$, và nếu không có thăng giáng xung quanh giá trị trung bình đó, hãy chứng tỏ rằng thực sự không có các kết quả tán xạ.

c) Nếu thăng giáng căn quân phương của số phân tử bằng căn bậc hai của số phân tử trung bình, hãy chứng minh rằng cường độ tán xạ thực sự có giá trị tựa như mỗi phân tử tán xạ độc lập không có sự giao thoa giữa các phân tử.

d) Khi độ ẩm tỷ đối xấp xỉ 100% người ta quan sát thấy sự tán xạ mạnh hơn (so với c) đối với các phân tử nước. Giải thích.

(Columbia)

Lời giải.

a) Điện trường $\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t)$ của ánh sáng tới làm cho các phân tử của không khí bị phân cực thành các lưỡng cực dao động, mỗi lưỡng cực có mômen $\vec{p}_0 \cos(\omega t)$ với

$$\vec{p}_0 = \frac{e^2}{m} \frac{\vec{E}_0}{(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

trong đó e và m là điện tích và khối lượng của electron, ω_0 là tần số đặc trưng. Đối với các tần số quang học, $\omega \ll \omega_0$, sao cho độ phân cực $e^2/m\omega_0^2$ độc lập với tần số.

Trường của bức xạ bị tán xạ bởi các lưỡng cực cảm ứng đó có biên độ tại khoảng cách r rất lớn từ lưỡng cực là

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \frac{\sin\theta}{r} p_0 \qquad (1)$$

trong đó θ là góc lập bởi $\vec{r}$ và định hướng của lưỡng cực. Cường độ tán xạ tương ứng là

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2}EH = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}E^2 = \frac{\omega^4}{32\pi^2\varepsilon_0 c^3}\left(\frac{\sin\theta}{r}\right)^2 p_0^2 \\ &= \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 mc^2}\right)\frac{\varepsilon_0 c E_0^2}{2}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^4\left(\frac{\sin\theta}{r}\right)^2 \qquad (2) \\ &= a^2 I_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^4\left(\frac{\sin\theta}{r}\right)^2 \end{aligned}$$

trong đó a là bán kính cổ điển của electron và I_0 là cường độ của ánh sáng tới. Như vậy, $I \propto \omega^4 \propto \frac{1}{\lambda^4}$. Suy ra, trong phổ ánh sáng nhìn thấy, thì ánh sáng tán xạ thiên về màu lam. Điều này giải thích tại sao bầu trời lại có màu lam nếu chúng ta không quan sát dọc theo đường ngắm tới mặt trời.

Cường độ tán xạ có phân bố góc $\sim \sin^2\theta$. Đối với ánh sáng tới không phân cực, giả sử hướng của nó dọc theo trục z và xét ánh sáng tán xạ theo hướng nằm trong xz lập với trục z một góc ψ, như được biểu diễn trên hình 3.17 (a). Tại một thời điểm nào đó, điện trường của ánh sáng tới $\vec{E}_0$ (và do đó cả lưỡng cực cảm ứng) lập một góc φ đối với trục x. Từ hình vẽ ta có

$$\cos\theta = \cos\varphi\sin\psi$$

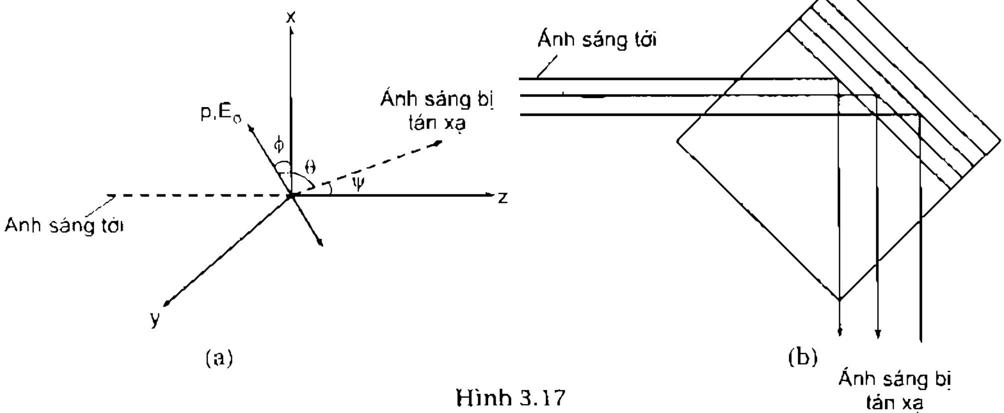
Vì φ là ngẫu nhiên, ta cần phải lấy trung bình $\sin^2\theta$ theo φ

$$\left\langle \sin^2\theta \right\rangle = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\left(1-\cos^2\varphi\sin^2\psi\right)d\varphi = \frac{1}{2}\left(1+\cos^2\psi\right)$$

Suy ra cường độ tán xạ đối với ánh sáng tới không phân cực có phân bố góc $\sim(1+\cos^2\psi)$. Cường độ tán xạ đạt cực đại theo hướng về phía trước và phía sau, còn đạt cực tiểu theo hướng ngang.

