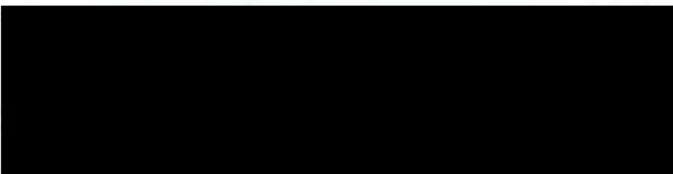


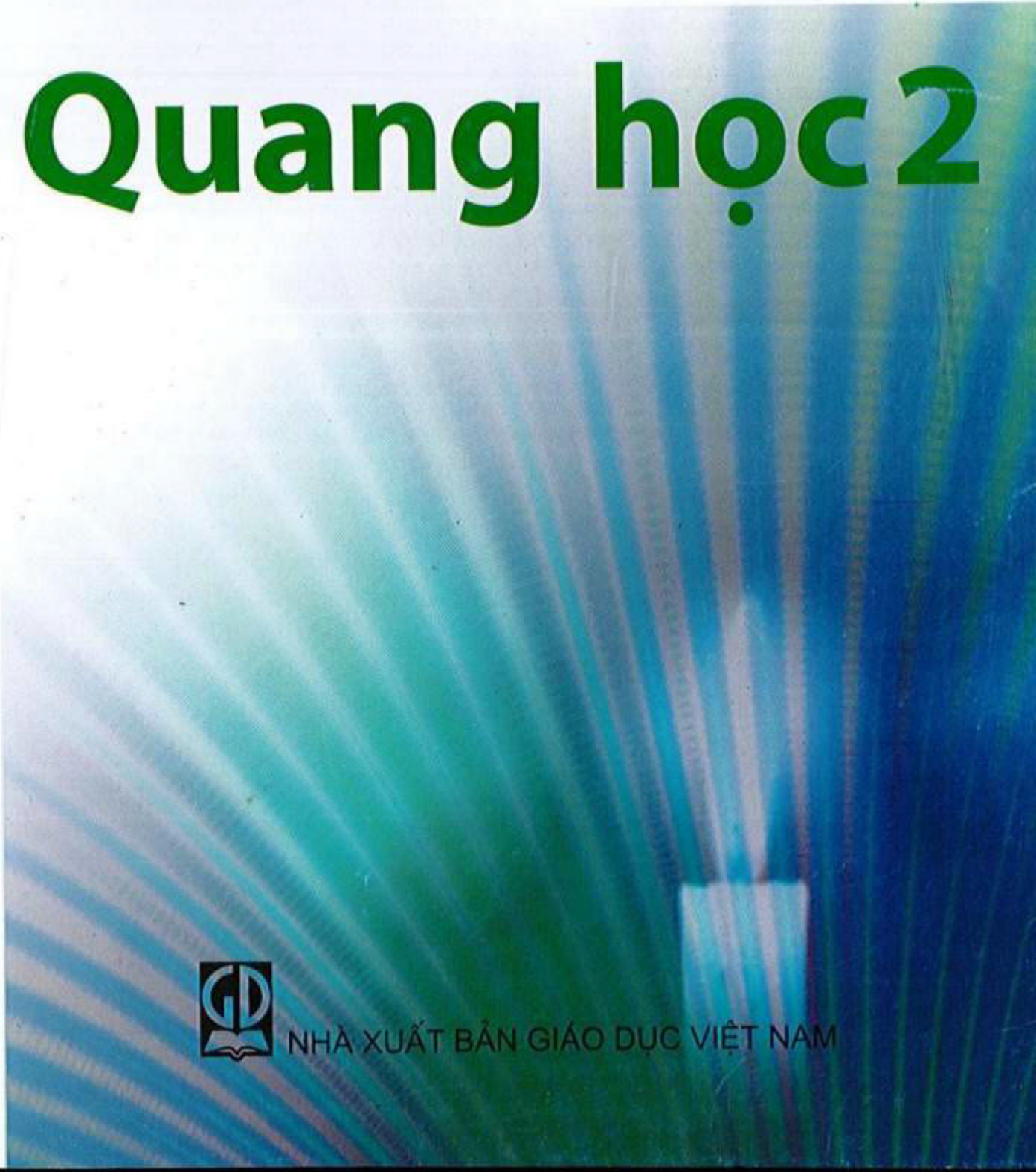


Vũ Quang



Bồi dưỡng
Học sinh giỏi Vật lí
Trung học phổ thông

Quang học 2



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

Vũ Quang.

Bồi dưỡng
Học sinh giỏi Vật lí
Trung học phổ thông

Quang học 2

(Tái bản lần thứ sáu)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

Lời nói đầu

Hiện nay, ở hầu hết các tỉnh thành phố trong cả nước và ở một vài trường đại học đã có các lớp trung học phổ thông chuyên Vật lí. Một phần số học sinh của các lớp này được bồi dưỡng theo chương trình chuyên của Bộ Giáo dục và Đào tạo, để chọn ra một đội tuyển tham dự kì thi học sinh giỏi Quốc gia. Nội dung dạy học trong các lớp chuyên phải bao gồm những kiến thức quy định trong cả hai chương trình : chuyên và nâng cao.

Trước mắt, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam mời một số tác giả đã quen với cả hai nội dung trên, viết những tài liệu bổ sung dưới dạng chuyên đề để phục vụ cho việc dạy học Vật lí ở các lớp trung học phổ thông chuyên Vật lí. Những sách này gọi là sách **Bồi dưỡng học sinh giỏi Vật lí Trung học phổ thông**. Sách bồi dưỡng trình bày những kiến thức trong chương trình chuyên mà chưa có trong sách giáo khoa, hoặc có nhưng chưa đủ sâu. Các giáo viên nên sử dụng đồng thời sách giáo khoa và sách bồi dưỡng để soạn giáo án, không nhất thiết phải dạy hết sách giáo khoa rồi mới dạy đến sách bồi dưỡng. Trong sách bồi dưỡng có thể có một vài phần được trình bày cao hơn một chút so với chương trình chuyên, dành cho các học sinh có năng lực trội hơn trong lớp chuyên.

Các tác giả đã thống nhất một số điều chung cho các sách bồi dưỡng như sau : Mỗi quyển sách bồi dưỡng chia ra thành từng phần gọi là chủ đề (hoặc chương) ; mỗi chủ đề bao gồm những kiến thức bổ sung cho một chương, hoặc một số chương của sách giáo khoa. Phần bổ sung để rèn luyện kĩ năng giải bài tập cho học sinh được coi trọng đặc biệt, có nhiều chương của sách giáo khoa không cần phải bổ sung về lí thuyết, nhưng rất cần có thêm những bài tập khó, ngang với trình độ thi học sinh giỏi Quốc gia.

Cuốn **Quang học 2** gồm các chủ đề :

Chủ đề 1. Các đại lượng trắc quang

Chủ đề 2. Sóng ánh sáng

Chủ đề 3. Lượng tử ánh sáng

Mỗi chủ đề gồm các phần :

– Phần lí thuyết : được biên soạn trên cơ sở học sinh đã được học chương trình nâng cao.

– Phần bài tập ví dụ : được xem như các dạng bài tập mẫu.

– Phần bài tập tự giải : gồm các bài tập thuộc các dạng cơ bản và nâng cao.

Cuối sách là phần hướng dẫn giải và đáp số các bài tập.

Hi vọng rằng, các sách bồi dưỡng sẽ giúp các bạn học sinh tự học, nắm vững kiến thức và rèn luyện kĩ năng giải toán vật lí, chuẩn bị tốt cho các kì thi chọn học sinh giỏi cấp tỉnh, thành phố và cấp Quốc gia.

Ngoài ra, cuốn sách cũng là tài liệu tham khảo bổ ích cho các giáo viên Vật lí, các sinh viên khoa Vật lí của các trường đại học Sư phạm...

Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam xin giới thiệu bộ sách Bồi dưỡng học sinh giỏi Vật lí Trung học phổ thông với bạn đọc. Mọi ý kiến góp ý cho sách xin gửi về : Ban Vật lí – Công ty cổ phần Dịch vụ xuất bản Giáo dục Hà Nội – Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, tầng 4, toà nhà Diamond Flower, số 48, đường Lê Văn Lương – Hà Nội.

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

Chủ đề 1

CÁC ĐẠI LƯỢNG TRẮC QUANG

A – LÝ THUYẾT VÀ BÀI TẬP VÍ DỤ

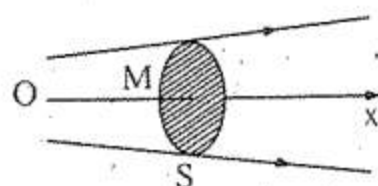
Các đại lượng trắc quang là các đại lượng dùng để đánh giá sự mạnh, yếu của một chùm sáng, của một nguồn phát sáng, của việc chiếu sáng một bề mặt ... Có hai hệ thống các đại lượng trắc quang. Một hệ thống đo đặc về phương diện năng lượng ; hệ thống kia đo đặc về phương diện tác dụng gây ra cảm giác sáng.

I – DÒNG QUANG NĂNG VÀ QUANG THÔNG

1. Dòng quang năng

Dòng ánh sáng mang năng lượng, có rất nhiều sự kiện thực nghiệm chứng tỏ điều đó. Chẳng hạn, ánh sáng Mặt Trời chiếu vào các vật sẽ làm cho chúng nóng lên.

Giả sử có một dòng ánh sáng truyền theo một phương Ox nào đó (Hình 1.1). Gọi S là một tiết diện thẳng của dòng (vuông góc với phương Ox) tại điểm M.



Hình 1.1

Dòng quang năng E qua diện tích S là đại lượng đo bằng lượng năng lượng mà dòng ánh sáng tải qua S trong một đơn vị thời gian.

Đơn vị của dòng quang năng là oát (W). Có thể nói dòng quang năng là công suất của dòng ánh sáng.

Do tính chất liên tục của dòng mà độ lớn dòng quang năng của một chùm sáng nhất định theo phương Ox sẽ không phụ thuộc vào vị trí của điểm M trên phương đó.

2. Hàm thị kiến

Cảm giác sáng mạnh hay yếu mà dòng ánh sáng có thể gây ra cho ta phụ thuộc không những vào độ lớn của dòng quang năng mà còn phụ thuộc vào màu sắc của chính dòng ánh sáng đó.

Mắt người nhạy nhất đối với ánh sáng lục (có bước sóng $0,555 \mu\text{m}$) và rất kém nhạy đối với ánh sáng đỏ và ánh sáng tím.

Các dòng ánh sáng hồng ngoại và tử ngoại, dù rất mạnh cũng không gây ra được cảm giác sáng.

Để đặc trưng cho độ nhạy của mắt đối với các ánh sáng có màu (bước sóng) khác nhau, người ta đưa ra đại lượng *hàm thị kiến* V_λ .

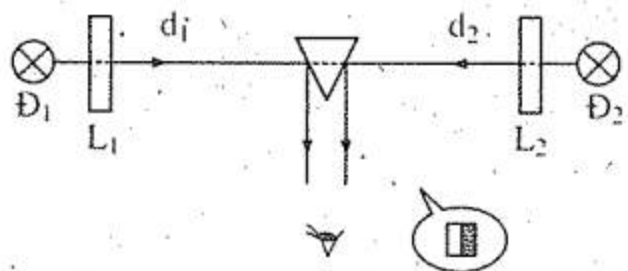
Hàm thị kiến $V_\lambda = f(\lambda)$ được xây dựng bằng con đường thực nghiệm.

Người ta quy ước lấy giá trị của hàm thị kiến V_λ ứng với ánh sáng lục là 1. Hàm thị kiến ứng với các ánh sáng màu khác sẽ có giá trị nhỏ hơn 1. Ta xác định các giá trị này bằng cách so sánh V_λ ứng với các ánh sáng có màu lân cận nhau, bắt đầu từ ánh sáng lục trở đi.

Một trong các phương pháp so sánh đơn giản các hàm V_λ là phương pháp quang kế dùng giấy.

Hai ngọn đèn giống nhau Đ_1 và Đ_2 chiếu hai chùm sáng qua hai kính lọc sắc L_1 và L_2 , cho hai ánh sáng đơn sắc, có bước sóng λ_1 và λ_2 rất gần nhau đi qua.

Hai chùm sáng đơn sắc này được rơi vào hai mặt bên của một lăng kính tam giác đều bằng giấy trắng. Người quan sát nhìn vào hai mặt này sẽ thấy có hai vùng sáng, tối khác nhau, ngăn cách nhau bằng một đường ranh giới rõ rệt (Hình 1.2).



Hình 1.2

Điều chỉnh khoảng cách d_1 và d_2 từ hai đèn đến "lăng kính giấy" sao cho hai vùng sáng đồng đều và đường ranh giới biến mất. Rõ ràng là mắt càng nhạy đối với ánh sáng màu nào thì khoảng cách từ ngọn đèn tương ứng đến lăng kính giấy càng xa. Dễ dàng chứng minh hệ thức sau :

$$\frac{V_{\lambda_1}}{V_{\lambda_2}} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2$$

Do d_1 và d_2 , ta có thể tính V_{λ_2} theo V_{λ_1}

Dưới đây là bảng các hàm thị kiến đối với một số ánh sáng đơn sắc :

Màu	Bước sóng (μm)	Hàm thị kiến V_λ
Đỏ	0,70	0,004
Da cam	0,65	0,107
Vàng	0,60	0,760
Lục	0,55	1,000
Lam	0,50	0,323
Chàm	0,45	0,038
Tím	0,40	0,0004

3. Quang thông

Quang thông là một đại lượng đặc trưng cho dòng ánh sáng vừa về mặt năng lượng, vừa về mặt gây ra cảm giác sáng.

Quang thông Φ_λ của một dòng ánh sáng đơn sắc qua một tiết diện S là đại lượng đo bằng tích của dòng quang năng E_λ qua tiết diện đó với hàm thị kiến V_λ ứng với ánh sáng đó.

$$\Phi_\lambda = k E_\lambda V_\lambda \quad (1.1)$$

k là một hệ số, xuất hiện do sự chuyển đổi từ đơn vị đo năng lượng sang đơn vị đo ánh sáng.

Đơn vị của quang thông là lumen, kí hiệu là lm.

Do việc các đơn vị đo năng lượng và các đơn vị đo ánh sáng được hình thành độc lập đối với nhau, nên hệ số k trong công thức (1.1) có giá trị khác với 1. Cụ thể là, đối với ánh sáng vàng ($0,555 \mu\text{m}$) dòng quang năng 1 W lại có quang thông 683 lm. Như vậy, hệ số k có giá trị là :

$$k = 683 \text{ lm/W}$$

Trị số $k = 683 \text{ lm/W}$ gọi là *đương lượng quang học của oát*.

Công thức (1.1) có thể viết là :

$$\Phi_\lambda (\text{lm}) = 683 V_\lambda E_\lambda (\text{W}) \quad (1.2)$$

Quang thông của dòng ánh sáng không đơn sắc bằng tổng quang thông của các dòng ánh sáng đơn sắc. Tuy nhiên, vẫn có thể đo một dòng quang năng (công suất) tổng E và tính một giá trị trung bình V của hàm thị kiến rồi suy ra quang thông tổng Φ của dòng ánh sáng đó :

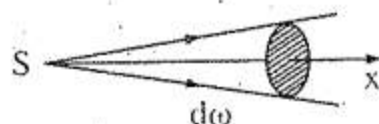
$$\Phi = 683 V E$$

II – CƯỜNG ĐỘ VÀ CƯỜNG ĐỘ SÁNG CỦA NGUỒN

Cường độ và cường độ sáng là các đại lượng đặc trưng cho sự phát sáng của một nguồn sáng theo một phương xác định.

1. Cường độ của một nguồn sáng điểm

Giả sử có một nguồn sáng điểm S phát ra một chùm sáng có công suất dE nằm trong phạm vi một góc khối $d\omega$ bao quanh phương Sx (Hình 1.3).



Hình 1.3

Cường độ của nguồn theo phương S_x là

$$I = \frac{dE}{d\omega} \quad (1.3)$$

Đơn vị của cường độ của nguồn là *oát trên stêradian* (W/sterad)

Chú ý

1. Stêradian là đơn vị đo góc khối. Nếu vẽ một mặt cầu tâm S , bán kính bằng một đơn vị (1m) thì chùm sáng mà ta xét sẽ cắt mặt cầu đó theo một hình có diện tích ds . Số đo của diện tích này đúng bằng số đo góc khối của chùm sáng :

$$ds (m^2) = d\omega (\text{stêradian})$$

2. Nguồn sáng điểm là một nguồn sáng có kích thước rất nhỏ so với khoảng cách tới vật bị chiếu sáng.

3. Cần phân biệt cường độ của nguồn với dòng quang năng và cường độ của chùm sáng. Trở lại hình 1.1, cường độ của chùm sáng tại điểm M là

$$I_M = \frac{E}{S}, \text{ với điều kiện } S \text{ là một diện tích đủ nhỏ.}$$

Đơn vị của cường độ chùm sáng là oát trên mét vuông (W/m^2).

2. Cường độ sáng của nguồn

Trở lại hình 1.3, gọi $d\Phi$ là quang thông mà nguồn phát ra theo phương S_x trong phạm vi góc khối $d\omega$.

Cường độ sáng của nguồn theo phương S_x sẽ là

$$I_\Phi = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (1.4)$$

Đơn vị của cường độ sáng là *candela* (cd). Candela là một đơn vị vật lí cơ bản. Candela là cường độ của một nguồn sáng đặc biệt có dạng một cái ống đựng platin ở nhiệt độ nóng chảy.

Từ công thức (1.4), ta suy ra :

$$d\Phi = I_\Phi d\omega$$

Ta có định nghĩa đơn vị lumen như sau : *lumen là quang thông do một nguồn điểm đẳng hướng, có cường độ sáng 1 candela, phát ra trong phạm vi một góc khối 1 stêradian.*

Nguồn điểm đẳng hướng là nguồn điểm có cường độ sáng như nhau theo mọi phương.

III – ĐỘ TRUNG NĂNG LƯỢNG VÀ ĐỘ TRUNG SÁNG

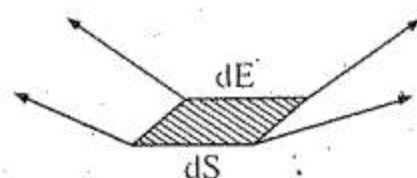
Độ trung là một đại lượng đặc trưng cho sự phát sáng của một mặt.

1. Độ trung năng lượng

Giả sử có một mặt có diện tích dS phát ra một dòng quang năng dE theo đủ mọi phương (Hình 1.4).

Độ trung năng lượng của mặt dS sẽ là

$$R = \frac{dE}{dS} \quad (1.5)$$



Hình 1.4

Đơn vị độ trung năng lượng là *oát trên mét vuông* (W/m^2).

2. Độ trung sáng

Gọi $d\Phi$ là quang thông mà mặt dS phát ra theo đủ mọi phương.

Độ trung sáng của mặt dS sẽ là

$$R_{\Phi} = \frac{d\Phi}{dS} \quad (1.6)$$

Đơn vị độ trung sáng là *lumen trên mét vuông* (lm/m^2).

IV – ĐỘ CHÓI NĂNG LƯỢNG VÀ ĐỘ CHÓI SÁNG

Độ chói là đại lượng đặc trưng cho sự phát sáng mạnh, yếu của một mặt theo một phương xác định.

1. Độ chói năng lượng

Giả sử có một mặt có diện tích dS phát ra một dòng quang năng dE theo phương Ox , trong phạm vi một góc khối $d\omega$ (Hình 1.5).

Gọi dS_n là hình chiếu của mặt dS lên mặt phẳng vuông góc với phương Ox :

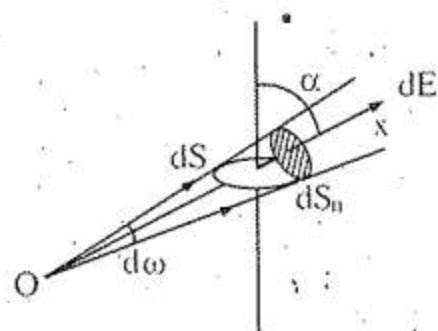
$$dS_n = dS \cdot \cos \alpha$$

α là góc tạo bởi phương Ox và pháp tuyến với mặt dS .

Rõ ràng là dE tỉ lệ với $d\omega$ và dS_n :

$$dE = B_{\alpha} dS_n d\omega$$

Hệ số B_{α} gọi là *độ chói năng lượng* của mặt dS theo phương Ox :



Hình 1.5

$$B_{\alpha} = \frac{dE}{dS_n \cdot d\omega} = \frac{dE}{d\omega \cdot dS \cdot \cos\alpha} \quad (1.7)$$

Đơn vị đo chói năng lượng là *oát trên stêradian, mét vuông* (W/sterad.m²)

2. Độ chói sáng

Gọi $d\Phi$ là quang thông mà mặt dS phát ra theo phương Ox , trong phạm vi góc khối $d\omega$.

Độ chói sáng của mặt dS theo phương Ox sẽ là :

$$B_{\Phi x} = \frac{d\Phi}{dS_n \cdot d\omega} = \frac{d\Phi}{d\omega \cdot dS \cdot \cos\alpha} \quad (1.8)$$

Đơn vị đo độ chói sáng là nit. Độ chói sáng càng lớn ta càng thấy mặt dS sáng chói.

Nếu một mặt phát sáng có độ chói B không phụ thuộc vào phương phát sáng, thì người ta nói nó phát sáng tuân theo định luật Lam-be (Lambert). Mặt Trời có thể coi là một vật phát sáng tuân theo định luật này.

Độ chói sáng của đĩa Mặt Trời, nhìn qua khí quyển : $1,47 \cdot 10^9$ nit

Độ chói sáng của đĩa Mặt Trăng, nhìn qua khí quyển : $2,5 \cdot 10^3$ nit

Độ chói sáng của hốc hồ quang điện : $1,5 \cdot 10^8$ nit

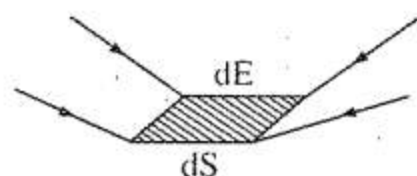
Độ chói sáng của dây tóc bóng đèn sợi đốt 100 W : $4,5 \cdot 10^6$ nit

V – ĐỘ RỌI NĂNG LƯỢNG VÀ ĐỘ RỌI SÁNG

Độ rọi là đại lượng đặc trưng cho sự chiếu sáng một bề mặt.

1. Độ rọi năng lượng

Giả sử có một mặt có diện tích dS được rọi bởi một dòng quang năng dE từ đủ mọi phương chiếu tới (Hình 1.6).



Hình 1.6

$$\text{Độ rọi năng lượng của mặt } dS \text{ sẽ là : } A = \frac{dE}{dS} \quad (1.9)$$

Đơn vị của độ rọi năng lượng cũng là oát trên mét vuông (W/m²).

2. Độ rọi sáng

Gọi $d\Phi$ là quang thông rọi đến mặt dS từ đủ mọi phương.

Độ rọi sáng của mặt dS sẽ là

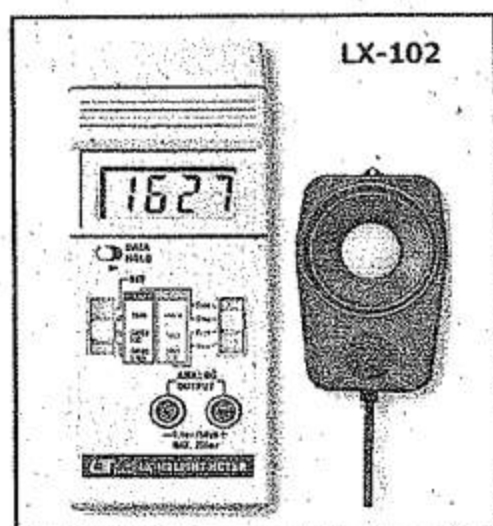
$$A_{\Phi} = \frac{d\Phi}{dS} \quad (1.10)$$

Độ rọi sáng được đo bằng quang thông chiếu trên một đơn vị diện tích.

Đơn vị độ rọi sáng là *lux*.

Độ rọi sáng trên mặt đất lúc Mặt Trời ở đỉnh đầu, về mùa hè : 10^5 lux ; Độ rọi sáng trên mặt đất đêm trăng rằm, quang mây : $2,5 \cdot 10^{-2}$ lux ; Độ rọi sáng cần thiết để đọc sách : 30 lux ; Độ rọi sáng cần thiết để làm những công việc tinh vi : 100 lux.

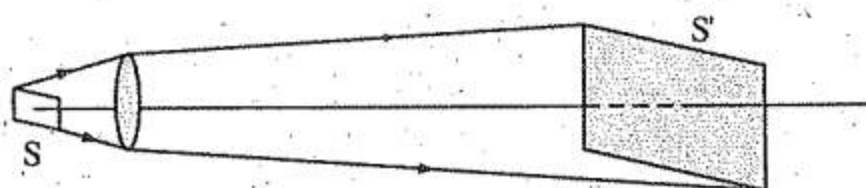
Thiết bị đo độ rọi gọi là lux-kế. Lux-kế thực chất là một pin quang điện được gắn với một micro-ampe kế (Hình 1.7).



Hình 1.7

VI – ĐỘ RỌI CỦA ẢNH

Giả sử có một vật phẳng, có diện tích S và độ chói B , đặt vuông góc với trục chính và gần tiêu diện của vật kính một đèn chiếu (Hình 1.8).



Hình 1.8

Qua vật kính, ta thu được một ảnh thật có diện tích S' , trên một màn ảnh.

Ta hãy tính độ rọi A của ảnh này.

Quang thông Φ mà vật gửi qua vật kính là $\Phi = BS\omega$.

Có thể tính gần đúng ω như sau : $\omega = \frac{\pi D^2}{4d^2}$.

D là đường kính của vật kính ; d là khoảng cách từ vật đến vật kính.

Do đó : $\Phi = \frac{\pi BD^2 S}{4d^2}$

Quang thông này bị mất một phần khi qua vật kính. Phần còn lại, chiếu đến ảnh là :

$$\Phi' = a \Phi \text{ (với } a < 1)$$

Độ rọi trên ảnh sẽ là :

$$A = \frac{\Phi'}{S'} = \frac{\pi a B D^2 S}{4 d^2 S'}$$

Chú ý rằng $\frac{S}{S'} = \left(\frac{1}{k}\right)^2$ với k là số phóng đại của ảnh. Ngoài ra, có thể lấy d xấp xỉ bằng tiêu cự f của vật kính. Kết quả, ta được :

$$A = \frac{a \pi}{4 k^2} \left(\frac{D}{f}\right)^2 B$$

Tỉ số $\frac{D}{f}$ gọi là *khẩu độ (độ mở) tỉ đối của vật kính*.

Như vậy, *độ rọi của ảnh tỉ lệ thuận với độ chói của vật, với bình phương của khẩu độ tỉ đối của kính và tỉ lệ nghịch với bình phương của số phóng đại của ảnh*. Kết quả này hoàn toàn dễ hiểu.

Có thể đây là một điều khó hiểu !

Ta đã biết, trong âm học, "độ to" không phải là một đại lượng vật lí mà chỉ là một đặc trưng sinh lí của âm. Độ to không "tăng" tỉ lệ với cường độ âm, mà "tăng" gần như tỉ lệ với mức cường độ âm (đại lượng đo bằng loga thập phân của cường độ âm).

Trong quang học cũng vậy, độ sáng của một dòng ánh sáng hay một nguồn sáng mà ta cảm nhận được chỉ là một đặc trưng sinh lí của dòng ánh sáng hay nguồn sáng đó. Tăng cường độ sáng lên gấp đôi thì chưa chắc cảm giác về độ sáng đã tăng lên gấp đôi.

Vê-bơ và Fét-xơ (Weber & Fechner) đã thiết lập được định luật sau đây về tác dụng sinh lí của ánh sáng : *Độ gia tăng tối thiểu của cường độ sáng (ΔI) đủ để con mắt nhận ra sự thay đổi của cường độ sáng (I) lại tỉ lệ thuận với chính cường độ sáng :*

$$\Delta I = k I \text{ hay } k = \frac{\Delta I}{I} \quad (1.11)$$

k gọi là *độ nhạy của mắt đối với sự tương phản*.

Ta có thể đặt $k = \chi dL$

dL là "độ gia tăng" tối thiểu của "mức độ sáng". χ là hệ số xuất hiện trong việc chuyển đổi đơn vị. Công thức (1.11) có thể viết dưới dạng:

$$\chi dL = \frac{dI}{I} \text{ hay } \chi \int_{L_0}^L dL = \int_{I_0}^I \frac{dI}{I}$$

$$\chi(L - L_0) = \ln \frac{I}{I_0}$$

Có thể lấy $L_0 = 0$, tức là coi "mức độ sáng" ứng với cường độ sáng nhỏ nhất I_0 , vừa đủ để mắt thấy có ánh sáng là bằng 0. Mặt khác, có thể chuyển dễ dàng từ loga nêpe sang loga thập phân. Ta sẽ được:

$$L = \frac{2,30}{\chi} \lg \frac{I}{I_0}$$

Có thể chọn đơn vị của L một cách thích hợp để giá trị của hệ số bằng 1. Cuối cùng ta được:

$$L = \lg \frac{I}{I_0} \quad (1.12)$$

Trong âm học, người ta gọi đại lượng L là mức cường độ âm và có đơn vị là Ben. Trong trắc quang học, đại lượng này không có tên và đơn vị riêng.

Định luật Ве-бo Fét-xơ được thiết lập đầu tiên trong trắc quang học. Sau đó, người ta thấy nó có tính chất tổng quát đối với mọi tác dụng vật lí gây ra các kích thích sinh lí, nên đã mở rộng sang phạm vi âm học. Em có thể dễ dàng xây dựng một phương án thực nghiệm để nghiệm lại định luật này bằng cách sử dụng lăng kính giấy.

VII – BÀI TẬP VÍ DỤ

Ví dụ 1. Một bóng đèn điện, coi như một nguồn điểm đẳng hướng, có cường độ sáng 100 cd.

a) Tính quang thông toàn phần mà bóng đèn đó phát ra.

b) Bóng đèn được treo ở độ cao 4 m so với sàn nhà. Tính độ rọi tại điểm trên mặt sàn, nằm cách chân đường thẳng đứng hạ từ bóng đèn xuống một khoảng 4 m.

Giải

a) Quang thông mà bóng đèn đó phát ra trong phạm vi góc khối $d\omega$ là

$$d\Phi = I d\omega; \text{ với } I = 100 \text{ cd}$$

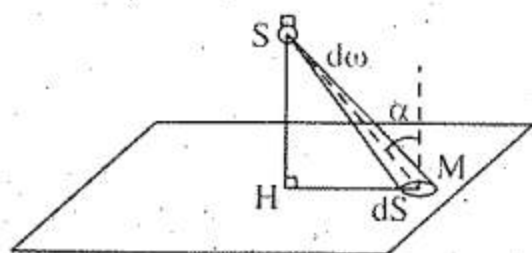
Quang thông toàn phần mà bóng đèn đó phát ra là

$$\Phi = \int d\Phi = I \int d\omega = I\Omega$$

Ω là góc khối mà nguồn sáng nhìn toàn bộ không gian. Góc khối này có số đo bằng số đo diện tích của một mặt cầu bán kính 1m : $\Omega = 4\pi$ steradian.

Như vậy, $\Phi = 4\pi I = 400\pi \text{ lm} \approx 1257 \text{ lm}$

b) Gọi S là ngọn đèn ; H là chân của đường thẳng đứng hạ từ S xuống mặt sàn ; M là điểm trên mặt sàn, nằm cách H một khoảng là 4m (Hình 1.9). Ta hãy tính góc khối $d\omega$ của dòng ánh sáng mà nguồn S gửi đến một



Hình 1.9

mặt nhỏ có diện tích dS , nằm trên mặt sàn tại điểm M. Muốn thế, ta hãy tính diện tích hình chiếu của dS lên trên mặt phẳng vuông góc với tia SM, tại M :

$$dS_n = dS \cos \alpha$$

α là góc hợp bởi tia SM và pháp tuyến với mặt sàn tại M.

Góc khối $d\omega$ sẽ có biểu thức là

$$d\omega = \frac{dS_n}{(SM)^2} = \frac{dS \cos \alpha}{(SM)^2}$$

Vì tam giác SHM là tam giác vuông cân nên : $\alpha = 45^\circ$ và $SM = SH\sqrt{2}$

Kết quả ta được : $d\omega = \frac{\sqrt{2}}{64} dS$ (sterad).

Quang thông mà nguồn S gửi đến mặt dS là

$$d\Phi = Id\omega = \frac{100\sqrt{2}}{64} dS \text{ (lm)}$$

Cuối cùng, độ rọi trên mặt dS là

$$A = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{100\sqrt{2}}{64} \text{ lux} \approx 2,21 \text{ (lux)}$$

Ví dụ 2. Độ chói của dây tóc bóng đèn 100 W là $4,5 \cdot 10^6$ nit. Coi dây tóc như có dạng hình trụ dài 15 cm, đường kính 0,05 mm.

a) Tính quang thông toàn phần mà dây tóc phát ra.

b) Tính hiệu suất của bóng đèn, nếu lấy giá trị trung bình của hàm thị kiến là $V = 0,6$.

Giải

a) Ta phải coi mỗi diện tích nhỏ dS của dây tóc phát ra một quang thông $d\Phi$ trong phạm vi một góc khối bằng 2π (nửa không gian) :

$$d\Phi = 2\pi B \cdot dS$$

Quang thông toàn phần do sợi dây tóc phát ra là

$$\Phi = 2\pi BS = 2\pi B \cdot 2\pi r \cdot l = 4\pi^2 B \cdot r \cdot l$$

với $B = 4,5 \cdot 10^6$ nit ; $r = 0,025 \text{ mm} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ m}$; $l = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$

Kết quả $\Phi \approx 666,2 \text{ lm}$.

b) Dòng quang năng ứng với quang thông nói trên :

$$E = \frac{666,2}{0,6683} \approx 1,63 \text{ W}$$

Hiệu suất của bóng đèn là : $H = \frac{1,63}{100} = 1,63 \%$.

Số liệu này phù hợp với số liệu cho trong các sách Quang học đại cương. Như vậy, hiệu suất của các bóng đèn dây tóc rất thấp. Chỉ có một phần rất nhỏ năng lượng mà dòng điện cung cấp cho bóng đèn được chuyển hoá thành năng lượng của dòng ánh sáng nhìn thấy được. Các đèn huỳnh quang có hiệu suất cao hơn các đèn dây tóc đến hàng chục lần.

Ví dụ 3. Một nguồn sáng có dạng một đĩa sáng có đường kính 40 cm, treo ở độ cao 4 m so với mặt sàn. Độ rọi tại một điểm M trên mặt sàn, nằm cách chân H của đường thẳng đứng hạ từ tâm O của nguồn sáng xuống 3 m, là 2 lux.

a) Tính độ chói của nguồn sáng. Coi độ chói của nguồn theo mọi phương là như nhau.

b) Tính độ trung của nguồn sáng.

Giải

a) Ta hãy tính quang thông Φ do nguồn sáng gửi đến một diện tích ds rất nhỏ trên mặt sàn, chứa điểm M. Trước hết, ta hãy tính quang thông $d\Phi$, do một phần rất nhỏ dS của nguồn gửi đến ds :

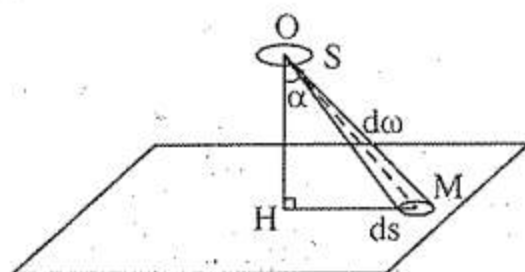
$$d\Phi = B \cdot dS \cdot \cos\alpha \cdot d\omega$$

Theo hình 1.10, ta có : $\cos\alpha = \frac{OH}{OM} = \frac{4}{5} = 0,8$

$$OH = 4 \text{ m} ; OM = 5 \text{ m}.$$

Với dS đủ nhỏ, ta có thể coi góc khối $d\omega$ bằng góc khối có đỉnh ở O và mặt bên tựa lên chu vi của mặt ds :

$$d\omega = \frac{ds \cdot \cos \alpha}{(OM)^2} = \frac{0,8 \cdot ds}{5^2} = 0,032 \cdot ds$$



Hình 1.10

$$\text{Vậy } d\Phi = 0,0256B \cdot dS \cdot ds$$

Quang thông Φ sẽ là:

$$\Phi = \int d\Phi = 0,0256B \cdot ds \int dS = 0,0256B \cdot S \cdot ds$$

$$\text{Với } S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0,4)^2}{4} = 4\pi \cdot 10^{-2} \approx 0,125 \text{ m}^2$$

$$\text{Ta có : } \Phi' = 3,2 \cdot 10^{-3} B \cdot ds$$

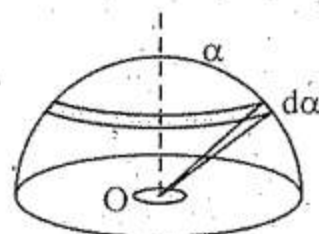
$$\text{Độ rọi trên diện tích } ds \text{ là } A = \frac{\Phi}{ds} = 3,2 \cdot 10^{-3} B = 2 \text{ lux}$$

$$\text{Vậy } B = 625 \text{ nit.}$$

b) Ta hãy tìm hệ thức liên hệ giữa độ chói B và độ trung R của một nguồn sáng phẳng.

Quang thông $d\Phi$ do một mẫu nhỏ của nguồn, có diện tích dS phát ra theo phương làm với pháp tuyến của nguồn một góc α (Hình 1.11) :

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



Hình 1.11

Để tính góc khối $d\omega$, ta vẽ mặt cầu tâm O , bán kính bằng 1 đơn vị. Ta lấy góc khối $d\omega$ là góc mà ta trông một dải trên mặt cầu, bao quanh phương α , có bề rộng $d\alpha$, có trục là pháp tuyến của mặt phát sáng tại O , có bề dài bằng chu vi của vòng tròn bán kính $1 \cdot \sin \alpha$. Độ lớn của góc khối $d\omega$ có giá trị bằng độ lớn của diện tích dải này.

$$d\omega = 2\pi \cdot 1 \cdot \sin \alpha \cdot 1 \cdot d\alpha = 2\pi \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha$$

$$\text{Vậy, } d\Phi = 2\pi B \cdot dS \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha = \pi B \cdot dS \cdot \sin 2\alpha \cdot d\alpha$$

Quang thông do dS phát ra theo đủ mọi phương :

$$d\Phi = \int d\varphi = \pi B \cdot dS \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin 2\alpha \cdot d\alpha = \pi B \cdot dS$$

Quang thông do cả diện tích S phát ra theo đủ mọi phương :

$$\Phi = \int d\Phi = \pi B \int dS = \pi BS$$

Độ trung của nguồn sáng là $R = \frac{\Phi}{S} = \pi B$.

Đây là một công thức quan trọng liên hệ giữa độ trung và độ chói của một nguồn sáng phẳng phát xạ theo định luật Lam-be.

Vậy, độ trung của nguồn sáng mà ta xét là $R = 625 \pi \approx 1963 \text{ lm/m}^2$.

B – ĐỀ BÀI TẬP

- 1.1. Một bóng đèn, coi như một nguồn điểm đẳng hướng, được treo ở giữa phòng, cách mặt sàn 3 m. Độ rọi của điểm ở góc phòng, đo được là 5 lux. Sàn nhà hình vuông, mỗi cạnh 4 m. Tính cường độ sáng của bóng đèn.
- 1.2. Một bóng đèn điện 100 W, coi như một nguồn điểm đẳng hướng, được treo cách mặt sàn nhà 4 m. Hiệu suất phát sáng của bóng đèn là 2%. Hiệu suất phát sáng là tỉ số giữa quang thông toàn phần do bóng đèn phát ra với công suất điện tiêu thụ của bóng. Lấy hàm thị kiến $V = 1$. Độ rọi của mặt sàn tại điểm H, chân của đường thẳng đứng hạ từ bóng đèn xuống mặt sàn là 10 lux.
 - a) Tính độ rọi của mặt sàn tại điểm H thuần túy do bóng đèn gây ra.
 - b) Tính độ rọi tại điểm H do ánh sáng tán xạ từ các bức tường gây ra.
- 1.3. Một ngọn đèn có dạng một nguồn sáng điểm, đẳng hướng, có cường độ sáng 100 cd, được đặt tại tiêu điểm của một gương cầu lõm, tiêu cự 25 cm. Hệ số phản xạ của gương là 0,9. Một màn ảnh được đặt trước gương, vuông góc với trục chính, cách ngọn đèn 2 m. Tính độ rọi tại giao điểm của màn ảnh với trục chính.
- 1.4. Hai nguồn điểm đẳng hướng giống nhau được treo cách nhau 6 m, trên cùng một độ cao 4 m so với sàn nhà. Mỗi nguồn có cường độ sáng 200 cd. Xác định điểm trên sàn nhà mà tại đó độ rọi có giá trị cực đại. Tính độ rọi đó.
- 1.5. Một ngọn đèn, coi như một nguồn điểm đẳng hướng, có cường độ 100 cd, được treo cách mặt sàn 3 m và cách mặt tường 2 m. Trên tường có treo một gương phẳng thẳng đứng, hình chữ nhật. Tâm của gương cách mặt sàn 1 m. Hệ số phản xạ của gương là 0,9. Ngọn đèn và tâm gương nằm trên cùng một

mặt phẳng thẳng đứng vuông góc với bức tường. Tính độ rọi tại tâm của vết sáng do chùm tia phản xạ tạo ra trên mặt sàn. Bỏ qua sự tán xạ ánh sáng trên trần nhà và các bức tường.