b) Xét một yếu tố thể tích nhỏ $\Delta V \ll \lambda^3 \ll r^3$. Ta hình dung thể tích này được tạo bởi q lớp như nhau, mỗi lớp có bề dày $\ll \lambda$, cách nhau $\sqrt{2}\lambda/q$ và lập với phương tới của ánh sáng một góc $\pi/4$ như trên hình 3.17 (b). Hiệu pha giữa hai lớp kề cận là

$$\Delta\delta = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{\sqrt{2}\lambda}{q}\sin\frac{\pi}{4} = \frac{2\pi}{q}$$



Hình 3.17

Giả sử trường của ánh sáng bị tán xạ theo hướng ψ bởi lớp thứ k là $E_k\cos(\omega t - \delta_k)$. Khi đó trường tổng hợp theo hướng này là

$$E = \sum_{k=1}^{q} E_k\cos(\omega t - \delta_k)$$

với

$$\delta_k - \delta_{k-1} = \frac{2\pi}{q}$$

Nếu các phân tử phân bố đều trong yếu tố thể tích trên và không có thăng giáng thì $E_1 = E_2 = \ldots = E_q$. Do đó

$$E = E_1\sum_{k=0}^{q-1}\cos\left(\omega t - \delta_1 + \frac{2k\pi}{q}\right)$$

$$= E_1\,\mathrm{Re}\left\{e^{i(\omega t-\delta_1)}\sum_{k=0}^{q-1} e^{i\frac{2k\pi}{q}}\right\}$$

$$= E_1\,\mathrm{Re}\left\{e^{i(\omega t-\delta_1)}\left(\frac{1-e^{i2\pi}}{1-e^{i\frac{2\pi}{q}}}\right)\right\} = 0$$

Nghĩa là hoàn toàn không có kết quả tán xạ thực sự.

c) Nếu số phân tử N trong mỗi lớp thăng giáng xung quanh giá trị trung bình $\overline{N}$, thì các giá trị E_k cũng thăng giáng xung quanh giá trị trung bình $\overline{E}$

$$E_k = \overline{E} + \Lambda_k$$

Khi đó

$$E = \sum_{k=1}^{q} \left(\overline{E} + \Lambda_k\right)\cos(\omega t - \delta_k)$$

$$= \sum_{k=1}^{q} \Delta_k \cos(\omega t - \delta_k)$$

sao cho

$$E^2 = \sum_{k=1}^{q} \Delta_k^2 \cos^2(\omega t - \delta_k)$$

$$+ \sum_{k=1}^{q} \sum_{l \neq k} \Delta_k \Delta_l \cos(\omega t - \delta_k)\cos(\omega t - \delta_l)$$

$$\approx \sum_{k=1}^{q} \Lambda_k^2 \cos(\omega t - \delta_k)$$

vì các Λ_k độc lập với nhau, và có thể dương hoặc âm.

Ta có thể viết

$$E^2 \approx q \geq \left\langle \Lambda_k^2 \right\rangle \cos^2(\omega t - \delta)$$

Từ phương trình (1), ta có

$$\Delta_k^2 = \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \left(\frac{\omega}{c}\right)^4 \left(\frac{\sin\theta}{r}\right)^2 (N_k - \overline{N})^2 p_0^2$$

Khi đó

$$\left\langle \Delta_k^2 \right\rangle = \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \left(\frac{\omega}{c}\right)^4 \left(\frac{\sin\theta}{r}\right)^2 \overline{N} p_0^2$$

Vì $\left\langle (N_k - \overline{N})^2 \right\rangle = \overline{N}$.

Suy ra

$$I = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\, q \left\langle \Lambda_k^2 \right\rangle$$

$$= \frac{\omega^4}{32\pi^2 \varepsilon_0 c^3} \left(\frac{\sin\theta}{r}\right)^2 q \overline{N} p_0^2$$

Bây giờ $q\overline{N}$ là tổng số phân tử trong ΔV. So sánh biểu thức trên với (2) cho thấy rằng cường độ tán xạ cũng sẽ là như thế nếu mỗi phân tử tán xạ một cách độc lập không có sự giao thoa giữa chúng.

Đối với khí loãng có thể tích V và N_0 là số phân tử trong một đơn vị thể tích, thì từ (2), ta có

$$I = \left(\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 mc^2}\right) I_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^4 \left(\frac{\sin\theta}{r}\right)^2 N_0 V$$

Nếu chiết suất của khí là n, thì dùng hệ thức Clausius – Mossoti

$$n^2 - 1 = \frac{N_0 e^2}{\varepsilon_0 m\omega_0^2}$$

ta tìm được

$$I = \pi^2 I_0 \frac{(n^2-1)^2}{\lambda^4} \frac{V}{N} \left(\frac{\sin\theta}{r}\right)^2$$

Đây chính là công thức Rayleigh nổi tiếng.

d) Khi độ ẩm tỉ đối là 100%, thì các phân tử nước ngưng tụ để tạo thành giọt. Nhưng hạt nhỏ đó tán xạ màu lam khi chùm ánh sáng trắng đi qua chúng. Hiện tượng đó được gọi là tán xạ Tyndall và mạnh hơn tán xạ Rayleigh nhiều.

3016

Ngày trời quang, bầu trời có màu lam là do

(a) sự phản xạ từ mặt nước biển

(b) các thăng giáng mật độ của khí quyển gây ra tán xạ

(c) hơi côban trong khí quyển

(CCT)

Lời giải.

Đáp án là b).

3017

Khí phân tử điển hình có dải hấp thụ trên toàn bộ phổ điện từ, từ các tia X cho tới sóng vô tuyến. Thông qua cấu trúc nguyên tử và phân tử, hãy chỉ ra các quá trình hấp thụ dẫn tới các dải hấp thụ trong các vùng phổ sau

a) tia X

b) tia tử ngoại và nhìn thấy

c) hồng ngoại gần

d) hồng ngoại xa và sóng vô tuyến

(Wisconsin)

Lời giải.

Khi các sóng điện từ đi qua một chất khí vào máy quang phổ, các bước sóng mà môi trường có thể phát xạ khi ở nhiệt độ đủ cao sẽ bị hấp thụ, sao cho phổ còn lại sẽ gồm các vạch tối trong các vùng tương ứng với những dịch chuyển từ thấp lên cao giữa các mức năng lượng của các nguyên tử và phân tử khí.

a) Tia X: làm dịch chuyển một electron từ lớp bên trong ra lớp bên ngoài của nguyên tử hoặc ra hẳn ngoài nguyên tử.

b) Tia tử ngoại và nhìn thấy: làm dịch chuyển giữa các trạng thái năng lượng của electron quĩ đạo trong nguyên tử.

c) Hồng ngoại gần: làm dịch chuyển giữa các mức dao động của phân tử.

d) Hồng ngoại xa và sóng vô tuyến: làm dịch chuyển giữa các mức quay của nguyên tử.

3018

Xét khí quyển của trái đất (gồm O_2, N_2, CO_2, N_2O, H_2O, O_3, v.v.). Hãy thảo luận xem khí quyển này là tương đối trong suốt hay hấp thụ mạnh mỗi vùng tần số sau đây. Nếu hấp thụ thì cho biết cơ chế hấp thụ nào là quan trọng nhất.

a) $10^8 - 10^9$ Hz

b) Hồng ngoại xa

c) Hồng ngoại gần

d) Ánh sáng nhìn thấy

e) Tử ngoại

f) Tia X

g) Tia γ

(Columbia)

Lời giải.

a) Các sóng vi ba có tần số trong khoảng $10^8 - 10^9$ Hz bị hấp thụ mạnh bởi O_2, H_2O, N_2O.

b) Ánh sáng hồng ngoại xa bị hấp thụ mạnh bởi CO_2.

c) Ánh sáng hồng ngoại gần bị hấp thụ mạnh bởi H_2O.

d) Ánh sáng tử ngoại bị hấp thụ mạnh bởi O_3.

e), f), g) Khí quyển là trong suốt đối với tia X, tia γ và ánh sáng nhìn thấy, mặc dù một số vạch phổ của ánh sáng nhìn thấy bị hấp thụ bởi O_3.

3019

Hãy giải thích các nguyên lí vật lí trong các hiện tượng sau:

a) bầu trời xanh

b) mặt trời đỏ vào lúc hoàng hôn

c) cầu vồng

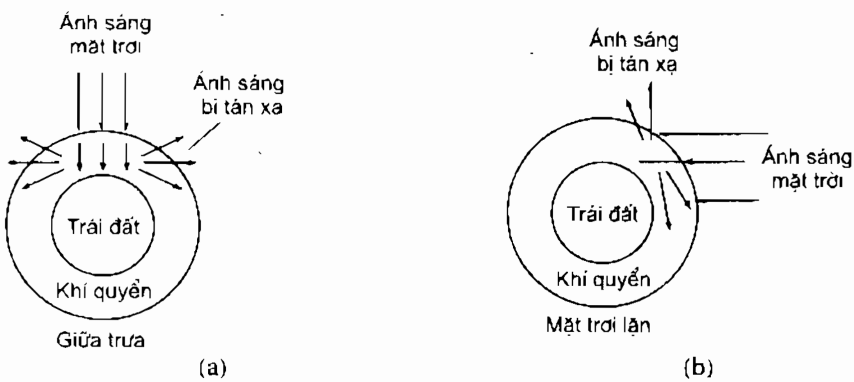
d) sự nhấp nháy của các vì sao

(Columbia)

Lời giải.

a) Cường độ bức xạ bị tán xạ bởi các phân tử không khí, theo công thức tán xạ Rayleigh, tỷ lệ nghịch với lũy thừa bậc 4 của bước sóng. Do đó, thành phần có bước sóng càng ngắn (màu lam) của ánh sáng mặt trời thuộc vùng nhìn thấy sẽ bị tán xạ càng mạnh và do đó bầu trời nhìn có màu lam khi quan sát không dọc theo đường phát sáng (xem H. 3.18 (a)).

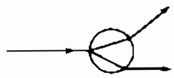
b) Vào lúc mặt trời lặn hay mọc, ánh sáng mặt trời đi qua lớp khí quyển dày hơn so với lúc giữa trưa, và các thành phần màu lam của nó bị tán xạ ra bên ngoài. Do đó, mặt trời nhìn có màu đỏ (xem H. 3.18 (b)).