1.6. Cho chùm sáng Mặt Trời chiếu vuông góc vào một màn chắn trên có khoét một lỗ tròn, đường kính 2 cm. Đặt sau và song song với màn chắn là một màn ảnh. Tính khoảng cách giữa màn chắn và màn ảnh sao cho độ rọi của ánh sáng Mặt Trời tại tâm của vùng sáng trên màn ảnh chỉ bằng một nửa độ rọi trên màn chắn. Đường kính góc của Mặt Trời nhìn từ Trái Đất là $30'$.

1.7. Ở phía trên của một bàn tròn, bán kính 0,6 m có treo một đèn có dạng một đĩa phẳng, hình tròn, nằm ngang, có đường kính 30 cm, có độ chói $2 \cdot 10^4$ nit. Tâm của mặt bàn và tâm của đèn nằm trên cùng một đường thẳng đứng. Phải treo đèn ở độ cao bao nhiêu, so với mặt bàn, để độ rọi tại những điểm ở mép bàn là cực đại? Tính độ rọi này.

1.8. Khi Mặt Trời ở trên đỉnh đầu thì độ rọi năng lượng trên mặt Trái Đất, sau khi đã hiệu chỉnh sự hấp thụ của khí quyển là $1,35 \text{ kW/m}^2$.

a) Tính độ trung năng lượng của bề mặt Mặt Trời. Cho rằng Mặt Trời phát sáng theo đúng định luật Lam-be. Đường kính góc của Mặt Trời nhìn từ Trái Đất là $30'$.

b) Tính công suất phát xạ toàn phần của Mặt Trời. Khoảng cách Mặt Trời – Trái Đất là $15 \cdot 10^7 \text{ km}$.

1.9. Một ngọn đèn coi như một nguồn điểm đẳng hướng, có cường độ sáng 50 cd, được treo cách sàn nhà 3 m và cách tường 2 m. Dưới sàn, có một gương phẳng nhỏ, nằm ngang, chiếu trên tường một vết sáng nhỏ có cùng độ cao với ngọn đèn. Biết ngọn đèn, gương phẳng và vết sáng nằm trên cùng một mặt phẳng vuông góc với mặt tường. Hệ số phản xạ của gương là 0,9. Hệ số tán xạ của tường là 0,8.

Gọi $R_{\max}$ là độ trung của tường ở chỗ có vết sáng; $R_{\min}$ là độ trung của tường ở ngay bên cạnh vết sáng. Gọi độ tương phản của vết sáng là:

$$T_p = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\max}}. \text{ Tính độ tương phản này.}$$

1.10. Dùng một đèn chiếu để chiếu một phim ảnh đen trắng lên trên màn ảnh. Độ chói của phim bằng $5 \cdot 10^4$ nit. Số phóng đại của ảnh bằng 50. Cho rằng có 10% quang thông bị mất mát khi truyền qua vật kính của đèn chiếu và hệ số tán xạ ánh sáng của màn ảnh là 0,8. Tính độ trung của ảnh.

Chủ đề 2

SÓNG ÁNH SÁNG

A – LÝ THUYẾT VÀ BÀI TẬP VÍ DỤ

I – HIỆN TƯỢNG GIAO THOA ÁNH SÁNG

1. Các thí nghiệm về hiện tượng giao thoa của hai chùm tia sáng. Vân không định xứ

a) Khe Y-âng

- Thí nghiệm này được Y-âng (Thomas Young) thực hiện đầu tiên vào năm 1802.



Hình 2.1

Dùng một đèn Đ chiếu sáng một khe hẹp S, nằm trên một màn chắn M (Hình 2.1). Ánh sáng của đèn được lọc qua một kính lọc sắc F (kính đỏ chẳng hạn). Chùm sáng đơn sắc sau khi lọt qua khe S được chiếu đồng thời vào hai khe S_1 và S_2 , nằm rất sát nhau, song song với nhau và với khe S. Hai khe này được khoét trên một màn chắn M_{12} , đặt song song và gần màn chắn M. Hình ảnh giao thoa được hứng trên màn ảnh E đặt cách màn M_{12} khoảng chừng 1 m ; khoảng cách giữa hai khe S_1 và S_2 vào cỡ vài phần mười milimét.

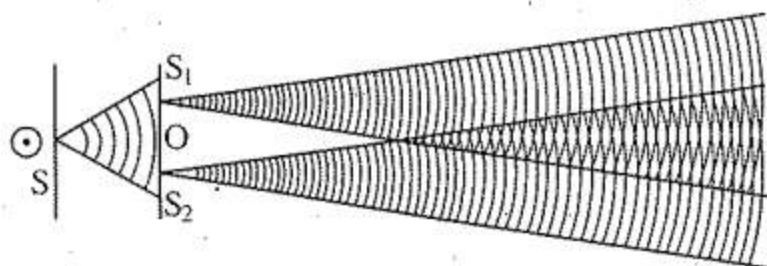
Thực ra, các vân giao thoa nằm rất sát nhau, nên muốn quan sát được chúng, ta không dùng màn ảnh mà phải dùng một thị kính, ngắm chừng tại vị trí của màn ảnh. Khi đó ta sẽ thấy có những vạch sáng (đỏ) và những vạch tối xen kẽ nhau một cách đều đặn.

Hiện tượng quan sát được gọi là hiện tượng giao thoa ánh sáng.

- Sự xuất hiện các vạch tối trong vùng hai chùm sáng gặp nhau buộc ta phải thừa nhận ánh sáng có tính chất sóng. Thực vậy, chỉ có hai sóng gặp nhau thì mới có những chỗ chúng triệt tiêu lẫn nhau ; những chỗ này chính là những vạch tối.

Ta giải thích chi tiết kết quả thí nghiệm Y-âng như sau :

Sóng ánh sáng đơn sắc từ ngọn đèn truyền đến khe S sẽ làm cho khe này trở thành một nguồn sáng thứ cấp. Sóng ánh sáng từ khe S truyền đến hai khe S_1 và S_2 lại làm cho hai khe này trở thành hai nguồn sáng thứ cấp khác.



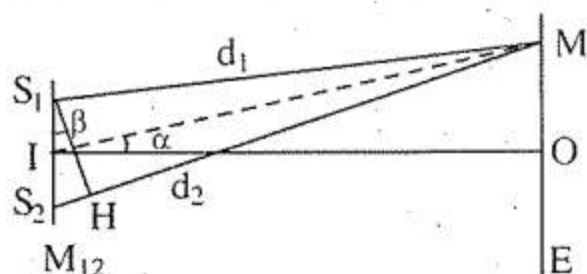
Hình 2.2

Hai nguồn này là hai nguồn kết hợp (hơn nữa, nếu chúng cách đều nguồn S thì chúng là hai nguồn đồng bộ). Do đó, khi sóng từ hai nguồn S_1 và S_2 gặp nhau, chúng sẽ giao thoa với nhau. Những vạch sáng là những chỗ hai sóng tăng cường lẫn nhau. Ta gọi chúng là những *vân sáng*. Những vạch tối là những chỗ hai sóng triệt tiêu lẫn nhau. Ta gọi chúng là những *vân tối*.

• Vị trí của các vân sáng và vân tối trên màn ảnh E được xác định như sau (Hình 2.3) :

Gọi IO là đường thẳng vuông góc với màn E và màn M_{12} tại trung điểm I của S_1S_2 .

Giả sử tại điểm M trên màn E có một vân sáng. Vị trí của điểm M được xác định bằng đoạn thẳng $x = OM$.



Hình 2.3

Đặt $S_1S_2 = a$; $IO = D$; $S_1M = d_1$; $S_2M = d_2$; góc $OIM = \alpha$; góc $S_2S_1H = \beta$; H là chân của đường thẳng góc hạ từ S_1 xuống S_2M .

Ta có những phép tính gần đúng sau :

$$\alpha \approx \beta ; d_2 - d_1 \approx S_2H = \Delta$$

Ta lại có : $\tan \alpha = \frac{x}{D}$ và $\sin \beta = \frac{\Delta}{a}$ với $\tan \alpha \approx \sin \beta$, ta được : $x = \frac{\Delta \cdot D}{a}$

Ta đã biết : những điểm có hiệu khoảng cách đến hai nguồn đồng bộ bằng một số nguyên lần bước sóng là những điểm cực đại giao thoa :

$$d_2 - d_1 = \Delta = k\lambda \text{ với } k = 0 ; \pm 1, \pm 2 ; \pm 3 \dots$$

Cuối cùng, vị trí các vân sáng được xác định bởi công thức :

$$x_k = k \frac{\lambda \cdot D}{a} \quad (2.1)$$

k gọi là *bậc giao thoa* của vân sáng : $k = 0$ ứng với vân trung tâm ; $k = \pm 1$ ứng với vân bậc 1 ; $k = \pm 2$ ứng với vân bậc 2....

Tương tự, vị trí các vân tối ứng với :

$$d_2 - d_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \text{ và } x = (2k + 1) \frac{\lambda D}{2a} \quad (2.2)$$

Đối với các vân tối, không có khái niệm bậc giao thoa.

Khoảng vân giao thoa i là khoảng cách giữa hai vân sáng (hoặc vân tối) liên tiếp. Ta có công thức tính khoảng vân :

$$i = x_{k+1} - x_k = \frac{\lambda D}{a} \quad (2.3)$$

Nếu đo được i , a và D thì sẽ tính được λ . Đó là cơ sở của phép đo bước sóng ánh sáng.

Vì đặt màn ảnh E ở bất kì vị trí nào trong vùng giao thoa ta cũng hứng được vân giao thoa, nên các vân giao thoa này được gọi là *vân không định xứ*.

• Trường hợp khe sáng S phát ra ánh sáng trắng

Ánh sáng trắng là một tập hợp của vô số ánh sáng đơn sắc, có màu biến thiên liên tục từ tím đến đỏ và có bước sóng biến thiên liên tục từ $0,40 \mu\text{m}$ đến $0,75 \mu\text{m}$.

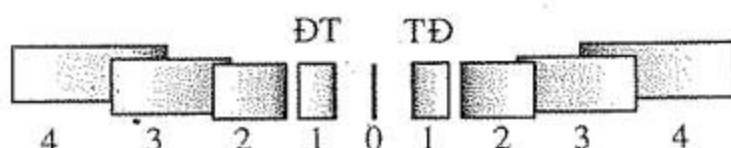
Mỗi ánh sáng đơn sắc trong chùm sáng trắng cho một hệ vân giao thoa có khoảng vân tỉ lệ với bước sóng của ánh sáng đó. Các hệ vân này nằm chồng chất trên màn ảnh E.

Tại điểm có $x = 0$, vân sáng trung tâm của tất cả các hệ vân trùng với nhau, cho ta một vân sáng trắng. Đó là *vân trắng trung tâm* (kí hiệu bằng số 0 trên hình 2.4).

Ở hai bên vân trắng trung tâm, các vân sáng của các hệ vân không trùng nhau nữa, vì khoảng vân của chúng khác nhau :

$$i_{\text{đỏ}} > i_{\text{da cam}} > i_{\text{vàng}} > i_{\text{lục}} > i_{\text{lam}} > i_{\text{chàm}} > i_{\text{tím}}$$

Như vậy, ở sát hai bên vân trắng trung tâm là hai khoảng tối. Tiếp đến là các vân sáng bậc 1 của các hệ vân, nằm sát nhau một cách liên tục, tạo thành một dải màu cầu vồng liên tục, từ tím đến đỏ ; tím ở trong, đỏ ở ngoài. Dải màu này gọi là *quang phổ bậc 1* (kí hiệu bằng số 1 trên hình 2.4).



Hình 2.4

Sau quang phổ bậc 1 là *quang phổ bậc 2*. Quang phổ bậc 2 rộng gấp đôi quang phổ bậc 1. Giữa đầu tím của quang phổ bậc 2 và đầu đỏ của quang phổ bậc 1 có một khoảng tối hẹp. Đó là vì : $i_{\text{đỏ}} < 2 i_{\text{tím}}$.

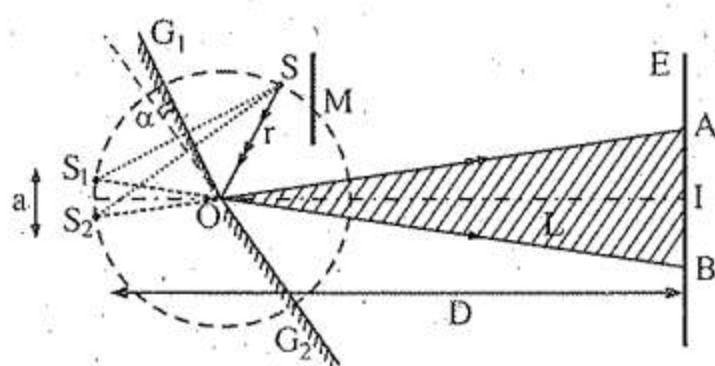
Sau quang phổ bậc 2 là *quang phổ bậc 3, bậc 4...* Các quang phổ này rộng gấp 3, gấp 4... quang phổ bậc 1. Đầu đỏ của quang phổ bậc 2 đề một chút lên đầu tím của quang phổ bậc 3. Đó là vì : $2i_{\text{đỏ}} > 3 i_{\text{tím}}$.

Các quang phổ bậc càng cao càng đề lên nhau nhiều. Tại mỗi điểm ở xa vân trắng trung tâm thì có rất nhiều cực đại của các màu khác nhau nằm trùng lên nhau, nên sẽ có màu trắng nhờ nhờ gọi là *màu trắng bậc cao*.

b) *Gương Fre-nen (Fresnel)*

Hai gương phẳng G_1 và G_2 hợp với nhau một góc rất nhỏ α . Một khe sáng đơn sắc S song song với giao tuyến O của hai gương và cách O một khoảng r . Ảnh của S trong hai gương là S_1 và S_2 .

Hai chùm sáng phản xạ trên hai gương tựa như phát ra từ hai nguồn kết hợp S_1 và S_2 . Vùng có gạch chéo AOB trên hình 2.5 là vùng chung của hai chùm sáng, tại đó xảy ra hiện tượng giao thoa ánh sáng. Vân giao thoa được hứng trên màn ảnh E , đặt vuông góc với trung trục của S_1S_2 và cách O một khoảng $OI = L$.



Hình 2.5

Khoảng vân cũng được tính bằng công thức (2.3), với $a = 2\alpha r$ và $D = r + L$.

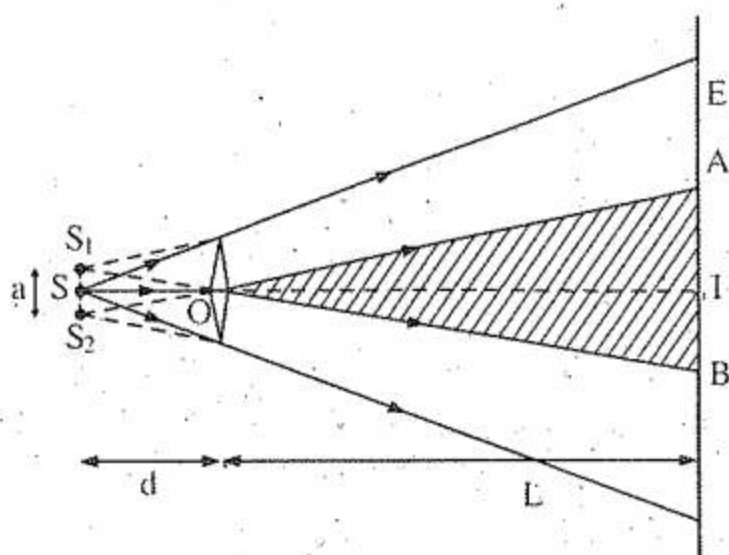
Một màn chắn M ngăn không cho ánh sáng chiếu trực tiếp từ nguồn sáng S đến màn ảnh.

Chú ý rằng các gương trong thí nghiệm này chỉ có một mặt phản xạ là mặt trên, còn mặt dưới phải bôi đen để hoàn toàn không phản xạ ánh sáng.

c) *Lưỡng lăng kính Fre-nen*

Hai lăng kính có góc chiết quang A nhỏ, có chiết suất n , đáy được dán với nhau, tạo thành một lưỡng lăng kính Fre-nen (Hình 2.6).

Một khe sáng đơn sắc, hẹp, được đặt trong mặt phẳng đáy chung của hai lăng kính song song với các cạnh và cách hai lăng kính một khoảng $SO = d$. Qua hai lăng kính, ta được hai ảnh ảo S_1 và S_2 của S .



Hình 2.6

Hai chùm sáng ló ra khỏi hai lăng kính tựa như được phát ra từ hai nguồn sáng kết hợp S_1 và S_2 . Trong phần chung (phần AOB được gạch chéo trên hình 2.6) của hai chùm tia sẽ có hiện tượng giao thoa ánh sáng. Vân giao thoa được hứng trên một màn ảnh E, đặt vuông góc với SO và cách O một khoảng $OI = L$.

Khoảng vân giao thoa vẫn được tính theo công thức (2.3).

Trong đó : $D = d + L$

Gọi δ là góc lệch của tia sáng khi đi qua lăng kính : $\delta = A(n - 1)$;

$$\widehat{S_1OS_2} = \widehat{AOB} = 2\delta = 2A(n - 1)$$

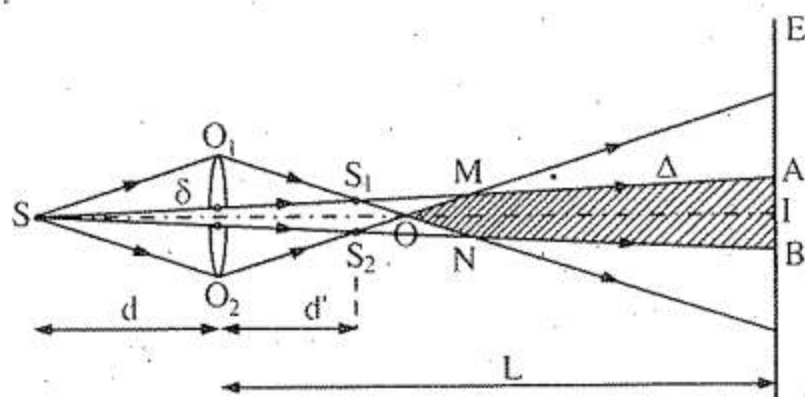
$$a = 2\delta d = 2dA(n - 1)$$

d) Bán thấu kính Biê (Billet)

Cắt một thấu kính hội tụ, tiêu cự f ra làm đôi theo một mặt phẳng chứa trục chính Δ , rồi đưa hai nửa ra xa nhau một khoảng δ rất nhỏ. Như vậy, quang tâm của hai nửa sẽ nằm đối xứng với nhau ở hai bên trục chính cũ Δ và cách nhau một khoảng $O_1O_2 = \delta$.

Đặt một khe sáng S, đơn sắc, hẹp, nằm trong mặt phẳng trung trục của O_1O_2 và vuông góc với mặt phẳng tạo bởi Δ và O_1O_2 (Hình 2.7). Khoảng cách từ khe sáng S đến O_1O_2 là $d > f$.

Qua hai nửa thấu kính, ta được hai ảnh thật S_1 và S_2 , nằm



Hình 2.7

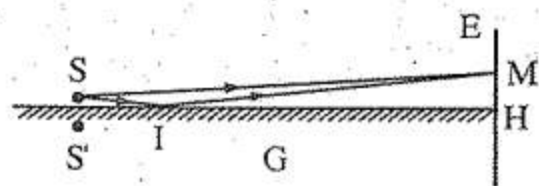
cách O_1O_2 khoảng d' , tính được bằng công thức thấu kính. S_1 và S_2 trở thành hai nguồn sáng phát ra hai chùm sáng kết hợp. Trong vùng chung của hai chùm sáng này (biểu diễn bằng phần có gạch chéo AMONB trên hình 2.7) sẽ có hiện tượng giao thoa ánh sáng.

Dùng một màn ảnh E, vuông góc với trục Δ , để hứng vân giao thoa.

Khoảng vân giao thoa vẫn được tính bằng công thức (2.3); với $D = L - d'$ và $a = S_1S_2$. Ta tính a theo công thức sau: $a = \delta \frac{d + d'}{d} = \delta \left(1 + \frac{d'}{d} \right)$.

e) Gương Lôi (Lloyd)

Một khe sáng hẹp, đơn sắc S, đặt song song với một gương phẳng G và rất gần mặt gương (Hình 2.8). Đặt một màn ảnh E vuông góc với mặt gương và song song với khe sáng. Trên màn ảnh sẽ xuất hiện những vân giao thoa nằm song song với giao tuyến H giữa màn ảnh và mặt gương.



Hình 2.8

Đó là kết quả của sự giao thoa giữa sóng ánh sáng đi trực tiếp từ nguồn S đến màn ảnh và sóng phản xạ trên gương truyền đến. Sóng phản xạ tựa như được phát ra từ nguồn S' , ảnh của S trong gương.

Khoảng vân giao thoa vẫn được tính bằng công thức (2.3), với D là khoảng cách từ S đến màn ảnh và $a = SS'$.

Điều đặc biệt là tại H xuất hiện một vân tối, mặc dù $SH = S'H$. Điều đó có nghĩa là, tại H, sóng phản xạ ngược pha với sóng tới. Trong việc tính toán người ta thể hiện điều này bằng việc cộng hay trừ $\frac{\lambda}{2}$ vào đường đi của tia phản xạ và gọi là sự mất nửa sóng. Hiện tượng này tương tự như sự phản xạ của sóng cơ trên một sợi dây tại một đầu cố định và có tính khái quát.

Khi phản xạ trên một môi trường chiết quang mạnh hơn thì tia phản xạ bị mất nửa sóng. Còn nếu phản xạ trên một môi trường chiết quang yếu hơn thì tia phản xạ không bị mất nửa sóng.

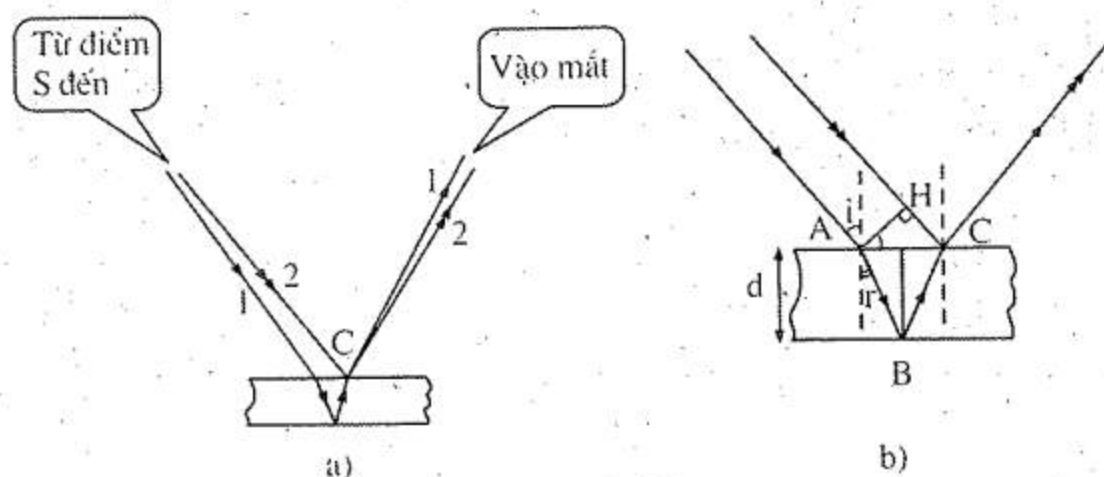
2. Sự giao thoa ánh sáng trên các bản mỏng. Vân định xứ

Nhìn vào bề mặt của các văng dầu, mỡ, bong bóng xà phòng, ta thường thấy có những quang màu rực rỡ. Đó là những vân giao thoa trên các bản mỏng. Các vân này chỉ xuất hiện trên mặt các bản mỏng. Đó là vân định xứ.

a) Nêm

Ta hãy giải thích sự giao thoa ánh sáng trên các văng dầu.

Một vùng nhỏ của văng dầu coi như một lớp mỏng có chiết suất n và có hai mặt phẳng làm với nhau một góc α rất nhỏ, tạo thành một cái *nêm* bằng dầu. Nguồn sáng là nguồn sáng trắng rất rộng và nằm xa điểm mà ta quan sát trên văng dầu. Mắt người quan sát cũng ở xa điểm đó (Hình 2.9a).



Hình 2.9

Một tia sáng đơn sắc (λ) phát ra từ một điểm sáng S ở nguồn, chiếu đến mặt nêm (tia số 1). Tia này khúc xạ, truyền vào trong nêm, phản xạ ở mặt dưới của nêm, trở lại mặt trên tại điểm C, rồi đi ra ngoài không khí. Góc ló bằng góc tới.

Một tia sáng đơn sắc thứ hai (λ) phát ra từ S (tia số 2) chiếu đến mặt nêm tại C, gặp tia số 1 tại đó và giao thoa với nhau (vì đó là hai tia kết hợp). Tín hiệu về trạng thái giao thoa sẽ được truyền đến mắt theo một chùm tia rất hẹp 1, 2. Thực tế, chỉ có một cặp tia 1, 2 đi từ nguồn, phản xạ trên mặt nêm tại C rồi đi vào mắt theo phương nói trên.

Một vùng rất nhỏ của văng dầu quanh điểm C coi như một bản mặt song song có bề dày d . Các tia tới 1 và 2 coi như song song với nhau, với góc tới là i . Hai tia đi vào mắt coi như trùng nhau (Hình 2.9b).

Hiệu quang trình¹⁾ giữa hai tia là :

$$\Delta = (AB + BC).n - HC + \frac{\lambda}{2}$$

với $AB = BC = \frac{d}{\cos r}$; $HC = 2d.\tan r.\sin i$ và $\sin i = n \sin r$;

Tia số 2 bị mất nửa sóng vì phản xạ từ không khí trên dầu.

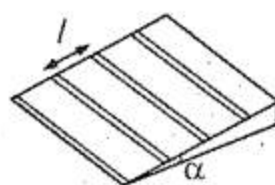
1) Quang trình (nl) của một tia sáng là tích của chiều dài đường đi (l) với chiết suất (n) của môi trường truyền ánh sáng. Chính hiệu quang trình giữa hai tia sáng mới quyết định trạng thái giao thoa của hai tia đó.

$$\text{Kết quả, ta được : } \Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = 2dncosr + \frac{\lambda}{2} \quad (2.4)$$

Nếu $\Delta = k\lambda$ ($k = 1, 2, 3, \dots$) thì ta thấy có cực đại của ánh sáng có bước sóng λ .

Nếu $\Delta = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$ hay $2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = k\lambda$ ($k = 0, 1, 2, 3, \dots$) thì ta có cực tiểu giao thoa của ánh sáng đó. Khi thay đổi điểm quan sát C thì d và i thay đổi rất chậm, do đó, vùng cực đại giao thoa chiếm một khoảng tương đối rộng trên mặt văng dầu.

Đặc biệt, nếu nêm có dạng hai mặt phẳng giao nhau (Hình 2.10), thì cực đại giao thoa có dạng những dải sáng màu, nằm song song với cạnh nêm. Cực tiểu giao thoa có dạng những vạch tối nằm song song với cạnh nêm và cách nhau đều đặn. Ngay tại cạnh nêm là một vân tối.



Hình 2.10

Nếu quan sát theo phương vuông góc với mặt nêm, thì khoảng cách giữa hai vân tối liên tiếp là :

$$l = \frac{\lambda}{2n\alpha} \quad (2.5)$$

Biết λ và n ; đo được l , ta sẽ tính được α . Đây là một phương pháp thường dùng để đo các góc nhỏ giữa hai mặt của các lớp mỏng.

Nếu nguồn phát ra ánh sáng trắng thì trên mặt nêm sẽ xuất hiện những dải màu sắc sỡ, tương đối rộng. Các bản mỏng là dụng cụ rất tiện lợi cho việc nghiên cứu màu sắc ánh sáng.

b) Vân tròn Niu-ton

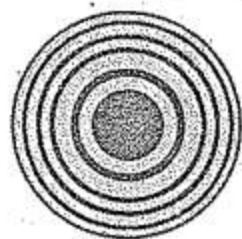
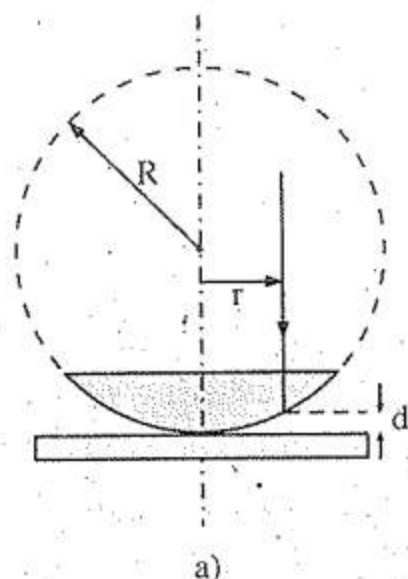
Thiết bị tạo vân tròn Niu-ton gồm một thấu kính hội tụ, một mặt phẳng, một mặt cầu, đặt trên một tấm thủy tinh phẳng (Hình 2.11). Mặt cầu của thấu kính tiếp xúc với tấm thủy tinh. Lớp không khí nằm xen giữa thấu kính và tấm thủy tinh tạo ra một bản mỏng không khí.

Xét trường hợp một chùm sáng song song, đơn sắc, chiếu vuông góc vào mặt phẳng của thấu kính.

Hiệu quang trình giữa tia sáng phản xạ ở mặt trên và tia sáng phản xạ ở mặt dưới của lớp không khí, tại điểm có bề dày d là (Hình 2.11a) :

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2}$$

Tia phản xạ ở mặt dưới bị mất nửa sóng.



Hình 2.11

Tất cả các điểm nằm trên mặt cầu ứng với cùng một bề dày d sẽ tạo thành một vân giao thoa có dạng tròn.

Gọi r là bán kính của vân, R là bán kính của mặt cầu, ta có :

$$r^2 = d(2R - d) \approx 2Rd \text{ với } d \ll R.$$

Ứng với vân sáng, ta có :

$$\Delta = k\lambda \Rightarrow d = k\frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{4} \Rightarrow r_{\text{sáng}} = \sqrt{2Rd} = \sqrt{R\lambda\left(k - \frac{1}{2}\right)} \quad (2.6)$$

với $k = 1, 2, 3, 4, \dots$

Ứng với vân tối, ta có :

$$\Delta = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \Rightarrow d = k\frac{\lambda}{2} \Rightarrow r_{\text{tối}} = \sqrt{kR\lambda} \quad (2.6')$$

với $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Tại tâm của hệ vân ($r = 0$), ta có một vân tối. Điều này ứng với sự mất nửa sóng của tia phản xạ ở mặt dưới khi $d = 0$. Hình dạng của hệ vân được vẽ trên hình 2.11b.

Biết λ , đo được r , ta sẽ tính được R .

II – HIỆN TƯỢNG NHIỀU XẠ ÁNH SÁNG

Cho chùm tia sáng Mặt Trời chiếu vuông vào mép thẳng của một màn chắn M. Phía sau màn chắn, ta đặt một màn ảnh E song song với M (Hình 2.12a). Quan sát hình ảnh trên màn ảnh, ta thấy : vùng bóng tối lấn vào vùng sáng hình học một chút ;

ở biên giới vùng sáng, có những vân tối và vân sáng xen kẽ nhau trước khi chuyển sang vùng sáng hoàn toàn (Hình 2.12b).

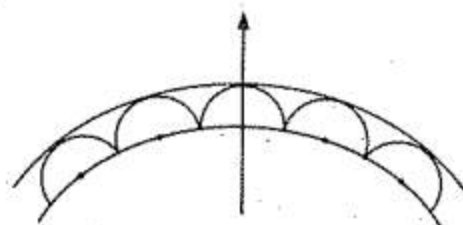
Hiện tượng quan sát được không thể giải thích bằng định luật truyền thẳng ánh sáng.

Đó là kết quả của hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng. Vậy, hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng là hiện tượng truyền ánh sáng sai lệch với định luật truyền thẳng ánh sáng khi chùm sáng gặp vật cản chia cắt mặt sóng ánh sáng.

1. Nguyên lý Huy-ghe – Fre-nen

Để giải thích và tính toán về hiện tượng nhiễu xạ, người ta phải dựa vào nguyên lý Huy-ghe – Fre-nen. Nội dung sơ lược của nguyên lý này như sau :

a) Mỗi điểm trên mặt sóng sơ cấp ở thời điểm t sẽ trở thành một nguồn phát sóng thứ cấp. Mặt sóng sơ cấp ở thời điểm tiếp sau đó $t + \Delta t$ sẽ là bao hình của các mặt sóng thứ cấp ở thời điểm đó (Hình 2.13).



Hình 2.13

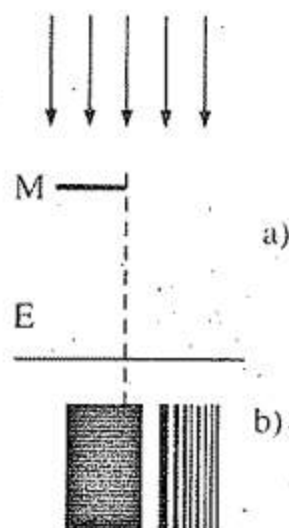
b) Để tìm biên độ của sóng nhiễu xạ tại một điểm M sau vật cản, phải chia mặt sóng sơ cấp trước vật cản thành nhiều phần rất nhỏ, mỗi phần coi như một nguồn phát sóng thứ cấp. Dao động sáng tại M coi như tổng hợp dao động do tất cả các sóng thứ cấp gây ra tại đó. Các nguồn thứ cấp chỉ phát sóng về phía trước (theo hướng truyền của sóng sơ cấp) mà không phát sóng về phía ngược lại.

2. Nhiễu xạ của một sóng cầu (hay nhiễu xạ Fre-nen)

Ta hãy xét sự nhiễu xạ của một sóng cầu qua một lỗ tròn.

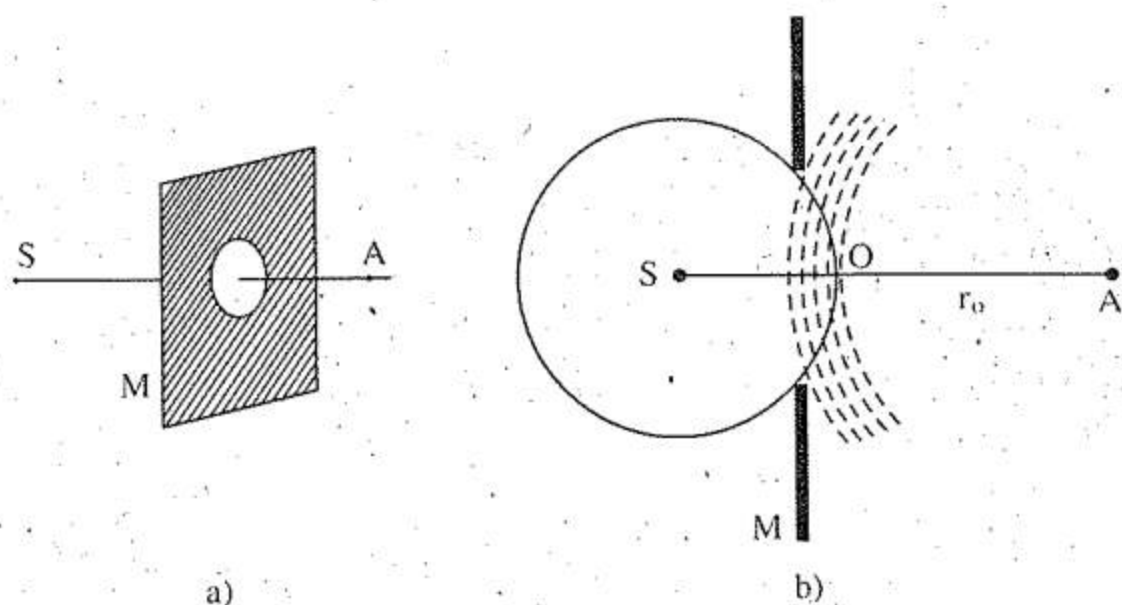
Giả sử có một điểm sáng đơn sắc S nằm trên trục của một lỗ tròn nhỏ, khoét trên một màn chắn M (Hình 2.14a). Ta hãy xét cường độ sáng của một điểm A trên trục của lỗ.

Muốn thế, ta hãy chia mặt sóng qua lỗ thành những nguồn thứ cấp theo cách sau đây : thoát tiên ta vẽ mặt cầu tâm A, bán kính $r_0 = AO$; O là đỉnh của mặt sóng qua lỗ. Sau đó, ta tiếp tục vẽ các mặt cầu tâm A, bán kính $r_0 + \frac{\lambda}{2}$; $r_0 + 2\frac{\lambda}{2}$; $r_0 + 3\frac{\lambda}{2}$; $r_0 + 4\frac{\lambda}{2}$ (Hình 2.14b). Các mặt cầu này chia mặt sóng qua lỗ thành



Hình 2.12

những đôi cầu, gọi là *đôi cầu Fre-nen*. Mỗi đôi cầu là một nguồn thứ cấp. Đường truyền của hai sóng ánh sáng từ hai đôi cạnh nhau đến điểm A hơn kém nhau $\frac{\lambda}{2}$.



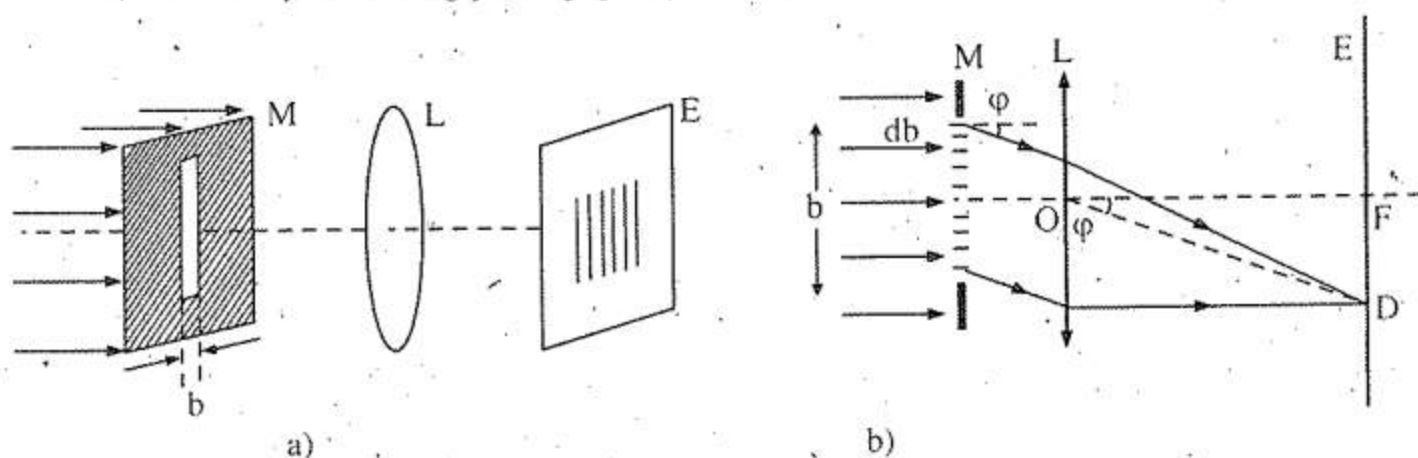
Hình 2.14

Do đó, dao động sáng mà hai đôi đó gây ra tại A sẽ ngược pha với nhau và hai sóng đó sẽ triệt tiêu lẫn nhau.

Kết quả là : nếu phần mặt sóng đi qua lỗ chứa một số chẵn đôi cầu Fre-nen thì điểm A sẽ là điểm tối. Nếu phần mặt sóng đó chứa một số lẻ đôi cầu Fre-nen thì điểm A sẽ là điểm sáng. Như vậy, đi dọc trục SO, ta sẽ lần lượt gặp các điểm sáng và điểm tối. Điều này hoàn toàn mâu thuẫn với quang hình học.

3. Nhiễu xạ của một sóng phẳng hay nhiễu xạ Fra-nô-fo (Fraunhofer)

a) Nhiễu xạ của sóng phẳng qua một khe

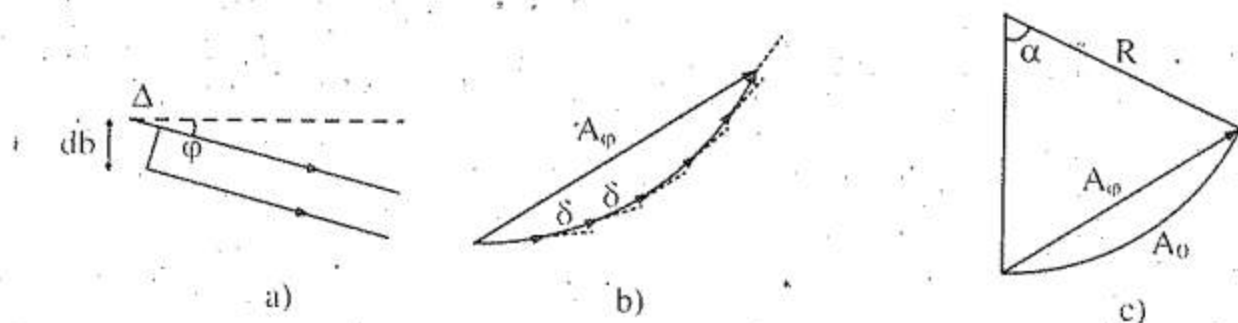


Hình 2.15

Chiếu một chùm tia sáng song song đơn sắc, vuông góc vào một màn chắn M có khoét một khe hẹp. Bề rộng b của khe rất nhỏ so với bề dài của nó. Chùm sáng

nhiều xạ sau khe được thu vào một thấu kính hội tụ L có trục chính vuông góc với mặt khe. Trên một màn ảnh E đặt tại tiêu diện của thấu kính, vuông góc với trục chính của nó, ta thấy xuất hiện những vân nhiễu xạ, là những dải sáng và tối, xen kẽ nhau (Hình 2.15a).

Để giải bài toán nhiễu xạ này, ta hãy tưởng tượng chia khe b thành nhiều dải hẹp có bề rộng db như nhau (Hình 2.15b là hình vẽ chứa trục chính và cắt vuông góc với khe b). Mỗi dải hẹp trở thành một nguồn sáng thứ cấp. Sóng ánh sáng mà các dải này phát ra theo cùng một phương, làm với pháp tuyến của mặt khe một góc φ , sau khi qua thấu kính, sẽ hội tụ tại một điểm D trên tiêu diện và trên trục phụ, làm với trục chính góc φ . Tại D, các sóng đó giao thoa với nhau vì là các sóng kết hợp.



Hình 2.16

Hiệu quang trình giữa hai tia sáng đi từ hai dải cạnh nhau đến điểm D là (Hình 2.16 a) :

$$\Delta = db \cdot \sin \varphi$$

Hiệu số pha giữa hai dao động sáng mà hai dải cạnh nhau gây ra ở D là :

$$\delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi db \cdot \sin \varphi}{\lambda}$$

Người ta thừa nhận rằng biên độ của dao động sáng mà các nguồn thứ cấp gây ra tại D là như nhau và không phụ thuộc góc φ . Như vậy, dao động sáng do các dải khác nhau gây ra ở D đều được biểu diễn bằng các vectơ Fre-nen có cùng chiều dài, nhưng không cùng phương.

Nếu biểu diễn dao động sáng do dải đầu tiên gây ra ở D bằng một vectơ có phương nằm ngang thì : dao động sáng do dải thứ hai gây ra sẽ được biểu diễn bằng một vectơ có chiều dài như thế, nhưng làm với vectơ thứ nhất một góc δ , bằng hiệu số pha đã nêu trên. Ngọn của vectơ trước trùng với gốc của vectơ sau. Tương tự như thế với các vectơ thứ ba, thứ tư.... Kết quả là ta được một đường đa giác đều (Hình 2.16b). Dao động sáng tổng hợp sẽ được biểu diễn bằng vectơ A_φ

có gốc là gốc của vectơ đầu tiên và ngọn là ngọn của vectơ cuối cùng. Chiều dài A_φ biểu diễn biên độ dao động sáng tổng hợp tại D.

Vì số dải hẹp rất lớn và chiều dài của mỗi vectơ biểu diễn dao động sáng được chọn đủ nhỏ nên đường đa giác đều sẽ biến thành một cung tròn (Hình 2.16c). Vectơ A_φ sẽ là dây của cung đó.

Tại tiêu điểm chính F của thấu kính : $\varphi = 0 \Rightarrow \delta = 0$. Các vectơ biểu diễn dao động sáng sẽ nằm nối đuôi nhau trên một đoạn thẳng có chiều dài A_0 . A_0 biểu diễn biên độ dao động sáng tổng hợp tại F và A_0 chính là chiều dài của cung tròn trên hình 2.16c.

Ta hãy tính A_φ theo A_0 . Gọi R là bán kính của cung tròn ; α là góc hợp bởi hai bán kính ở hai đầu cung tròn. α đúng bằng độ lệch pha giữa hai dao động sáng mà dải đầu tiên và dải cuối cùng gây ra ở D.

$$\text{Dễ dàng tính được : } \alpha = \frac{2\pi b \sin \varphi}{\lambda}$$

$$\text{Ta lại có các hệ thức sau : } A_0 = R\alpha$$

$$A_\varphi = 2R \sin \frac{\alpha}{2}$$

Từ đó, ta có :

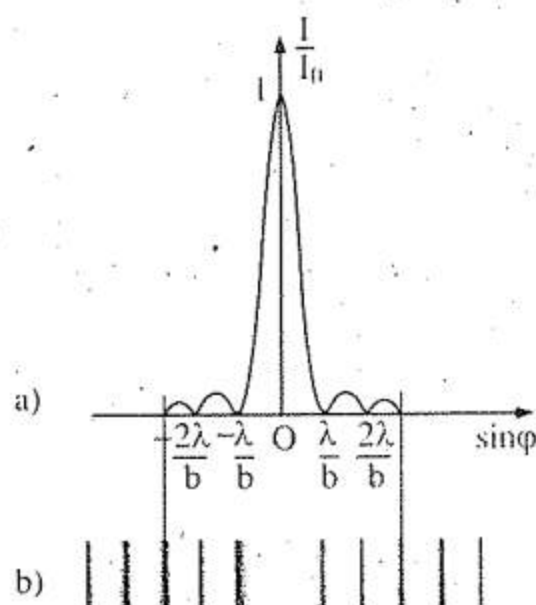
$$A_\varphi = A_0 \frac{\lambda}{\pi b \sin \varphi} \sin \left(\frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda} \right)$$

Vì cường độ sáng tỉ lệ với bình phương của dao động sáng, nên ta có :

$$I_\varphi = I_0 \left[\frac{\lambda}{\pi b \sin \varphi} \sin \left(\frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda} \right) \right]^2$$

Đồ thị của $\frac{I}{I_0}$ theo $\sin \varphi$ được vẽ trên hình 2.17a.

$$I_\varphi = 0 \text{ khi } \sin \left(\frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda} \right) = 0 \Rightarrow \frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda} = k\pi \Rightarrow \sin \varphi = k \frac{\lambda}{b}$$



Hình 2.17

Vậy, ta thấy xuất hiện các vạch tối tại các vị trí xác định bởi hệ thức :

$$\sin \varphi = k \frac{\lambda}{b} \quad (2.7) \quad \text{với } k = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

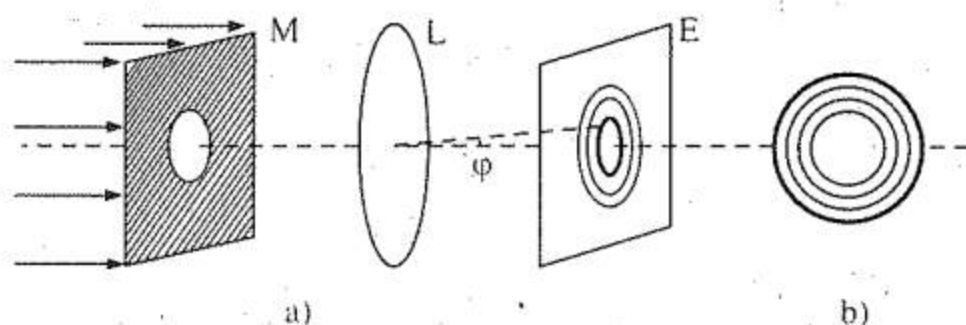
Các vân tối ứng với trường hợp cung tròn trên hình 2.16c cuộn thành đúng một vòng tròn, hai vòng tròn, ba vòng tròn ...

Giữa hai vân tối là một vân sáng. Nếu coi bề rộng của vân sáng là khoảng cách giữa hai vân tối ở hai bên vân đó thì ta có hình ảnh vân nhiễu xạ qua một khe như sau (Hình 2.17b) : ở chính giữa có một vân sáng gọi là *cực đại trung tâm*, ở hai bên cực đại trung tâm có các vân sáng khác gọi là *các cực đại phụ*. Cực đại trung tâm có bề rộng lớn gấp đôi bề rộng các cực đại phụ và có cường độ lớn hơn rất nhiều cường độ của các cực đại phụ.

b) Nhiễu xạ của một sóng phẳng qua một lỗ tròn

Ta bố trí thí nghiệm quan sát sự nhiễu xạ của sóng phẳng qua một lỗ tròn tương tự như thí nghiệm quan sát sự nhiễu xạ qua một khe (Hình 2.18a).

Trên màn chắn M, ta thay khe hẹp bằng một lỗ tròn nhỏ có bán kính r.



Hình 2.18

Trên màn ảnh E, ta thấy một hệ thống vân tròn (Hình 2.18b) : ở chính giữa là một vân sáng có cường độ lớn gọi là *cực đại trung tâm*. Bao quanh cực đại trung tâm là cực tiểu thứ nhất, rồi đến cực đại phụ và cực tiểu khác.

Nếu coi cực tiểu thứ nhất là giới hạn của cực đại trung tâm thì ta có : *bán kính góc của cực đại trung tâm, nhìn từ quang tâm của thấu kính là :*

$$\sin \varphi = 0,61 \frac{\lambda}{r} \quad (2.8)$$

$$\text{hoặc } \sin \varphi = 1,22 \frac{\lambda}{d} \quad (2.8')$$

với $d = 2r$ là đường kính của lỗ tròn.

4. Một vài ứng dụng của hiện tượng nhiễu xạ

a) Năng suất phân giải của các dụng cụ quang học

Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng đã hạn chế khả năng phân giải của các dụng cụ quang học như kính hiển vi, kính thiên văn...

Ta hãy lấy vấn đề về năng suất phân giải của kính thiên văn làm ví dụ.

Chùm tia sáng từ một ngôi sao chiếu đến vật kính của kính thiên văn là một chùm tia song song. Chùm tia này gặp giá đỡ vật kính sẽ bị nhiễu xạ tương tự như nhiễu xạ qua một lỗ tròn. Kết quả là trên tiêu diện của vật kính ta sẽ thu được một ảnh nhiễu xạ giống như hình 2.18b. Bán kính góc của cực đại trung tâm được xác định bởi công thức (2.8').

Hai ngôi sao khác nhau cho trên tiêu diện của vật kính hai ảnh nhiễu xạ có hình dạng và kích thước như nhau. Tuy nhiên, màu sắc của hai ảnh thì khác nhau tùy thuộc vào nhiệt độ bề mặt của hai ngôi sao. Nếu hai ngôi sao có cùng nhiệt độ thì hai ảnh nhiễu xạ hoàn toàn giống nhau.

Giả sử có hai ngôi sao nằm trên hai phương nhìn rất gần nhau đến mức hai ảnh nhiễu xạ có một phần chồng lên nhau. Vì hai ngôi sao là hai nguồn sáng không kết hợp, nên tại phần chung chỉ có sự cộng cường độ.

Nếu phần chồng chập rất lớn thì ta sẽ phân biệt được hai ảnh nhiễu xạ của hai ngôi sao đó nữa. Ray-lây (Rayleigh) đã đề ra chuẩn sau đây : Hai ảnh nhiễu xạ còn có thể phân biệt được nếu tâm của cực đại trung tâm này nằm trên mép của cực đại trung tâm kia (Hình 2.19).



Hình 2.19

Góc trông nhỏ nhất $\gamma_{\min}$ giữa hai ngôi sao mà ta còn có thể phân biệt được hai ảnh của chúng trong kính thiên văn gọi là năng suất phân giải của kính thiên văn đó.

Theo chuẩn Ray-lây, ta có : $\sin \gamma_{\min} = 1,22 \frac{\lambda}{d}$ (2.9)

với d là đường kính của vật kính. Ta thấy vật kính có đường kính càng lớn thì có năng suất phân giải càng cao.

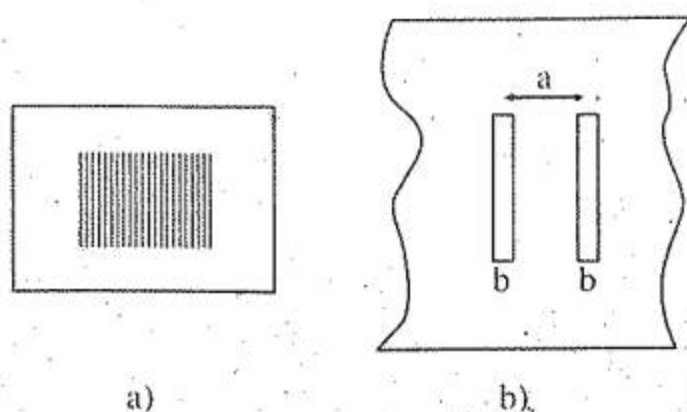
b) Cách tử nhiễu xạ

Cách tử nhiễu xạ là một hệ thống rất nhiều khe hẹp khoét song song cách đều nhau trên một màn chắn (Hình 2.20).

Bề rộng b của mỗi khe rất nhỏ so với khoảng cách a giữa hai khe cạnh nhau ; a gọi là hằng số cách tử.

Bố trí thí nghiệm với cách tử giống như ở hình 2.15a hoặc 2.18a ; trong đó, ta thay màn chắn có khe hoặc có lỗ tròn bằng một cách tử.

Khi chiếu một chùm sáng song song, đơn sắc, vuông góc vào một cách tử thì mỗi khe trên cách tử sẽ tạo ra trên tiêu diện của thấu kính một hệ thống vân nhiễu xạ giống như ở hình 2.17b. Chỉ có điều khác là : do khe rất hẹp, nên cực đại trung tâm rất rộng.



Hình 2.20

Vì vị trí của hệ vân trên tiêu diện của thấu kính không phụ thuộc vị trí của khe trên màn chắn, nên tất cả các hệ vân do các khe tạo ra sẽ chồng khít lên nhau. Tuy nhiên, vì các chùm sáng nhiễu xạ qua các khe là các chùm kết hợp, nên khi gặp nhau trên tiêu diện chúng sẽ giao thoa với nhau.

Do đó, trong vùng của các cực đại nhiễu xạ sẽ xuất hiện các vân giao thoa (Hình 2.21).

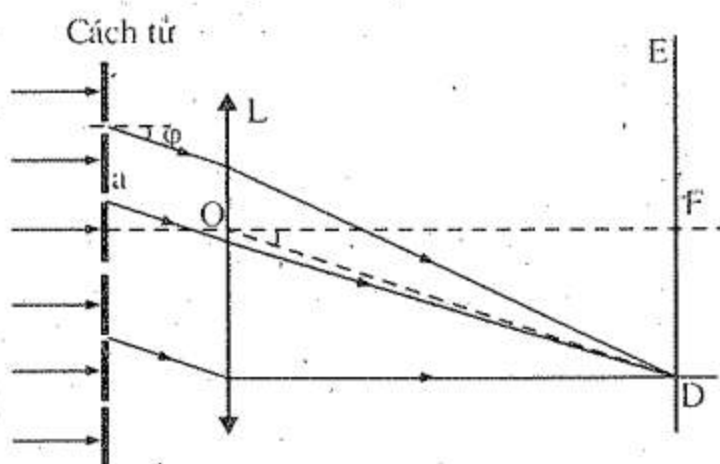


Hình 2.21

Ta hãy xác định vị trí của các vân giao thoa. Xét sự giao thoa của các sóng tại điểm D trên tiêu diện của thấu kính (Hình 2.22). Trục phụ qua D làm với trục chính góc φ .

Các tia sáng nhiễu xạ phát ra từ các khe, làm với pháp tuyến của mặt cách tử góc φ , sau khi qua thấu kính sẽ hội tụ tại điểm D và giao thoa với nhau. Các dao động sáng mà các khe gây ra ở D đều có cùng biên độ A_φ . Hiệu quang trình giữa hai tia phát ra từ hai khe cạnh nhau là :

$$\Delta = a \sin \varphi$$

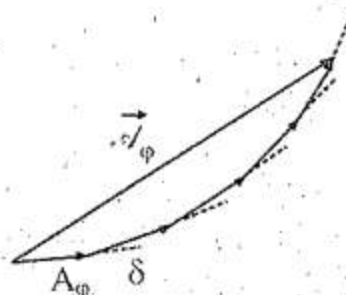


Hình 2.22

Hiệu số pha giữa hai dao động sáng do hai khe cạnh nhau gây ra ở D là :

$$\delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi a \sin \varphi}{\lambda}$$

Mỗi dao động sáng tại D được biểu diễn bằng một vectơ Fre-nen có môđun tỉ lệ với A_φ và có giá làm với giá của vectơ trước nó một góc δ . Tập hợp các vectơ biểu diễn các dao động sáng do các khe tiếp nhau gây ra tại D tạo thành một đường đa giác đều gồm N cạnh (Hình 2.23).



Hình 2.23

N là số khe của cách tử. Dao động tổng hợp tại D được biểu diễn bằng vectơ $\vec{A}_\varphi$ trên hình 2.23.

Mỗi khi $\delta = 2k\pi$ thì đường đa giác đều sẽ trải ra thành một đoạn thẳng có chiều dài là $A_\varphi = NA_\varphi$. Đó là biên độ cực đại của dao động tổng hợp.

Vậy, cực đại giao thoa nằm tại các vị trí xác định bởi :

$$\delta = 2k\pi \Rightarrow \frac{2\pi a \sin \varphi}{\lambda} = 2k\pi \quad \text{hay} \quad \sin \varphi = k \frac{\lambda}{a} \quad (2.10)$$

So sánh hai công thức (2.10) và (2.7), ta thấy : vì $a \gg b$, nên các cực đại giao thoa nằm lọt trong cực đại trung tâm nhiễu xạ (Hình 2.21).

Nếu nguồn sáng phát ra chùm sáng song song, không đơn sắc, gồm các ánh sáng có bước sóng $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ thì trên tiêu diện của thấu kính ta sẽ có các vạch màu đơn sắc $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ nằm riêng rẽ.

Tập hợp các vạch ứng với $k = 1$ tạo thành quang phổ bậc 1 của nguồn sáng.

Tập hợp các vạch ứng với $k = 2$ tạo thành quang phổ bậc 2 của nguồn sáng...

Khoảng cách giữa các vạch trong quang phổ bậc 2 rộng gấp đôi khoảng cách giữa các vạch trong quang phổ bậc 1...

Tất cả các vấn đề đề cập đến trong khe Y-âng đều áp dụng được cho cách tử nhiễu xạ. Đó là vì khe Y-âng là một cách tử có 2 khe.

Tuy nhiên, các vạch quang phổ cho bởi cách tử nhiễu xạ thì sắc nét hơn nhiều các vạch quang phổ cho bởi khe Y-âng.

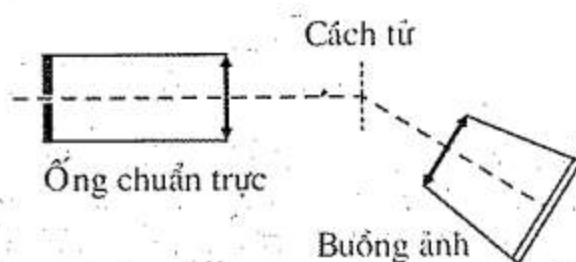
c) Máy quang phổ cách tử

Tương tự như máy quang phổ lăng kính, máy quang phổ cách tử cũng có ba bộ phận chính (Hình 2.24) :

- Ống chuẩn trực là bộ phận tạo ra chùm tia sáng song song từ chùm sáng của nguồn cần phân tích chiếu tới.

- Cách tử dùng để phân tích chùm sáng từ ống chuẩn trực chiếu tới.

- Buồng ảnh dùng để thu ảnh của quang phổ do cách tử tạo ra.



Hình 2.24

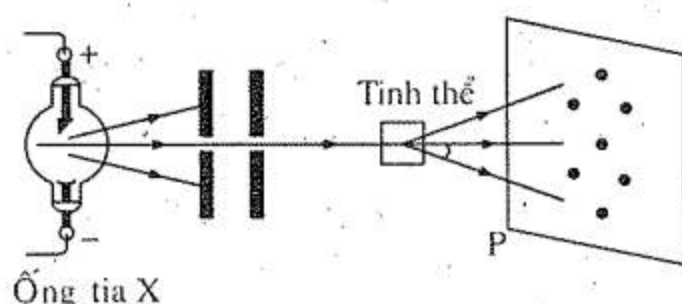
Trong các máy quang phổ cách tử, để có độ phân giải cao, người ta thường dùng các quang phổ bậc 2, bậc 3 ...

5. Nhiễu xạ tia X

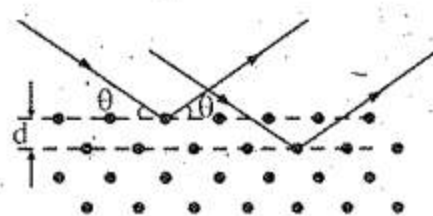
Để đo bước sóng tia X, ta không thể dùng các cách tử thông thường được. Đó là vì hằng số cách tử vào cỡ 10^{-6} m, trong khi đó, bước sóng tia X vào cỡ 10^{-10} m ; tức là bước sóng tia X quá nhỏ so với hằng số cách tử và hiện tượng nhiễu xạ sẽ không đáng kể.

Năm 1913, Lau-e (Lauer) đề xuất ý kiến dùng tinh thể làm cách tử nhiễu xạ đối với tia X. Chiếu một chùm tia X mảnh vào một tinh thể (Hình 2.25).

Hứng các tia X nhiễu xạ trên một phim ảnh. Ta được một hình ảnh nhất định (Hình 2.25) đó là ảnh nhiễu xạ tia X. Mỗi loại tinh thể cho một kiểu ảnh nhiễu xạ riêng. Nếu biết hằng số mạng tinh thể, ta có thể tính được bước sóng tia X ; ngược lại, nếu biết bước sóng tia X ta sẽ xác định được cấu trúc của mạng tinh thể.



Hình 2.25



Hình 2.26

Phép nghiên cứu cấu trúc tinh thể dựa vào ảnh nhiễu xạ tia X gọi là *phép phân tích cấu trúc*.

Ta hãy tìm công thức xác định vị trí các cực đại nhiễu xạ của tia X trên phim. Chiếu một chùm tia X song song, đơn sắc vào bề mặt (phẳng) của một tinh thể.

Có một lớp nguyên tử (hoặc ion) trên bề mặt đóng vai trò của những tâm phát sóng thứ cấp. Lớp nguyên tử thứ hai nằm cách lớp trên một khoảng d . Các tia X tới làm với lớp tinh thể góc θ mà ta gọi là *góc trượt* (Hình 2.26).

Ta hãy xem khi nào theo phương phản xạ sẽ có cực đại nhiễu xạ của các tia X. Muốn thế, ta hãy tính hiệu đường đi Δ giữa hai tia phản xạ trên hai nút mạng bất kì nằm trên hai lớp cạnh nhau.

Dễ dàng chứng minh được công thức sau đây : $\Delta = 2d\sin\theta$

Vậy, điều kiện để theo phương phản xạ có cực đại nhiễu xạ tia X là :

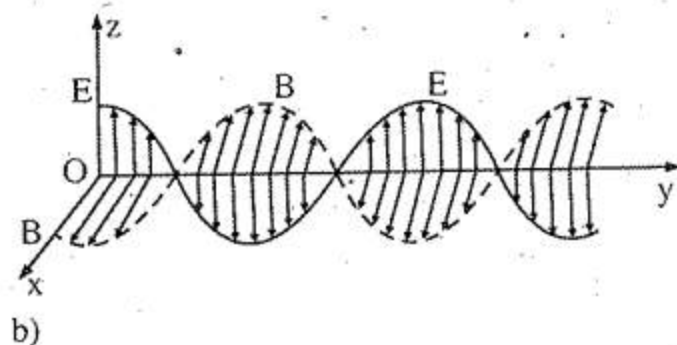
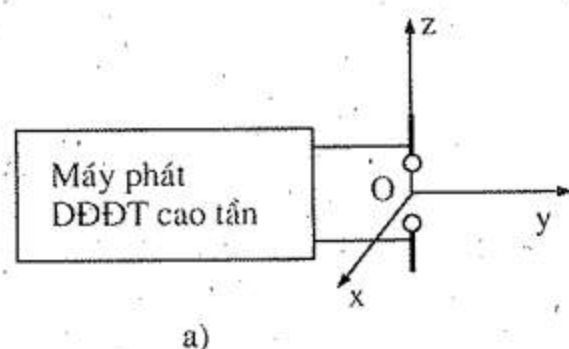
$$2d\sin\theta = k\lambda \quad (2.11)$$

Công thức (2.11) là công thức Bre-gơ (Bragg) về nhiễu xạ tia X.

III – HIỆN TƯỢNG PHÂN CỰC ÁNH SÁNG

1. Sóng điện từ phân cực phẳng

Hai quả cầu kim loại được nối với một máy phát dao động điện từ cao tần tạo thành một *dao động tử* (Hình 2.27a). Tại gốc O của hệ trục tọa độ Oxyz xuất hiện một điện trường xoay chiều cao tần có phương nằm dọc theo trục Oz.



Hình 2.27

Từ O xuất hiện một sóng điện từ lan truyền ra xung quanh. Ta hãy xét sóng lan truyền theo phương Oy (Hình 2.27b). Khi sóng lan truyền thì tại mỗi điểm vector cường độ điện trường luôn song song với Oz và có môđun "dao động" theo hàm số sin :

$$E = E_0 \cos \left(\omega t - \frac{y}{v} \right) \quad (v \text{ là tốc độ truyền sóng điện từ trong môi trường}).$$

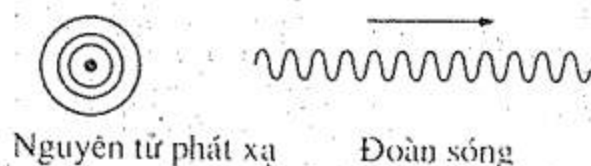
Người ta nói *mặt phẳng yOz là mặt phẳng dao động của sóng điện từ*. Như vậy, mặt phẳng dao động là mặt phẳng chứa các vector cường độ điện trường. Mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng dao động được gọi là *mặt phẳng phân cực*.

Sóng truyền theo phương Oy có mặt phẳng dao động không đổi gọi là *sóng phân cực phẳng*. Nói chung, sóng điện từ phát ra từ một máy phát đều là sóng phân cực phẳng.

Vì trong sóng điện từ phân cực phẳng có một phương ưu tiên, nên ta dễ dàng phát hiện ra phương này. Chẳng hạn, có thể dùng anten râu của một máy thu để phát hiện phương dao động của vectơ cường độ điện trường E ; Nếu anten song song với vectơ E thì tín hiệu thu được sẽ cực đại, nếu anten vuông góc với vectơ E thì tín hiệu thu được sẽ bằng không.

2. Ánh sáng phân cực phẳng và ánh sáng tự nhiên

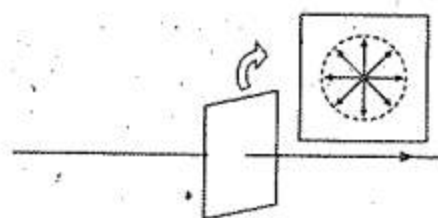
Ánh sáng do các nguyên tử (hay phân tử) của nguồn sáng phát ra. Mỗi nguyên tử khi phát ra ánh sáng đóng vai trò như một dao động tử. Nó phát ra *một đoàn sóng điện từ (sóng ánh sáng) phân cực phẳng* gồm hàng vạn chu kỳ (Hình 2.28).



Hình 2.28

Tuy nhiên, trong một nguồn sáng có vô số nguyên tử đồng thời phát sáng. Theo bất kỳ một phương Oy nào cũng có vô vàn sóng ánh sáng truyền đi. Các mặt phẳng dao động của các sóng ánh sáng được sắp xếp đều xung quanh phương Oy của tia sáng. Đó là ánh sáng tự nhiên. Vậy, *ánh sáng tự nhiên là ánh sáng trong đó, dao động sóng được thực hiện như nhau trong tất cả các mặt phẳng chứa tia sáng*.

Không thể dùng mô hình 2.27b để biểu diễn ánh sáng tự nhiên được. Trên một mặt phẳng vuông góc với tia sáng (Hình 2.29), các dao động sóng được biểu diễn bằng các vectơ có gốc nằm trên tia sáng và ngọn nằm trên một đường tròn có tâm nằm trên tia sáng.



Hình 2.29

Nếu bằng cách nào đó giữ lại các dao động sóng trong một mặt phẳng nhất định chứa tia sáng và triệt tiêu các dao động sóng trên tất cả các mặt phẳng khác thì ta sẽ có ánh sáng phân cực phẳng.

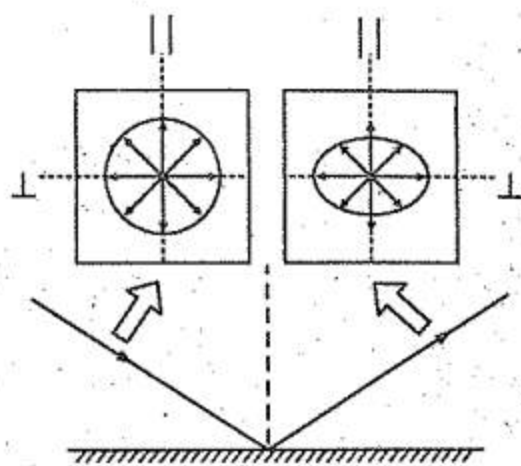
Vậy, *ánh sáng phân cực phẳng là ánh sáng trong đó dao động sóng chỉ được thực hiện trong một mặt phẳng nhất định chứa tia sáng*.

3. Sự phân cực vì phản xạ. Ánh sáng phân cực một phần

Việc biến ánh sáng tự nhiên thành ánh sáng phân cực gọi là *sự phân cực ánh sáng*.

Có nhiều cách tạo ra ánh sáng phân cực. Cách đơn giản nhất là cho ánh sáng tự nhiên phản xạ trên một gương phẳng (Hình 2.30).

Ánh sáng phản xạ không còn là ánh sáng tự nhiên nữa. Tuy trong ánh sáng phản xạ vẫn còn các dao động sáng nằm trong các mặt phẳng khác nhau chứa tia sáng, nhưng biên độ của các dao động sáng không còn bằng nhau nữa : dao động sáng nằm trong mặt phẳng tới (biểu diễn bằng kí hiệu $\parallel$) có biên độ nhỏ nhất ; dao động sáng nằm trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng tới (biểu diễn bằng kí hiệu $\perp$) có biên độ lớn nhất.



Hình 2.30

Nếu biểu diễn các dao động sáng trong một mặt phẳng vuông góc với tia phản xạ bằng những vectơ có gốc nằm trên tia sáng thì ngọn của các vectơ này sẽ nằm trên một đường elip.

Khi đó, ánh sáng phản xạ là *ánh sáng phân cực một phần*. Có thể nói dao động sáng song song với mặt gương thì phản xạ tốt hơn dao động sáng nằm trong mặt phẳng vuông góc với mặt gương.

Nếu cho tia sáng phản xạ nhiều lần trên các gương phẳng có mặt phản xạ quay vào nhau và song song với nhau thì tia sáng lúc cuối cùng sẽ là tia sáng phân cực phẳng.

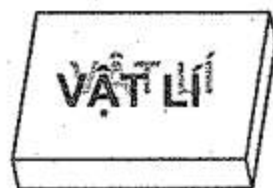
Đặc biệt, nếu góc tới thoả mãn điều kiện : *tia phản xạ vuông góc với tia khúc xạ* (Điều kiện Briu-xơ-Brewster) thì *tia phản xạ sẽ là tia sáng phân cực phẳng*. Khi đó, ta có công thức :

$$\tan i = n \quad (2.12)$$

i là góc tới ; n là chiết suất của gương.

4. Sự phân cực vì lưỡng chiết. Ánh sáng phân cực tròn

a) Nhìn một dòng chữ qua qua một khối tinh thể đá băng lan (CaCO_3 kết tinh) ta thấy xuất hiện hai dòng chữ (Hình 2.31). Như vậy, một tia sáng khi truyền vào đá băng lan đã bị khúc xạ thành hai tia.



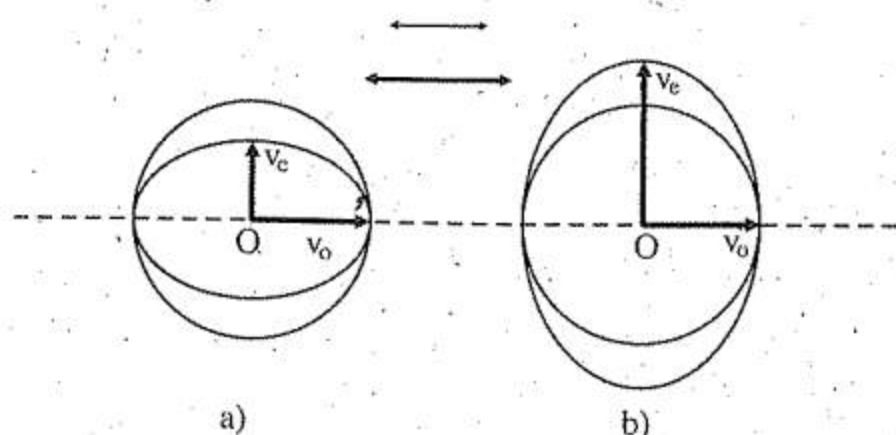
Hình 2.31

Đó là *hiện tượng lưỡng chiết*.

Có rất nhiều tinh thể tự nhiên và nhân tạo có tính lưỡng chiết.

b) Người ta giải thích hiện tượng lưỡng chiết như sau : Khi một nút mạng tinh thể (Nút O trên hình 2.32) bị kích thích dao động thì nó sẽ đồng thời phát ra hai loại sóng thứ cấp. Sóng thứ nhất là *sóng cầu*, truyền đi theo mọi phương với cùng một tốc độ v_o . Sóng này gọi là *sóng thường*. Sóng thứ hai là *sóng elipxôit tròn xoay*.

Dọc theo một phương đặc biệt, sóng này truyền với tốc độ v_o . Dọc theo các phương vuông góc với phương đặc biệt nói trên, sóng này truyền với tốc độ v_e , hoặc nhỏ hơn v_o (Hình 2.32a), hoặc lớn hơn v_o (Hình 2.32b).



Hình 2.32

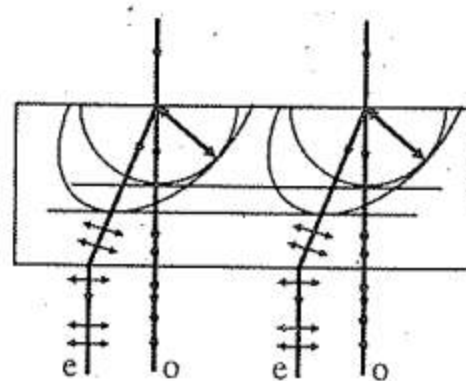
Sóng này là *sóng bất thường*.

Dọc theo các phương khác, vận tốc truyền sóng bất thường có giá trị trung gian giữa v_o và v_e . Trong trường hợp a, mặt sóng bất thường có dạng như quả dưa hấu ; trong trường hợp b, mặt sóng bất thường có dạng như quả bí đỏ.

Phương đặc biệt dọc theo đó hai sóng thường và bất thường truyền với cùng tốc độ gọi là *phương của trục tinh thể*. Phương này được biểu diễn bằng kí hiệu $\leftrightarrow$ trên hình 2.32. Tinh thể có một trục gọi là *tinh thể đơn trục*.

c) Dùng cách vẽ Huy-ghen, ta sẽ vẽ được các mặt sóng thường và bất thường trong tinh thể đơn trục, từ đó ta sẽ vẽ được các tia thường và bất thường.

Xét trường hợp có một chùm sáng song song chiếu vuông góc vào mặt một tinh thể đơn trục, có trục làm với mặt phân cách một góc nào đó (Hình 2.33). Giả sử mặt sóng trong tinh thể đó có dạng ở hình 2.32b.



Hình 2.33

Các mặt sóng thường là các mặt cầu có cùng bán kính. Mặt bao của các mặt cầu này là mặt phẳng song song với mặt phân cách. Các tiếp điểm của mặt bao với các mặt cầu đều nằm trên phương của tia tới.

Do đó, tia sáng sẽ truyền thẳng. Đó là *tia thường* (kí hiệu bằng chữ o). Tia thường tuân theo định luật khúc xạ ánh sáng.

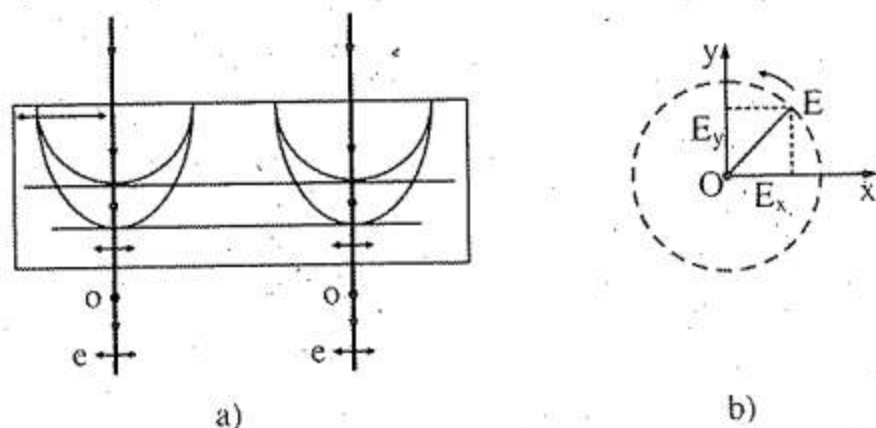
Các mặt sóng bất thường là các mặt elipxôit tròn xoay giống nhau. Mặt bao của các mặt elipxôit cũng là mặt phẳng song song với mặt phân cách. Tiếp điểm của mặt bao với các mặt elipxôit lại nằm lệch khỏi phương của tia tới. Do đó, tia khúc xạ trong tinh thể sẽ lệch khỏi phương tia tới. Đó là *tia bất thường* (kí hiệu bằng chữ e). Tia bất thường không tuân theo định luật khúc xạ. Ra khỏi tinh thể, tia bất thường lại truyền song song với tia tới.

Như vậy, ứng với mỗi tia tới có một tia thường và một tia bất thường.

d) Đặc biệt là cả tia thường và tia bất thường đều là các *tia sáng phân cực phẳng*. Mặt phẳng dao động của tia bất thường trùng với mặt phẳng tạo bởi trục tinh thể và tia sáng. Mặt phẳng này gọi là *mặt phẳng chính*. Mặt phẳng dao động của tia thường vuông góc với mặt phẳng chính.

Trong các máy phân cực, tức là máy tạo ra ánh sáng phân cực phẳng từ ánh sáng tự nhiên, người ta tìm cách tách riêng hai tia thường và bất thường ra với nhau và chỉ dùng một tia.

e) Xét trường hợp một chùm sáng song song, đơn sắc, phân cực phẳng, chiếu vuông góc vào mặt một bản tinh thể đơn trục được mài sao cho mặt phân cách song song với trục tinh thể (Hình 2.34a).



Hình 2.34

Trong trường hợp này, tia thường và tia bất thường đều truyền thẳng, nhưng mặt phẳng dao động của chúng vuông góc với nhau và tốc độ truyền của chúng khác nhau.

Ra khỏi bản tinh thể, hai sóng vẫn có chung đường truyền và truyền với cùng tốc độ c , tuy mặt phẳng dao động của chúng vẫn vuông góc với nhau. Mặt khác, hai sóng lại là hai sóng kết hợp, nên chúng sẽ giao thoa với nhau. Ta hãy xét hệ quả của sự giao thoa này.

Lấy hệ trục Oxy vuông góc với nhau và với tia sáng. Trục Ox song song với dao động sáng của tia thường, còn trục Oy song song với dao động sáng của tia bất thường (Hình 2.34b).

Tại mặt trước của bản tinh thể, hai dao động sáng thường và bất thường cùng pha với nhau. Nếu bố trí cho mặt phẳng dao động của ánh sáng tới chứa phân giác của góc xOy thì biên độ của hai dao động nói trên sẽ bằng nhau. Phương trình của hai dao động thường và bất thường sẽ là :

$$E_x = E \cos \omega t \text{ và } E_y = E \cos \omega t \quad (\omega \text{ là tần số ánh sáng}).$$

Tại mặt sau của bản tinh thể hai dao động sáng sẽ lệch pha với nhau :

$$E_x = E \cos \omega \left(t - \frac{d}{v_o} \right) \text{ và } E_y = E \cos \omega \left(t - \frac{d}{v_e} \right) \quad (d \text{ là bề dày của bản tinh thể}).$$

$$\text{Hiệu số pha giữa hai dao động là : } \delta = \omega d \left(\frac{1}{v_o} - \frac{1}{v_e} \right).$$

Có thể chọn bề dày d sao cho hiệu số pha đạt điều kiện :

$$\delta = (2k + 1) \frac{\pi}{2} \Rightarrow d = \frac{(2k + 1) \pi}{2\omega} \frac{v_o v_e}{v_e - v_o}$$

Khi đó có thể biểu diễn hai dao động thường và bất thường tại mặt sau của bản tinh thể là :

$$E_x = E \cos(\omega t - \varphi) \text{ và } E_y = E \sin(\omega t - \varphi)$$

Tổng hợp hai vector $\vec{E}_x$ và $\vec{E}_y$ thành vector $\vec{E}$ có gốc tại O và ngọn quay đều quanh O , trong mặt phẳng Oxy với tốc độ góc ω (Hình 2.34b). Đó là *ánh sáng phân cực tròn*.

Nếu hai biên độ của hai dao động sáng E_x và E_y không bằng nhau thì ta sẽ không được ánh sáng phân cực tròn mà được ánh sáng phân cực elip.

5. Bản pôlarôit

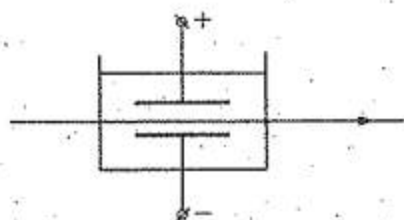
Bản pôlarôit là một bản nhựa trong, trên có phủ một lớp mỏng hợp chất hữu cơ sunfat-iôt-kí ninh. Có thể định hướng dễ dàng các phân tử chất này theo một hướng nhất định. Lớp chất hữu cơ này sẽ cho ánh sáng có dao động sáng nằm trong một mặt phẳng nhất định đi qua. Do đó, khi cho một chùm sáng tự nhiên đi qua một bản pôlarôit thì chùm sáng ló ra sẽ là ánh sáng phân cực phẳng.