Hình 3.18

c) Một lượng các hạt nước nhỏ vẫn còn lại trong khí quyển sau cơn mưa làm khúc xạ các tia sáng mặt trời. Vì chiết suất của nước phụ thuộc vào bước sóng, nên các thành phần của ánh sáng mặt trời có bước sóng (hay màu) khác nhau sẽ bị khúc xạ dưới những góc khác nhau làm xuất hiện cầu vồng (xem H. 3.19).

d) Sự thăng giáng ngẫu nhiên của mật độ không khí gây ra sự nhấp nháy của các vì sao.



Hình 3.19

3020

Ánh sáng từ Mặt Trời tới Trái Đất mất khoảng thời gian xấp xỉ bằng

(a) 1h

(b) 8 phút

(c) 8 s

(CCT)

Lời giải.

Đáp số là b)

3021

Ánh sáng Mặt Trời chiếu vuông góc với mặt nước. Nước có chiết suất là $n = 1,33$.

a)Tính hệ số phản xạ R và truyền qua T của năng lượng (R + T = 1).

b) Nếu năng thông tới là $1\text{kW}/\text{m}^2$, hãy xác định áp suất mà ánh nắng này nén lên mặt nước.

***Hãy thận trọng:** phần b) không thể suy ra từ phần a) một cách trực tiếp như nhiều bạn nghĩ!!!*

(UC, Berkeley)

Lời giải.

a) Theo công thức Fresnel, đối với tia tới vuông góc, ta có

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right)^2 = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 = 0,02$$

$$T = \frac{4n_1 n_2}{(n_2 + n_1)^2} = \frac{4n}{(n+1)^2} = 0,98$$

$$R + T = 1$$

b) Trên quan điểm của thuyết photon về ánh sáng thì áp suất của ánh sáng là kết quả của sự truyền động lượng (xung lượng) của ánh sáng tới cho vật bia. Nếu W là mật độ thông lượng tới và R là hệ số phản xạ thì độ biến thiên động lượng trên một đơn vị diện tích là

$$\frac{WR}{c} - \left(-\frac{W}{c}\right) = \frac{(1+R)W}{c}$$

Theo định nghĩa, đây chính là áp suất p của ánh sáng

$$p = \frac{(1+0,02)\times 1000}{3.10^8} = 3,34.10^{-6}\,N/m^2$$

3022

Một sóng điện từ $(\dot{E}_0, \dot{H}_0)$ truyền trong môi trường có chiết suất n_1 đập vào mặt phân cách phẳng với môi trường có chiết suất n_2. Góc lập bởi phương truyền sóng và pháp tuyến của mặt phân cách giữa hai môi trường là θ_1. Hãy rút ra các phương trình Fresnel tổng quát đối với các sóng phản xạ và khúc xạ. Từ đó suy ra định luật Brewster như một trường hợp riêng của các phương trình này.

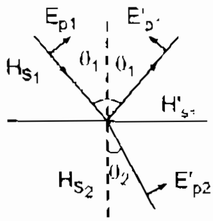
(Columbia)

Lời giải.

Nếu sóng điện từ tới là không phân cực thì nó có thể được coi như gồm hai thành phần: một thành phần phân cực thẳng với điện trường nằm trong mặt phẳng tới và một thành phần phân cực thẳng khác với điện trường vuông góc với mặt phẳng tới. Hãy xét thành phần thứ nhất và kí hiệu các véctơ điện trường và từ trường của các sóng tới, phản xạ và khúc xạ lần lượt là E_{p1}, E'_{p1}, E_{p2} và H_{s1}, H'_{s1}, H_{s2} (xem H.2.20). Các véctơ trường thoả mãn các điều kiện biên sau

$$E_{p1}\cos\theta_1 + E'_{p1}\cos\theta_1 = E_{p2}\cos\theta_2 \tag{1}$$

$$H_{s1} - H'_{s1} = H_{s2} \tag{2}$$



Hình 3.20

Đối với sóng điện từ phẳng, ta có:

$$\sqrt{\varepsilon_1}E_{p1} = \sqrt{\mu_1}H_{s1}$$

$$\sqrt{\varepsilon_1}E'_{p1} = \sqrt{\mu_1}H'_{s1}$$

$$\sqrt{\varepsilon_2}E_{p2} = \sqrt{\mu_1}H_{s2}$$

Giả sử môi trường không có tính sắt từ, ta có

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_0$$

Và do đó $n_1 = \sqrt{\dfrac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0}}$ và $n_2 = \sqrt{\dfrac{\varepsilon_2}{\varepsilon_0}}$

Phương trình (2) có thể viết lại như sau

$$n_1E_{p1} - n_1E'_{p1} = n_2E_{p2} \tag{3}$$

Kết hợp (1), (3) và định luật Snell (định luật khúc xạ ánh sáng) $n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2$, ta được

$$r_p \equiv \frac{E'_{p1}}{E_{p1}} = \frac{\tan(\theta_2-\theta_1)}{\tan(\theta_1+\theta_2)};$$

$$t_p \equiv \frac{E_{p2}}{E_{p1}} = \frac{2\sin\theta_2\cos\theta_1}{\sin(\theta_2+\theta_1)\cos(\theta_2-\theta_1)}$$

trong đó r_p và t_p lần lượt được gọi là hệ số phản xạ biên độ và hệ số truyền qua biên độ.