Bản pôlarôit được dùng phổ biến ở các màn hiển số của các máy tính bỏ túi.

6. Sự phân cực ánh sáng trong điện trường. Hiệu ứng Ke (Kerr)

Một khối chất lỏng đặt trong một điện trường sẽ có tính lưỡng chiết giống như một tinh thể đơn trục, có trục hướng theo đường sức điện trường (Hình 2.35).

Hiệu ứng phân cực ánh sáng trong điện trường gọi là *hiệu ứng Ke*. Hiệu ứng Ke có thể xảy ra cả trong chất rắn và chất khí. Thiết bị tương tự như ở hình 2.35 gọi là tế bào Ke. Tế bào Ke được sử dụng như một thiết bị đóng ngắt không có quán tính trong kỹ thuật vô tuyến.

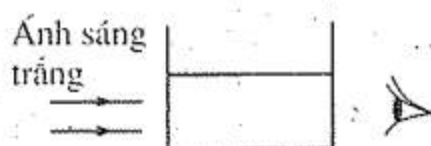


Hình 2.35

IV – HIỆN TƯỢNG HẤP THỤ ÁNH SÁNG

1. Hiện tượng hấp thụ ánh sáng

Chiếu một chùm sáng trắng vào một bể kính đựng nước màu xanh. Đặt mắt ở phía đối diện, ta thấy ánh sáng xanh. Nhìn vào bể theo các phương khác nhau ta cũng chỉ thấy ánh sáng xanh (Hình 2.36).



Hình 2.36

Ta đã biết trong chùm sáng trắng có đủ mọi ánh sáng màu. Vậy, các ánh sáng màu khác, ánh sáng đỏ chẳng hạn đã đi đâu?

Nếu cho chùm sáng xanh, ló ra khỏi bể nước, đi vào một máy quang phổ, ta sẽ thấy có cả ánh sáng các màu khác nữa. Tuy nhiên, vùng ánh sáng màu xanh thì mạnh, còn vùng các ánh sáng màu khác thì yếu hơn.

Nếu chùm sáng trắng có cường độ mạnh thì nước trong bể sẽ nóng lên rõ rệt.

Các thí nghiệm trên cho thấy bể nước hấp thụ yếu ánh sáng xanh và hấp thụ mạnh các ánh sáng khác. Năng lượng của các ánh sáng bị hấp thụ đã làm nóng nước.

Hiện tượng hấp thụ ánh sáng là hiện tượng môi trường vật chất làm giảm cường độ (hay năng lượng) của dòng ánh sáng truyền qua nó. Phản quang năng bị hấp thụ sẽ biến thành nội năng của môi trường.

2. Kính màu

Mỗi môi trường hấp thụ các ánh sáng đơn sắc khác nhau một cách nhiều, ít khác nhau. Đặc điểm này đã được sử dụng để chế tạo các kính màu.

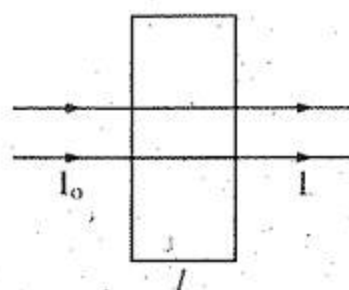
Người ta cho thêm vào thủy tinh, trong quá trình nấu chảy, những ôxit hoặc muối kim loại khác nhau để tạo thành thủy tinh có màu sắc khác nhau như đỏ, nâu, xanh ...

Tấm kính màu đỏ chẳng hạn, sẽ hấp thụ ít ánh sáng đỏ mà hấp thụ mạnh các ánh sáng màu khác.

3. Định luật Bu-gơ – Lăm-be (Bouger – Lambert)

Chắc chắn rằng sự hấp thụ ánh sáng phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng, bản chất môi trường và độ dài của đường đi tia sáng trong môi trường.

Giả sử có một chùm sáng song song, đơn sắc (bước sóng λ), có cường độ I_0 , chiếu vuông góc vào mặt trước của một lớp môi trường có bề dày l (Hình 2.37). Khi đi qua lớp đó, cường độ của chùm sáng chỉ còn là I . Ta hãy tìm hệ thức giữa I và I_0 .



Hình 2.37

Giả sử sau khi truyền qua một lớp môi trường mỏng có độ dày dl , cường độ của chùm sáng giảm đi một lượng là dI . Người ta thừa nhận rằng độ giảm dI vừa tỉ lệ với chính cường độ I của chùm sáng tới vừa tỉ lệ với dl :

$$dI = -k_{\lambda} I dl \Rightarrow \frac{dI}{I} = -k_{\lambda} dl$$

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -k_{\lambda} \int_0^l dl$$

$$\text{Vậy } I = I_0 e^{-k_{\lambda} l} \quad (2.13)$$

Hệ số k_{λ} , có giá trị dương, gọi là *hệ số hấp thụ ánh sáng đơn sắc* (có bước sóng λ) của môi trường. Hệ số k_{λ} có đơn vị là m^{-1} . Nó vừa phụ thuộc vào môi trường vừa phụ thuộc vào λ .

Hệ thức (2.13) biểu thị định luật Bu-gơ – Lăm-be:

Khi đi qua một môi trường hấp thụ ánh sáng thì cường độ của chùm sáng giảm theo định luật hàm mũ của độ dài đường đi tia sáng.

Trong công thức (2.13), I_0 là cường độ sáng lúc bắt đầu đi vào môi trường (không kể phần cường độ ánh sáng phản xạ); $(I_0 - I)$ là độ giảm của cường độ sáng thuần túy do hấp thụ (không kể phần cường độ sáng tán xạ ra xung quanh). Như vậy, việc đo hệ số hấp thụ ánh sáng của một môi trường không đơn giản.

Trước hết, phải đo hệ số phản xạ ánh sáng theo phương vuông góc với mặt phân cách. Sau đó, phải tìm cách giảm thiểu sự tán xạ ánh sáng. Môi trường phải hết sức đồng tính, không có các hạt vẩn, các tâm tán xạ. Cuối cùng là đo cường độ ánh sáng tới và ánh sáng truyền qua.

Hệ số hấp thụ ánh sáng của không khí, dưới áp suất 1atm là 10^{-3} m^{-1} ; của nước khoảng $0,25 \text{ m}^{-1}$; của thủy tinh vào cỡ 1 m^{-1} ; của kim loại vào khoảng 1000 m^{-1} .

Như vậy, khi ánh sáng truyền trên một quãng đường khoảng 7 m trong thủy tinh, thì cường độ sáng chỉ còn bằng 0,001 cường độ ban đầu. Đó là một trở ngại lớn cho việc dẫn truyền tín hiệu bằng cáp quang.

V – HIỆN TƯỢNG TÁN XẠ ÁNH SÁNG

"Long lanh đáy nước in trời,
Thành xây khói biếc, non phơi bóng vàng".

(Truyện Kiều – Nguyễn Du)

Một bức tranh tuyệt đẹp về chiều thu đầy màu sắc !

Nhưng : Cháy rừng ! Khói đã bốc lên dày đặc như một bức trường thành !

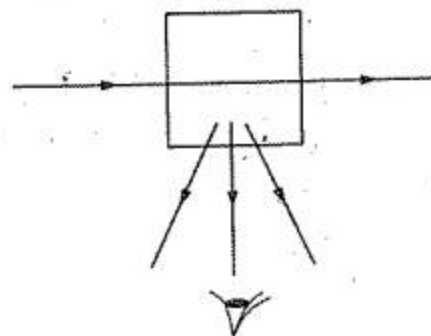
Không ! Làm gì có cháy rừng ! Vào buổi chiều thu, tiết trời se lạnh. Trong lớp không khí nằm sát mặt đất xuất hiện những giọt sương rất nhỏ làm cho lớp này mờ mờ như lớp khói. Những hạt nước nhỏ tán xạ rất mạnh các ánh sáng có bước sóng ngắn, nên khi có những tia nắng chiều, vàng nhạt, chiếu vào sẽ làm cho lớp này có màu xanh ngả tím, trông xa như một bức thành kéo dài ở chân trời.

1. Thí nghiệm về hiện tượng tán xạ ánh sáng

Chiếu một chùm sáng trắng qua một bình nước trong. Nhìn bình nước theo các phương lệch so với phương của chùm tia tới, ta không thấy có ánh sáng. Nhỏ một vài giọt sữa vào bình, ta sẽ thấy có ánh sáng chiếu theo các phương bên (Hình 2.38). Đó là hiện tượng tán xạ ánh sáng.

Vậy, sự tán xạ ánh sáng của một vật là hiện tượng vật đó hắt chùm tia sáng tới theo đủ mọi phương.

Có thể có sự tán xạ ánh sáng trên bề mặt của một vật như giấy, sứ không tráng men, cát..., hoặc sự tán xạ ánh sáng từ trong lòng một khối chất.



Hình 2.38

Dưới đây, ta chỉ xét sự tán xạ ánh sáng trong lòng một khối chất. Trong các hiện tượng tán xạ loại này, ta chỉ xét hiện tượng tán xạ Tin-đan và hiện tượng tán xạ phân tử.

2. Tán xạ Tin-đan (Tyndall)

Tán xạ Tin-đan là hiện tượng tán xạ xảy ra trong các môi trường có các hạt vẩn nhỏ khoảng dưới vài phần mười bước sóng ánh sáng tới, chẳng hạn như các hạt khói, hạt sương trong không khí, các hạt chất kết tủa trong chất lỏng ... Các hạt nhỏ này đóng vai trò của các *tâm tán xạ*. Xét cho cùng thì ánh sáng tán xạ cũng do các electron trong các nguyên tử hoặc phân tử của các tâm tán xạ phát ra.

Tán xạ Tin-đan có những đặc điểm sau đây :

a) Cường độ của ánh sáng tán xạ tỉ lệ nghịch với lũy thừa bốn của bước sóng ánh sáng tán xạ : $I \sim \frac{1}{\lambda^4}$.

Như vậy, ánh sáng có bước sóng ngắn bị tán xạ mạnh hơn ánh sáng có bước sóng dài. Do đó, khi chùm sáng trắng đi qua một khối chất tán xạ thì ánh sáng tán xạ ngả về màu xanh, còn ánh sáng truyền qua ngả về màu đỏ.

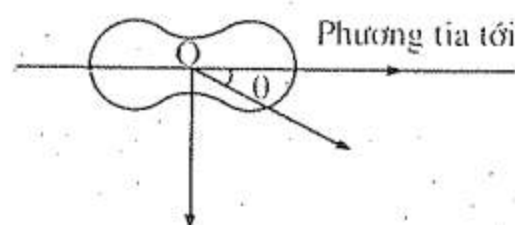
b) Cường độ của ánh sáng tán xạ phụ thuộc vào góc tán xạ θ (góc tạo bởi phương của tia sáng tán xạ và phương của tia sáng tới).

Người ta đã tìm được công thức về cường độ của tia tán xạ :

$$I_{\theta} = I_{\frac{\pi}{2}} \left(1 + \cos^2 \theta \right)$$

$I_{\frac{\pi}{2}}$ là cường độ của tia tán xạ theo phương $\theta = \frac{\pi}{2}$.

Nếu biểu diễn cường độ của tia tán xạ bằng một vectơ có gốc tại tâm tán xạ O, có phương và chiều là phương và chiều của tia tán xạ và có môđun tỉ lệ với cường độ của tia tán xạ thì ngọn của các vectơ này sẽ nằm trên một đường cong gọi là *giản đồ chỉ thị tán xạ*. Giản đồ này có dạng như một cuộn len (Hình 2.39).



Hình 2.39

Ta thấy giản đồ này có tính đối xứng quanh phương của tia tới và quanh đường thẳng vuông góc với phương tia tới, tức là ánh sáng tán xạ về phía trước và phía sau là như nhau.

Với những hạt vẫn có kích thước lớn thì giản đồ chỉ thị tán xạ không còn đối xứng quanh trục vuông góc với tia tới nữa. Phần ánh sáng tán xạ về phía sau sẽ bị giảm mạnh, thậm chí mất hẳn.

3. Tán xạ phân tử

Trong một khối chất trong suốt, đồng tính, bao giờ cũng xuất hiện những chỗ thăng giáng về mật độ do có chuyển động nhiệt hỗn loạn của các phân tử. Tại một thời điểm nhất định, có chỗ tập trung nhiều phân tử, có chỗ tập trung ít phân tử; vị trí những chỗ thăng giáng mật độ này luôn luôn thay đổi theo thời gian. Những chỗ thăng giáng này trở thành những tâm tán xạ ánh sáng. Sự tán xạ ánh sáng trong trường hợp này gọi là *tán xạ phân tử*.

Tán xạ phân tử cũng có những đặc điểm nói trên của tán xạ Tin-đan.

Màu xanh trong thăm thăm của bầu trời chính là do sự tán xạ phân tử xảy ra trong khí quyển.

VI – BÀI TẬP VÍ DỤ

Ví dụ 1. Hai gương phẳng G_1 và G_2 hợp với nhau một góc $\alpha = 30^\circ$. Một khe sáng S đơn sắc, hẹp, song song với giao tuyến O của hai gương và cách O khoảng $r = 10$ cm. S_1 và S_2 là hai ảnh của S qua hai gương. Một màn ảnh E đặt vuông góc với trung trục của S_1S_2 và cách O khoảng $L = 100$ cm (xem hình 2.5). Bước sóng của ánh sáng là $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$.

- Tính khoảng vân giao thoa.
- Tính số vân sáng quan sát được.

Giải

a) Góc $\widehat{S_1OS_2} = 2\alpha = 60^\circ$ với $\alpha = 30^\circ$

Khoảng cách $S_1S_2 = 2\alpha r = a = 0,175$ cm với $r = 10$ cm:

Khoảng cách từ S_1S_2 đến màn ảnh : $D = r + L = 110$ cm với $L = 100$ cm.

$$\text{Khoảng vân : } i = \frac{\lambda D}{a} = \frac{0,6 \cdot 10^{-6} \cdot 110 \cdot 10^{-2}}{0,175 \cdot 10^{-2}} = 3,770 \cdot 10^{-4} \text{ m} \approx 0,377 \text{ mm},$$

với $\lambda = 0,6 \mu\text{m} = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

b) Kích thước của miền giao thoa trên màn ảnh, biểu thị bằng đoạn AB trên hình 2.5) :

$$AB = 2\alpha L = 1,745 \text{ cm}$$

Số khoảng vân trên nửa miền giao thoa :

$$m = \left[\frac{AB}{2i} \right] = 23 \text{ khoảng vân}$$

Kí hiệu [] có nghĩa là ta chỉ lấy phần nguyên của thương số.

Số vân sáng quan sát được trên màn ảnh :

$$n = 2m + 1 = 47 \text{ vân}$$

Ví dụ 2. Hai lăng kính giống nhau, có tiết diện thẳng là một tam giác cân, làm bằng thủy tinh chiết suất $n = 1,5$, có góc chiết quang $A = 30'$ và có đáy dán với nhau (xem hình 2.6). Một khe sáng hẹp, đơn sắc, nằm trong mặt phẳng đáy chung của hai lăng kính, song song với cạnh của các lăng kính và cách mặt phẳng phân giác chung của hai lăng kính khoảng $d = 10 \text{ cm}$. Một màn ảnh E đặt song song với mặt phẳng phân giác chung và cách nó khoảng $L = 100 \text{ cm}$. Khoảng cách giữa 5 vân sáng liên tiếp là 3 mm .

a) Tính bước sóng ánh sáng.

b) Nếu mở rộng dần khe sáng thì đến mức độ nào hệ vân sẽ biến mất ?

Giải

a) Góc lệch của tia sáng khi đi qua lăng kính :

$$\delta = A(n - 1) = 0,00436 \text{ rad với } A = 30' = 0,5^\circ \text{ và } n = 1,5$$

Chùm tia sáng phát ra từ khe S, chiếu vào lăng kính phía trên, sẽ bị lệch về phía đáy (xuống phía dưới) một góc δ và tựa như phát ra từ ảnh ảo S_1 . Đoạn thẳng SS_1 coi như vuông góc với SO trên hình 2.6 và có thể tính gần đúng như sau :

$$SS_1 \approx \delta d = 0,0436 \text{ cm với } d = 10 \text{ cm.}$$

Tương tự, chùm tia sáng phát ra từ khe S, khi đi qua lăng kính dưới sẽ bị lệch lên phía trên và tựa như phát ra từ ảnh S_2 với $SS_2 = SS_1 = 0,0436 \text{ cm}$.

Vậy, khoảng cách sẽ là $S_1S_2 = a = SS_1 + SS_2 = 0,0872 \text{ cm}$.

Khoảng cách từ S_1S_2 đến màn ảnh là $D = d + L = 110 \text{ cm}$ với $L = 100 \text{ cm}$.

$$\text{Khoảng vân giao thoa là : } i = \frac{\lambda D}{a} \Rightarrow \lambda = \frac{ia}{D}$$

Giữa 5 vân sáng liên tiếp có 4 khoảng vân. Do đó, ta có :

$$i = \frac{3}{4} \text{ mm} = 0,75 \text{ mm}$$

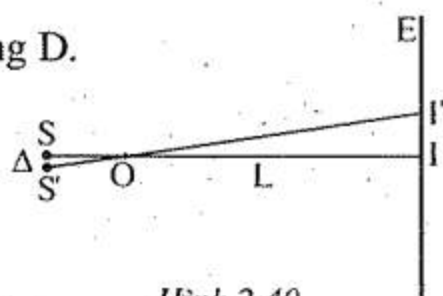
$$\text{Tính ra } \lambda = 0,594 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 0,594 \text{ } \mu\text{m}.$$

Vân sáng chính giữa nằm tại điểm I trên đường SO (Hình 2.6).

b) Giả sử ta tịnh tiến khe sáng S một đoạn rất nhỏ Δ theo phương vuông góc với đường SOI, đến vị trí S' ở phía dưới S trên hình 2.6. Dễ dàng thấy rằng :

- Góc lệch của các tia sáng vẫn là δ .
- Các ảnh S_1 và S_2 đều tịnh tiến xuống phía dưới một đoạn Δ , đến các vị trí S'_1 và S'_2 .

- Ta có $S'_1 S'_2 = S_1 S_2 = a$
- Khoảng cách từ $S'_1 S'_2$ đến màn ảnh vẫn bằng D.
- Khoảng vân vẫn bằng $i = 0,75 \text{ mm}$.
- Vân sáng chính giữa di chuyển đến điểm I' là giao điểm của tia S'O với màn ảnh E (Hình 2.40).



Hình 2.40

Đó là vì tia S'O đi qua cả hai lăng kính, coi như đi qua một bản mặt song song theo phương vuông góc với mặt bản, nên sẽ truyền thẳng. Hiệu quang trình giữa hai tia $S'_1 O I'$ và $S'_2 O I'$ bằng không.

$$\text{Ta có : } \frac{II'}{SS'} = \frac{II'}{\Delta} = \frac{L}{d} = 10 \Rightarrow II' = 10\Delta$$

Nếu nguồn mở rộng đến mức hai nửa của nó coi như hai nguồn sáng độc lập, không kết hợp, có điểm giữa nằm tại S và S' thì trên màn ảnh E ta sẽ có hai hệ thống vân giao thoa chồng chất lên nhau. Hai hệ thống vân này có cùng khoảng vân, có vân sáng chính giữa nằm tại I và I' và không giao thoa với nhau. Nếu vân sáng của hệ nọ trùng với vân tối của hệ kia thì màn sẽ sáng đều và các vân giao thoa sẽ biến mất.

Vậy, điều kiện để hệ vân biến mất là :

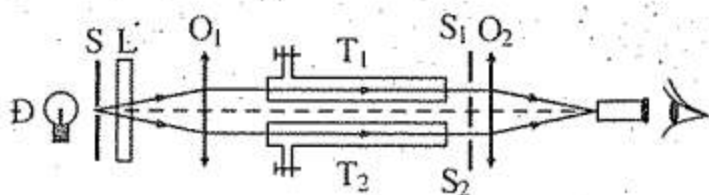
$$II' = \frac{i}{2} \Rightarrow \Delta = \frac{i}{20}$$

Bề rộng của nguồn là $l = 2\Delta$. Vậy, điều kiện về bề rộng của nguồn là :

$$l = \frac{i}{10} = 0,075 \text{ mm} = 75 \mu\text{m}$$

Ví dụ 3. Hình 2.41 là sơ đồ của một máy giao thoa dùng để đo chiết suất các chất lỏng hoặc khí trong suốt. S là một khe hẹp được chiếu sáng bằng một đèn Đ; L là một kính lọc sắc cho ánh sáng có bước sóng $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$ đi qua; O_1 và O_2 là hai thấu kính hội tụ đồng trục, có tiêu cự $f = 20 \text{ cm}$; S_1 và S_2 là hai khe hẹp song song với S và cách nhau khoảng $S_1S_2 = a = 4 \text{ cm}$; T_1 và T_2 là hai ống thủy tinh hình trụ, giống nhau, đáy phẳng, mỏng, vuông góc với trục của ống.

Chiều dài của mỗi ống là $l = 40 \text{ cm}$. Trục của các ống song song với trục thấu kính và đi qua các khe S_1, S_2 . Khe S đặt tại tiêu diện của thấu kính O_1 .



Hình 2.41

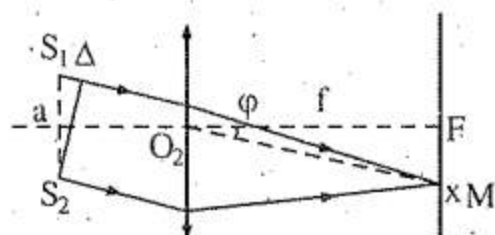
Hình ảnh giao thoa được quan sát bằng một thị kính, ngắm chừng tại tiêu diện của thấu kính O_2 .

a) Trong hai ống là không khí. Thiết lập công thức tính khoảng vân. Số bội giác của thị kính tối thiểu phải bằng bao nhiêu, nếu năng suất phân li của mắt là l' ?

b) Thay không khí trong một ống bằng NH_3 . Hệ vân bị dịch chuyển về phía ống chứa NH_3 một khoảng bằng $N = 66,7$ khoảng vân. Tính chiết suất của NH_3 . Cho chiết suất của không khí là $n_0 = 1,000277$.

Giải

a) Xét hai tia sáng song song, phát ra từ S_1 và S_2 , làm với trục chính của thấu kính một góc φ . Sau khi qua thấu kính O_2 , hai tia này hội tụ tại điểm M trên tiêu diện và giao thoa với nhau (Hình 2.42).



Hình 2.42

Hiệu quang trình giữa hai tia này là : $\Delta = a \sin \varphi$.

Tại M sẽ có vân sáng nếu $\Delta = k\lambda$ hay $\sin \varphi = k \frac{\lambda}{a}$ với $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$

Đặt $FM = x$; $O_2F = f$. Vì góc φ nhỏ, nên ta có:

$$\sin \varphi \approx \tan \varphi = \frac{x}{f} \Rightarrow x = f \sin \varphi = kf \frac{\lambda}{a}$$

Khoảng vân giao thoa sẽ là:

$$i = x_{k+1} - x_k = f \frac{\lambda}{a} = 3.10^{-6} \text{ m} = 3 \mu\text{m}$$

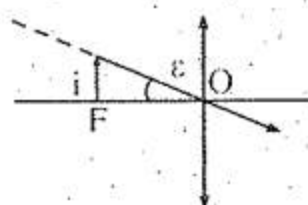
Giả sử ta quan sát một khoảng vân i qua thị kính trong trạng thái ngắm chừng ở vô cực (i nằm tại tiêu diện của thị kính) và dưới góc trông bằng năng suất phân li (ε) của mắt (Hình 2.43).

Gọi f_0 là tiêu cự của thị kính, ta có: $f_0 = \frac{i}{\varepsilon}$,

với $\varepsilon = 1' = 2,9.10^{-4} \text{ rad}$.

Số bội giác tối thiểu của thị kính sẽ phải là:

$$G = \frac{0,25}{f_0} = \frac{0,25 \cdot \varepsilon}{i} = 24$$



Hình 2.43

Đây là một số bội giác khá lớn, nên người ta thường chế tạo những thị kính đặc biệt bằng thấu kính phẳng – trụ, có đường kính khoảng từ 2 mm đến 3 mm. Nhìn qua thị kính, ta sẽ thấy các vân giao thoa tách biệt nhau khá rõ.

b) Khi thay không khí trong một ống bằng khí NH_3 thì hệ vân dịch chuyển về phía ống chứa NH_3 . Điều đó chứng tỏ chiết suất của NH_3 lớn hơn chiết suất của không khí. Hiệu quang trình tăng thêm một lượng là $l(n - n_0)$; với n là chiết suất của NH_3 , $n_0 = 1,000277$ và $l = 40 \text{ cm}$.

Vân sáng chính giữa trước đây ở tại tiêu điểm chính F của thấu kính O_2 , nay dịch chuyển N khoảng vân đến vị trí mới xác định bởi điều kiện:

$$l(n - n_0) - \Delta = 0 \Rightarrow l(n - n_0) - N\lambda = 0$$

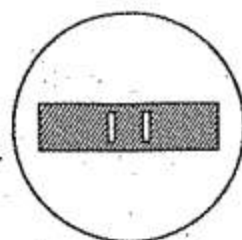
$$n = n_0 + N \frac{\lambda}{l} = 1,000377$$

Ví dụ 4. Sao đôi là một hệ thống hai ngôi sao có khối lượng tương đương nhau, quay quanh khối tâm chung. Khoảng cách giữa hai thành phần của sao đôi rất nhỏ so với khoảng cách từ chúng đến Trái Đất, nên từ Trái Đất, ta không thể nhận ra đó là sao đôi, ngay cả khi dùng kính thiên văn cỡ lớn. Người ta chỉ

nhận biết được sao đôi nhờ sự thay đổi độ sáng của nó, khi thành phần này che khuất thành phần kia. Năm 1920, Mai-ken-xơn (Michelson) đã dùng phương pháp giao thoa để xác định khoảng cách góc giữa 2 thành phần của sao đôi.

Ý tưởng của phương pháp rất đơn giản :

Hướng trục của kính thiên văn vào một sao đôi. Đặt trước vật kính của kính thiên văn một màn chắn trên có khoét hai khe hẹp (Hình 2.44). Khoảng cách d giữa hai khe có thể thay đổi được. Ta sẽ thấy khi d có một giá trị nào đó thì hệ thống vân giao thoa trên tiêu diện của vật kính sẽ biến mất.



Hình 2.44

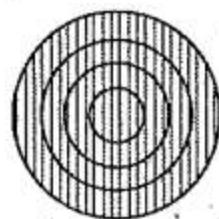
Sau đó cứ thay đổi d một lượng Δd nhất định thì hệ vân lại biến mất. Dựa vào các giá trị của Δd và bước sóng λ của ánh sáng, ta có thể xác định được khoảng cách góc α giữa hai thành phần của sao đôi khi nhìn từ Trái Đất.

a) Vẽ phác hình ảnh giao thoa mà ta quan sát được trên tiêu diện của vật kính.

b) Xây dựng công thức tính α . Áp dụng bằng số : $\Delta d = 3\text{m}$; $\lambda = 0,6\text{ }\mu\text{m}$.

Giải

a) Trên tiêu diện của vật kính, ta sẽ thấy xuất hiện đồng thời hai hệ thống vân : hệ thống vân giao thoa, do sự giao thoa của hai chùm sáng đi qua hai khe và hệ thống vân tròn nhiễu xạ, do sự nhiễu xạ của ánh sáng trên vành đỡ của vật kính (Hình 2.45).



Hình 2.45

b) Xét chùm sáng do một thành phần S_1 của sao đôi gửi đến vật kính. Chùm sáng này là một chùm song song. Giả thiết chùm này làm với trục chính của vật kính một góc α_1 và ở bên phải của trục chính (Hình 2.46). Ta sẽ chỉ xét ánh sáng có bước sóng λ trong chùm.

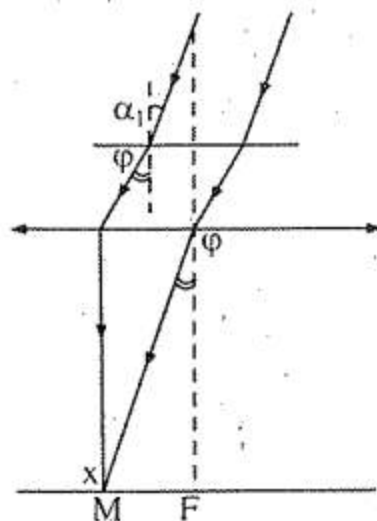
Xét hai tia nhiễu xạ phát ra từ hai khe, đi theo hai phương song song với nhau và làm với trục chính của vật kính một góc φ . Hai tia này, sau khi đi qua vật kính sẽ hội tụ tại điểm M trên tiêu diện.

Tại đó chúng giao thoa với nhau. Hiệu quang trình giữa hai tia này là :

$$\Delta = d \sin \alpha_1 - d \sin \varphi = d (\sin \alpha_1 - \sin \varphi)$$

Vì α_1 và φ đều là các góc nhỏ, nên ta có thể viết :

$$\Delta = d(\alpha_1 - \varphi)$$



Hình 2.46

Tại M sẽ có vân sáng nếu $\Delta = k\lambda$

với $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$

Vị trí của vân sáng được xác định bởi công thức :

$$\varphi = k \frac{\lambda}{d} + \alpha_1$$

Vị trí của vân sáng trên tiêu diện được xác định bởi đoạn $FM = x$.

$$x = f \sin \varphi = f \varphi = k f \frac{\lambda}{d} + f \alpha_1$$

Khoảng vân được xác định bởi công thức :

$$i = x_{k+1} - x_k = f \frac{\lambda}{d}$$

Vị trí của vân sáng chính giữa được xác định bởi công thức : $x_{01} = f \alpha_1$.

Vân này nằm bên trái tiêu điểm chính F.

Tương tự như trên, giả thiết thành phần S_2 của sao đôi phát ra chùm tia song song làm với trục chính của vật kính góc α_2 và ở bên trái trục chính.

Chùm tia này cũng tạo ra trên tiêu diện của vật kính một hệ thống vân giao thoa có cùng khoảng vân $i = f \frac{\lambda}{d}$ và có vân sáng chính giữa nằm bên phải tiêu điểm chính F của vật kính và tại vị trí : $x_{02} = f \alpha_2$.

Khoảng cách giữa hai vân sáng chính giữa của hai hệ thống vân là :

$$X = x_{01} + x_{02} = f(\alpha_1 + \alpha_2) = f\alpha$$

với $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ là khoảng cách góc giữa hai thành phần S_1 và S_2 của sao đôi.

Vì hai nguồn sáng S_1 và S_2 là hai nguồn không kết hợp, nên khi hai hệ vân chồng chập lên nhau sẽ không xảy ra hiện tượng giao thoa với nhau mà chỉ có sự cộng cường độ sáng một cách đơn giản. Do đó, nếu vân sáng của hệ nọ trùng với vân tối của hệ kia thì tiêu diện của vật kính sẽ sáng đều (không kể đến các vân nhiễu xạ) và hệ vân giao thoa sẽ biến mất. Lúc đó khoảng cách giữa hai vân sáng chính giữa của hai hệ sẽ bằng một số lẻ nửa khoảng vân :

$$X = (2k + 1) \frac{i}{2} \Rightarrow f\alpha = (2k + 1) \frac{f\lambda}{2d}$$

Kết quả, ta được : $d = k \frac{\lambda}{\alpha} + \frac{\lambda}{2\alpha}$.

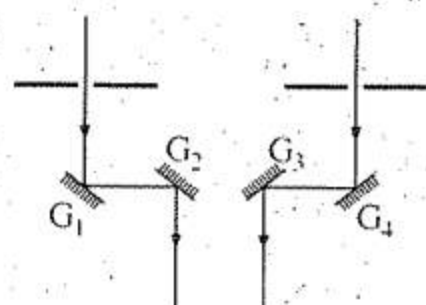
Khoảng thay đổi của d giữa hai lần hệ vân biến mất là :

$$\Delta d = d_{k+1} - d_k = \frac{\lambda}{\alpha}$$

Từ đó, ta có công thức tính khoảng cách góc giữa hai thành phần của sao đôi:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\Delta d} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ rad} = 0,041''$$

Thực ra góc α chỉ vào khoảng vài phần trăm giây, nên khoảng thay đổi của d phải vào cỡ chục mét, lớn hơn cả đường kính của vật kính. Vì vậy, Mai-ken-xơn đã dùng hệ thống 4 gương phẳng G_1 , G_2 , G_3 và G_4 đặt nghiêng góc 45° với đường đi tia sáng để đưa các chùm sáng nhiễu xạ qua hai khe (Hình 2.47) vào vật kính của kính thiên văn.



Hình 2.47

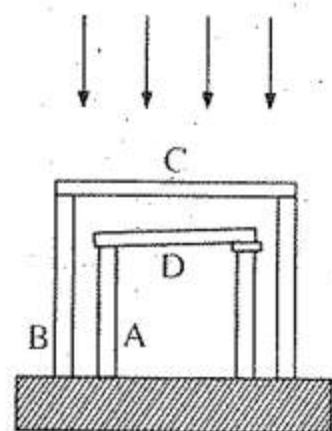
Các gương G_1 và G_4 di động cùng với các khe ; các gương G_2 và G_3 cố định. Vì $d \gg \lambda$ nên các vân giao thoa rất xít nhau và các tia sáng nhiễu xạ mà ta xét lệch rất ít so với các tia sáng mà ta vẽ trên hình 2.47.

Ví dụ 5. Để đo hệ số nở dài của một hợp kim, người ta dùng một thiết bị sau đây (Hình 2.48) :

– Một ống hình trụ rỗng (A) bằng hợp kim mà người ta muốn đo hệ số nở dài. Ống có chiều dài $L = 10 \text{ cm}$. Hai đáy được mài phẳng, vuông góc với trục của ống.

– Một ống hình trụ rỗng (B) bằng thủy tinh, có chiều dài $L' = 11 \text{ cm}$ và có đường kính lớn hơn đường kính của ống hợp kim. Hai đáy cũng được mài phẳng, vuông góc với trục của ống. Ống thủy tinh lồng bên ngoài ống hợp kim. Hai ống đặt trên một giá nằm ngang.

– Hai tấm thủy tinh mỏng, phẳng, hai mặt song song với nhau. Một tấm có chiều dài bằng đường kính của ống thủy tinh và được đặt trên mặt ống này.



Hình 2.48

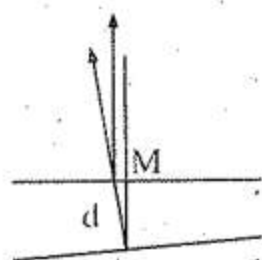
Tấm kia có chiều dài bằng đường kính của ống hợp kim và được đặt trên mặt ống này. Người ta kê một mẫu giấy nhỏ ở một đầu tấm thủy tinh này làm cho nó hơi nghiêng đi chút ít.

Chiếu một chùm sáng song song, đơn sắc, có bước sóng $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$ vuông góc vào mặt tấm thủy tinh trên, khi đó xuất hiện một hệ thống vân giao thoa. Tăng dần nhiệt độ của hệ thống, ta thấy hệ thống vân sẽ dịch chuyển, nhưng khoảng vân không đổi. Khi nhiệt độ tăng Δt thì hệ vân dịch chuyển được N khoảng vân.

- Giải thích hiện tượng trên. Cho biết chiều dịch chuyển của hệ vân ?
- Thiết lập công thức tính hệ số nở dài của hợp kim.
- Áp dụng bằng số : $\Delta t = 10 \text{ K}$; $N = 5$ khoảng vân ; hệ số nở dài của thủy tinh $8,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Tính hệ số nở dài của hợp kim.

Giải

a) Lớp không khí nằm giữa hai tấm thủy tinh tạo thành một cái nêm. Các tia sáng phản xạ trên mặt trên và mặt dưới của nêm không khí, gặp nhau ở mặt trên của nêm, giao thoa với nhau và cho hệ thống vân thẳng song song với cạnh nêm (Hình 2.49). Cạnh nêm là giao tuyến của mặt trên và mặt dưới của nêm.



Hình 2.49

Khi nhiệt độ tăng, các hình trụ đỡ đỡ hai tấm thủy tinh đều giãn nở. Tuy nhiên, vì hợp kim giãn nở nhiều hơn thủy tinh, nên bề dày của nêm sẽ giảm đi, trong khi góc giữa hai mặt nêm vẫn không thay đổi. Do đó, hệ vân sẽ dịch chuyển theo hướng ra xa cạnh nêm, nhưng khoảng vân không thay đổi.

b) Hiệu quang trình giữa hai tia phản xạ ở mặt dưới và mặt trên của nêm tại điểm M của nêm là :

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2} \quad (d \text{ là bề dày của nêm tại M})$$

Chú ý rằng chỉ có tia phản xạ ở mặt dưới của nêm bị "mất nửa sóng". Giả sử tại M có một vân tối. Hiệu quang trình tại M sẽ là :

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow d = k \frac{\lambda}{2}$$

Nếu hệ vân dịch chuyển N khoảng vân, thì có nghĩa là lần lượt có N vân tối đến thay thế vị trí của vân tối lúc đầu. Điều đó ứng với việc bề dày của bản tại M giảm một lượng là :

$$\Delta d = d_k - d_{k-N} = k \frac{\lambda}{2} - (k - N) \frac{\lambda}{2} = N \frac{\lambda}{2}$$

Gọi L_0 , L_1 và L_2 là độ dài của ống hợp kim ở 0°C , $t_1^\circ\text{C}$ và $t_2^\circ\text{C}$, ta có :

$$L_1 = L_0(1 + \alpha t_1)$$

$$L_2 = L_0(1 + \alpha t_2)$$

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} = \frac{(1 + \alpha t_2)(1 - \alpha t_1)}{1 - \alpha^2 t_1^2} = \frac{1 + \alpha(t_2 - t_1) - \alpha^2 t_1 t_2}{1 - \alpha^2 t_1^2}$$

Bỏ qua các số hạng vô cùng bé bậc hai, chứa α^2 , ta được :

$$\frac{L_2}{L_1} \approx 1 + \alpha(t_2 - t_1) \Rightarrow L_2 - L_1 = L_1 \alpha(t_2 - t_1)$$

$$\Delta L = L_1 \alpha \Delta t$$

với ΔL là độ tăng chiều dài của ống hợp kim và Δt là độ tăng nhiệt độ ; α là hệ số nở dài của hợp kim mà ta phải đo ; $L_1 = 10 \text{ cm}$.

Tương tự, đối với ống thủy tinh, ta có :

$$\Delta L' = L_1' \alpha' \Delta t \text{ với } \alpha' = 8,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} ; L_1' = 11 \text{ cm}$$

Độ giảm bề dày của nêm do sự nở của của ống kim loại và ống thủy tinh là :

$$\Delta d = \Delta L - \Delta L' \Rightarrow (L_1 \alpha - L_1' \alpha') \Delta t = N \frac{\lambda}{2}$$

$$\text{Kết quả, ta được : } \alpha = \alpha' \frac{L_1'}{L_1} + \frac{N \lambda}{2 L_1 \Delta t},$$

$$\text{với } \Delta t = 10 \text{ K và } N = 5, \text{ ta được : } \alpha = 10,85 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}.$$

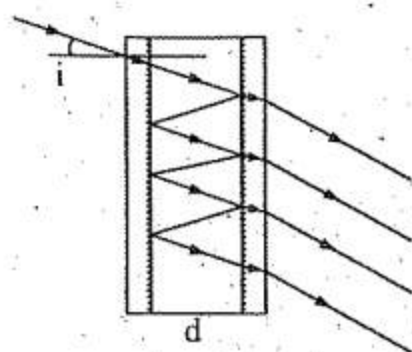
Ví dụ 6. Hai tấm thủy tinh mỏng trên mặt có mạ một lớp phản xạ tốt ánh sáng, được đặt hai mặt phản xạ quay vào nhau, song song với nhau, cách nhau một lớp không khí rất mỏng có bề dày d tạo thành một cái lọc sáng giao thoa.

a) Xác định bước sóng λ của ánh sáng nhìn thấy mà cái lọc sáng này cho qua theo phương pháp tuyến với bề mặt của nó. Chùm sáng chiếu vào cái lọc sáng là chùm sáng trắng rộng. Cho $d = 0,5 \mu\text{m}$.

b) Đặt sau cái lọc sáng một thấu kính hội tụ có tiêu cự 20 cm và có trục chính vuông góc với mặt cái lọc sáng. Xác định bán kính của vùng sáng chính giữa. Vùng này giới hạn bởi vân tròn tối đầu tiên.

Giải

a) Xét một tia sáng đơn sắc, có bước sóng λ , chiếu vào cái lọc sáng dưới góc tới i (Hình 2.50). Tia này truyền qua tấm thủy tinh vào lớp không khí dưới góc ló i . Tia ló đến gặp tấm thủy tinh kia, phần lớn bị phản xạ, phần nhỏ ló ra ngoài dưới góc ló i . Tia phản xạ trở lại mặt trên của lớp không khí, phần lớn lại bị phản xạ. Cứ như thế, tia sáng phản xạ đi, lại nhiều lần trong lớp không khí và cho nhiều tia ló ra khỏi tấm thủy tinh.



Hình 2.50

Các tia ló song song với nhau và song song với tia tới đầu tiên. Chúng là các tia kết hợp, nên khi gặp nhau, chúng có thể giao thoa với nhau. Hiệu quang trình giữa hai tia ló liên tiếp là :

$$\Delta = \frac{2d}{\cos i} - 2d \cdot \tan i \cdot \sin i = \frac{2d}{\cos i} - \frac{2d \cdot \sin i}{\cos i} \sin i = 2d \cos i$$

Theo phương i sẽ có cực đại, nếu :

$$\Delta = 2d \cos i = k\lambda$$

Ta hãy tìm điều kiện để có cực đại theo phương pháp tuyến. Khi đó :

$$i = 0 \Rightarrow 2d = k\lambda \text{ với } d = 0,5 \mu\text{m}, \text{ ta có kết quả sau :}$$

k	1	2	3
λ (μm)	1	0,50	0,333

Vậy, ánh sáng nhìn thấy mà cái lọc sáng cho qua theo phương pháp tuyến là ánh sáng lục, bước sóng 0,50 μm .

b) Các chùm sáng ló ra khỏi cái lọc sáng là các chùm sáng song song, đơn sắc, đi theo các phương khác nhau. Khi đi qua thấu kính hội tụ thì chùm sáng đi theo phương làm với pháp tuyến của cái lọc một góc i sẽ hội tụ tại tiêu điểm phụ nằm trên trục phụ làm với trục chính góc i . Những chùm sáng làm với pháp tuyến góc i , xoay quanh pháp tuyến đó, sau khi qua thấu kính sẽ hội tụ tại những tiêu điểm phụ nằm trên một đường tròn có tâm là tiêu điểm chính, đó là vân giao thoa hình tròn.

Ta hãy tìm bán kính của vân tối bao quanh vân sáng chính giữa. Đối với vân tối, ta có :

$$\Delta = 2d \cos i = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

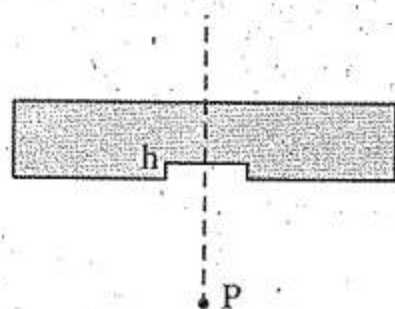
Với $d = 0,5 \mu\text{m}$ và $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$ thì $\cos i = \frac{k}{2} + 0,25$. Góc i nhỏ nhất, $\cos i$ lớn nhất, ứng với $k = 1$ thì $\cos i = 0,75 \Rightarrow \tan i = 0,882$.

Bán kính của vân tối bao quanh vân sáng chính giữa là :

$$r = f \cdot \tan i = 20 \cdot 0,882 = 17,64 \text{ cm}$$

Đó là một vùng tương đối rộng.

Ví dụ 7. Một sóng ánh sáng phẳng, đơn sắc, bước sóng λ chiếu vuông góc lên mặt của một tấm thủy tinh phẳng, rộng, chiết suất n . Mặt sau của tấm thủy tinh có khoét một hốc hình trụ tròn có chiều sâu h (Hình 2.51). Người ta nghiên cứu cường độ sáng tại một điểm P trên trục của lỗ. Biết rằng từ P người ta chỉ vẽ được một đối rưỡi Fre-nen.



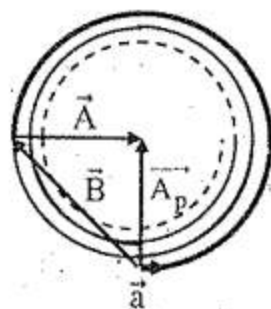
Hình 2.51

Xác định chiều sâu h trong các trường hợp :

- Cường độ sáng tại P là cực đại.
 - Cường độ sáng tại P là cực tiểu.
 - Cường độ sáng tại P bằng cường độ sáng của phần bên ngoài.
- Bỏ qua sự hấp thụ ánh sáng của tấm thủy tinh.

Giải

Dao động sóng ở P là tổng hợp của dao động sáng do sóng phẳng rất rộng qua tấm thủy tinh gây ra (được biểu diễn trên hình 2.52 bằng vector $\vec{A}$) và dao động sóng do một đối cầu rưỡi ở cái hốc gây ra (được biểu diễn trên hình 2.52 bằng vector $\vec{B}$). Dao động tổng hợp tại P được biểu diễn bằng vector $\vec{A}_P$ có gốc là gốc của vector $\vec{A}$ và ngọn là ngọn của vector $\vec{B}$.



Hình 2.52

Ta tưởng tượng chia mặt sóng phẳng ở mặt sau của tấm thủy tinh thành rất nhiều nguồn thứ cấp có dạng những hình vành khăn hẹp, đồng tâm, có tâm nằm trên trục của hốc.

Khi không có hốc, đường biểu diễn của những dao động sóng do những nguồn thứ cấp nói trên gây ra ở P có dạng một đường xoắn ốc vào tâm. Dao động của các nguồn nằm trong hốc được biểu diễn bằng $\frac{3}{4}$ vòng tròn ngoài cùng (đường tô đậm trên hình 2.52). Ta có : $|\vec{A}| = |\vec{A}_P|$ và $|\vec{B}| = \sqrt{2}|\vec{A}|$.

Khi có hốc, phương, chiều và môđun của vector $\vec{A}$ không thay đổi. Do đó, ta sẽ lấy phương và chiều của vector $\vec{A}$ làm gốc.

Vector $\vec{B}$ có môđun không đổi, nhưng phương và chiều của nó thay đổi tùy thuộc vào độ lệch pha (sớm pha) giữa sóng đi từ phần hốc và sóng đi từ các phần còn lại đến P.

Nếu vector $\vec{B}$ cùng phương, cùng chiều với vector $\vec{A}$ thì vector $\vec{A}_P$ có môđun lớn nhất và cường độ sáng tại P là cực đại.

Nếu vector $\vec{B}$ cùng phương, ngược chiều với vector $\vec{A}$ thì vector $\vec{A}_P$ sẽ có môđun nhỏ nhất và cường độ sáng tại P là cực tiểu.

Nếu vector $\vec{B}$ hợp với vector $\vec{A}$ một góc $\pm \frac{3\pi}{4}$ thì môđun của vector $\vec{A}_P$ sẽ bằng môđun của vector $\vec{A}$ và cường độ sáng tại P bằng cường độ sáng của phần bên ngoài.

Hiệu quang trình giữa tia đi ở phần hốc và tia đi ở phần ngoài là :

$$\Delta = h(n - 1)$$

Độ sớm pha của sóng đi ở phần hốc so với sóng đi ở phần ngoài là :

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

Gọi $\vec{a}$ là vector dao động sóng do nguồn thứ cấp ở tâm của hốc gây ra ở P, như vậy δ cũng là góc giữa vector $\vec{a}$ và vector $\vec{A}$. Theo hình 2.52, vector $\vec{B}$ luôn luôn trễ pha so với vector $\vec{a}$ là $\frac{3\pi}{4}$. Như vậy, góc giữa vector $\vec{B}$ và vector $\vec{A}$ sẽ là :

$$\alpha = \delta - \frac{3\pi}{4} = \frac{2\pi h(n - 1)}{\lambda} - \frac{3\pi}{4}$$

a) Trường hợp vector $\vec{B}$ cùng phương, cùng chiều với vector $\vec{A}$:

$$\alpha = 2k\pi \text{ với } k = 0, 1, 2, \dots \Rightarrow h = \left(k + \frac{3}{8}\right) \frac{\lambda}{n-1}$$

b) Trường hợp vector $\vec{B}$ cùng phương, ngược chiều với vector $\vec{A}$:

$$\alpha = (2k+1)\pi \text{ với } k = 0, 1, 2, \dots \Rightarrow h = \left(k + \frac{7}{8}\right) \frac{\lambda}{n-1}$$

c) Trường hợp vector $\vec{B}$ làm với vector $\vec{A}$ một góc $\pm \frac{3\pi}{4}$:

$$\alpha = \pm \frac{3\pi}{4} + 2k\pi \text{ với } k = 0, 1, 2, \dots \Rightarrow \text{hoặc } h = \left(k + \frac{3}{4}\right) \frac{\lambda}{n-1} \text{ hoặc } h = \frac{k\lambda}{n-1}$$

Ví dụ 8. Một kính thiên văn có số bội giác $G_\infty = 100$. Thị kính có tiêu cự 2 cm. Đường kính của thị kính là 5 mm. Cho rằng toàn bộ chùm sáng song song qua vật kính sẽ vừa vặn chiếm đầy mặt thị kính.

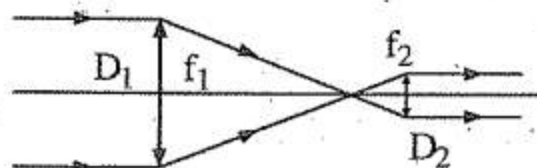
a) Xác định năng suất phân giải φ của kính thiên văn đối với ánh sáng có bước sóng $\lambda = 0,50 \mu\text{m}$.

b) Xác định kích thước của hạt nhũ tương trên kính ảnh đặt tại tiêu diện của vật kính sao cho với năng suất phân giải φ ở trên, khi chụp ảnh có thể phân biệt được hai ảnh của hai ngôi sao.

Giải

a) Gọi f_1, f_2 là tiêu cự của vật kính và thị kính ; D_1 và D_2 là đường kính của chúng.

Ta có (Hình 2.53) :



Hình 2.53

$$G_\infty = \frac{f_1}{f_2} = \frac{D_1}{D_2} \Rightarrow D_1 = G_\infty D_2 = 500 \text{ mm}$$

Năng suất phân giải của kính : $\sin \varphi \approx \varphi = 1,22 \frac{\lambda}{D_1} = 1,22 10^{-6} \text{ rad} = 0,25''$

b) Tiêu cự của vật kính : $f_1 = G_\infty f_2 = 200 \text{ cm} = 2 \text{ m}$

Kích thước tối đa của hạt nhũ tương kính ảnh để có thể tận dụng được năng suất phân giải của kính :

$$d = f_1 \cdot \varphi = 2,44 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 2,44 \text{ } \mu\text{m}$$

Ví dụ 9. Một chùm tia sáng song song, đơn sắc, bước sóng $\lambda = 0,50 \text{ } \mu\text{m}$ chiếu vuông góc vào một cách tử nhiễu xạ. Phía sau cách tử, đặt một thấu kính hội tụ có tiêu cự 1 m và trục chính vuông góc với mặt cách tử. Trên một màn ảnh đặt tại tiêu diện của kính, ta thấy các vạch sáng bậc 1 và bậc 2 nằm cách nhau 5 cm. Xác định :

- Hằng số cách tử.
- Số vạch cách tử trên 1 mm.
- Trong vùng sáng trung tâm, người ta chỉ thấy có 11 vạch sáng. Ước lượng bề rộng của mỗi khe cách tử.

Giải

a) Áp dụng công thức : $\sin \varphi = k \frac{\lambda}{a} \approx \varphi$

Ta có : $\Delta \varphi = 2 \frac{\lambda}{a} - \frac{\lambda}{a} = \frac{\lambda}{a} \Rightarrow \Delta x = f \cdot \Delta \varphi = f \frac{\lambda}{a} \Rightarrow a = \frac{f \lambda}{\Delta x}$

với $\Delta x = 5 \text{ cm}$; $\lambda = 0,50 \text{ } \mu\text{m}$; $f = 1 \text{ m}$. Tính ra $a = 10 \text{ } \mu\text{m}$.

b) Hằng số cách tử a là khoảng cách giữa hai điểm giữa của hai khe cạnh nhau. Như vậy, số vạch trên 1 mm sẽ là :

$$N = \frac{1000}{10} = 100 \text{ vạch/mm}$$

c) Số khoảng vân trong vùng sáng trung tâm : $n = 11 - 1 = 10$ khoảng.

Nửa bề rộng của vùng sáng trung tâm vào cỡ $(\frac{n}{2} + 0,5)$ khoảng vân :

$$\Delta X = 5,5 \Delta x = 27,5 \text{ cm} = 0,275 \text{ m}$$

Góc trông nửa bề rộng vùng sáng trung tâm từ quang tâm của thấu kính hội tụ :

$$\sin \varphi \approx \tan \varphi = \frac{\Delta X}{f} = 0,275 \text{ rad}$$

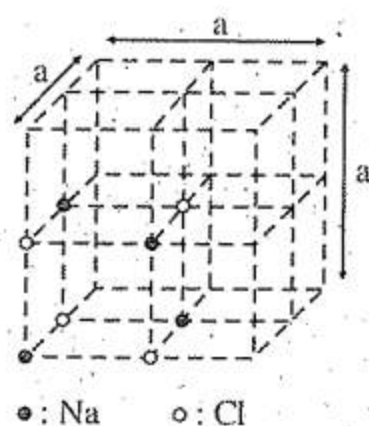
Ta lại có : $\sin \varphi = \frac{\lambda}{b} \Rightarrow b = \frac{\lambda}{\sin \varphi} = 1,82 \text{ } \mu\text{m}$

b là bề rộng của mỗi khe cách tử.

Ví dụ 10. Chiếu một chùm tia X hẹp vào bề mặt của một đơn tinh thể NaCl. Người ta thấy khi góc trượt bằng 60° thì theo phương phản xạ gương, có một cực đại giao thoa. Tính bước sóng tia X. Cho khối lượng riêng của NaCl là 2160 kg/m^3 .

Giải

Ô sơ cấp của tinh thể NaCl là một hình lập phương có cạnh là a (Hình 2.54). Những mặt của khối NaCl tự nhiên luôn luôn song song với những mặt tinh thể. Nếu tịnh tiến một ô sơ cấp dọc theo phương của các cạnh những đoạn bằng một số nguyên lần a thì nó sẽ trùng khớp với một ô sơ cấp khác.



Hình 2.54

Đễ dàng thấy rằng mỗi ô sơ cấp chứa 4 phân tử NaCl.

Phân tử lượng của NaCl là : $A = 23 + 35,5 = 58,5$.

Khối lượng riêng của NaCl là : $\rho = 2160 \text{ kg/m}^3 = 2,16 \text{ g/cm}^3$.

Số phân tử NaCl trong một phân tử gam (58,5 g) là : $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$ phân tử.

Số phân tử NaCl trong 1 cm^3 (tức là trong 2,16 g) là :

$$\frac{6,023 \cdot 10^{23} \cdot 2,16}{58,5} = 0,2224 \cdot 10^{23} \text{ phân tử}$$

Số ô sơ cấp của NaCl trong 1 cm^3 là : $\frac{0,2224 \cdot 10^{23}}{4} = 0,0556 \cdot 10^{23}$ ô.

Thể tích của một ô sơ cấp : $V = \frac{1}{0,0556 \cdot 10^{23}} \text{ cm}^3 = 17,986 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^3$.

Chiều dài của mỗi cạnh của ô sơ cấp (hằng số mạng tinh thể NaCl) :

$$a = \sqrt[3]{V} = \sqrt[3]{17,986 \cdot 10^{-23}} = 5,64 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$$

Như vậy các lớp ion Na^+ và Cl^- nằm cách nhau những khoảng bằng :

$$d = \frac{a}{2} = 2,82 \cdot 10^{-8} \text{ cm} = 2,82 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 2,82 \text{ \AA}$$

Áp dụng công thức Bra-gơ, ta có :

$$2d \sin \theta = k \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{2d \sin \theta}{k} = \frac{5,64 \cdot 10^{-10} \sin \theta}{k} \text{ m}$$

$$\text{Với } \theta = 60^\circ \text{ thì } \lambda = \frac{5,64 \cdot 10^{-10} \cdot 0,866}{k} = \frac{4,884 \cdot 10^{-10}}{k} \text{ m với } k = 1, 2, 3 \dots$$

k	1	2	3	4
λ (pm)	488,4	244,2	162,8	122,1

Các đáp số này đều chấp nhận được. Muốn xác định được đúng giá trị của λ , cần phải thay đổi góc trượt θ để tìm một vài cực đại khác nữa theo phương phản xạ gương, rồi so sánh các kết quả thu được với nhau.

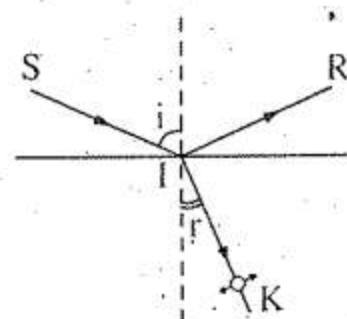
Ví dụ 11. Chiếu một tia sáng tự nhiên vào mặt phẳng phân cách giữa không khí và một môi trường trong suốt, chiết suất n . Chứng minh rằng, nếu điều kiện Briu-xơ ($\tan i = n$) được thoả mãn (với i là góc tới) thì tia phản xạ là tia phân cực phẳng. Xác định mặt phẳng dao động của tia này.

Giải

Trước hết, ta hãy chứng minh : nếu điều kiện Briu-xơ được thoả mãn thì tia khúc xạ vuông góc với tia phản xạ (Hình 2.55).

$$\tan i = n \Rightarrow \frac{\sin i}{\cos i} = n \Rightarrow \frac{n \sin r}{\cos i} = n$$

$$\Rightarrow \sin r = \sin\left(\frac{\pi}{2} - i\right) \Rightarrow r + i = \frac{\pi}{2}$$



Hình 2.55

Vậy, tia khúc xạ vuông góc với tia phản xạ.

Khi sóng ánh sáng tới lan đến mặt phân cách thì thành phần dao động điện trong sóng sẽ làm cho các electron trong lớp bề mặt của môi trường thứ hai dao động và phát ra sóng điện từ thứ cấp. Phần sóng thứ cấp lan truyền trở lại môi trường thứ nhất ứng với tia phản xạ ; phần sóng thứ cấp lan truyền trong môi trường thứ hai ứng với tia khúc xạ.

Xét tia khúc xạ IK : Vì sóng điện từ là sóng ngang, nên phương dao động của electron của môi trường thứ hai phải vuông góc với tia khúc xạ IK. Có thể coi dao động này là tổng hợp của hai dao động thành phần :

– Thành phần nằm trong mặt phẳng tới (biểu diễn bằng mũi tên trên hình 2.55). Thành phần dao động này song song với tia phản xạ nên không phát sóng điện từ theo phương phản xạ ;

– Thành phần vuông góc với mặt phẳng tới (biểu diễn bằng hình tròn trên hình 2.55). Thành phần này vuông góc với cả tia khúc xạ lẫn tia phản xạ, nên nó phát sóng điện từ cả theo phương của tia khúc xạ lẫn phương của tia phản xạ.

Vì ánh sáng tới là ánh sáng tự nhiên nên nó sẽ làm cho các electron trong lớp bề mặt của môi trường thứ hai dao động theo đủ mọi phương vuông góc với tia khúc xạ IK. Do đó tia khúc xạ không phải là tia sáng phân cực phẳng. Tuy nhiên, dù dao động thứ cấp trong môi trường thứ hai có nằm theo phương nào, thì nó cũng chỉ có thành phần vuông góc với mặt phẳng tới phát sóng điện từ theo phương của tia phản xạ. Vì vậy, ánh sáng phản xạ là ánh sáng phân cực phẳng. Mặt phẳng dao động trong ánh sáng phản xạ vuông góc với mặt phẳng tới.

Ví dụ 12. Chiếu một chùm sáng trắng, song song, cường độ $I_0 = 10 \text{ W/m}^2$ vuông góc vào một lớp chất lỏng dày 1 m. Cho rằng cường độ sáng của mọi dòng ánh sáng đơn sắc, trước khi qua lớp chất lỏng là như nhau. Giả thiết hệ số hấp thụ của chất lỏng đó tăng tuyến tính từ giá trị $0,5 \text{ m}^{-1}$ đối với ánh sáng đỏ ($0,75 \mu\text{m}$) đến giá trị $1,0 \text{ m}^{-1}$ đối với ánh sáng tím ($0,40 \mu\text{m}$). Tính cường độ của chùm sáng sau lớp chất lỏng.

Giải

Ta hãy đặt hệ số hấp thụ đối với ánh sáng có bước sóng λ là $k_\lambda = a\lambda + b$ và tìm các giá trị của a và b .

Với $\lambda = 0,75 \mu\text{m}$ thì $k = 0,5$, ta có : $0,5 = 0,75a + b$.

Với $\lambda = 0,40 \mu\text{m}$ thì $k = 1,0$, ta có : $1,0 = 0,40a + b$.

Giải ra, ta được : $a = -1,43$ và $b = 1,57$.

Như vậy, $k = -1,43\lambda + 1,57$ với k đo bằng đơn vị m^{-1} và λ đo bằng đơn vị μm .

Vì cường độ sáng của mọi chùm sáng đơn sắc trước khi qua lớp chất lỏng là như nhau, nên ta có thể tính cường độ sáng của chùm sáng có bước sóng trong khoảng

từ λ đến $\lambda + d\lambda$ là $I_\lambda = \frac{I_0}{0,35} d\lambda$ với $I_0 = 10 \text{ W/m}^2$ và $0,35 = 0,75 - 0,40$; $d\lambda$ đo bằng μm .

Cường độ của chùm sáng nói trên sau khi qua lớp chất lỏng là :

$$I'_\lambda = I_\lambda e^{-k_\lambda l} = I_\lambda e^{-(a\lambda + b)l} = \frac{I_0}{0,35} e^{-(-1,43\lambda + 1,57) \cdot 1} d\lambda$$

Cường độ chùm sáng tổng cộng sau khi qua lớp chất lỏng là :

$$I = \sum_{\lambda=0,4\mu\text{m}}^{\lambda=0,75\mu\text{m}} I_{\lambda} = \int_{0,40}^{0,75} \frac{I_0}{0,35} e^{(1,43\lambda-1,57)} d\lambda$$

$$I = \frac{I_0}{0,35 \cdot 1,43} \left[e^{(1,43 \cdot 0,75 - 1,57)} - e^{(1,43 \cdot 0,40 - 1,57)} \right]$$

$$I = \frac{10}{0,5005} \left(e^{-0,4975} - e^{-0,998} \right) \approx 20 \cdot 0,24 = 4,8 \text{ W/m}^2$$

$$I \approx 4,8 \text{ W/m}^2$$

B – ĐỀ BÀI TẬP

2.1. Trong thí nghiệm khe Y-âng vẽ ở hình 2.1, khoảng cách giữa hai khe S_1, S_2 là $a = 0,3 \text{ mm}$; khoảng cách từ hai khe đến màn quan sát là $D = 1,2 \text{ m}$. Khe sáng S song song, cách đều hai khe S_1, S_2 và cách chúng một khoảng $l = 10 \text{ cm}$. Khoảng cách giữa 6 vân sáng liên tiếp là 10 mm .

a) Xác định bước sóng ánh sáng mà ta dùng trong thí nghiệm.

b) Tịnh tiến khe S một khoảng $h = 1 \text{ mm}$ theo phương vuông góc với đường trung trục của $S_1 S_2$. Hệ vân giao thoa sẽ dịch chuyển như thế nào?

c) S vẫn ở vị trí ban đầu. Mở rộng dần khe S ra đến mức độ nào thì hệ vân sẽ biến mất?

2.2. Một thiết bị thí nghiệm Y-âng kiểu khác gồm có:

– Một khe sáng hẹp S đặt trong tiêu diện, tại tiêu điểm chính, của một thấu kính hội tụ O_1 .

– Một kính lọc sắc, cho ánh sáng có bước sóng $\lambda = 0,60 \mu\text{m}$ đi qua, đặt xen giữa khe sáng và thấu kính O_1 .

– Một màn chắn, trên có khoét hai khe hẹp S_1 và S_2 , song song với nhau và cách nhau 2 mm , được đặt sau thấu kính, vuông góc với trục chính của thấu kính, sao cho hai khe S_1 và S_2 nằm đối xứng với nhau hai bên trục chính và song song với khe S.

– Một thấu kính hội tụ O_2 , tiêu cự $1,5 \text{ m}$, được đặt sau và gần màn chắn, đồng trục với thấu kính O_1 .

– Hình ảnh giao thoa được quan sát trên một màn ảnh đặt tại tiêu diện của thấu kính O_2 .

a) Vẽ sơ đồ thiết bị thí nghiệm.

b) Tính khoảng vân giao thoa.

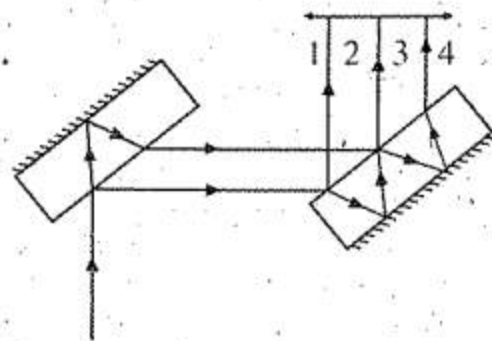
c) Đặt sau khe S_1 một bản thủy tinh mỏng, hai mặt song song, chiết suất $n = 1,5$. Người ta thấy hệ vân giao thoa dịch chuyển đi 40 mm. Xác định bề dày của bản thủy tinh. Hệ vân dịch chuyển về phía nào? Quan sát độ dịch chuyển của hệ vân bằng cách nào?

2.3. Chiếu một chùm sáng song song, đơn sắc ($\lambda = 0,60 \mu\text{m}$) theo phương thẳng đứng vào mặt một gương kim loại, phẳng, nằm ngang. Hệ số phản xạ của gương là 1. Đặt thêm một tấm kính ảnh trước gương. Tấm kính ảnh làm với mặt gương một góc $\alpha = 5'$. Khi tráng phim, ta thu được những vạch đen song song cách đều nhau.

a) Giải thích hiện tượng xảy ra.

b) Tính khoảng cách giữa hai vạch đen cạnh nhau.

2.4. Hai bản thủy tinh mỏng, phẳng, giống nhau, song song với nhau, chiết suất $n = 1,5$, (Hình 2.56). Một mặt bản được mạ bạc (hệ số phản xạ bằng 1). Mặt kia được bán mạ (hệ số phản xạ bằng 0,5). Hai mặt bán mạ quay vào nhau, bề dày mỗi bản là 2 cm.

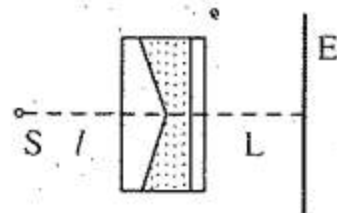


Hình 2.56

Một chùm sáng hẹp, đơn sắc ($\lambda = 0,529 \mu\text{m} \approx 2\sqrt{7} \cdot 10^{-7} \text{m}$) chiếu vào mặt bán mạ của bản thứ nhất dưới góc tới $i = 45^\circ$. Chùm tia ló khỏi hệ thống hai bản được hứng vào một thấu kính hội tụ, đặt vuông góc với các tia sáng.

Tại tiêu điểm chính của thấu kính, người ta thu được một cực đại giao thoa. Xây dựng công thức tính hiệu quang trình từ đó xác định bậc giao thoa của vân sáng.

2.5. Một lưỡng lăng kính Fre-nel có góc chiết quang $A = 5^\circ$, bằng thủy tinh, chiết suất $n = 1,52$ được dùng làm thành bên của một bình chứa (Hình 2.57). Thành đối diện là một tấm thủy tinh mỏng, phẳng, hai mặt song song. Trong bình chứa benzen, chiết suất $n' = 1,50$.



Hình 2.57

Một khe sáng hẹp S, phát ánh sáng đơn sắc $\lambda = 0,7 \mu\text{m}$, được đặt trong mặt phẳng đáy chung của hai lăng kính và song song với các cạnh, cách lưỡng lăng kính khoảng $l = 30 \text{ cm}$. Hình ảnh giao thoa được hứng trên màn ảnh E, đặt song song với thành bình và cách lưỡng lăng kính khoảng $L = 1,20 \text{ m}$. Tính khoảng vân giao thoa.

2.6. Một thiết bị vân tròn Niu-تون gồm một thấu kính phẳng – lồi mà mặt cầu được đặt tiếp xúc với một tấm kính phẳng. Chiếu một chùm sáng song song, đơn sắc, $\lambda = 0,50 \mu\text{m}$, vuông góc với mặt phẳng của thấu kính. Vì có một vết bẩn nhỏ nằm ở đỉnh thấu kính, nên thấu kính không thật sự tiếp xúc với tấm kính phẳng. Vân tối thứ nhất có bán kính $1,5 \text{ mm}$ và vân tối thứ 21 có bán kính $2,5 \text{ mm}$. Xác định bán kính R của mặt cầu thấu kính.

Có cách nào xác định được bề dày của vết bẩn dựa vào thí nghiệm vân tròn Niu-تون?

2.7. Nếu nhìn một vầng dầu trên mặt nước theo phương gần là là mặt nước thì thấy vầng dầu màu tro xám. Tăng dần góc giữa phương nhìn và mặt nước, ta thấy :

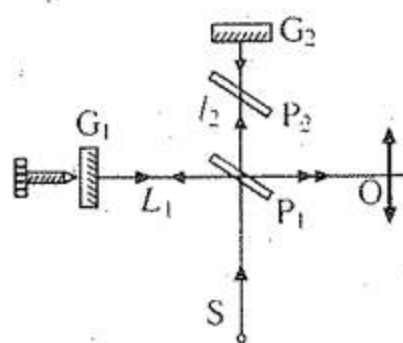
– Nếu nhìn theo phương làm với mặt nước một góc 30° , vầng dầu có màu da cam sẫm ($\lambda_{dc} = 0,6 \mu\text{m}$).

– Nếu nhìn theo phương làm với mặt nước một góc 60° , vầng dầu có màu đỏ ($\lambda_d = 0,7 \mu\text{m}$). Xác định bề dày của vầng dầu và chiết suất của dầu.

2.8. Hình 2.58 là sơ đồ giản lược của máy giao thoa Mai-ken-xơn (Michelson). Trong đó :

– S là nguồn sáng điểm, đơn sắc ($\lambda = 0,60 \mu\text{m}$).

– G_1 và G_2 là hai gương phẳng, đặt vuông góc với nhau và với các tia sáng SG_2 và OG_1 . G_2 cố định ; G_1 có thể tịnh tiến dọc theo phương OG_1 những đoạn rất nhỏ nhờ một đỉnh ốc vi cấp.



Hình 2.58

– P_1 và P_2 là hai bản thủy tinh mỏng, phẳng, cùng chiều dày, đặt song song với nhau và nghiêng với tia SG_2 góc 45° .

– O là một thấu kính hội tụ, tiêu cự 20 cm , có trục chính trùng với OG_1 .

– Các tia sáng SG_2 và OG_1 vuông góc với nhau và với các gương phẳng.

– l_1 và l_2 là chiều dài đường đi từ P_1 đến G_1 và G_2 .

Hình ảnh giao thoa được quan sát tại tiêu diện của thấu kính O.

a) Tại tiêu điểm chính F của thấu kính đang có một điểm tối. Người ta tịnh tiến gương G_1 một khoảng Δl lại gần P_1 thì thấy điểm tối mất đi rồi lại xuất hiện điểm tối mới (gọi là điểm tối thứ hai)...cho đến khi xuất hiện điểm tối thứ 5. Tính Δl .

b) Xét một tia sáng làm với SG_2 một góc i nhỏ. Chứng minh rằng xuất hiện hai tia sáng song song chiếu vào thấu kính O. Tính góc nghiêng của hai tia này so với trục chính của thấu kính.

c) Tính hiệu quang trình giữa hai tia sáng ở câu b (Giả thiết $l_1 \neq l_2$). Hỏi hình ảnh giao thoa trên tiêu diện của thấu kính O có dạng như thế nào?

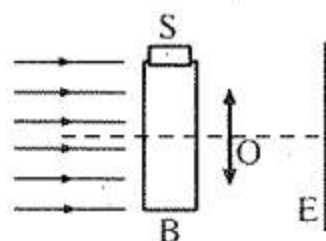
2.9. a) Trên mặt một tấm thủy tinh, chiết suất n , có phủ một lớp nhựa mỏng, trong suốt, chiết suất $n' = \sqrt{n}$. Chiếu một chùm sáng song song, đơn sắc, vuông góc vào mặt lớp nhựa. Chứng minh rằng, biên độ của sóng phản xạ trên mặt phân cách giữa không khí và lớp nhựa gần bằng biên độ của sóng phản xạ trên mặt phân cách giữa lớp nhựa và thủy tinh.

b) Trên mặt các thấu kính thủy tinh, chiết suất n , có phủ một lớp nhựa mỏng, trong suốt, chiết suất $n' = \sqrt{n}$, gọi là lớp khử phản xạ. Tìm bề dày tối thiểu của lớp này để loại được tia phản xạ của ánh sáng có bước sóng $0,50 \mu\text{m}$, khi nó chiếu vuông góc với mặt thủy tinh ($n = 1,50$). Hãy nói về tác dụng của việc khử phản xạ này.

2.10. Ban đêm, một người nhìn vào hai ngọn đèn pha của một ô tô ở xa thì thấy hai ngọn đèn đó hình như chập vào một. Xác định khoảng cách tối thiểu từ người đó đến ô tô. Biết khoảng cách giữa hai ngọn đèn là $d = 1,2 \text{ m}$; đường kính con ngươi của mắt lúc ban đêm là $D = 5 \text{ mm}$; mắt nhạy nhất đối với ánh sáng có bước sóng $0,55 \mu\text{m}$.

2.11. Để đo tốc độ của siêu âm trong nước, người ta dùng thiết bị vẽ ở hình 2.59. Trong đó:

- S là nguồn phát siêu âm, tần số $4,7 \text{ MHz}$;
- B là một bình đựng nước trong;
- O là một thấu kính hội tụ, tiêu cự $f = 35 \text{ cm}$;
- E là màn ảnh, đặt tại tiêu diện của thấu kính.



Hình 2.59

Chiếu một chùm sáng song song, đơn sắc, bước sóng $0,55 \mu\text{m}$, vuông góc với thành bình. Trên màn ảnh, người ta thấy xuất hiện những vân sáng. Khoảng cách giữa hai vân sáng cạnh nhau là $\Delta x = 0,60 \text{ mm}$.

Tính tốc độ của siêu âm trong nước.

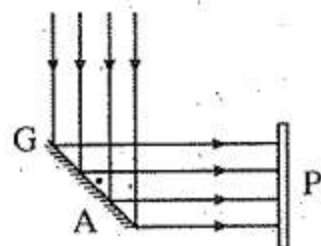
2.12. Chiếu một chùm sáng song song, đơn sắc, vuông góc vào một cách tử nhiễu xạ có 100 vạch/mm. Quang phổ được thu trên một màn ảnh đặt tại tiêu diện của một thấu kính hội tụ, tiêu cự $0,50 \text{ m}$. Khoảng cách giữa hai vạch sáng cạnh nhau là 3 cm . Tính bước sóng λ của ánh sáng.

2.13. Chiếu một chùm sáng trắng vào khe của một máy quang phổ cách tử. Hằng số của cách tử là $10 \mu\text{m}$. Thấu kính buồng ảnh có tiêu cự $0,40 \text{ m}$.

a) Tính khoảng cách giữa vạch đỏ ($0,75 \mu\text{m}$) và vạch tím ($0,40 \mu\text{m}$) trong quang phổ bậc 1.

b) Tại vị trí nằm cách vân trắng trung tâm $4,8 \text{ cm}$ có những vạch sáng nào trùng nhau ?

2.14. a) Chiếu một chùm sáng song song, đơn sắc, bước sóng $\lambda = 0,70 \mu\text{m}$, vào một gương phẳng G, dưới góc tới 45° . Trước gương, có một hạt bụi nhỏ A, tán xạ ánh sáng theo đủ mọi phương (Hình 2.60). Trên đường đi của chùm tia phản xạ, người ta đặt một tấm kính ảnh vuông góc với các tia sáng và cách hạt bụi khoảng $l = 1 \text{ m}$.



Hình 2.60

Sau khi tráng phim, người ta thu được một hệ thống vòng tròn đen đồng tâm, có tâm là một chấm đen. Biết chỗ đen trên phim ứng với chỗ ánh sáng tác dụng có cường độ cực đại. Gọi chấm đen ở tâm là vòng tròn số 0. Tính bán kính của vòng đen số 70:

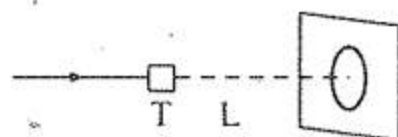
b) Sau khi tráng phim, người ta lại chiếu một chùm sáng song song, đơn sắc, bước sóng như trên, vuông góc vào tấm kính ảnh P. Người ta thấy có hai ảnh của A, một ảnh thật và một ảnh ảo. Hãy giải thích hiện tượng trên và xác định khoảng cách từ hai ảnh đó đến P.

2.15. Hãy chứng minh công thức Bragg, xác định cực đại nhiễu xạ của tia X trên mạng tinh thể theo phương phản xạ gương :

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

Trong đó, d là khoảng cách giữa hai lớp nút mạng cạnh nhau ; θ là góc trượt ; λ là bước sóng tia X.

2.16. Người ta nghiền KCl thành bột rồi ép với nhau thành một khối nhỏ đa tinh thể. Chiếu vào khối nhỏ này một chùm tia X hẹp, có bước sóng $\lambda = 0,15 \text{ nm}$. Trên một phim ảnh, đặt vuông góc với hướng của chùm tia X, cách



Hình 2.61

khối đa tinh thể 10 cm, ta thu được một ảnh gồm một hệ thống những vòng tròn đồng tâm (Hình 2.61). Vòng tròn nhỏ nhất có bán kính 5,30 cm.

Các ion K^+ và Cl^- có kích thước xấp xỉ bằng nhau và có khả năng tán xạ tia X như nhau.

Tính hằng số mạng tinh thể của tinh thể KCl.

2.17. Một chùm ánh sáng tự nhiên, hẹp, có cường độ I_0 , chiếu vuông góc vào một bản pôlarôit. Chùm sáng ló ra lại chiếu vuông góc vào một bản pôlarôit thứ hai, có mặt phẳng dao động làm với mặt phẳng dao động của bản pôlarôit thứ nhất một góc 45° . Tính cường độ của chùm sáng ló cuối cùng.

$$\text{Cho: } \int \cos^2 x dx = \frac{1}{2}x + \frac{1}{4}\sin 2x$$

2.18. Xét một quang thông đơn sắc Φ_λ truyền trong khí quyển theo phương Ox. Ta thừa nhận rằng, khi truyền qua một lớp không khí có bề dày dx thì phần quang thông bị hấp thụ tỉ lệ với dx và với chính độ lớn của quang thông đó. Do đó, độ biến thiên của quang thông sẽ có dạng :

$$d\Phi_\lambda = -k_\lambda \Phi_\lambda dx$$

k_λ là hệ số hấp thụ đơn sắc của khí quyển.

a) Biết rằng đối với ánh sáng có bước sóng $\lambda = 0,60 \mu\text{m}$ thì lớp không khí có bề dày 1 km sẽ hấp thụ $\frac{1}{100}$ quang thông chiếu đến. Tính k_λ và tính bề dày của lớp khí quyển sao cho quang thông đi qua nó chỉ còn bằng $\frac{1}{10}$ quang thông ban đầu.

b) Biết rằng k_λ tỉ lệ với λ^{-4} . Tính k_λ và bề dày của lớp khí quyển sao cho quang thông đi qua nó chỉ còn bằng $\frac{1}{10}$ quang thông ban đầu ứng với ánh sáng có $\lambda = 0,40 \mu\text{m}$.

c) Sự hấp thụ ánh sáng trong khí quyển sẽ dẫn đến sự tán xạ phân tử của khí quyển. Sự tán xạ phân tử tuân theo quy luật sau : Một thể tích nhỏ dV của khí quyển được rọi sáng bằng một chùm sáng song song, đơn sắc, với độ rọi A_λ thì sẽ trở thành một nguồn phát sáng, phát ra ánh sáng theo đủ mọi phương. Cường độ của ánh sáng tán xạ theo phương hợp với phương của chùm sáng tới góc θ là :

$$I_\theta = R_\lambda A_\lambda (1 + \cos^2 \theta) dV$$

Cho rằng quang thông tán xạ bằng quang thông hấp thụ, tìm hệ thức giữa R_λ và k_λ .

Tính R_λ với $\lambda = 0,60 \mu\text{m}$.

d) Ánh sáng Mặt Trời chiếu vuông góc với mặt đất với độ rọi A_λ . Một người quan sát nhìn theo phương nằm ngang. Gọi B_λ là độ chói của lớp không khí, có bề dày l , nằm ngang trước mặt người quan sát. Tìm hệ thức giữa B_λ và A_λ .

Tính tỉ số $\frac{B_\lambda}{A_\lambda}$ ứng với $l = 10 \text{ km}$ và $\lambda = 0,60 \mu\text{m}$.

Chủ đề 3

LƯỢNG TỬ ÁNH SÁNG

A – LÍ THUYẾT VÀ BÀI TẬP VÍ DỤ

Những hiện tượng quang học liên quan đến tính chất lượng tử của ánh sáng mà người ta thường đề cập đến trong chương trình vật lí phổ thông nâng cao là : sự bức xạ nhiệt, hiện tượng quang điện (ngoài và trong), hiệu ứng Com-pton, hiện tượng phát quang, áp suất ánh sáng, laze, quang phổ vạch của nguyên tử... Nhiều hiện tượng như hiện tượng quang điện, hiện tượng phát quang, quang phổ vạch của nguyên tử đã được trình bày khá rõ trong sách giáo khoa Vật lí 12 nâng cao. Do đó, trong chủ đề này, ta chỉ trình bày bổ sung hoặc nâng cao một số trong các hiện tượng đã nêu ở trên.

I- SỰ BỨC XẠ NHIỆT

1. Sự bức xạ nhiệt

Một vật được “nung nóng” sẽ bức xạ, tức là phát ra các sóng điện từ : tia hồng ngoại, ánh sáng nhìn thấy, tia tử ngoại ... Nếu không được bổ sung năng lượng thì năng lượng dự trữ của vật sẽ bị giảm dần, do đó, nhiệt độ của nó sẽ giảm, đồng thời, các thành phần bức xạ của nó sẽ bị thay đổi dần. Sự bức xạ của vật trong trường hợp này là sự bức xạ không cân bằng.