Tương tự, đối với thành phần tới có véctơ điện trường vuông góc với mặt phẳng tới, ta có

$$r_s \equiv \frac{E'_{s1}}{E_{s1}} = \frac{\sin(\theta_2 - \theta_1)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)};$$

$$t_p \equiv \frac{E_{s2}}{E_{s1}} = \frac{2\sin\theta_2 \cos\theta_1}{\sin(\theta_2 + \theta_1)}$$

Chú ý rằng $r_p = 0$ khi $\theta_1 + \theta_2 = \pi/2$, tức là khi

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \cos\theta_2$$

hay

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Đây chính là định luật Brewster, được phát biểu như sau: Khi góc tới bằng $\tan^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$, thì thành phần có $\vec{E}$ nằm trong mặt phẳng tới sẽ không bị phản xạ và ánh sáng không phân cực sau khi phản xạ sẽ trở thành ánh sáng phân cực thẳng.

3023

Hãy tính tỷ số cường độ của sóng phản xạ và sóng tới đối với sóng ánh sáng tới vuông góc với bề mặt của một khối nước sâu có chiết suất $n = 1{,}33$.

(Wisconsin)

Lời giải.

Đối với ánh sáng chiếu vuông góc với bề mặt phân cách, theo các phương trình Fresnel, ta có

$$R = \frac{I_r}{I_1} = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right)^2 = 0{,}02$$

3024

Trong khi một bể cá đang được đổ nước (với chiết suất n > 1), một con cá đứng yên nhìn qua mặt nước đang dâng lên theo phương thẳng đứng một nguồn sáng phát sóng phẳng đơn sắc dừng. Con cá sẽ nhìn thấy nguồn sáng dịch về phía xanh (có tần số cao hơn) hay về phía đỏ (có tần số thấp hơn) hay tần số của nguồn sáng hoàn toàn không thay đổi? Hãy giải thích rõ lập luận của bạn.

(Columbia)

Lời giải.

Vận tốc của ánh sáng truyền qua một môi trường chuyển động có chiết suất n với vận tốc V đối với một người quan sát theo Fresnel là

$$u = \frac{c}{n} - V\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

Công thức này đã được Fizeau kiểm chứng bằng thực nghiệm. Bước sóng của ánh sáng truyền qua nước là

$$\lambda_n = \frac{c}{n\nu}$$

Với c và ν lần lượt là vận tốc và tần số của ánh sáng trong chân không. Tần số của ánh sáng được nhìn bởi con cá là

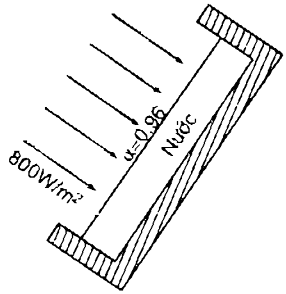
$$\nu' = \frac{u}{\lambda_n} = \nu - V\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)\left(\frac{n\nu}{c}\right)$$

Vì $n > 1$, $\nu' < \nu$, nên con cá thấy ánh sáng dịch về phía đỏ.

3025

Năng lượng mặt trời chiếu tới một tấm pin mặt trời dùng để đun nước với tốc độ 800 W/m^2 . Nếu tấm này có hệ số hấp thụ $= 0.96$ đối với mọi bước sóng và các cạnh của nó làm bằng chất cách nhiệt lí tưởng, hãy tính nhiệt độ cực đại của nước. Nếu hệ số hấp thụ giảm đi $1/2$, thì điều này ảnh hưởng đến nhiệt độ cuối cùng như thế nào?

(Wisconsin)



Hình 3.21

Lời giải.

Tại cân bằng, theo định luật Stefan – Boltzmann, ta có

$$\alpha\varphi = \sigma T^4$$

trong đó $\sigma = 5.67\times10^{-8}\,W/m^2K^4$ là hằng số Stefan, φ là mật độ năng thông của mặt trời, và α a là hệ số hấp thụ của tấm. Với

$$\sigma = 5.67\times10^{-8}\,W/m^2K^4$$

$$\alpha = 0.96$$

$$\varphi = 800\,W/m^2$$

ta nhận được nhiệt độ cực đại của nước là $T = 341\,K$.

Vì

$$T \propto \alpha^{1/4}$$

nên khi $\alpha' = \alpha/2$, ta có

$$T' = (1/2)^{1/4}\,T = 286\,K$$

Như vậy, nếu hệ số hấp thụ giảm đi 1/2 thì nhiệt độ cực đại của nước sẽ là 286 K.

3026

Đánh giá cường độ của ánh trăng trên mặt đất

a) Tính theo W/cm^2

b) Tính theo số photon $/(cm^2.s)$

(Columbia)

Lời giải.

a) Giả sử rằng ánh sáng mặt trời chiếu tới mặt trăng bị phản xạ hoàn toàn bởi bề mặt của mặt trăng và cường độ của ánh sáng mặt trời trên mặt trăng cũng giống như ở mặt đất, tức là bằng I - hằng số mặt trời:

$$I = 1.4 kW/m^2 .$$

Giả sử r là bán kính mặt trăng và R là khoảng cách giữa mặt trăng và trái đất. Thông lượng ánh sáng phản xạ từ mặt trăng trong một đơn vị góc khối là $2\pi r^2 I/2\pi$. Một đơn vị diện tích của mặt đất trương một góc khối là $1/R^2$ ở mặt trăng. Do đó cường độ của ánh trăng ở mặt đất là

$$I_m = I(r/R)^2 \approx 3\times 10^{-6} W/cm^2$$

ở đây ta đã lấy $r = 1{,}74\times 10^3 km$ $R = 3{,}8\times 10^5 km$.