Ngược lại, nếu ta liên tục bù đắp cho vật phần năng lượng đã bị tiêu hao để giữ cho nhiệt độ (T) của vật không đổi thì các thành phần bức xạ của vật sẽ không bị thay đổi. Sự bức xạ của vật lúc đó gọi là *sự bức xạ nhiệt*.

Vậy, *sự bức xạ nhiệt là sự bức xạ của một vật được giữ ở một nhiệt độ không đổi, tức là ở trạng thái cân bằng nhiệt*.

2. Năng suất phát xạ đơn sắc và năng suất hấp thụ đơn sắc

a) Năng suất phát xạ đơn sắc

Xét một vật phát xạ, phát ra chùm sáng không đơn sắc. Tách trong chùm sáng này những ánh sáng gần đơn sắc, có bước sóng nằm trong khoảng từ λ đến $\lambda + d\lambda$, với $d\lambda$ rất nhỏ so với λ .

Gọi R_λ là dòng quang năng của chùm sáng gần đơn sắc nói trên, do một đơn vị diện tích của vật phát ra theo đủ mọi phía ; R_λ cũng là độ trưng năng lượng của vật ứng với chùm sáng đó.

$$\text{Đại lượng : } r_{\lambda} = \frac{R_{\lambda}}{d\lambda} \quad (3.1)$$

gọi là *năng suất phát xạ đơn sắc* của vật trong vùng ánh sáng có bước sóng λ .

Đơn vị của năng suất phát xạ đơn sắc là oát trên mét khối (W/m^3).

Ta hiểu năng suất phát xạ đơn sắc là độ trung năng lượng của vật ứng với một ánh sáng có bước sóng nhất định.

b) Năng suất hấp thụ đơn sắc

Giả sử độ rọi năng lượng của ánh sáng có bước sóng λ trên mặt vật là A_{λ} . Năng suất phát xạ đơn sắc của vật đối với ánh sáng có bước sóng λ là r_{λ} . Phần năng lượng ánh sáng có bước sóng λ bị một đơn vị diện tích của vật hấp thụ trong một giây là : $q_{\lambda} = A_{\lambda} - r_{\lambda}$.

$$\text{Năng suất hấp thụ đơn sắc của vật ở vùng bước sóng } \lambda \text{ là : } a_{\lambda} = \frac{q_{\lambda}}{A_{\lambda}} \quad (3.2)$$

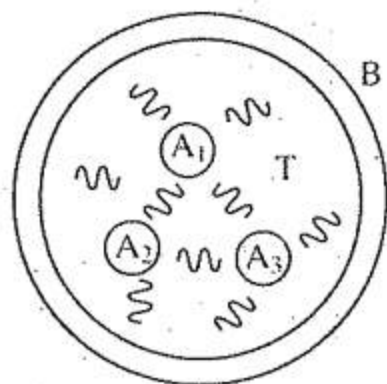
Năng suất hấp thụ đơn sắc được tính bằng phần trăm.

3. Định luật Kiéc-sốp về sự bức xạ nhiệt

Định luật này được thiết lập bằng con đường suy diễn lí thuyết, sau đó được nghiệm lại bằng thực nghiệm.

Giả sử có một bình kín B có thành bên trong và bên ngoài phản xạ lí tưởng, tức là vỏ bình hoàn toàn không hấp thụ năng lượng. Như vậy vỏ bình ngăn cách không cho phần bên trong và phần bên ngoài bình trao đổi năng lượng với nhau (Hình 3.1).

Giả sử trong bình có ba vật bức xạ nhiệt A_1 , A_2 và A_3 . Ngoài ba vật đó ra, trong bình là chân không. Đây không phải là chân không "trống rỗng", mà là chân không chứa đầy bức xạ (sóng điện từ) do ba vật phát ra.



Hình 3.1

Sau một thời gian trao đổi năng lượng bằng con đường bức xạ và hấp thụ năng lượng sóng điện từ thì hệ ba vật sẽ đến trạng thái cân bằng nhiệt. Lúc đó, ba vật sẽ có cùng nhiệt độ T .

Trạng thái cân bằng này xảy ra đối với mọi sóng điện từ có bước sóng khác nhau.

Như vậy, trong một giây, phần năng lượng của sóng điện từ có bước sóng λ mà một vật nào đó phát ra cũng phải bằng phần năng lượng của sóng điện từ có bước sóng λ mà vật đó hấp thụ.

Gọi năng suất phát xạ đơn sắc của các vật A_1, A_2 và A_3 lần lượt là $r_{1\lambda}, r_{2\lambda}$ và $r_{3\lambda}$; năng suất hấp thụ đơn sắc của chúng là $a_{1\lambda}, a_{2\lambda}$ và $a_{3\lambda}$; diện tích của chúng là S_1, S_2 và S_3 .

Dòng quang năng đơn sắc λ mà vật A_1 phát ra là: $E_{1\lambda} = S_1 r_{1\lambda}$.

Lượng năng lượng ánh sáng đơn sắc λ mà vật A_1 hấp thụ trong một giây là

$$Q_{1\lambda} = q_{1\lambda} S_1 = a_{1\lambda} S_1 A_\lambda$$

Ở trạng thái cân bằng nhiệt, ta phải có: $E_{1\lambda} = Q_{1\lambda}$. Từ đó suy ra $\frac{r_{1\lambda}}{a_{1\lambda}} = A_\lambda$.

Độ rơi năng lượng đơn sắc A_λ là chung cho mọi vật trong bình B. Ta có thể coi nó bằng mật độ dòng năng lượng đơn sắc rơi đến các vật trong bình:

$$A_\lambda = u_\lambda c$$

u_λ là mật độ năng lượng đơn sắc trong bình; c là tốc độ ánh sáng trong chân không.

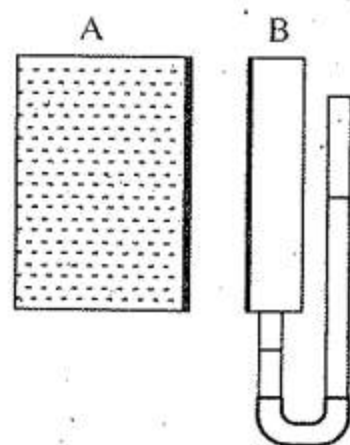
$$\text{Như vậy, ta sẽ được: } \frac{r_{1\lambda}}{a_{1\lambda}} = \frac{r_{2\lambda}}{a_{2\lambda}} = \frac{r_{3\lambda}}{a_{3\lambda}} = \dots = f(\lambda, T) \quad (3.3)$$

Ta có định luật Kiếp-sốp về bức xạ nhiệt sau:

Tỉ số giữa năng suất phát xạ đơn sắc và năng suất hấp thụ đơn sắc của cùng một vật ở vùng bước sóng λ và ở nhiệt độ T không phụ thuộc bản chất của vật mà chỉ phụ thuộc bước sóng λ và nhiệt độ T của nó.

Theo định luật này, vật nào phát xạ mạnh thì cũng hấp thụ mạnh bức xạ; vật nào phát xạ yếu thì cũng hấp thụ yếu bức xạ.

Ta có thể dùng thiết bị sau đây để nghiệm lại định luật này. Thiết bị gồm một hộp rỗng bằng kim loại B, một mặt sơn đen, một mặt sơn trắng. Hộp B được nối với một áp kế nước (Hình 3.2). Ở nhiệt độ và áp suất của phòng thì mực nước trong hai nhánh của áp kế ngang nhau.



Hình 3.2

Hộp B được đặt đối diện và gần với một bình bằng kim loại đựng nước nóng A. Bình A cũng có một mặt sơn đen, một mặt sơn trắng.

Bạn hãy xây dựng phương án nghiệm lại một cách định tính định luật Kiéc-sốp về bức xạ nhiệt bằng thiết bị mô tả ở trên.

4. Vật đen tuyệt đối

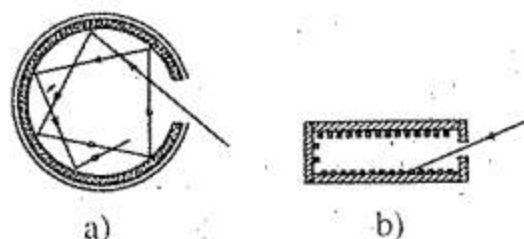
Các vật có màu nào thì tán xạ tốt ánh sáng màu đó. Vật màu đen thì tán xạ kém tất cả các ánh sáng màu. Điều đó có nghĩa là vật màu đen hấp thụ tốt tất cả các ánh sáng màu.

Vật đen tuyệt đối là vật có khả năng hấp thụ hoàn toàn tất cả mọi ánh sáng. Năng suất hấp thụ đơn sắc a_λ của vật đen tuyệt đối bằng đơn vị ($a_\lambda = 1$) đối với mọi ánh sáng có bước sóng khác nhau và ở mọi nhiệt độ.

Cần chú ý rằng, vật đen tuyệt đối không chỉ hấp thụ bức xạ mà nó còn có thể phát ra bức xạ.

Những hốc kín có một lỗ thùng nhỏ, thành trong nhám và phủ bô hóng là những vật đen tuyệt đối lí tưởng (Hình 3.3).

Đó là vì những tia sáng đi qua lỗ nhỏ vào trong hốc sẽ bị phản xạ nhiều lần ở thành trong và bị hấp thụ hết. Thực ra chỉ có phần hở của hốc đó mới là vật đen tuyệt đối.



Hình 3.3

Các vật rắn nóng sáng, các khối chất lỏng nóng sáng, các khối khí có khối lượng riêng lớn nóng sáng... có thể coi như những vật đen tuyệt đối đang phát sáng. Mặt Trời, các vì sao cũng là những vật đen tuyệt đối đang phát sáng.

Đặc biệt, các hốc (lỗ) đen là các vật đen tuyệt đối hấp thụ rất mạnh tất cả các bức xạ chiếu đến chúng. Chúng là những thiên thể có khối lượng riêng cực kì lớn, đến nỗi các photon (hạt ánh sáng) mà chúng có thể phát ra đều bị hút trở lại.

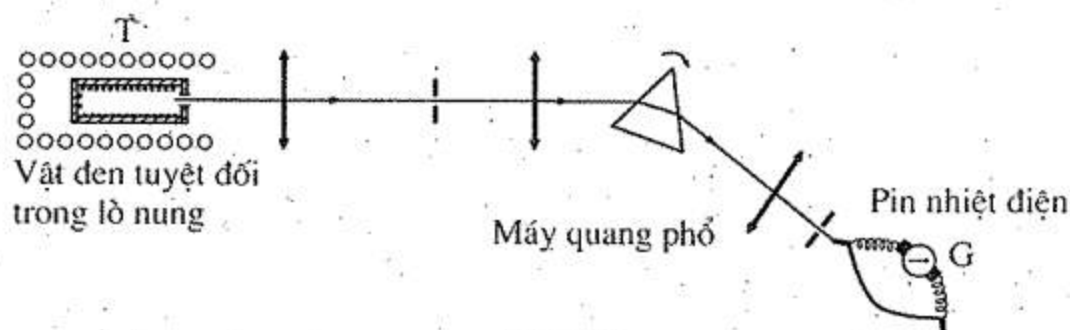
Một điều rất đặc biệt là : *tất cả các vật đen tuyệt đối đều có cùng một năng suất phát xạ đơn sắc. Năng suất phát xạ đơn sắc của chúng là một hàm số chỉ của bước sóng và nhiệt độ.*

$$r_{1\lambda} = r_{2\lambda} = r_{3\lambda} = \dots = f(\lambda, T) = \rho(\lambda, T) \quad (3.4)$$

Vì vậy, ta chỉ cần nghiên cứu trên một vật đen tuyệt đối cụ thể. Kết quả thu được có thể đem áp dụng cho tất cả các vật đen tuyệt đối khác.

5. Quang phổ liên tục của vật đen tuyệt đối

Đặt một vật đen tuyệt đối trong một lò nung, giữ ở một nhiệt độ T xác định. Cho chùm sáng do vật đen tuyệt đối đó phát ra chiếu vào khe của một máy quang phổ (Hình 3.4).



Hình 3.4

Ta sẽ thu được một quang phổ liên tục. Đó là một dải có màu sắc biến thiên liên tục từ đỏ đến tím, màu nọ sát màu kia. Quang phổ này còn kéo dài cả ở vùng tử ngoại và vùng hồng ngoại. Quang phổ này không phụ thuộc vào bản chất của vật phát xạ mà chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ.

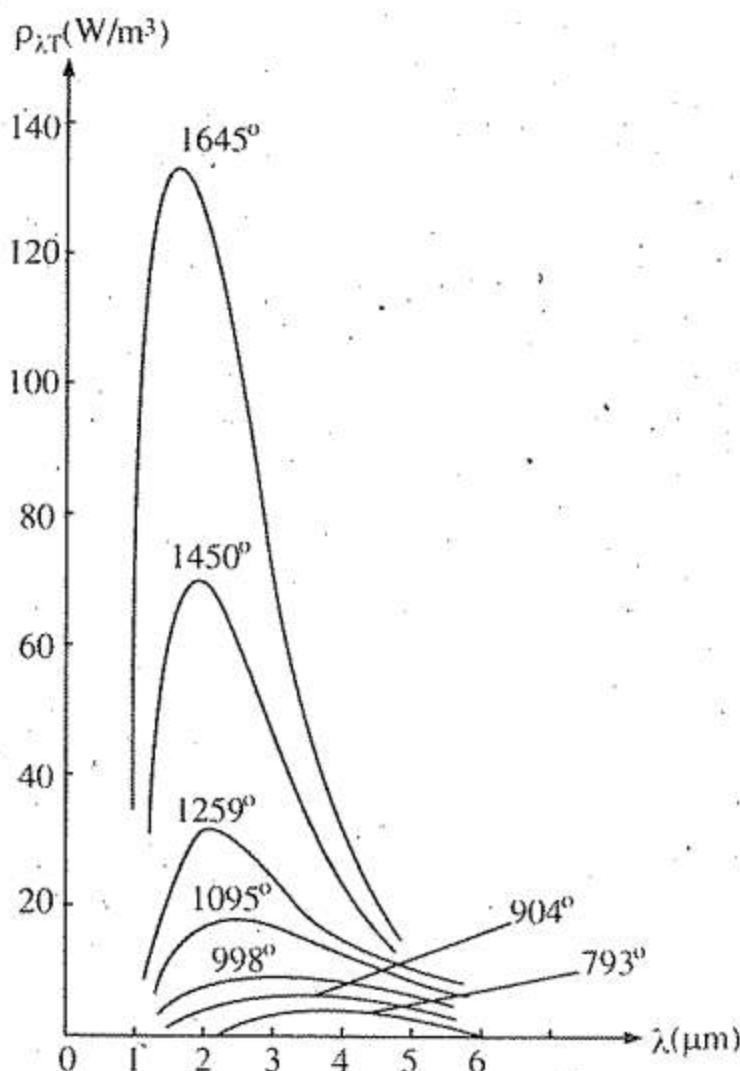
Dùng một pin nhiệt điện nhạy để đo độ rơi ở những phần khác nhau của quang phổ liên tục, đồ thị của hàm số $\rho(\lambda, T)$ biểu diễn sự phụ thuộc của năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối vào bước sóng λ ở nhiệt độ T . Thay đổi nhiệt độ T , ta sẽ thu được những đồ thị $\rho(\lambda, T)$ ở những nhiệt độ khác nhau (Hình 3.5).

Từ kết quả thực nghiệm trên, ta rút ra những kết luận sau :

a) Nhiệt độ T càng cao, vật bức xạ càng mạnh.

Ta gọi độ trung năng lượng toàn phần R_T của vật ở nhiệt độ T là tổng các độ trung đơn sắc R_λ của vật ở nhiệt độ T :

$$R_T = \sum R_\lambda = \int r_\lambda d\lambda = \int \rho(\lambda, T) d\lambda$$



Hình 3.5

Biểu thức của R_T cho thấy độ trung năng lượng toàn phần của vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ T được biểu diễn bằng độ lớn của diện tích của phần nằm giữa đường cong $\rho(\lambda, T)$ và trục hoành.

Ta thấy R_T tăng rất nhanh theo nhiệt độ.

b) Ở nhiệt độ thấp, cực đại của năng suất phát xạ đơn sắc nằm trong vùng hồng ngoại. Vật chủ yếu phát ra tia hồng ngoại. Phần công suất của các tia sáng nhìn thấy được nhỏ không đáng kể.

Đến khoảng 900°C công suất của các tia đỏ đã đủ lớn để gây ra cảm giác sáng. Ta thấy vật có màu đỏ tối.

Nhiệt độ càng cao thì cực đại của năng suất phát xạ đơn sắc càng dịch dần về phía bước sóng ngắn. Do đó, màu của ánh sáng mà vật phát ra càng trắng.

Tất cả các nhận xét trên ta đều có thể thấy được một cách đơn giản trực tiếp từ việc quan sát một mẫu sắt nung đỏ trong một lò rèn.

6. Các định luật thực nghiệm về sự bức xạ nhiệt của vật đen tuyệt đối

Xuất phát từ việc nghiên cứu các đồ thị thực nghiệm về năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối, các nhà vật lý đã rút ra một số định luật sau :

a) Định luật Stê-fan – Bôn-xơ-man (Stefan – Boltzmann)

Độ trung năng lượng toàn phần R_T của vật đen tuyệt đối tỉ lệ thuận với lũy thừa bốn của nhiệt độ tuyệt đối T của vật :

$$R_T = \sigma T^4 \quad (3.5)$$

σ là một hằng số ; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$.

Theo định luật này, ở nhiệt độ càng cao thì vật càng phát xạ mạnh.

b) Định luật dịch chuyển của Viên (Wien)

Bước sóng ứng với cực đại của năng suất phát xạ đơn sắc (kí hiệu là $\lambda_{\max}$) của vật đen tuyệt đối tỉ lệ nghịch với nhiệt độ tuyệt đối T của vật.

$$\lambda_{\max} = \frac{2896}{T} \quad (3.6)$$

Trong công thức này, $\lambda_{\max}$ phải tính theo đơn vị μm . Hệ số 2896 có đơn vị $\mu\text{m} \cdot \text{K}$. Ở nhiệt độ càng cao thì cực đại của năng suất phát xạ đơn sắc càng dịch về phía bước sóng ngắn. Do đó, màu sắc của vật ngả dần sang trắng rồi sang xanh.

7. Sự khủng hoảng tử ngoại

Vào cuối thế kỉ thứ XIX, các nhà vật lí gặp khó khăn lớn trong việc giải thích hình dạng của đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối vào bước sóng ánh sáng.

Dựa vào lí thuyết phát xạ cổ điển, người ta thấy rằng năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối phải tỉ lệ với lũy thừa hai của tần số (tức là tỉ lệ nghịch với lũy thừa hai của bước sóng). Như vậy, khi $\lambda \rightarrow 0$ thì $\rho(\lambda, T) \rightarrow \infty$. Điều này hoàn toàn mâu thuẫn với kết quả thực nghiệm. Người ta gọi sự bất lực của lí thuyết cổ điển trong trường hợp này là “sự khủng hoảng tử ngoại”.

8. Thuyết lượng tử và công thức Plăng (Planck) về sự bức xạ nhiệt

Plăng cho rằng nguyên nhân cơ bản dẫn đến sự thất bại của lí thuyết phát xạ cổ điển trong việc giải thích các kết quả thực nghiệm về sự bức xạ của vật đen tuyệt đối, là quan niệm sai lầm về độ lớn của năng lượng mà một nguyên tử hay phân tử có thể trao đổi với bên ngoài, mỗi lần phát xạ hay hấp thụ bức xạ.

Theo Plăng, *lượng năng lượng mà một nguyên tử hay phân tử trao đổi mỗi lần phát xạ hay hấp thụ bức xạ có giá trị hoàn toàn xác định, bằng :*

$$\varepsilon = hf \quad (3.7)$$

ε gọi là *lượng tử năng lượng* ; f là *tần số của bức xạ được phát ra hay bị hấp thụ* ; h là *một hằng số*.

Sau này người ta đặt tên hằng số đó là hằng số Plăng và đã xác định được chính xác giá trị của nó :

$$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} \quad (3.8)$$

Plăng đã tìm được công thức biểu diễn sự phụ thuộc của năng suất phát xạ đơn sắc $\rho(f, T)$ vào tần số f và nhiệt độ T :

$$\rho(f, T) = \left(\frac{2\pi f^2}{c^2} \right) \left(\frac{1}{\frac{hf}{e^{kT}} - 1} \right) (hf) \quad (3.9)$$

Công thức Plăng có ba thừa số :

– Thừa số thứ nhất là số nguyên tử hay phân tử (khi đó, người ta gọi là dao động tử) có khả năng phát ra bức xạ có tần số f . Các nhà vật lí cổ điển cũng đã tìm được thừa số này.

– Thừa số thứ hai là xác suất để một dao động tử nói trên có thể phát ra bức xạ. Đây cũng là một sáng tạo mới của Plăng.

– Thừa số thứ ba là lượng tử năng lượng của bức xạ.

Công thức Plăng phù hợp khá tốt với thực nghiệm. Từ công thức này, người ta có thể suy ra biểu thức của hằng số σ trong định luật Stê-fan – Bôn-xơ-man :

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} \quad (3.10)$$

Giá trị của hằng số σ tính theo công thức này phù hợp tốt với giá trị đo trong thực nghiệm.

Từ công thức (3.9), người ta suy ra công thức biểu diễn sự phụ thuộc của năng suất phát xạ đơn sắc $\rho(\lambda, T)$ vào bước sóng λ và nhiệt độ T :

$$\rho(\lambda, T) = 2\pi hc^2 \frac{\lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1} \quad (3.11)$$

9. Phương pháp hoả kế quang học

Vì quang phổ liên tục của bức xạ mà vật đen tuyệt đối phát ra không phụ thuộc bản chất của vật phát sáng mà chỉ phụ thuộc nhiệt độ của vật, nên ta có thể căn cứ vào quang phổ liên tục để xác định nhiệt độ của vật.

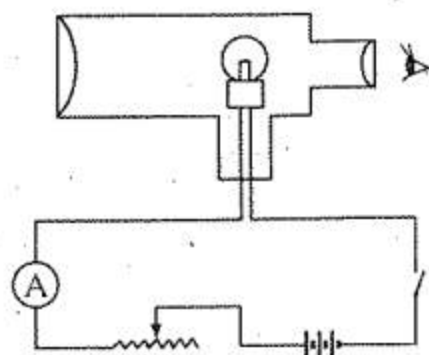
a) Người thợ rèn có kinh nghiệm có thể dựa vào màu của ánh sáng do miếng thép nung trong lò rèn phát ra để xác định một cách định tính xem miếng thép đã được nung đến mức độ nào.

b) Trong thiên văn, người ta dựa vào màu của ánh sáng do ngôi sao phát ra để xác định nhiệt độ của ngôi sao. Những sao kênh đỏ có nhiệt độ cỡ 3000 K ; Những ngôi sao vàng như Mặt Trời có nhiệt độ khoảng 6000 K ; những sao màu trắng xanh có nhiệt độ hàng vạn độ.

c) Phương pháp xác định nhiệt độ của các vật nóng sáng dựa vào các đặc điểm của chùm sáng do vật đó phát ra gọi là *phương pháp hoả kế quang học*.

Để xác định nhiệt độ của các lò cao, người ta thường dùng *hoả kế có đèn sợi đốt* (Hình 3.6). Hoả kế này có cấu tạo gồm :

– Một ống ngắm ;



Hình 3.6

– Một đèn sợi đốt có dây tóc được bố trí trong mặt phẳng gần tiêu diện của vật kính ống ngắm ;

– Bộ phận dùng để điều chỉnh và đo cường độ dòng điện chạy qua dây tóc đèn.

Hướng ống ngắm vào miệng của lò cao. Điều chỉnh vật kính để ảnh của miệng lò hiện lên đúng mặt phẳng của dây tóc bóng đèn. Điều chỉnh thị kính để ngắm ảnh này. Lúc đó dây tóc hiện lên như một sợi dây màu đen trên một nền sáng. Đóng công tắc, cho dòng điện chạy qua đèn. Tăng dần cường độ dòng điện, cho dây tóc sáng dần lên. Khi độ chói của dây tóc bằng độ chói của ảnh thì dây tóc hình như biến mất trên nền sáng.

Có mối liên hệ nhất định giữa nhiệt độ của miệng lò với độ chói của ảnh và cường độ dòng điện qua dây tóc bóng đèn. Vì vậy, máy đo trong hoá kế được chia độ theo nhiệt độ.

Dưới đây là điểm nóng chảy của một số chất, đo theo phương pháp hoá kế quang học :

Bạc..... 961°C.

Đồng..... 1083°C.

Niken..... 1453°C.

Platin..... 1769°C.

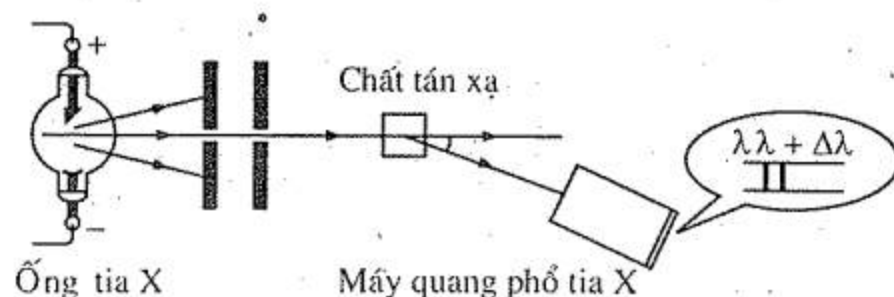
Sắt..... 1535°C.

Titan..... 1660°C.

Vonfam..... 3380°C

II – HIỆU ỨNG COM-TON (COMPTON)

1. Thí nghiệm Com-ten



Hình 3.7

Hiệu ứng Com-pton là một minh chứng rõ ràng cho tính chất hạt của ánh sáng.

Dùng một hệ thống màn chắn và màn lọc để tách một chùm tia X hẹp, đơn sắc, từ chùm tia do một ống tia X phát ra. Cho chùm tia X này chiếu vào một khối chất tán xạ (graphit, parafin...). Tia X bị tán xạ theo mọi phương. Hứng tia X tán xạ theo phương θ (so với phương của tia tới) vào khe của một máy quang phổ tia X (Hình 3.7). Ta sẽ thu được phổ của tia X gồm hai vạch : một vạch ứng với bước sóng λ của tia X ban đầu ; vạch kia ứng với tia có bước sóng λ' dài hơn một chút ($\lambda' = \lambda + \Delta\lambda$).

Điều đặc biệt là độ tăng $\Delta\lambda$ của bước sóng không phụ thuộc vào bước sóng λ mà chỉ phụ thuộc góc tán xạ θ .

Như vậy, nếu chùm tia tới chứa một số tia X đơn sắc thì theo phương θ ta sẽ chụp được một quang phổ có nhiều vạch mà mỗi vạch lại bị tách ra làm hai với độ dịch $\Delta\lambda$ như nhau.

Tia X có bước sóng λ là các tia tán xạ bình thường. Sự xuất hiện của tia X có bước sóng $\lambda' > \lambda$ là đặc điểm của hiệu ứng Com-pton.

2. Bước sóng Com-pton của electron

Hiệu ứng Com-pton chỉ có thể giải thích được nếu thừa nhận chùm tia X là chùm hạt (phôtôn) đến va chạm đàn hồi với các electron tự do trong khối chất tán xạ.

Ta sẽ áp dụng định luật bảo toàn năng lượng và định luật bảo toàn động lượng để giải bài toán va chạm này.

Cho rằng, trước lúc va chạm, electron đứng yên. Năng lượng nghỉ của electron là m_0c^2 ; với m_0 là khối lượng nghỉ của electron ($m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$); c là tốc độ ánh sáng. Năng lượng của phôtôn tia X trước va chạm là hf . Sau va chạm, phôtôn tán xạ có năng lượng hf' ; còn electron có năng lượng toàn phần mc^2 .

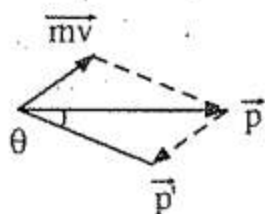
Theo định luật bảo toàn năng lượng, ta có : $hf + m_0c^2 = hf' + mc^2$ (3.12)

Động lượng của phôtôn trước va chạm là $\vec{p}$, của phôtôn tán xạ là $\vec{p}'$, của electron là $\vec{mv}$. Theo định luật bảo toàn động lượng, ta có : $\vec{p} = \vec{p}' + \vec{mv}$ (3.13)

Phương trình vectơ (3.13) được biểu diễn bằng hình 3.8.

Động lượng của phôtôn liên hệ với năng lượng của

nó bằng hệ thức : $p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{hf}{c}$. (3.14)



Hình 3.8

(3.14) tương tự như hệ thức giữa động lượng và động năng của một vật : $p = 2 \frac{W_d}{v}$.

Căn cứ vào hình 3.8, ta có : $m^2 v^2 = p^2 + p'^2 - 2pp' \cos \theta$.

$$m^2 v^2 = \left(\frac{hf}{c} \right)^2 + \left(\frac{hf'}{c} \right)^2 - 2 \left(\frac{h}{c} \right)^2 ff' \cos \theta \quad (3.15)$$

Phương trình (3.12) cho ta :

$$m^2 c^2 - m_0^2 c^2 = \left(\frac{hf}{c} \right)^2 + \left(\frac{hf'}{c} \right)^2 - \frac{2h^2}{c^2} ff' + 2m_0 h (f - f') \quad (3.16)$$

Trừ vế với vế của hai phương trình (3.16) và (3.15), ta được :

$$m^2 (c^2 - v^2) - m_0^2 c^2 = -\frac{2h^2}{c^2} ff' (1 - \cos \theta) + 2m_0 h (f - f') \quad (3.17)$$

Chú ý rằng theo thuyết tương đối thì $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.

Do đó : $m^2 (c^2 - v^2) = m_0^2 c^2$

Phương trình (3.17) thành ra : $\frac{c}{f'} - \frac{c}{f} = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) = \lambda' - \lambda$.

Cuối cùng, ta được : $\Delta \lambda = \frac{2h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$. (3.18)

$\Delta \lambda$ chỉ phụ thuộc góc tán xạ θ mà không phụ thuộc bước sóng λ .

Đại lượng $\lambda_0 = \frac{h}{m_0 c} = 0,02426 \text{ \AA} = 2,426 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ gọi là *bước sóng Com-ton của electron*.

3. Hiệu ứng Com-ton và hiệu ứng quang điện

Hiệu ứng quang điện và hiệu ứng Com-ton đều là kết quả của sự tương tác của photon ánh sáng tới với các electron của nguyên tử. Tuy nhiên, giữa hai hiệu ứng đó có những sự khác biệt sau đây :

– Trong hiệu ứng quang điện, có sự truyền hoàn toàn năng lượng của photon tới cho electron. Photon bị hấp thụ và biến mất. Trong hiệu ứng Com-ton, chỉ có

một phần năng lượng của photon tới truyền cho electron, phần còn lại chuyển hoá thành năng lượng của photon tán xạ. Chú ý rằng, trong hiệu ứng Com-tơn, photon tới vừa bị đổi hướng, vừa bị biến thành photon khác.

– Trong hiệu ứng quang điện, năng lượng của photon tới vào cỡ năng lượng liên kết của electron với mạng tinh thể, còn trong hiệu ứng Com-tơn, năng lượng của photon tới rất lớn so với năng lượng liên kết của electron. Có thể diễn đạt kết quả trên theo cách khác : hiệu ứng quang điện xảy ra khi có tương tác của photon với electron liên kết, còn hiệu ứng Com-tơn xảy ra khi có sự tương tác của photon với electron tự do.

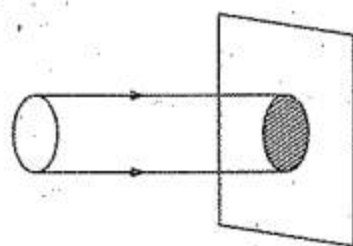
III – ÁP SUẤT ÁNH SÁNG

Một chùm sáng là một dòng hạt (photon). Mỗi hạt (photon) có một động lượng $p = \frac{hf}{c}$. Do đó, khi chùm sáng chiếu vào một vật thì các photon trong chùm sẽ truyền động lượng cho vật đó, tức là chùm sáng đã tác dụng lên vật một áp suất. Đó là *áp suất ánh sáng*. Giả sử có một chùm sáng song song, đơn sắc, chiếu vuông góc vào một vật phẳng (Hình 3.9).

Gọi P là áp suất mà chùm sáng tác dụng lên vật ;

S là tiết diện của chùm sáng. Ta có :

$$P = \frac{F}{S} = \frac{ma}{S} = \frac{m\Delta v}{S \cdot \Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{S \cdot \Delta t} = \frac{\Delta p}{S \cdot \Delta t}$$



Hình 3.9

Vậy, áp suất có độ lớn bằng động lượng mà chùm sáng truyền cho một đơn vị diện tích của vật, trong một đơn vị thời gian.

Gọi E là dòng quang năng và I là cường độ của chùm sáng, ta có : $I = \frac{E}{S}$.

Cường độ của chùm sáng I (đơn vị W/m^2) là lượng năng lượng mà chùm sáng truyền cho một đơn vị diện tích của vật trong một đơn vị thời gian. Số photon đến đập vào một đơn vị diện tích của vật trong một đơn vị thời gian là $N = \frac{I}{hf}$.

Gọi k là hệ số phản xạ ($k < 1$). Số photon phản xạ trên một đơn vị diện tích, trong một đơn vị thời gian là Nk ; số photon bị hấp thụ là $N(1 - k)$. Mỗi photon phản xạ truyền cho vật một động lượng là $2 \frac{hf}{c}$; mỗi photon bị hấp thụ truyền cho

vật một động lượng là $\frac{hf}{c}$. Như vậy, áp suất ánh sáng tác dụng lên vật là

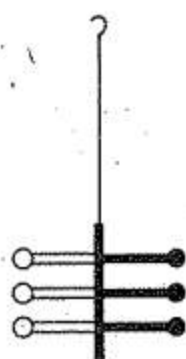
$$P = 2Nk \frac{hf}{c} + N(1 - k) \frac{hf}{c} = N \frac{hf}{c} (1 + k).$$

$$\text{Do đó : } P = \frac{I}{c} (1 + k) \quad (3.19)$$

Một chùm sáng có cường độ 5 W/m^2 , chiếu vào một vật phản xạ lí tưởng ($k = 1$) sẽ tác dụng lên vật đó một áp suất $6,7 \cdot 10^{-8} \text{ Pa}$, đó là một áp suất rất nhỏ. Dựa vào thuyết sóng điện từ ánh sáng, người ta cũng đã tìm được công thức (3.19) về áp suất ánh sáng, trước khi thuyết lượng tử ra đời.

Người ta giải thích sự tạo thành đuôi sao chổi dựa vào tác dụng của áp suất ánh sáng. Khi bay đến gần Mặt Trời, các chất trong sao chổi bị bốc hơi. Đám hơi này vừa chịu tác dụng của lực hấp dẫn của Mặt Trời, vừa chịu tác dụng của áp suất ánh sáng Mặt Trời đẩy ra. Vì lực đẩy do áp suất ánh sáng lớn hơn lực hấp dẫn, nên đám khí này bị đẩy ra xa Mặt Trời, tạo thành đuôi sao chổi.

Sự nở ra và co lại của lớp vỏ các sao cũng được giải thích bằng hai tác dụng ngược chiều nhau của lực hấp dẫn và áp suất ánh sáng. Lê-bê-đép là người đầu tiên thực hiện được thí nghiệm đo áp suất ánh sáng. Ông làm một thiết bị gồm hai hệ thống cánh nhẹ : một hệ thống được mạ bóng, phản xạ tốt ánh sáng ; một hệ thống được bôi đen, hấp thụ tốt ánh sáng. Hai hệ thống này được gắn trên một trục thẳng đứng và được treo bằng một sợi dây thạch anh mảnh trong một bình chân không (Hình 3.10).



Hình 3.10

Khi chiếu một chùm sáng vào hai hệ thống cánh này thì các cánh trắng sẽ bị đẩy mạnh hơn làm cho hệ thống bị quay. Dựa vào góc quay và vào các đặc điểm cấu tạo của hệ thống, có thể tính được áp suất ánh sáng.

IV – SƠ LƯỢC VỀ LAZE

1. Laze là gì ?

Laze là từ phiên âm của tiếng Anh Laser. Thuật ngữ Laser được ghép bằng những chữ cái đứng đầu của cụm từ Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation, có nghĩa là : Máy khuếch đại ánh sáng bằng sự phát xạ cảm ứng.

Có thể nói laze là một nguồn sáng phát ra một chùm sáng có tính đơn sắc, tính định hướng, tính kết hợp rất cao và cường độ lớn.

Chùm sáng phát ra cũng được gọi là *tia laze*.

Ta sẽ hiểu tất cả những đặc điểm trên khi nghiên cứu các nguyên tắc hoạt động của laze.

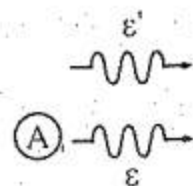
2. Các nguyên tắc hoạt động của laze

a) Sự phát xạ cảm ứng

Năm 1917, khi nghiên cứu lí thuyết phát xạ, Anh-xtanh đã chứng minh rằng : Ngoài hiện tượng phát xạ tự phát của nguyên tử còn có hiện tượng phát xạ mà ông gọi là *hiện tượng phát xạ cảm ứng*.

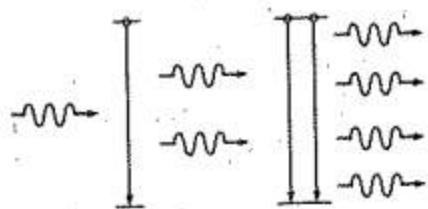
Hiện tượng đó như sau :

Nếu một nguyên tử đang ở trong trạng thái kích thích, sẵn sàng phát ra một photon có năng lượng $\varepsilon = hf$, bắt gặp một photon có năng lượng ε' đúng bằng hf , bay lướt qua nó, thì lập tức nguyên tử này cũng phát ra photon ε . Photon ε có cùng năng lượng và bay cùng phương với photon ε' . Ngoài ra, sóng điện từ ứng với photon ε hoàn toàn cùng pha với sóng điện từ ứng với photon ε' (Hình 3.11).



Hình 3.11

Như vậy, nếu có một photon ban đầu bay qua một loạt nguyên tử đang ở trong trạng thái kích thích nói trên, thì số photon sẽ tăng lên theo cấp số nhân (Hình 3.12).



Hình 3.12

Các photon này có cùng năng lượng (ứng với các sóng điện từ có cùng bước sóng), do đó tính đơn sắc của chùm sáng rất cao. Chúng bay theo cùng một phương, nghĩa là tính định hướng của chùm sáng rất cao. Tất cả các sóng điện từ do các nguyên tử phát ra đều cùng pha, như vậy tính kết hợp của chùm sáng rất cao.

Ngoài ra, vì số photon bay theo cùng một phương rất lớn, nên chùm sáng có cường độ rất mạnh.

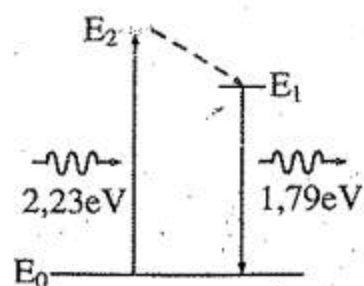
b) Sự đảo lộn mật độ

Bình thường, tuyệt đại đa số nguyên tử của môi trường ở trạng thái cơ bản. Do đó, khi một photon có năng lượng phù hợp bay qua, nó sẽ bị hấp thụ ngay. Muốn quá trình khuếch đại ánh sáng xảy ra, phải làm cho số nguyên tử ở trạng thái kích thích nhiều hơn hẳn số nguyên tử ở trạng thái cơ bản, tức là tạo ra *sự đảo lộn mật độ* trong môi trường.

Lúc đó, môi trường có khả năng khuếch đại ánh sáng.

Ở mỗi loại laser có một cách tạo ra sự đảo lộn mật độ riêng. Dưới đây là cách làm ở laser rubi.

Rubi (hồng ngọc) là tinh thể Al_2O_3 có pha Cr_2O_3 .



Hình 3.13

Màu đỏ của rubi do ion Cr tạo ra. Ta hãy quan tâm đến ba mức năng lượng E_0 , E_1 và E_2 của Cr (Hình 3.13). E_0 là mức cơ bản; E_1 là mức năng lượng kích thích nằm trên mức cơ bản 1,79 eV. Mức năng lượng E_1 ứng với trạng thái kích thích giả-bền; thời gian sống trung bình của Cr ở trạng thái này vào cỡ $5 \cdot 10^{-3}$ s, dài hơn hẳn thời gian sống trung bình ở các trạng thái kích thích khác (cỡ 10^{-8} s). Mức kích thích E_2 , nằm trên mức cơ bản 2,23 eV. Mức này tương đối rộng, nghĩa là ion Cr có thể hấp thụ các photon có năng lượng lân cận 2,23 eV.

Người ta dùng ánh sáng xanh ($0,556 \mu\text{m}$), ứng với năng lượng của photon 2,23 eV, của một đèn xenon chiếu vào khối rubi để làm cho phần lớn nguyên tử Cr chuyển từ trạng thái cơ bản lên trạng thái kích thích E_2 . Sau khoảng thời gian cỡ 10^{-8} s, chúng chuyển một cách tự phát về trạng thái E_1 và sống trong trạng thái đó trong khoảng $5 \cdot 10^{-3}$ s. Trong khoảng thời gian này, có sự đảo lộn mật độ ở khối rubi.

Khi chuyển từ trạng thái E_1 về trạng thái cơ bản thì nguyên tử Cr phát ra ánh sáng đỏ ($0,694 \mu\text{m}$), ứng với photon có năng lượng 1,79 eV.

c) Buồng cộng hưởng

Để có sự khuếch đại mạnh ánh sáng, phải cho chùm sáng đi qua lại nhiều lần khối chất có tính khuếch đại ánh sáng theo cùng một phương.