b) Năng lượng của photon là $h\nu = hc/\lambda$. Đối với ánh sáng nhìn thấy, $\lambda \approx 5000$ Å và số photon ánh trăng tới cm^2 trong một giây ở mặt đất là

$$I_m/(hc/\lambda) \simeq 7{,}5\times 10^{12} cm^{-2}s^{-1}$$

3027

Đánh giá hiệu suất (= công suất nhìn thấy/công suất đầu vào) của hai trong số các nguồn sáng sau: ánh sáng khí, đèn dây đốt, điôt phát quang, đèn huỳnh quang, hồ quang thủy ngân/natri, laser.

(Columbia)

Lời giải.

Hiệu suất phát sáng của một nguồn sáng được đo bằng tỷ số của lượng năng lượng do nguồn phát ra trong một giây trong vùng bước sóng $4000 - 7600$ Å (là vùng được chấp nhận là ánh sáng nhìn thấy) và năng lượng toàn phần mà nguồn đó tiêu thụ trong một giây. Ngoài sự mất mát năng lượng do dẫn nhiệt và đối lưu, chỉ có một phần nhỏ (hiệu suất phát xạ) của năng lượng được phát xạ nằm trong vùng phổ nhìn thấy. Hiệu suất phát sáng của một số đèn thông dụng là

đèn khí: 0.001	hồ quang thủy ngân: 0.08
đèn dây đốt (tóc): 0.02	hồ quang natri 0.08
đèn huỳnh quang: 0.09	laser: 0.003 – 0.4

3028

Chọn các giá trị thích hợp trong số các giá trị cho dưới đây:

a) Góc giới hạn phản xạ toàn phần trong nước là

$$5^0,\ 20^0,\ 50^0,\ 80^0$$

b) Năng thông của ánh sáng mặt trời tại bán kính của quỹ đạo trái đất là

$$10^6,\ 10^2,\ 10^{-1},\ 10^{-5}\ (W/cm^2)$$

c) Có bao nhiêu electron đi qua sợi đốt của đèn dây tóc trong một giây?

$$10^{10},\ 10^{15},\ 10^{19},\ 10^{25}$$

(Columbia)

Lời giải.

a) Đối với nước, $n = 4/3$ do đó góc giới hạn phản xạ toàn phần trong nước là $i_{gh} = \sin^{-1}(1/n) = 48.6^0$. Chọn đáp số là 50^0.

b) $10^{-1}\,W/cm^2$

c) Công suất của đèn là $W = IU$. Với $W \approx 100$ oát, $U \approx 100V$ và $I \approx 1A$. Số electron chạy qua dây đốt trong một giây là

$$\frac{I}{e} = \frac{1}{1.6\times10^{-19}} \approx 10^{19}s^{-1}$$

3029

Hãy mô tả, kể cả các nguyên lí vật lí có liên quan, các hệ quang học sau:

a) Một thấu kính hoặc một gương để biến một nguồn sáng hình cầu đường kính 10cm, công suất 1000 nến thành chùm sáng công suất 10^6 nến.

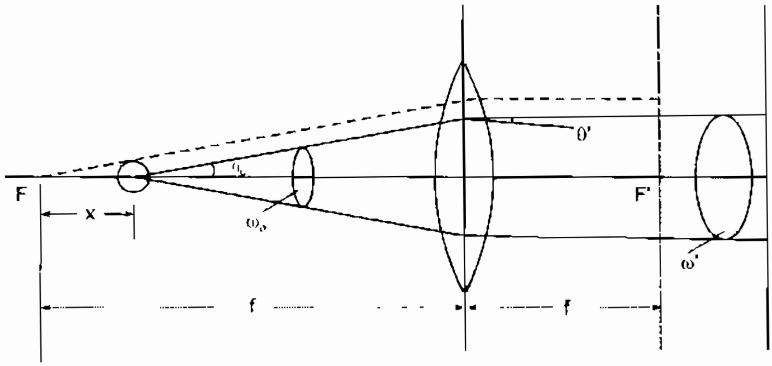
b) Một dụng cụ có khả năng tạo ánh sáng phân cực tròn và phân tích ánh sáng thành các thành phần phân cực tròn của nó. (Có thể coi ánh sáng là đơn sắc).

c) Một hệ (trong vùng phổ nhìn thấy hoặc vùng phổ vô tuyến) để xác định kích thước một nguồn phát xạ (sao) ở xa.

(Columbia)

Lời giải.

a) Một thấu kính hay một gương lõm có thể hội tụ ánh sáng từ một nguồn đặt ở gần tiêu điểm của nó thành một chùm song song như trên hình 3.22.



Hình 3.22

Lấy cường độ sáng trong một đơn vị góc khối của nguồn là i (= 1000 nến). Đặt nguồn ở gần một thấu kính hội tụ hoặc một gương cầu lõm, nó sẽ hội tụ ánh sáng trong góc khối ω_0 thành chùm trong góc khối ω'. Công suất của chùm này là

$$I\frac{\omega_0}{\omega'} = I\left(\frac{\theta_0}{\theta'}\right)^2 = 10^3\left(\frac{\theta_0}{\theta'}\right)^2 = 10^6$$

suy ra

$$\frac{\theta_0}{\theta'} = 31.6$$

với θ'/θ_0 là độ phóng đại góc. Từ hình vẽ ta thấy

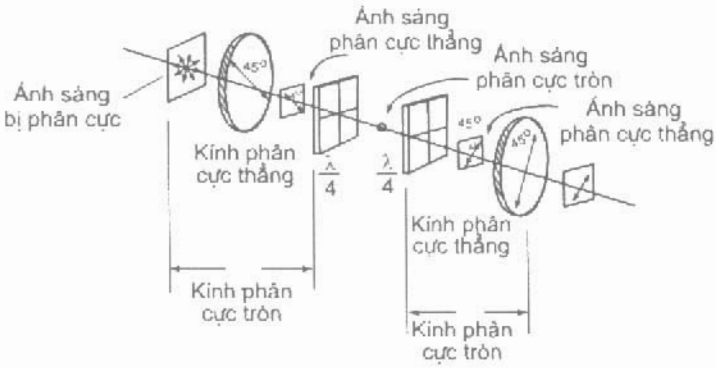
$$\theta' f = \theta_0 x$$

Do đó, ta có

$$x = \frac{f}{31,6}$$

x khoảng cách cần tìm giữa nguồn và tiêu điểm của thấu kính. Đặt nguồn ở bên trái hoặc bên phải của tiêu điểm sẽ tạo ra chùm sáng có công suất 10^6 nến.

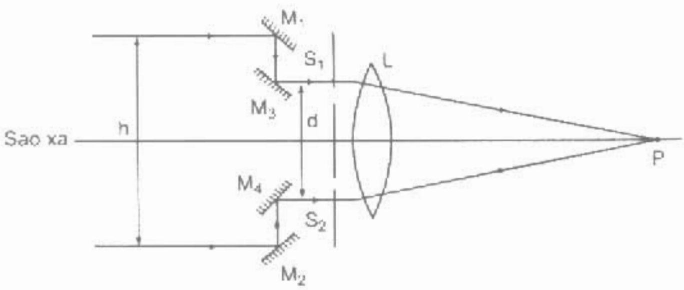
b)



Hình 3.23

Hình 3.23 cho thấy một bố trí thí nghiệm gồm một kính phân cực thẳng và một bản một phần tư sóng được đặt liên tiếp nhau trong chùm sáng, với trục quang học của chúng lập với nhau một góc 45°. Khi một chùm sáng không phân cực đi qua kính phân cực, nó trở thành ánh sáng phân cực thẳng. Vì véctơ cường độ điện trường của nó lập một góc 45^{0} đối với trục quang học của bản một phần tư sóng, nên ánh sáng ló ra sau bản đó là phân cực tròn. Ngoài ra, thí nghiệm còn gồm bản $-\dfrac{\lambda}{4}$ và một kính phân cực nữa dùng để phát hiện ánh sáng phân cực tròn. Sau khi đi qua bản $\lambda/4$, ánh sáng phân cực tròn trở thành ánh sáng phân cực thẳng. Quay kính phân cực ở sau bản này, cường độ ló ra sẽ thay đổi từ giá trị cực đại tới 0, chứng tỏ ánh sáng là phân cực thẳng.

c)



Hình. 3.24

Trong giao thoa kế thiên văn của Michelson (H.3.24) hai gương phẳng M_1 và M_2 phản xạ ánh sáng tới từ một ngôi sao xa đến hai gương M_3 và M_4 tương ứng. Các gương này lại phản xạ hai chùm sáng song song đó vào kính vật của một kính thiên văn qua hai khe hẹp S_1 và S_2 cách nhau một khoảng là d. Mỗi chùm tạo nên một ảnh của ngôi sao trên mặt phẳng tiêu của kính vật và các vân được nhìn thấy qua đĩa nhiễu xạ của ảnh tổng hợp. Độ nhìn rõ của vân phụ thuộc vào h. Khi h tăng sự biến mất lần đầu tiên của các vân xảy ra tại

$$h = 1.22\frac{\lambda}{\alpha}$$

Từ đây tính được kích thước góc α của đĩa sao.

3030

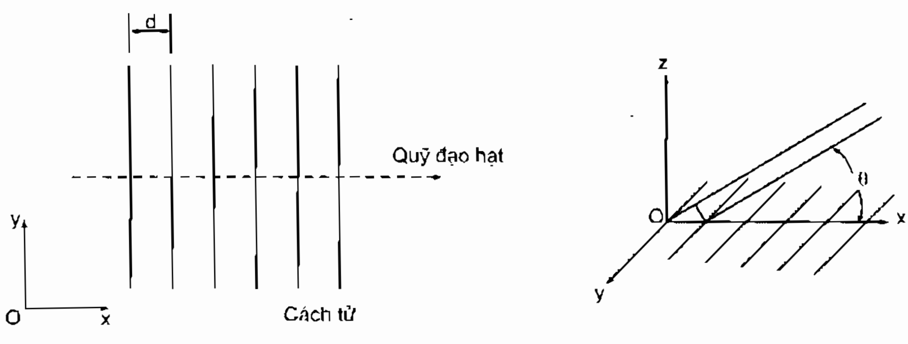
Một cách tử nhiễu xạ bằng kim loại.