Hình 3.14

Muốn vậy, người ta đặt khối chất nói trên giữa hai gương phẳng song song với nhau, có mặt phản xạ quay vào nhau (Hình 3.14).

Gương G_1 phản xạ tốt, còn gương G_2 là gương bán mạ. Nó phản xạ khoảng 50% ánh sáng chiếu tới và cho khoảng 50% ánh sáng truyền qua. Chùm tia laser được lấy ra từ gương G_2 .

Sóng tới và sóng phản xạ là các sóng kết hợp nên sẽ tạo thành sóng dừng. Tại các gương G_1 và G_2 là các nút sóng. Như vậy, khoảng cách giữa hai gương phải thoả mãn điều kiện :

$$G_1 G_2 = n \cdot l = k \frac{\lambda}{2} \quad (3.20)$$

Với n là chiết suất của thanh Rubi.

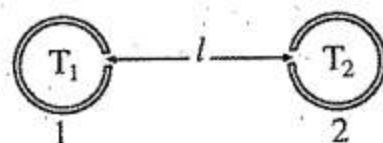
Hai gương phẳng G_1 và G_2 tạo thành một buồng cộng hưởng.

d) Ngưỡng phát

Muốn cho số nguyên tử ở trạng thái kích thích E_2 nhiều hơn hẳn số nguyên tử ở trạng thái cơ bản thì công suất của đèn xenon phải lớn hơn một giá trị nào đó gọi là ngưỡng phát của laze. Ngưỡng phát của laze rubi vào cỡ gần 1000 W.

V - BÀI TẬP VÍ DỤ

Ví dụ 1. Có hai vỏ cầu 1 và 2, trên mỗi vỏ có khoét một lỗ tròn nhỏ, đường kính $D = 1$ cm. Hai lỗ được đặt đối diện nhau, khoảng cách giữa chúng là $l = 10$ cm (Hình 3.15). Hệ thống được đặt trong chân không. Nhiệt độ trong vỏ 1 được giữ không đổi là $T_1 = 1700$ K.



Hình 3.15

Tính nhiệt độ T_2 trong vỏ 2.

Giải

Độ trung năng lượng toàn phần của vỏ 1 : $R_1 = \sigma T_1^4$.

Độ chói của lỗ ở vỏ 1 : $B_1 = \frac{R_1}{\pi} = \frac{\sigma T_1^4}{\pi}$.

Dòng quang năng mà một diện tích nhỏ ds ở lỗ 1 gửi đến lỗ 2 :

$$dE = B_1 ds \cdot d\omega = B_1 ds \frac{\pi D^2}{4l^2} \text{ với } D = 1 \text{ cm và } l = 10 \text{ cm.}$$

Dòng quang năng mà toàn bộ lỗ 1 gửi đến lỗ 2 : $E = B_1 S \frac{\pi D^2}{4l^2}$.

Độ rọi năng lượng tại lỗ 2 : $A_2 = \frac{E}{S} = B_1 \frac{\pi D^2}{4l^2}$.

Ở trạng thái cân bằng thì độ trung năng lượng của lỗ 2 bằng độ rọi năng lượng của nó :

$$R_2 = A_2 = B_1 \frac{\pi D^2}{4l^2} = \frac{\sigma T_1^4 D^2}{4l^2} = \sigma T_2^4$$

Từ đó suy ra : $T_2 = T_1 \sqrt{\frac{D}{2l}}$

Với $T_1 = 1700 \text{ K}$ thì $T_2 \approx 380 \text{ K}$.

Ví dụ 2. Một thiên thạch coi như có hình cầu, bay cách Mặt Trời một khoảng 150.10^6 km . Cho rằng Mặt Trời bức xạ như một vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ $T_0 = 6000 \text{ K}$ và nhiệt độ tại mọi điểm trên thiên thạch là như nhau.

Xác định nhiệt độ T của thiên thạch, nếu nó hấp thụ và phát xạ sóng điện từ như một vật đen tuyệt đối. Bán kính của Mặt Trời là $6,95.10^8 \text{ m}$.

Giải

Độ trung năng lượng toàn phần của Mặt Trời :

$$R_0 = \sigma T_0^4 \text{ với } T_0 = 6000 \text{ K}$$

Độ chói của Mặt Trời : $B_0 = \frac{R_0}{\pi}$

Dòng quang năng do một diện tích nhỏ ds của Mặt Trời gửi đến thiên thạch :

$$dE = B_0 ds \cdot d\omega = B_0 ds \frac{\pi \cdot r^2}{l^2}$$

r là bán kính của thiên thạch ; $l = 150.10^6 \text{ km} = 15.10^{10} \text{ m}$.

Dòng quang năng do Mặt Trời gửi đến thiên thạch là

$$E = \int dE = B_0 \pi r_0^2 \frac{\pi \cdot r^2}{l^2} = B_0 \left(\frac{\pi \cdot r \cdot r_0}{l} \right)^2 \text{ với } r_0 = 6,95.10^8 \text{ m}.$$

Ở trạng thái cân bằng nhiệt, năng lượng mà thiên thạch nhận được trong đơn vị thời gian bằng năng lượng mà nó toả ra trong thời gian đó. Như vậy, độ trung năng lượng của thiên thạch là :

$$R = \frac{E}{4\pi.r^2} = \frac{\sigma T_0^4}{4} \left(\frac{r_0}{l} \right)^2 = \sigma T^4$$

T là nhiệt độ của thiên thạch : $T = T_0 \sqrt{\frac{r_0}{2l}}$ suy ra $T = 289 \text{ K}$.

Ví dụ 3. Một photon tia X có bước sóng $0,5 \text{ \AA}$ tán xạ trên một electron tự do, đứng yên. Góc tán xạ là $\theta = 120^\circ$. Tính năng lượng của photon và động năng của electron sau khi tán xạ.

Cho $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $1 \text{ \AA} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m}$.

Giải

$$\text{Áp dụng công thức : } \Delta\lambda = \frac{2h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

với $\theta = 120^\circ$, ta được $\Delta\lambda = 0,364 \cdot 10^{-11} \text{ m} \approx 0,037 \text{ \AA}$

Năng lượng của photon trước lúc tán xạ : $\varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda} = 3,927 \cdot 10^{-15} \text{ J}$ với $\lambda = 0,5 \text{ \AA}$.

Bước sóng của photon tán xạ : $\lambda' = \lambda + \Delta\lambda = 0,537 \text{ \AA}$.

Năng lượng của photon tán xạ : $\varepsilon' = hf' = \frac{hc}{\lambda'} = 3,698 \cdot 10^{-15} \text{ J}$.

Phần năng lượng dư thừa hoàn toàn chuyển hoá thành động năng của electron :

$$W_d = \varepsilon - \varepsilon' = 0,229 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

Ví dụ 4. Một hạt bụi nhôm, coi như một quả cầu, bay trong không gian vũ trụ. Hệ số phản xạ của nó là 0,9. Tính bán kính của hạt bụi, biết rằng lực hấp dẫn của Mặt Trời cân bằng với áp lực của các tia sáng Mặt Trời tác dụng lên nó. Mặt Trời coi như một vật đen tuyệt đối phát xạ với nhiệt độ bề mặt là 6000 K .

Khối lượng riêng của nhôm là $D = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$; đường kính góc của Mặt Trời $\alpha = 30'$; khoảng cách Mặt Trời – Trái Đất là $d = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$; khối lượng của Mặt Trời là $M_0 = 1,95 \cdot 10^{30} \text{ kg}$; hằng số hấp dẫn $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$.

Giải

Độ trung năng lượng của Mặt Trời : $R = \sigma T^4$ với $T = 6000 \text{ K}$.

Dòng quang năng toàn phần do Mặt Trời phát ra theo đủ mọi phương :

$$E = 4\pi R_0^2 R = 4\pi \sigma T^4 R_0^2$$

Với R_0 là bán kính của Mặt Trời :

$$R_0 = \frac{\alpha}{2} d = \frac{\pi \cdot 30}{180 \cdot 60 \cdot 2} 150 \cdot 10^9 = 6,545 \cdot 10^8 \text{ m} \quad (\alpha = 30' \text{ và } d = 150 \cdot 10^9 \text{ m})$$

$$\text{Cường độ của chùm sáng Mặt Trời tại vị trí có hạt bụi : } I = \frac{E}{4\pi r^2} = \sigma T^4 \left(\frac{R_0}{r} \right)^2$$

với r là khoảng cách từ Mặt Trời đến hạt bụi.

Áp suất ánh sáng Mặt Trời tác dụng lên hạt bụi :

$$p = \frac{I}{c} (1 + k) = \frac{\sigma T^4}{c} (1 + k) \left(\frac{R_0}{r} \right)^2 \text{ với } k = 0,9 \text{ và } c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Áp lực mà ánh sáng Mặt Trời đẩy hạt bụi ra xa :

$$F = p \cdot s = \pi \rho^2 p = \frac{\pi \sigma \rho^2 T^4}{c} (1 + k) \left(\frac{R_0}{r} \right)^2 \text{ với } \rho \text{ là bán kính hạt bụi.}$$

Lực hấp dẫn mà Mặt Trời tác dụng lên hạt bụi :

$$F_{hd} = G \frac{M_0 m}{r^2} = G \frac{4\pi \rho^3 D M_0}{3r^2}$$

với $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$; $D = 2700 \text{ kg/m}^3$ và $M_0 = 1,95 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.

$$\text{Vì } F = F_{hd} \text{ nên ta có : } \rho = \frac{3\sigma T^4 R_0^2 (1 + k)}{4GcDM_0}$$

Tính ra $\rho = 426 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 0,426 \mu\text{m}$. Điều đặc biệt là kết quả này không phụ thuộc vào khoảng cách từ hạt bụi đến Mặt Trời.

Ví dụ 5. a) Các ion Cr^{3+} trong rubi có ba mức năng lượng mà ta sử dụng trong laze là : mức cơ bản E_0 , mức kích thích giả bền $E_1 = 1,79 \text{ eV}$ và mức kích thích $E_2 = 2,23 \text{ eV}$. Khi kích thích bằng ánh sáng xanh của đèn xênon thì ion Cr^{3+} chuyển lên mức kích thích E_2 . Nó sống ở mức này trung bình trong 10^{-8} s , rồi chuyển không phát xạ xuống mức E_1 . Thời gian sống trung bình của ion Cr^{3+} ở mức E_1 là 10^{-3} s . Khi chuyển từ mức E_1 về mức cơ bản thì ion này phát ra một photon ánh sáng đỏ. Hãy tính bước sóng λ của ánh sáng đỏ này.

Dùng một máy quang phổ để thu ánh sáng đỏ này ta được một vạch quang phổ có một bề rộng $\Delta\lambda$ nhất định gọi là bề rộng tự nhiên của vạch. Hãy tính $\Delta\lambda$ và tỉ số $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ (gọi là độ đơn sắc của vạch).

b) Khi thanh rubi trong laze trở thành môi trường có tính khuếch đại ánh sáng thì cường độ của một chùm tia sáng truyền dọc theo trục sẽ mạnh dần lên. Hãy tìm định luật biến thiên cường độ chùm tia sáng theo độ dài của đường truyền, biết rằng độ tăng cường độ sáng dI của chùm khi đi qua một lớp mỏng môi trường vừa tỉ lệ thuận với độ dày dl của lớp, vừa tỉ lệ thuận với chính cường độ I của chùm.

c) Hai đầu của thanh rubi được mài phẳng, nhẵn, vuông góc với trục. Một đầu được mạ bạc với hệ số phản xạ là 1 ; đầu kia được mạ với hệ số phản xạ 0,5. Độ dài của thanh là d . Cường độ chùm sáng khi bắt đầu ra khỏi thanh là I_0 . Tìm hệ thức mà độ dài d của thanh phải thoả mãn.

d) Thanh có độ dài $d = 6 \text{ cm}$. Hãy tính độ đơn sắc của chùm sáng do laze phát ra. Chiết suất của rubi là $n = 1,90$.

Giải

$$\text{a) } \varepsilon = hf = h \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\varepsilon} = 6,943 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 0,6943 \text{ } \mu\text{m} \text{ với } \varepsilon = 1,79 \text{ eV.}$$

Giữa độ bất định về năng lượng $\Delta\varepsilon$ của photon mà ion phát ra với độ bất định về thời gian sống Δt của ion trong trạng thái kích thích, có hệ thức bất định Hai-xen-béc :

$$\Delta\varepsilon \cdot \Delta t = h$$

Mặt khác, ta lại có : $\varepsilon = hf \Rightarrow \Delta\varepsilon = h \cdot \Delta f$

Từ đó suy ra : $\Delta f = \frac{1}{\Delta t}$ với $\Delta t = 1.10^{-3} \text{ s}$

Hệ thức giữa tần số và bước sóng ánh sáng :

$$f = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \Delta f = -\frac{c \cdot \Delta \lambda}{\lambda^2}$$

Dấu trừ không có nghĩa. Vậy, bề rộng tự nhiên của vạch quang phổ là :

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2 \Delta f}{c} = \frac{\lambda^2}{c \cdot \Delta t} = 0,16.10^{-17} \text{ m} = 0,16.10^{-11} \mu\text{m}$$

Độ đơn sắc của vạch quang phổ là $\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = 0,23.10^{-5}$.

b) Ta có : $dI = \alpha I \cdot dl \Rightarrow \frac{dI}{I} = \alpha \cdot dl$

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = \int_0^d \alpha dl \Rightarrow \ln \frac{I}{I_0} = \alpha d \Rightarrow I = I_0 e^{\alpha d}$$

Đối với môi trường bình thường thì khi d tăng, I sẽ giảm. Đối với thanh rubi, trong trạng thái này, thì khi d tăng, I cũng tăng. Người ta nói rằng thanh rubi trong trạng thái này là môi trường có hệ số hấp thụ âm.

c) Gọi I_0 là cường độ của chùm sáng khi ló ra khỏi gương bán mạ. Cường độ sáng khi đến gương này sẽ là $2I_0$. Cường độ của chùm sáng khi trở lại thanh rubi là I_0 .

Cường độ của chùm sáng sau khi đi qua 2 lần chiều dài d sẽ là : $I = I_0 e^{2\alpha d}$.

Ta phải có điều kiện : $I = 2I_0 \Rightarrow e^{2\alpha d} = 2 \Rightarrow d = \frac{\ln 2}{2\alpha} = \frac{0,346}{\alpha}$.

d) Khoảng cách d giữa hai gương phải thoả mãn điều kiện về buồng cộng hưởng :

$$nd = k \frac{\lambda}{2} \Rightarrow 2nd = k\lambda \text{ với } n = 1,90$$

$$k = \frac{2nd}{\lambda} \approx 328400$$

$$\ln k + \ln \lambda = \ln(2nd) \Rightarrow \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = 0 \Rightarrow \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = -\frac{\Delta k}{k}$$

Dấu trừ không có nghĩa ; $\Delta k = 1$. Vậy, ta có $\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{1}{328400} \approx 3 \cdot 10^{-6}$

Độ đơn sắc của chùm tia laze không khác gì mấy so với độ đơn sắc của vạch quang phổ.

B – ĐỀ BÀI TẬP

3.1. Xác định nhiệt độ của lớp mặt ngoài của Mặt Trời (quang cầu). Cho biết :

- Độ rọi năng lượng của ánh sáng Mặt Trời trên mặt Trái đất là $1,35 \text{ kW/m}^2$;
- Đường kính góc của Mặt Trời nhìn từ Trái Đất là $30'$.

Coi Mặt Trời bức xạ như một vật đen tuyệt đối.

3.2. Xác định nhiệt độ trung bình trên mặt Trái Đất cho rằng Trái Đất bức xạ như một vật đen tuyệt đối và lượng năng lượng mà nó toả ra luôn bằng năng lượng mà nó nhận được từ ánh sáng Mặt Trời. Đường kính góc của Mặt trời nhìn từ Trái Đất là $30'$. Nhiệt độ bề mặt Mặt Trời là 6000 K .

Bỏ qua nhiệt lượng nhận được từ các nguồn nhiệt ở trong lòng Trái Đất.

3.3. Từ công thức Plăng về năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối như một hàm số của tần số và nhiệt độ :

$$\rho(f, T) = \left(\frac{2\pi f^2}{c^2} \right) \left(\frac{1}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1} \right) (hf)$$

Hãy tìm công thức Plăng về năng suất phát xạ của vật đen tuyệt đối như một hàm số của bước sóng và nhiệt độ.

3.4. Vật xám là vật có năng suất hấp thụ đơn sắc là một hằng số, không phụ thuộc bước sóng ánh sáng, nhưng nhỏ hơn 1 ($a_\lambda = \text{hằng số} < 1$). Một vật xám có nhiệt độ 1000 K , có diện tích $1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$, trong mỗi phút toả ra một năng lượng là $13,2 \text{ kJ}$. Hãy xác định năng suất hấp thụ đơn sắc của vật đó.

3.5. Một vệ tinh nhân tạo bay trên quỹ đạo quanh Trái Đất. Vệ tinh có dạng hình cầu. Khi vệ tinh bị ánh sáng Mặt Trời rọi vào thì tất cả các phần của vệ tinh

coi như có cùng nhiệt độ. Mặt Trời bức xạ như một vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ 6000 K. Khoảng cách Mặt Trời – Trái Đất là $1,5 \cdot 10^8$ km.

a) Coi vệ tinh như một vật đen tuyệt đối. Xác định nhiệt độ của vệ tinh. Cho $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^2$. Góc trông đĩa Mặt Trời từ Trái Đất là $30'$.

b) Để hạ nhiệt độ của vệ tinh, người ta sơn bên ngoài vệ tinh một lớp sơn có đặc điểm là phản xạ hoàn toàn tất cả các sóng điện từ có bước sóng ngắn dưới $24 \mu\text{m}$ và hấp thụ hoàn toàn các sóng điện từ có bước sóng dài từ $24 \mu\text{m}$ trở lên. Xác định nhiệt độ của vệ tinh trong trường hợp này.

Cho biểu thức gần đúng: $e^x \approx 1 + x$ nếu $x \leq 0,1$.

3.6. Dây tóc của một bóng đèn sợi đốt có chiều dài 10 cm và đường kính 0,03 mm. Hiệu điện thế giữa hai đầu dây tóc là 12 V. Coi dây tóc phát sáng như một vật đen tuyệt đối. Xác định nhiệt độ của dây tóc và bước sóng trong quang phổ liên tục mà tại đó năng suất phát xạ của dây tóc là cực đại. Cho rằng bóng đèn bị mất 8% điện năng tiêu thụ vào các quá trình tỏa nhiệt khác. Điện trở suất của dây tóc là $5,5 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$.

3.7. Một quả cầu lửa có đường kính 100 m được hình thành trong một vụ nổ hạt nhân. Cực đại của cường độ sáng trong quang phổ liên tục của quả cầu lửa nằm ở bước sóng $0,289 \mu\text{m}$.

a) Xác định nhiệt độ ở bề mặt của quả cầu lửa.

b) Xác định năng lượng mà quả cầu tỏa ra trong 10^{-3} s.

c) Tính độ rọi năng lượng mà quả cầu lửa gây ra trên một diện tích, đặt vuông góc với mặt đất cách quả cầu 10 km.

3.8. Cho một dòng điện I chạy qua một tấm nicro hình vuông. Dòng điện đi vào ở điểm giữa của một cạnh và đi ra ở điểm giữa của cạnh đối diện. Độ dài mỗi cạnh hình vuông là $l = 1 \text{ cm}$; tiết diện cắt ngang của tấm nicro là $s = 0,001 \text{ cm}^2$. Năng suất hấp thụ của tấm này là $a = 0,34$ đối với mọi bước sóng. Tính cường độ dòng điện I sao cho tấm nicro trở thành nguồn phát sáng mạnh nhất ở bước sóng $0,555 \mu\text{m}$. Điện trở suất của nicro là $\rho = 1 \cdot 10^{-4} \Omega\text{m}$.

3.9. Đặt một quả cầu bằng đồng, đường kính $d = 1,2 \text{ cm}$, trong một bình chân không. Thành trong của bình hấp thụ như một vật đen tuyệt đối và được giữ

luôn luôn ở nhiệt độ gần 0 K. Nhiệt độ ban đầu của quả cầu là $T_0 = 300$ K. Sau thời gian bao lâu thì nhiệt độ của quả cầu giảm còn 150 K ?

Nhiệt dung riêng của đồng là $c = 390$ J/kg.K ; Khối lượng riêng của đồng là $D = 8900$ kg/m³.

3.10. Một sợi dây tóc bóng đèn có đường kính d , độ dài l , được nung ở nhiệt độ T_0 . Hãy tìm định luật biến thiên nhiệt độ T của dây tóc theo thời gian kể từ lúc bắt đầu ngắt dòng điện qua dây tóc. Cho rằng chỉ có sự tiêu hao năng lượng của dây tóc do bức xạ là đáng kể. Năng suất hấp thụ đơn sắc của dây tóc là a đối với mọi bước sóng. Nhiệt dung riêng của dây tóc là c . Khối lượng của dây tóc là m .

3.11. Một photon có năng lượng $\varepsilon = 1,00$ MeV, tán xạ lên một electron tự do đứng nghỉ. Sau tán xạ bước sóng của photon biến thiên 25% giá trị của nó. Tính góc tán xạ và động năng mà electron thu được.

3.12. Một photon có năng lượng bằng năng lượng nghỉ của electron tán xạ trên một electron chuyển động nhanh. Sau tán xạ thì electron dừng lại và photon bị tán xạ dưới góc 60° . Xác định độ dịch chuyển của bước sóng trong hiệu ứng Com-pton và động năng của electron trước tán xạ.

3.13. Một photon có năng lượng ε tán xạ trên một electron tự do.

a) Xác định độ dịch chuyển bước sóng lớn nhất có thể có trong hiệu ứng Com-pton.

b) Xác định năng lượng lớn nhất mà electron có thể thu được trong hiện tượng này.

3.14. Một lazer rubi phát ra những xung sóng ánh sáng có thời gian kéo dài 0,1 μ s và có năng lượng 10 J. Xung có dạng một chùm sáng hẹp, đơn sắc, song song. Người ta tập trung chùm sáng đó vào một vết sáng hẹp có đường kính 10 μ m trên một mặt đặt vuông góc với chùm sáng. Hệ số phản xạ của mặt đó là 0,5. Tính áp suất trung bình mà chùm lazer tác dụng lên mặt đó.

3.15. Dựa vào thuyết sóng, hãy chứng minh công thức áp suất ánh sáng :

$$P = \frac{I}{c}(1 + k)$$

3.16. Một chùm sáng song song, đơn sắc, có cường độ $I = 2000$ W/m², đập lên mặt một gương phẳng có hệ số phản xạ $k = 0,8$. Góc tới là $\alpha = 60^\circ$. Tính áp suất mà chùm sáng tác dụng lên mặt gương.

3.17. Một chùm sáng song song, đơn sắc có cường độ $I = 8000 \text{ W/m}^2$, chiếu vào một quả cầu mạ niken, nhẵn bóng, có bán kính $R = 5 \text{ cm}$ và có hệ số phản xạ $k = 1$. Tính lực mà chùm sáng tác dụng lên quả cầu.

3.18. Một lazer CO_2 có công suất 10 W và phát ra bức xạ có bước sóng $10,6 \mu\text{m}$ được dùng như một dao mổ. Chỗ tiếp xúc của mô với tia lazer sẽ bị nóng lên và nước ở chỗ đó bị bốc hơi, kết quả là mô ở chỗ đó sẽ bị cắt đứt. Một chùm tia lazer có bán kính $0,1 \text{ mm}$ chuyển động với vận tốc $0,5 \text{ cm/s}$ trên bề mặt một mô mềm.

a) Tính năng lượng cần thiết để làm bốc hơi 1 mm^3 nước ở 37°C .

Nhiệt dung riêng của nước : $c = 4,18 \text{ kJ/kg.K}$; nhiệt hoá hơi riêng của nước : $L = 2260 \text{ kJ/kg}$.

b) Tính thể tích nước mà dao lazer có thể làm bốc hơi mỗi giây.

c) Ước lượng chiều sâu của vết cắt bằng dao lazer.

d) Tại sao người ta sử dụng bức xạ $10,6 \mu\text{m}$?

HƯỚNG DẪN GIẢI BÀI TẬP

Chủ đề 1

1.1. S : ngọn đèn ; H : hình chiếu của S xuống sàn ; M : góc phòng ; α góc HSM.

$$SH = 3 \text{ m} ; HM = 2\sqrt{2} \text{ m} ; SM = \sqrt{17} \text{ m} ; \cos \alpha = 0,1765$$

$d\Phi$: quang thông do ngọn đèn gửi đến diện tích dS ở góc phòng.

$$\text{Do đó : } \frac{d\Phi}{dS} = 5 \text{ lux} = Id\omega$$

Với I là cường độ sáng của đèn ; $d\omega$ là góc khối nhìn diện tích dS từ S :

$$d\omega = \frac{dS \cos \alpha}{(SM)^2}$$

Loại $d\omega$ trong hai công thức trên, ta sẽ tính được $I = 48,17 \text{ cd}$.

1.2. S : ngọn đèn ; H : hình chiếu của S xuống sàn ; $SH = 4 \text{ m}$.

Công suất điện tiêu thụ của đèn : $\mathcal{P} = 100 \text{ W}$. Dòng quang năng toàn phần của đèn

$E = 0,02 \mathcal{P} = 2 \text{ W}$. Quang thông toàn phần của đèn : $\Phi = 683 \text{ VE} = 1366 \text{ lm}$.

Quang thông này được phát ra trong phạm vi góc khối 4π sterad.

$$\text{a) Quang thông mà đèn gửi đến diện tích } dS \text{ tại H : } d\Phi = \frac{1366}{4\pi} d\omega.$$

$$\text{Với } d\omega \text{ là góc khối nhìn } dS \text{ từ S : } d\omega = \frac{dS}{(SH)^2}.$$

$$\text{Độ rọi tại H thuần túy do đèn gây ra : } R_d = \frac{d\Phi}{dS}.$$

Kết quả : $R_d = 6,8 \text{ lux}$.

b) Độ rọi tại H là tổng độ rọi do đèn gây ra và độ rọi do ánh sáng tán xạ trên tường gây ra : $R_H = 3,2 \text{ lux}$.

1.3. Quang thông do ngọn đèn gửi trực tiếp đến diện tích dS trên màn ảnh tại giao điểm của màn ảnh với trục chính : $d\Phi_1 = Id\omega_1$.

Với $I = 100 \text{ cd}$ và $d\omega_1$ là góc khối nhìn dS từ ngọn đèn :

$$d\omega_1 = \frac{dS}{(SH)^2} ; SH = 2 \text{ m}$$

Quang thông do ngọn đèn gửi đến diện tích dS trên mặt gương bao quanh đỉnh gương : $d\Phi_2 = Id\omega_2$.

$d\omega_2$ là góc khối nhìn dS trên mặt gương từ ngọn đèn $d\omega_2 = \frac{dS}{f^2}$; với $f = 0,25 \text{ m}$.

Quang thông phản xạ nằm trong một chùm tia song song chiếu đến diện tích dS trên màn ảnh : $d\Phi_3 = kd\Phi_2$ với $k = 0,9$.

Quang thông tổng cộng chiếu đến diện tích dS trên màn ảnh :

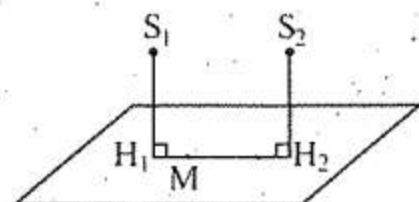
$$d\Phi = d\Phi_1 + d\Phi_3$$

Độ rọi tại giao điểm của màn ảnh với trục chính : $A = \frac{d\Phi}{dS} = 1465 \text{ lux}$.

1.4. Gọi S_1 và S_2 là hai nguồn : $S_1S_2 = 6 \text{ m}$; H_1

và H_2 là hình chiếu của S_1 và S_2 xuống mặt sàn, M là điểm mà ta cần tìm (Hình 1.1G).

Vì lí do đối xứng, M phải nằm trên đoạn thẳng H_1H_2 .



Hình 1.1G

Đặt $MH_1 = x$; $MH_2 = 6 - x$

Độ rọi trên một diện tích nhỏ dS tại M do S_1 gây ra : $A_1 = \frac{d\Phi_1}{dS}$..

$$d\Phi_1 = Id\omega_1 \text{ với } d\omega_1 = \frac{dS \cos \alpha_1}{(S_1M)^2} ; \cos \alpha_1 = \frac{S_1H}{S_1M}$$

$$A_1 = \frac{I.S_1H}{(S_1M)^3} \text{ với } I = 200 \text{ cd} ; S_1H = 4 \text{ m} ; S_1M = \sqrt{16 + x^2}$$

$$\text{Do đó : } A_1 = 800(16 + x^2)^{-\frac{3}{2}}$$

Tương tự, độ rọi tại M do S_2 gây ra $A_2 = 800 \left[16 + (6-x)^2 \right]^{-\frac{3}{2}}$

Độ rọi tổng cộng tại M : $A = A_1 + A_2$

$$A = 800 \left(16 + x^2 \right)^{-\frac{3}{2}} + 800 \left[16 + (6-x)^2 \right]^{-\frac{3}{2}}$$

Đạo hàm của A theo x :

$$A' = -2400x \left(16 + x^2 \right)^{-\frac{5}{2}} + 2400(6-x) \left[16 + (6-x)^2 \right]^{-\frac{5}{2}} \quad (1)$$

Đặt $A' = 0$ và giải ra, ta sẽ tìm được x. Tuy nhiên, đây là một phương trình bậc 5 về x, nên ta không có cách giải.

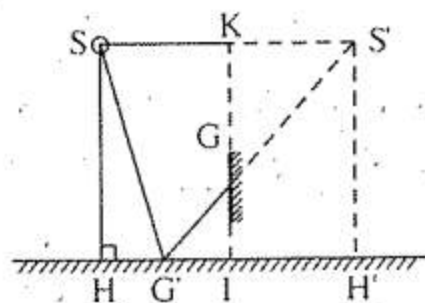
Để giải được bài này, ta phải dùng cách lập luận. Đặt $MH_2 = y$. Gọi $x_{\max}$ và $y_{\max}$ là các giá trị của x và y ứng với vị trí của M tại đó độ rọi cực đại. Vì lí do đối xứng, ta phải có : $x_{\max} = y_{\max}$. Mặt khác $x_{\max} + y_{\max} = 6$ m.

Vậy $x_{\max} = y_{\max} = 3$ m. Dem thay giá trị này vào biểu thức của A' ta sẽ có $A' = 0$.

Với $x = 3$ m thì $A = 12,8$ lux.

Thay giá trị $x = 3$ m vào phương trình (1) ta sẽ thấy $A' = 0$.

- 1.5. Gọi S là ngọn đèn ; S' là ảnh của ngọn đèn trong gương ; H và H' là hình chiếu của S và S' trên mặt sàn ; G là tâm của gương ; G' là tâm của vết sáng trên mặt sàn ; K là trung điểm của SS' ; I là điểm ở chân tường, trong mặt phẳng SHH'S' (Hình 1.2G).



Hình 1.2G

Ta có : $SK = S'K = 2$ m ; $SH = S'H' = 3$ m ;

$HG' = G'I = GI = 1$ m ; $G'H' = 3$ m.

Xét một diện tích rất nhỏ dS của vết sáng tại điểm G', trên mặt sàn.

Quang thông mà ngọn đèn trực tiếp gửi đến dS : $d\Phi_1 = Id\omega_1$.

$$\text{với } I = 100 \text{ cd ; } d\omega_1 = \frac{dS \cos \alpha_1}{(SG')^2} ; \cos \alpha_1 = \frac{SH}{SG'} ; SG' = \sqrt{(SH)^2 + (HG')^2}$$

Độ rọi mà ngọn đèn trực tiếp gây ra tại G' :

$$A_1 = \frac{d\Phi_1}{dS} = \frac{I \cdot SH}{(SG')^3} = I \cdot SH \cdot \left[(SH)^2 + (HG')^2 \right]^{-\frac{3}{2}} = 9,49 \text{ lux}$$

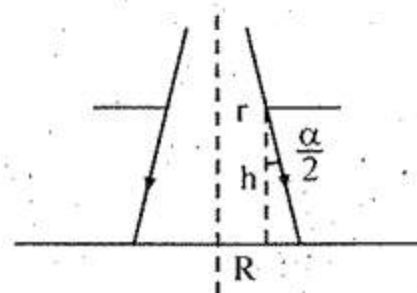
Nếu coi S' như một nguồn sáng giống như S thì, tương tự như trên, độ rọi mà S' gây ra ở G' sẽ là

$$A_2 = \frac{d\Phi_2}{dS} = \frac{I \cdot S'H'}{(S'G')^3} = I \cdot S'H' \cdot \left[(S'H')^2 + (H'GH')^2 \right]^{-\frac{3}{2}} = 3,93 \text{ lux}$$

Tuy nhiên, chỉ có 90% quang thông tới bị phản xạ trên gương, nên độ rọi mà S' gây ra ở M chỉ còn là $A'_2 = 0,9 A_2 = 3,54 \text{ lux}$.

Độ rọi tổng cộng tại G' là $A = A_1 + A'_2 = 13,03 \text{ lux}$.

1.6. Chùm sáng từ Mặt Trời chiếu đến sau khi qua lỗ tròn, khoét trên màn chắn, sẽ cho một vết sáng trên màn ảnh. (Bỏ qua hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng). Vì quang thông gửi đến vết sáng cũng là quang thông đi qua lỗ tròn, nên muốn độ rọi trên màn ảnh bằng một nửa độ rọi tại lỗ tròn thì diện tích của vết sáng phải gấp đôi diện tích của lỗ tròn.



Hình 1.3G

Gọi r là bán kính của lỗ ; R là bán kính của vết sáng ; h là khoảng cách từ màn chắn đến màn ảnh ; α là góc trông Mặt Trời từ Trái Đất (Hình 1.3G).

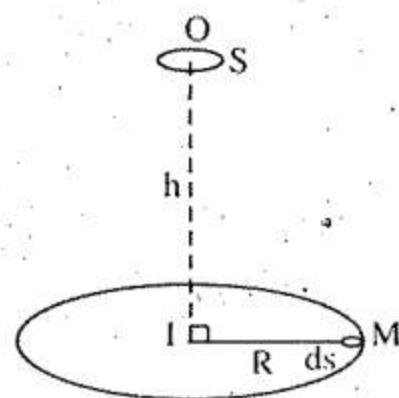
Với $r = 1 \text{ cm}$; $\alpha = 30' = 0,5^\circ = \frac{\pi \cdot 0,5}{180} \text{ rad} = 0,00873 \text{ rad}$.

Ta có $R = r\sqrt{2}$ và $h \frac{\alpha}{2} = R - r$

Thay số, ta được $h = 94,93 \text{ cm} \approx 0,95 \text{ m}$.

1.7. Gọi O và I là tâm của đèn và của bàn ; S là diện tích của đèn ; R là bán kính của bàn ; h là khoảng cách từ đèn đến bàn.

Ta hãy xét độ rọi tại điểm M ở mép bàn (Hình 1.4G).



Hình 1.4G

Quang thông Φ do đèn gửi đến một diện tích rất nhỏ ds nằm tại M được tính tương tự như ở bài tập ví dụ 3 :

$$\Phi = BS \frac{h^2}{(OM)^3} ds$$

với $B = 2 \cdot 10^4$ nit ; S là diện tích của nguồn :

$$S = 0,07 \text{ m}^2 ; OM = \sqrt{h^2 + R^2}$$

$$\text{Độ rọi tại } M : A = \frac{BS h^2}{(OM)^3} = \frac{BS h^2}{(h^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} = BS h^2 (h^2 + R^2)^{-\frac{3}{2}}$$

$$\text{Đạo hàm của } A \text{ theo } h : A' = \frac{BS h}{(h^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \left(2 - \frac{3h^2}{h^2 + R^2} \right)$$

A' bằng không với $h = R \sqrt{2} = 0,85 \text{ m}$.

$$\text{Do đó : } A_{\max} = \frac{2BS}{R\sqrt{27}} = 0,5 \cdot 10^3 \text{ lux.}$$

1.8. a) Độ rọi năng lượng của ánh sáng Mặt Trời trên mặt Trái Đất là $A = 1,35 \text{ kW/m}^2$.

Gọi d là khoảng cách Mặt Trời – Trái Đất.

Dòng quang năng toàn phần do Mặt Trời phát ra là : $E = 4\pi d^2 A$.

Gọi R là độ trung năng lượng của Mặt Trời ; D là đường kính Mặt Trời.

Ta cũng có : $E = \pi D^2 R$.

Phối hợp hai công thức trên, ta được : $R = 4A \left(\frac{d}{D} \right)^2$

Chú ý rằng đường kính góc của Mặt Trời nhìn từ Trái Đất là :

$$\alpha = \frac{D}{d} \text{ với } \alpha = 30' = 0,00873 \text{ rad}$$

$$\text{Cuối cùng, ta được : } R = \frac{4A}{\alpha^2} = 70,9 \cdot 10^3 \text{ kW/m}^2.$$

b) Công suất phát xạ toàn phần của Mặt Trời : $\mathcal{P} = E = 4\pi d^2 A = 3,82 \cdot 10^{26} \text{ W}$.

1.9. Gọi S là ngọn đèn ; S' là ảnh của ngọn đèn trong gương ; G là gương ; M là vết sáng trên tường ; H là chân đường cao hạ từ S ; I là chân tường (Hình 1.5G).

Ta có $SH = MI = 3 \text{ m}$; $SM = 2 \text{ m}$.

Dễ dàng chứng minh : $HG = GI = 1 \text{ m}$.

Lấy một diện tích nhỏ dS trên tường, quanh điểm M.

Quang thông do ngọn đèn S trực tiếp gửi đến dS :

$$d\Phi_1 = Id\omega_1 = \frac{IdS}{(SM)^2} ; \text{ với } I = 50 \text{ cd.}$$

Độ rọi do ngọn đèn trực tiếp gây ra tại M :

$$A_1 = \frac{d\Phi_1}{dS} = \frac{I}{(SM)^2}$$

Độ trung của phân tường xung quanh vết sáng :

$$R_1 = TA_1 = \frac{TI}{(SM)^2} = R_{\min}$$

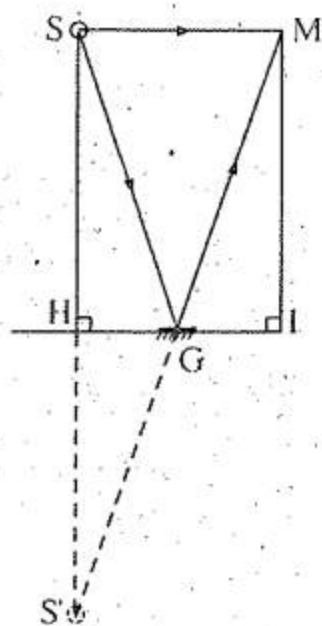
$T = 0,8$ là hệ số tán xạ của tường. Ta được $R_{\min} = 10 \text{ lm/m}^2$.

Nếu coi S' như một nguồn sáng có cường độ I thì quang thông mà S' gửi đến dS sẽ là :

$$d\Phi_2 = Id\omega_2 \text{ với } d\omega_2 = \frac{dS \cos \alpha}{(S'M)^2}$$

Ta có : $S'M = 2 \text{ SG} = 2\sqrt{10} \text{ m}$ và $\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{10}}$.

Vì chỉ có 90% quang thông tới trên gương bị phản xạ, nên quang thông phản xạ chiếu đến vết sáng sẽ là : $d\Phi'_2 = kd\Phi_2$ với $k = 0,9$.



Hình 1.5G

Độ rọi do chùm sáng phản xạ gây ra tại M là : $A_2 = \frac{d\Phi_2}{dS} = k \frac{I \cos \alpha}{(S'M)^2}$.

Độ trung tại M do chùm sáng phản xạ gây ra :

$$R_2 = TA_2 = Tk \frac{I \cos \alpha}{(S'M)^2} = 0,28 \text{ lm/m}^2$$

Độ trung tổng cộng tại chỗ có vết sáng : $R = R_1 + R_2 = 10,28 \text{ lm/m}^2 = R_{\max}$.

Độ tương phản tại M là : $T_p = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\max}} = 0,027 = 2,7 \%$.

Sự tương phản giữa chỗ tối và chỗ sáng rất yếu.

1.10. Độ trung của phim : $R_1 = \pi B_1$; B_1 là độ chói của phim (xem bài tập ví dụ 3),
với $B_1 = 5 \cdot 10^4 \text{ nit}$.

Quang thông mà phim phát ra : $\Phi_1 = R_1 S$; S là diện tích của phim.

Quang thông chiếu đến ảnh : $\Phi_2 = 0,9 \Phi_1$.

Độ rọi trên ảnh : $A_2 = \frac{\Phi_2}{S'}$; S' là diện tích của ảnh.

$S' = k^2 S$; k là số phóng đại của ảnh ($k = 50$)

Độ trung của ảnh : $R_2 = 0,8 A_2 = \frac{0,72 \pi B_1}{k^2} = 45,2 \text{ lm/m}^2$.