Purcell (xem Tạp chí *Phys. Rev.* 92, 1069) đã chứng tỏ rằng khi có một chùm các hạt tích điện đi qua gần và song song với bề mặt của cách tử nhiễu xạ kim loại thì nó sẽ phát ra bức xạ điện từ.

Cho vận tốc của các hạt tích điện là v và hằng số cách tử là d. Chỉ xét ánh sáng được phát ra trong mặt phẳng vuông góc với cách tử và chứa quĩ đạo của các hạt.

a) Tần số của bức xạ được phát ra phụ thuộc vào hướng như thế nào?

b) Giả sử rằng cách tử kim loại được thay bằng một cách tử truyền qua, tức là một miếng thủy tinh trên đó có khắc các rãnh, vẫn cách nhau một khoảng là d. Điều này sẽ làm thay đổi bức xạ phát ra theo cách nào (nếu có)?



(a) (b)

Hình 3.25

Lời giải.

a) Các hạt tích điện đi qua gây cho các electron bên trong cách tử kim loại chuyển động. Chuyển động này được giới hạn bởi các sợi rất nhỏ của cách tử và các electron bị giảm tốc, gây ra bức xạ hãm. Xét bức xạ được phát ra trong mặt phẳng XOZ (xem H.3.25) lập với pháp tuyến cách tử một góc θ. Bức xạ được phát từ hai sợi kề nhau sẽ bị trễ một thời gian

$$\Delta t = \frac{d}{v} - \frac{d\cos\theta}{c}$$

Khi $c\Delta t = m\lambda$, trong đó m là một số nguyên, các bức xạ sẽ giao thoa tăng cường nhau. Do đó tần số được quan sát dưới góc θ được cho bởi

$$\lambda(\theta) = \frac{d}{m}\left(\frac{c}{v} - \cos\theta\right)$$

Đối với $m = 1$, $\lambda(\theta) = d\left(\frac{c}{v} - \cos\theta\right)$.

b) Vì các electron trong thuỷ tinh không thể chuyển động tự do nên bức xạ hãm không xảy ra, tức là không có bức xạ nào được phát ra.

Chịu trách nhiệm xuất bản:

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc **NGÔ TRẦN ÁI**
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập **NGUYỄN QUÝ THAO**

Tổ chức bản thảo và chịu trách nhiệm nội dung:

Phó Tổng biên tập **NGÔ ÁNH TUYẾT**
Giám đốc Công ty CP Sách dịch và Từ điển Giáo dục **NGUYỄN NHƯ Ý**

Biên tập lần đầu:
PHẠM VĂN THIỀU
PHẠM QUỐC CƯỜNG

Biên tập tái bản:
ĐẶNG VĂN SỬ

Xử lý bìa:
HOÀNG ANH TUẤN

Sửa bản in:
CÔNG TY CỔ PHẦN SÁCH DỊCH VÀ TỪ ĐIỂN GIÁO DỤC

Chế bản:
CÔNG TY CỔ PHẦN SÁCH DỊCH VÀ TỪ ĐIỂN GIÁO DỤC

BÀI TẬP VÀ LỜI GIẢI QUANG HỌC

Mã số: 8Z076z0-SBQ

In 1000 cuốn (QĐ: 3393/QĐ-GD), khổ 16 x 24cm.
tại Công ty cổ phần In Phúc Yên - Đường Trần Phú, TX. Phúc Yên
Số xuất bản: 114 - 2010 / CXB / 47 - 129 / GD
In xong và nộp lưu chiểu tháng 9 năm 2010

Bài tập và lời giải của các
Trường Đại học nổi tiếng Hoa Kỳ

Bộ sách gồm 7 cuốn:

Bài tập và lời giải

1. Cơ học
2. Cơ học lượng tử
3. Quang học
4. Nhiệt động lực học và vật lý thống kê
5. Điện từ học
6. Vật lý nguyên tử, hạt nhân và các hạt cơ bản
7. Vật lý chất rắn, thuyết tương đối và các vấn đề liên quan

Bộ sách tuyển chọn 2550 bài tập từ các bài thi kiểm tra chất lượng và kiểm tra đầu vào của các trường đại học nổi tiếng ở Hoa Kỳ, bao quát toàn diện các vấn đề của vật lý học. Các câu hỏi trải rộng trên nhiều chủ đề, có những bài vận dụng nhiều lĩnh vực khác nhau của vật lý, áp dụng linh hoạt nhiều nguyên lý và định luật vật lý, đưa ra các tình huống sát thực và cập nhật, không đòi hỏi nhiều các kỹ năng về toán.

Các lời giải được đưa ra để gợi ý sinh viên tự giải quyết vấn đề hơn là hướng dẫn thao tác từng bước.

Bộ sách là tài liệu tham khảo quý bổ trợ cho các sách giáo khoa, giáo trình chuyên ngành vật lý.

Công ty cổ phần Sách dịch và Từ điển Giáo dục
25 Hàn Thuyên - Hai Bà Trưng - Hà Nội
Tel/Fax: 04.39726508 - 04.38266359
www.tudiengiaoduc.com.vn
Mua sách tại: www.sach24.vn; www.vinabook.com

8934980009734

Giá: 29.000 đ