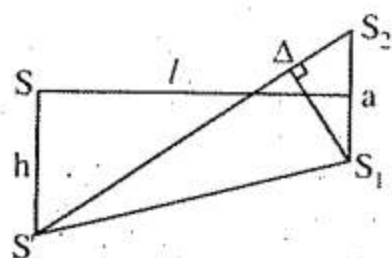
Chủ đề 2

2.1. a) Giữa 6 vân sáng liên tiếp có 5 khoảng vân. Vậy khoảng vân giao thoa là :

$$i = \frac{10}{5} = 2 \text{ mm.}$$

Bước sóng ánh sáng : $\lambda = \frac{ia}{D} = 0,50 \mu\text{m.}$

Với $a = 0,3 \text{ mm}$ và $D = 1,2 \text{ m.}$



Hình 2.1G

b) Giả sử ta tịnh tiến khe S một đoạn $h = 1 \text{ mm}$, đến S' , theo phương vuông góc với đường trung trục của S_1S_2 , về phía S_1 (Hình 2.1G). Như vậy quang trình từ S' đến S_2 đã dài hơn quang trình từ S' đến S_1 một lượng Δ . Ta có thể tính gần đúng Δ như sau :

$$\frac{\Delta}{a} \approx \frac{h}{l} \Rightarrow \Delta = h \frac{a}{l}$$

Ta lại biết vân sáng chính giữa là vân sáng bậc 0 ($k = 0$). Do đó, vân sáng chính giữa phải dịch về phía S_2 một đoạn Δx sao cho quang trình từ S_2 đến vị trí mới phải ngắn hơn quang trình từ S_1 đến đó một lượng $\Delta' = \Delta$. Có thể tính gần đúng (xem hình 2.3) :

$$\frac{\Delta'}{a} \approx \frac{\Delta x}{D} \Rightarrow \Delta' = \Delta x \frac{a}{D}$$

$$\Delta' = \Delta \Rightarrow h \frac{a}{l} = \Delta x \frac{a}{D} \Rightarrow \frac{h}{l} = \frac{\Delta x}{D} \quad (1) \Rightarrow \Delta x = h \frac{D}{l} = 12 \text{ mm}$$

Hệ vân dịch chuyển về phía S_2 một khoảng 12 mm, bằng 6 khoảng vân. Hệ thức (1) cho thấy vị trí mới của vân sáng chính giữa nằm trên đường $S'I$; I là trung điểm của S_1S_2 .

c) Nếu mở rộng khe S đến mức độ nào đó thì sẽ phải coi khe sáng như hai nguồn sáng độc lập S' và S'' , không kết hợp, đặt cạnh nhau. Nếu gọi khoảng cách hai điểm giữa của hai nguồn là b thì bề rộng của nguồn S sẽ là $2b$.

Hai nguồn S' và S'' sẽ tạo trên màn ảnh hai hệ vân giao thoa chồng chất lên nhau. Hai hệ vân này có cùng khoảng vân. Cường độ sáng tại mỗi điểm trên màn ảnh sẽ là tổng cường độ sáng của hai hệ vân tại đó.

Nếu vân sáng của hệ nọ trùng với vân tối của hệ kia thì màn ảnh sẽ sáng đều và các vân giao thoa sẽ biến mất.

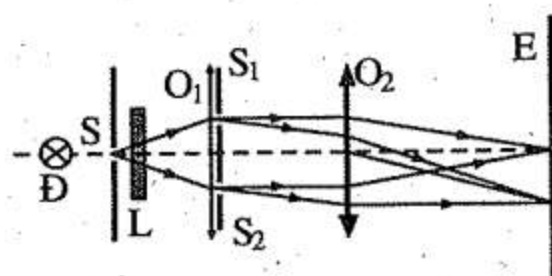
Như vậy, khoảng cách tối thiểu giữa hai vân sáng trung tâm để không quan sát được hiện tượng giao thoa ánh sáng trong trường hợp này là $\frac{i}{2} = 1 \text{ mm}$.

Theo câu b, ta có : $S'S'' = b = \frac{i}{2} \cdot \frac{l}{D} = 0,083 \text{ mm}$.

Như vậy bề rộng của nguồn sẽ là : $2b = 0,166 \text{ mm}$.

2.2. a) Hình 2.2G.

b) Đặt $S_1S_2 = a = 2 \text{ mm}$. Hai tia sáng phát ra từ hai khe S_1 và S_2 đi theo cùng một phương làm với trục chính một góc φ , chẳng hạn, sau khi qua thấu kính O_2 , sẽ hội tụ tại một tiêu điểm phụ, nằm trên trục phụ làm với trục chính góc φ (Hình 2.2G).



Hình 2.2G

Hiệu quang trình giữa hai tia đó là : $\Delta = a \sin \varphi$.

Vị trí các cực đại giao thoa được xác định bởi hệ thức :

$$\Delta = a \sin \varphi = k\lambda \Rightarrow \sin \varphi = k \frac{\lambda}{a} \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

Khoảng cách từ tiêu điểm chính đến các cực đại giao thoa được xác định bởi hệ thức :

$$x_k = f_2 \tan \varphi \approx f_2 \sin \varphi = k f_2 \frac{\lambda}{a}$$

Khoảng vân giao thoa : $i = x_{k+1} - x_k = f_2 \frac{\lambda}{a} = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,45 \text{ mm}$.

c) Khi đặt một bản mỏng trên đường đi của một chùm tia, chẳng hạn chùm tia đi từ S_1 , thì quang trình của chùm tia này sẽ tăng thêm một lượng $\Delta = (n - 1)e$;

với n là chiết suất của bản, e là bề dày của bản. Như vậy, vân sáng chính giữa và cả hệ vân, sẽ bị dịch chuyển về phía S_1 sao cho quang trình từ S_2 đến vân sáng chính giữa bằng quang trình từ S_1 đến vân đó :

$$d_2 = d_1 + \Delta = d_1 + (n - 1)e \Rightarrow d_2 - d_1 = (n - 1)e$$

Mặt khác, ta lại có : $d_2 - d_1 = a \sin \varphi'$

Do đó :

$$a \sin \varphi' = (n - 1)e \Rightarrow \sin \varphi' = \frac{(n - 1)e}{a}$$

$$\Delta x = f_2 \sin \varphi' = f_2 \frac{(n - 1)e}{a}$$

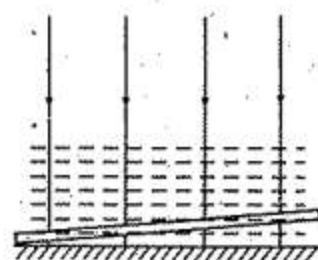
Δx là độ dịch chuyển của hệ vân : $\Delta x = 40 \text{ mm}$

Vậy, ta có : $e = \frac{a \Delta x}{(n - 1)f_2} = 0,107 \text{ mm}$.

Muốn đo độ dịch chuyển của hệ vân, ta phải dùng ánh sáng trắng và đo độ dịch chuyển của vân trắng chính giữa.

- 2.3. a) Kim loại là chất phản xạ tốt ánh sáng. Trong vùng ánh sáng nhìn thấy, hệ số phản xạ của các gương kim loại có thể lên đến hơn 90%. Như vậy, biên độ của sóng phản xạ gần bằng biên độ của sóng tới.

Chùm sáng song song chiếu tới ứng với một sóng phẳng, đến đập vuông góc với mặt gương. Chùm phản xạ cũng là một sóng phẳng. Sóng phản xạ và sóng tới là hai sóng kết hợp nên chúng giao thoa với nhau tạo thành một hệ thống sóng dừng (Hình 2.3G).



Hình 2.3G

Khoảng cách giữa hai bụng sóng liên tiếp là $\frac{\lambda}{2}$.

Khi đặt một tấm kính ảnh nghiêng góc với mặt gương thì mặt kính ảnh sẽ cắt các mặt phẳng chứa các bụng sóng theo những đường thẳng nằm song song với mặt gương. Vì nút sóng là chỗ có những dao động cực đại của điện trường, nên kính ảnh sẽ bị tác dụng mạnh nhất và khi tráng phim ta sẽ có những vạch đen.

b) Gọi khoảng cách giữa hai vạch đen liên tiếp là i , góc làm bởi tấm kính ảnh và mặt gương là α , ta sẽ có :

$$\sin \alpha = \frac{\frac{\lambda}{2}}{i} \Rightarrow i \approx \frac{\lambda}{2\alpha} \approx 0,41 \text{ mm}$$

2.4. Trong thiết bị này, từ một tia sáng ban đầu, ta thu được 4 tia kết hợp. Trong hình 2.56, ta đánh số các tia này theo thứ tự 1, 2, 3, 4 từ trái sang phải. Quang trình của hai tia 2 và 3 hoàn toàn bằng nhau : đường đi trong thủy tinh giống nhau, đường đi ngoài không khí giống nhau, số lần phản xạ từ thủy tinh trên không khí và từ không khí trên thủy tinh là như nhau. Hơn nữa, đường đi của chúng khi ló ra hoàn toàn trùng khít với nhau. Do đó, phải coi hai tia ló này như một tia có biên độ dao động sáng gấp đôi biên độ dao động sáng của hai tia 1 và 4.

Gọi i là góc tới của tia sáng trên gương, r là góc khúc xạ.

$$\text{Ta có : } i = 45^\circ ; n = 1,5 ; \sin i = n \sin r \Rightarrow \sin r = \frac{\sqrt{2}}{3} \text{ và } \cos r = \frac{\sqrt{7}}{3}$$

Hiệu quang trình giữa tia 2, 3 và tia 1 là :

$$\Delta = \frac{2d}{\cos r} - 2d \tan r \cdot \sin i + \frac{\lambda}{2} = \frac{2d}{\cos r} (1 - n \sin^2 r) + \frac{\lambda}{2}$$

Đó cũng là hiệu quang trình giữa tia 4 và tia 2, 3.

Như vậy, trạng thái giao thoa giữa 4 tia 1, 2, 3, 4 được quyết định bởi hiệu quang trình nói trên.

Tại tiêu điểm chính, ta thu được một cực đại giao thoa. Điều đó có nghĩa là

$$\Delta = k\lambda \Rightarrow \frac{2d}{\cos r} (1 - n \sin^2 r) + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

$$\frac{2d}{\cos r} (1 - n \sin^2 r) = (k - 0,5)\lambda \Rightarrow k = \frac{2d}{\lambda \cos r} (1 - n \sin^2 r) + 0,5$$

Với $d = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$; $\lambda = 2\sqrt{7} \cdot 10^{-7} \text{ m}$; $n = 1,5$; $\cos r = \frac{\sqrt{7}}{3}$ và $\sin r = \frac{\sqrt{2}}{3}$, ta

được : $k = \frac{4}{7} \cdot 10^5 + 0,5 \approx 57143$.

2.5. Gọi A là góc chiết quang của lăng kính thủy tinh ($A = 5^\circ$), A cũng là góc chiết quang của lăng kính bằng benzen.

Góc lệch của tia sáng qua lăng kính thủy tinh:

$$\delta_1 = A(n - 1)$$

Góc lệch của tia sáng qua lăng kính benzen:

$$\delta_2 = -A(n' - 1)$$

Góc lệch tổng cộng của tia sáng qua hai lăng kính:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = A(n - n')$$

Khoảng cách giữa hai ảnh ảo của S qua lưỡng lăng kính là:

$$a = 2/\delta = 2/A(n - n')$$

Khoảng vân giao thoa sẽ là:

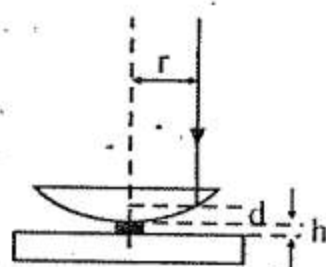
$$i = \frac{\lambda D}{a} = \frac{\lambda(l + L)}{2/A(n - n')} \approx 1 \text{ mm}$$

Ưu điểm của phương pháp này là đã làm giảm đáng kể góc lệch của tia sáng, khoảng cách giữa hai nguồn ảo, do đó làm tăng khoảng vân rất nhiều.

2.6. Gọi h là bề dày của vết bẩn, d_k là khoảng cách từ đỉnh thấu kính đến vân tối có bán kính 1,5 mm (Hình 2.4G). Hiệu quang trình giữa hai tia giao thoa với nhau tại vân tối là:

$$\Delta = 2(d_k + h) + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$$

$$d_k + h = k\frac{\lambda}{2}$$



Hình 2.4G

Bán kính của vân tối đó là: $r_k = \sqrt{2Rd_k}$,

$$\text{với } r_k = 1,5 \text{ mm} \Rightarrow d_k = \frac{2,25 \cdot 10^{-6}}{2R} \text{ m.}$$

Nếu gọi vân k là vân thứ nhất thì vân thứ 21 sẽ là vân $k + 20$. Đối với vân này, ta có:

$$r_{k+20} = \sqrt{2Rd_{k+20}} = 2,5 \text{ mm} \Rightarrow d_{k+20} = \frac{6,25 \cdot 10^{-6}}{2R} \text{ m.}$$

Mặt khác, ta cũng có : $d_{k+20} + h = (k+20) \frac{\lambda}{2}$.

Suy ra : $d_{k+20} - d_k = 10\lambda = 5 \mu\text{m} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{2R}$.

Do đó $R = 0,4 \text{ m}$.

Không thể dựa vào thí nghiệm vân tròn Niu-تون để xác định bề dày của vết bẩn được.

2.7. Mẫu sắc mà ta thấy trên văng dầu là những cực đại giao thoa của các sóng ánh sáng phản xạ ở mặt trên và mặt dưới của văng dầu.

Vì nguồn sáng ở rất xa và bản rất mỏng, nên hai tia sáng đơn sắc phát ra từ cùng một điểm S của nguồn đến giao thoa với nhau ở K (Hình 2.5G) coi như hai tia song song. Tia SIJK

phản xạ ở mặt dưới của bản. Tia SK phản xạ ở mặt trên. Hai tia này giao thoa với nhau tại K. Vì khoảng IK rất nhỏ nên có thể coi như mặt trên và mặt dưới của bản tại đó song song với nhau. Hai tia phản xạ đi theo cùng một phương KR vào mắt người quan sát.

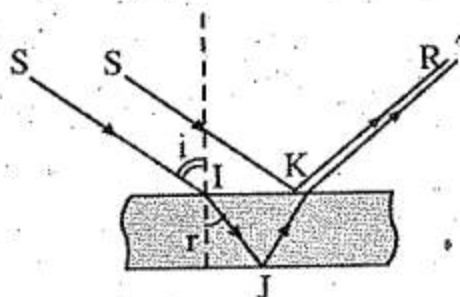
Gọi i là góc tới ; r là góc khúc xạ ; n là chiết suất của bản ; d là bề dày của bản tại chỗ mà ta quan sát. Hiệu quang trình giữa hai tia SIJKR và SKR là :

$$\Delta = \frac{2dn}{\cos r} - 2d \tan r \cdot \sin i - \frac{\lambda}{2} = \frac{2d}{\cos r} (n - \sin r \cdot \sin i) - \frac{\lambda}{2} = \frac{2dn}{\cos r} (1 - \sin^2 r) - \frac{\lambda}{2}$$

$$\Delta = 2dncosr - \frac{\lambda}{2}$$

Ta sẽ thấy cực đại của ánh sáng có bước sóng λ tại K và theo phương làm với pháp tuyến góc i nếu :

$$\Delta = 2dncosr - \frac{\lambda}{2} = k\lambda \Rightarrow 2dncosr = (k + \frac{1}{2})\lambda$$



Hình 2.5G

Khi $i \approx 90^\circ$ thì $r \approx r_{gh}$ và $\cos r$ có giá trị nhỏ nhất. Quan sát thực tế cho thấy vầng dầu có màu tro xám, nghĩa là không có cực đại của bất kì bước sóng nào. Điều đó có nghĩa là tích $2d \cos r_{gh}$ nhỏ hơn mọi $\frac{\lambda}{2}$ trong vùng ánh sáng nhìn thấy được.

Khi giảm dần góc tới i thì r cũng giảm dần, $\cos r$ tăng dần. Đối với các ánh sáng nhìn thấy, trước hết ta thấy cực đại của ánh sáng tím, rồi đến các ánh sáng chàm, lam, lục... và cuối cùng là đỏ. Các cực đại này đều ứng với $k = 0$.

Thay $\cos r = \sqrt{1 - \sin^2 r} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{n^2}}$, ta có công thức (với $k = 0$):

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

Theo đầu bài, khi $i = 60^\circ$ thì ta thấy cực đại của ánh sáng màu da cam sẫm ($\lambda_{dc} = 0,6 \mu\text{m}$):

$$2d \sqrt{n^2 - \frac{3}{4}} = \frac{0,6 \cdot 10^{-6}}{2} \text{ m}$$

Bỏ qua sự phụ thuộc của chiết suất n vào bước sóng ánh sáng.

Khi $i = 30^\circ$, ta thấy cực đại của ánh sáng màu đỏ ($\lambda_d = 0,7 \mu\text{m}$)

$$2d \sqrt{n^2 - \frac{1}{4}} = \frac{0,7 \cdot 10^{-6}}{2} \text{ m}$$

Ta có hai phương trình: $n^2 - \frac{3}{4} = \frac{36 \cdot 10^{-14}}{16d^2}$

$$n^2 - \frac{1}{4} = \frac{49 \cdot 10^{-14}}{16d^2}$$

Giải hai phương trình, ta được $d = 1,31 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ và $n = 1,46$.

- 2.8. a) Hai tia sáng $P_1G_1P_1O$ và $P_1G_2P_1O$ là hai tia kết hợp nên, khi gặp nhau ở tiêu diện của thấu kính O , chúng sẽ giao thoa với nhau. Phần truyền trong thủy tinh của hai tia đó là như nhau (xem hình 2.58). Do đó chúng chỉ khác nhau ở phần truyền ngoài không khí. Đặt $P_1G_1 = l_1$ và $P_1G_2 = l_2$. Hiệu quang trình giữa hai tia đó là:

$$\Delta = 2(l_2 - l_1) = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

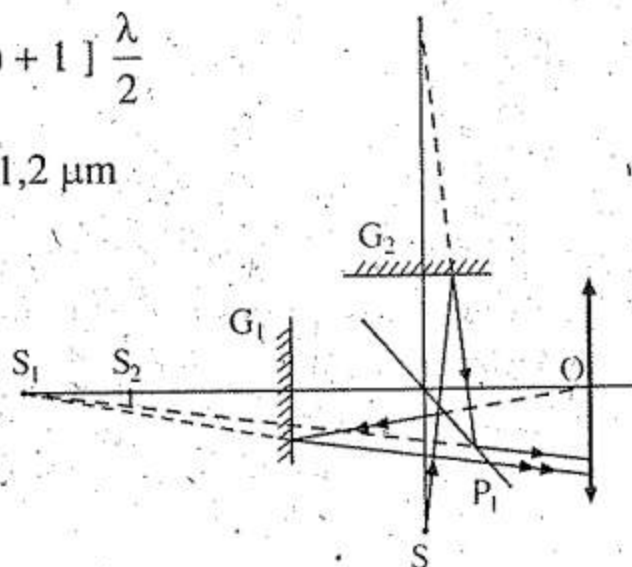
Khi tịnh tiến gương G_1 lại gần gương P_1 một khoảng Δl thì l_1 giảm, do đó Δ tăng. Khi xuất hiện vân tối thứ 5, ta có :

$$\Delta' = 2[l_2 - (l_1 - \Delta l)] = [2(k + 4) + 1] \frac{\lambda}{2}$$

$$\Delta' - \Delta = 2\Delta l = 4\lambda \Rightarrow \Delta l = 2\lambda = 1,2 \mu\text{m}$$

b) Giả sử có một tia sáng phát ra từ S, nằm trong mặt phẳng hình vẽ của hình 2.58, làm với tia SG_2 một góc i , và ở bên phải của tia đó.

Xét phần phản xạ của tia này trên P_1 . Tia phản xạ này nằm dưới G_1O và làm với G_1O một góc i (Hình 2.6G).



Hình 2.6G

Tia này gặp gương G_1 sẽ cho tia phản xạ nằm dưới G_1O và làm với G_1O góc i . Xét phần truyền qua P_1 . Tia này gặp G_2 cho tia phản xạ nằm bên phải G_2 và làm với G_2 góc i .

Tia phản xạ này gặp P_1 cho tia phản xạ nằm dưới G_1O và làm với G_1O góc i .

Vì vậy, ta sẽ có hai tia song song với nhau chiếu vào thấu kính và làm với trục chính của thấu kính O một góc bằng i .

Gọi l là khoảng cách từ S đến P_1 ; d là khoảng cách từ P_1 đến O. Tia phản xạ từ G_1 chiếu đến O tựa như được phát ra từ ảnh ảo S_1 của S sau hai lần phản xạ liên tiếp trên P_1 và G_1 . Có thể tính dễ dàng khoảng cách D_1 từ S_1 đến O :

$$D_1 = l + 2l_1 + d$$

Tương tự, tia phản xạ từ G_2 chiếu đến O tựa như được phát ra từ ảnh ảo S_2 của S sau hai lần phản xạ liên tiếp trên G_2 và P_1 . Khoảng cách D_2 từ S_2 đến O là :

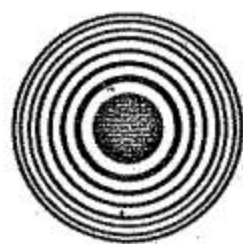
$$D_2 = l + 2l_2 + d$$

Hiệu quang trình giữa hai tia này là :

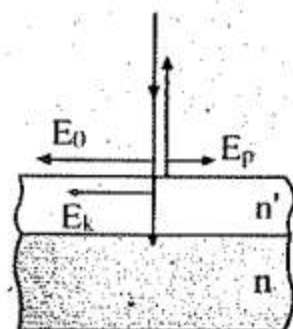
$$\Delta = S_1 S_2 \cos i = (D_1 - D_2) \cos i = 2 (l_1 - l_2) \cos i$$

Hai tia này gặp nhau tại tiêu điểm phụ, nằm trên trục phụ làm với trục chính góc i , thì giao thoa với nhau.

Nếu $\Delta = k\lambda$ ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$) thì ta có một điểm sáng trên tiêu diện. Nếu nguồn S phát ra một chùm tia hẹp, có dạng một mặt nón tròn xoay, trục SG_2 , nửa góc ở đỉnh là i thì ta sẽ thu được một vân cực đại có dạng hình tròn, tâm là tiêu điểm chính F. Nếu nguồn S phát ra một chùm tia rộng, đơn sắc thì trên tiêu diện ta sẽ thu được một hệ thống vân tròn đồng tâm (Hình 2.7G).



Hình 2.7G



Hình 2.8G

2.9. a) Chiếu một tia sáng đơn sắc, phân cực phẳng, vuông góc với mặt lớp nhựa chiết suất n' . Gọi E_0 là biên độ của dao động điện trong ánh sáng tới,

E_k là biên độ dao động điện trong ánh sáng khúc xạ, E_p là biên độ dao động điện trong sóng phản xạ (Hình 2.8G).

Ta biết rằng khi truyền qua mặt phân cách giữa hai môi trường thì thành phần tiếp tuyến của vectơ E sẽ biến thiên liên tục và khi phản xạ từ môi trường chiết quang yếu trên môi trường chiết quang mạnh hơn thì sóng phản xạ ngược pha với sóng tới.

$$\text{Do đó, ta có : } E_0 - E_p = E_k \quad (1)$$

Mặt khác, theo định luật bảo toàn năng lượng, mật độ dòng năng lượng trong ánh sáng tới bằng tổng mật độ dòng năng lượng trong ánh sáng khúc xạ và ánh sáng phản xạ. Chú ý rằng :

Mật độ dòng năng lượng = Mật độ năng lượng $\times$ Vận tốc sóng

$$\frac{\epsilon_1 \epsilon_0 E_0^2}{2} \cdot \frac{c}{n_1} = \frac{\epsilon_2 \epsilon_0 E_k^2}{2} \cdot \frac{c}{n_2} + \frac{\epsilon_1 \epsilon_0 E_p^2}{2} \cdot \frac{c}{n_1}$$

Để cho tổng quát, ta gọi ε_1 và ε_2 là hằng số điện môi của môi trường thứ nhất và thứ hai ; n_1 và n_2 là chiết suất của môi trường thứ nhất và thứ hai ($n_1 = 1$; $n_2 = n$). Ta có $n = \sqrt{\varepsilon}$. Như vậy, ta được :

$$n_1 E_0^2 = n_1 E_p^2 + n_2 E_k^2 \quad (2)$$

Giải hệ phương trình (1) và (2) :

$$n_1 (E_0^2 - E_p^2) = n_2 E_k^2$$

$$n_1 (E_0 + E_p) (E_0 - E_p) = n_2 E_k^2$$

$$n_1 E_k (E_0 + E_p) = n_2 E_k^2$$

$$E_0 + E_p = \frac{n_2}{n_1} E_k$$

Phối hợp với phương trình (1), ta được kết quả :

$$E_k = E_0 \frac{2n_1}{n_1 + n_2} \text{ và } E_p = E_0 \frac{n_2 - n_1}{n_1 + n_2}$$

Trong trường hợp cụ thể của bài toán thì :

$$E_k = E_0 \frac{2}{n' + 1} \text{ và } E_p = E_0 \frac{n' - 1}{n' + 1}$$

Căn cứ vào các công thức trên, có thể coi như $E_k \approx E_0$.

Khi phản xạ ở mặt phân cách giữa lớp nhựa và thủy tinh thì :

$$E'_p = E_k \frac{n - n'}{n + n'} \approx E_0 \frac{n - n'}{n + n'}$$

Khi trở lại mặt trên của lớp nhựa và ló ra thì :

$$E'_k \approx E'_p = E_0 \frac{n - n'}{n + n'}$$

$$\text{Xét tỉ số : } \frac{E_p}{E'_k} = \frac{n' - 1}{n' + 1} \cdot \frac{n + n'}{n - n'}$$

Với $n' = \sqrt{n}$ hay $n = n'^2$, ta có :

$$\frac{E_p}{E_k} = \frac{n' - 1}{n' + 1} \cdot \frac{n'(n' + 1)}{n'(n' - 1)} = 1$$

Vậy, nếu $n' = \sqrt{n}$ thì có thể coi hai tia phản xạ từ mặt trên và mặt dưới của lớp nhựa có biên độ gần bằng nhau.

b) Hai tia phản xạ là hai tia kết hợp nên, khi gặp nhau trên mặt lớp nhựa, chúng sẽ giao thoa với nhau. Gọi d là bề dày của lớp nhựa. Hiệu quang trình giữa hai tia là : $\Delta = 2dn'$. Cả hai tia phản xạ đều bị mất nửa bước sóng.

Nếu $\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ thì hai tia phản xạ sẽ khử lẫn nhau.

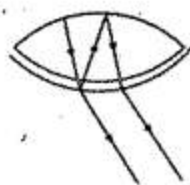
Như vậy, bề dày tối thiểu của lớp khử phản xạ (với $k = 0$) là :

$$d = \frac{\lambda}{4n'} = \frac{\lambda}{4\sqrt{n}} = 0,102 \mu\text{m}$$

Bề dày này quá mỏng, thông thường lớp khử phản xạ có bề dày ứng với k lớn. Lớp khử phản xạ có hai tác dụng :

– Tác dụng thứ nhất là làm giảm sự mất mát ánh sáng do phản xạ. Tuy nhiên, tác dụng này rất khó hiểu vì năng lượng của tia phản xạ dồn vào cho tia khúc xạ theo cơ chế nào ?

– Tác dụng thứ hai là tăng chất lượng của ảnh. Nếu không có lớp khử phản xạ thì ánh sáng sẽ phản xạ đi lại nhiều lần giữa mặt trên và mặt dưới, bên trong thấu kính và cho nhiều tia ló (Hình 2.9G). Kết quả là ảnh sẽ bị viền và không nét. Nếu ta dùng lớp khử phản xạ để khử ngay tia phản xạ đầu tiên ở mặt dưới thấu kính, ta sẽ khắc phục được hiện tượng ảnh bị viền.



Hình 2.9G

Cách tính toán về lớp khử phản xạ ở mặt dưới thấu kính cũng tương tự như cách tính cho mặt trên.

2.10. Hai đèn pha ô tô coi như hai nguồn sáng không kết hợp ở xa vô cùng. Chùm sáng do mỗi ngọn đèn chiếu đến mắt sẽ bị nhiễu xạ tại lỗ con ngươi của mắt và cho trên màng lưới (võng mạc) một ảnh nhiễu xạ. Bán kính góc của vân sáng trung tâm, nhìn từ quang tâm của thể thủy tinh, được xác định bởi công thức :

$$\sin \varphi = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

với $\lambda = 0,55 \mu\text{m}$ và $D = 5 \text{ mm}$, D là đường kính của con ngươi.

Người quan sát bắt đầu không phân biệt được hai ảnh của hai ngọn đèn kể từ khi điều kiện Ray-lây được thoả mãn : tâm vân sáng trung tâm của ảnh này nằm trên mép vân sáng trung tâm của ảnh kia ; nghĩa là khoảng cách góc ψ (nhìn từ quang tâm của thể thuỷ tinh) giữa hai ảnh bằng bán kính góc φ của mỗi ảnh :

$$\sin \Psi = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

ψ cũng là khoảng cách góc giữa hai ngọn đèn ô tô, nhìn từ vị trí người quan sát. Gọi L là khoảng cách giữa hai ngọn đèn ($L = 1,2 \text{ m}$) và d là khoảng cách giữa đèn ô tô đến người quan sát, ta có :

$$\sin \Psi \approx \Psi = \frac{L}{d} \Rightarrow d = \frac{LD}{1,22\lambda} \approx 8,94.10^3 \text{ m}$$

Vậy, khoảng cách tối thiểu từ ô tô đến người quan sát vào khoảng 9 km.

2.11. Sóng siêu âm truyền từ mặt nước xuống đáy bình nước thì bị phản xạ trở lại.

Sóng tới và sóng phản xạ giao thoa với nhau tạo thành sóng dừng trong bình nước. Khoảng cách giữa hai bụng sóng (hay hai nút sóng) cạnh nhau là $\frac{\lambda_0}{2}$.

Với λ_0 là bước sóng siêu âm trong nước (đừng lẫn với bước sóng ánh sáng λ mà ta sẽ nói đến dưới đây) : $\lambda_0 = \frac{v}{n}$; v là tốc độ sóng và n là tần số sóng ($n = 4,7 \text{ MHz}$).

Bụng sóng là chỗ các phần tử nước dao động rất mạnh và do đó, tán xạ rất mạnh ánh sáng ; còn nút sóng là chỗ nước đứng yên, không tán xạ ánh sáng.

Ánh sáng truyền qua bình nước trong có sóng dừng, tựa như truyền qua một cách tử nhiễu xạ có hằng số cách tử là $a = \frac{\lambda_0}{2}$.

Vị trí các cực đại giao thoa được xác định bởi công thức : $\sin \varphi = k \frac{\lambda}{a}$.

Nếu chỉ xét các cực đại nằm gần cực đại chính giữa thì ta có : $\varphi \approx \sin \varphi = k \frac{\lambda}{a}$.

Khoảng cách góc nhìn từ quang tâm của thấu kính giữa hai cực đại cạnh nhau là :

$$\Delta\varphi = (k+1)\frac{\lambda}{a} - k\frac{\lambda}{a} = \frac{\lambda}{a}$$

Khoảng cách giữa hai vân sáng cạnh nhau trên tiêu diện của thấu kính là :

$$\Delta x = f \cdot \Delta\varphi = f \frac{\lambda}{a} = 2f \frac{\lambda}{\lambda_0} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{2f\lambda}{\Delta x} = \frac{v}{n} \Rightarrow v = \frac{2f\lambda n}{\Delta x}$$

Với $f = 35 \text{ cm}$, $\lambda = 0,55 \text{ }\mu\text{m}$ và $\Delta x = 0,60 \text{ mm}$, ta có kết quả :

$$v = 3015,8 \text{ m/s} \approx 3016 \text{ m/s}$$

2.12. Hằng số của cách tử là : $a = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ mm}$

Vị trí của các vạch quang phổ được xác định bởi công thức : $\sin\varphi = k \frac{\lambda}{a}$.

φ là khoảng cách góc nhìn từ quang tâm thấu kính xuống ảnh, từ vạch quang phổ đến tiêu điểm chính của thấu kính.

Nếu φ là góc nhỏ thì $\varphi \approx \sin\varphi = k \frac{\lambda}{a}$.

Khoảng cách góc giữa hai vạch cạnh nhau : $\Delta\varphi = \frac{\lambda}{a}$.

Khoảng cách giữa hai vạch trên tiêu diện :

$$\Delta x = f \cdot \Delta\varphi = f \frac{\lambda}{a} \Rightarrow \lambda = \frac{a \cdot \Delta x}{f}$$

Với $f = 0,50 \text{ m}$; $a = 0,01 \text{ mm}$; $\Delta x = 3 \text{ cm}$ thì $\lambda = 0,60 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 0,6 \text{ }\mu\text{m}$.

Cần phải thử lại xem φ có phải là góc nhỏ hay không.

Lấy $k = 1$, ta có : $\sin\varphi = \frac{\lambda}{a} = 0,06 \Rightarrow \varphi \approx 3,44^\circ$

Như vậy, trong quang phổ bậc 1 có thể coi φ là góc nhỏ.

2.13. a) Trong quang phổ bậc 1, ta có : $\sin\varphi = \frac{\lambda}{a}$

với $a = 10 \mu\text{m}$ và với tia đỏ, chẳng hạn, $\lambda = 0,75 \mu\text{m}$ thì $\sin\varphi = 0,075$. Do đó, có thể coi φ là góc nhỏ. Vì vậy, ta có các hệ thức sau :

$$\varphi_d = \frac{\lambda_d}{a} \text{ và } \varphi_t = \frac{\lambda_t}{a}$$

$$\Delta\varphi = \varphi_d - \varphi_t = \frac{1}{a}(\lambda_d - \lambda_t)$$

Khoảng cách giữa vạch đỏ và vạch tím trong quang phổ bậc 1 sẽ là :

$$\Delta x = f \cdot \Delta\varphi = \frac{f}{a}(\lambda_d - \lambda_t) = 1,4 \text{ cm}$$

b) Ta hãy tạm coi φ là góc nhỏ. Đặt $x = 4,8 \text{ cm}$ là khoảng cách từ vân trắng trung tâm đến vân sáng bậc k của ánh sáng có bước sóng λ , với $0,4 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,75 \mu\text{m}$. Ta có :

$$x = f \varphi = k f \frac{\lambda}{a} \Rightarrow \lambda = \frac{xa}{kf} = \frac{1,2}{k} \cdot 10^{-6} \text{ m} = \frac{1,2}{k} \mu\text{m}$$

Do điều kiện ràng buộc ở trên, nên k chỉ có thể có 2 giá trị :

$k = 2$ ứng với $\lambda = 0,60 \mu\text{m}$ và $k = 3$ ứng với $\lambda = 0,40 \mu\text{m}$.

Như vậy, tại vị trí $x = 4,8 \text{ cm}$ có 2 vạch quang phổ trùng nhau : vạch $0,40 \mu\text{m}$ của quang phổ bậc 3 và vạch $0,60 \mu\text{m}$ của quang phổ bậc 2.

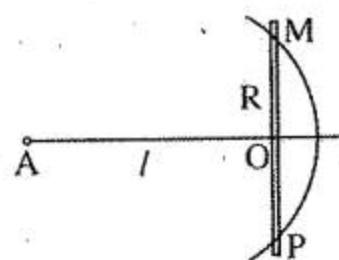
Góc lệch φ của tia tím trong quang phổ bậc 3 :

$$\varphi = \frac{3\lambda_t}{a} = 0,12 \text{ rad}$$

Vậy ta có thể coi φ là góc nhỏ với sai số tỉ đối khoảng vài phần nghìn.

2.14. a) Sóng ánh sáng phản xạ trên gương phẳng là sóng phẳng.

Sóng ánh sáng tán xạ trên hạt bụi là sóng cầu. Hai sóng này là hai sóng kết hợp, nên khi gặp nhau trên tấm kính ảnh, chúng sẽ giao thoa với nhau. Vì giao tuyến của các mặt cầu với các mặt phẳng là các đường tròn, nên vân giao thoa là các vân tròn (Hình 2.10G).



Hình 2.10G

Ta hãy tính hiệu quang trình giữa hai tia gặp nhau tại một điểm M trên kính ảnh. Tại tâm O có một chấm đen, điều đó có nghĩa là tại đó có cực đại giao thoa và hai sóng đồng pha với nhau. Mặt khác hai sóng có cùng đường truyền AO. Do đó, tại A, hai sóng cũng đồng pha với nhau và ta có thể tính quang trình của các tia sáng trong sóng phẳng bắt đầu từ mặt phẳng qua A và vuông góc với các tia sáng. Theo cách tính này thì quang trình của các tia sóng song từ mặt phẳng nói trên đến tấm kính ảnh đều bằng l ($l = AO$).

Chú ý rằng, sóng phản xạ trên gương cũng như sóng tán xạ trên hạt bụi đều bị mất nửa sóng, nên ta không cần quan tâm đến hiện tượng mất nửa sóng.

Hiệu quang trình giữa hai tia sáng gặp nhau ở M là :

$$\Delta = AM - l = \sqrt{(AO)^2 + (OM)^2} - l = \sqrt{l^2 + R^2} - l$$

Với $OM = R$ là bán kính của vân.

$$\text{Tại M sẽ có vân sáng nếu } \Delta = k\lambda \Rightarrow \sqrt{l^2 + R^2} - l = k\lambda$$

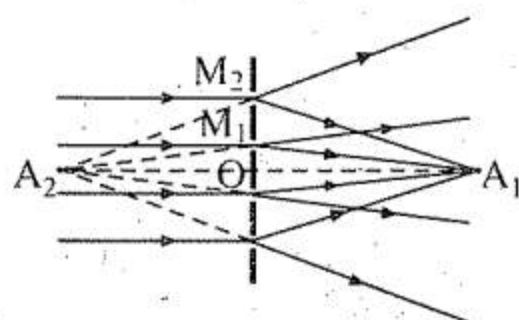
$$\text{Từ đó suy ra : } R = \sqrt{k^2\lambda^2 + 2k\lambda l}$$

Ở tâm, là vân sáng bậc 0, cũng là vân số 0. Vậy vân sáng số 70 cũng là vân sáng bậc 70 :

$$R_{70} = \sqrt{(70\lambda)^2 + 2k\lambda l} \approx \sqrt{2k\lambda l} \approx 9,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 9,9 \text{ mm}$$

với $\lambda = 0,70 \mu\text{m}$ và $l = 1 \text{ m}$. Số hạng thứ nhất trong dấu căn rất nhỏ so với số hạng thứ hai nên ta có thể bỏ qua.

b) Những chỗ sáng trên kính ảnh sau khi tráng, chính là những chỗ trên các vân tối, không có ánh sáng tác dụng trên kính ảnh. Khi chiếu một chùm sáng song song, đơn sắc, vuông góc vào kính ảnh thì những chỗ sáng này trở thành các nguồn phát sóng thứ cấp đồng pha với nhau. Sóng ánh sáng do các nguồn đó phát ra khi gặp nhau sẽ giao thoa với nhau. Ta hãy xét cường độ sáng tại



Hình 2.11G

điểm A_1 , trên đường vuông góc với mặt kính ảnh tại O, cách O khoảng $OA_1 = OA = l$ (Hình 2.11G).

Gọi $M_1, M_2, M_3 \dots$ là các nguồn thứ cấp đó.

Hiệu quang trình từ hai nguồn cạnh nhau (chẳng hạn M_1 và M_2) đến A_1 là :

$$\Delta = M_2A_1 - M_1A_1 = AM_2 - AM_1$$

$$\text{Mà : } AM_1 - AO = \frac{\lambda}{2} ; AM_2 - AO = \frac{3\lambda}{2}$$

$$\text{Do đó : } AM_2 - AM_1 = \lambda \Rightarrow \Delta = \lambda$$

Như vậy, hiệu quang trình giữa các tia sáng đi từ các nguồn thứ cấp đến A_1 bằng một số nguyên lần bước sóng nên A_1 là một cực đại giao thoa (điểm sáng). A_1 chính là một ảnh thật của A, nằm đối xứng với A qua mặt tấm kính ảnh.

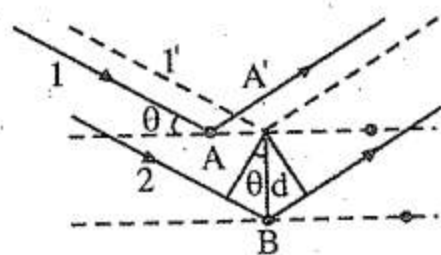
Nếu có một tứ diện ABCD đặt trước gương G khi chụp ảnh, thì khi chiếu ánh sáng vào kính ảnh, sẽ tạo được một ảnh $A_1B_1C_1D_1$ giống hệt ABCD, nghĩa là một ảnh nổi ba chiều.

Tương tự, xét điểm A_2 nằm đối xứng với A_1 qua tấm kính ảnh. Các tia sáng, phát ra từ các nguồn thứ cấp, có đường kéo dài qua A_2 , khi đi vào mắt sẽ cho một điểm sáng trên màng lưới, tức là A_2 là một ảnh ảo của A cho bởi tấm kính ảnh.

Bài này đề cập đến nguyên tắc cơ bản của *phép toàn kí* (holographie), tức là phép chụp ảnh nổi ba chiều. Trong câu a, ta nói đến việc thu hình ảnh giao thoa trên kính ảnh mà ta gọi là *toàn đồ*. Toàn đồ thực chất là một bản mặt mã về hình ảnh của vật ghi lại bằng hiện tượng giao thoa ánh sáng. Trong câu b, ta nói về việc tạo ra ảnh nổi từ toàn đồ.

Trong phép toàn kí, ta yêu cầu chùm tia sáng phải có tính song song cao, tính kết hợp cao và tính đơn sắc cao. Chỉ có các tia laze mới thoả mãn yêu cầu này.

- 2.15. Ta hãy tính hiệu quang trình giữa hai tia (1) và (2) trong hình 2.12G. Trong hiện tượng nhiễu xạ tia X trên mạng tinh thể, các hạt ở nút mạng đóng vai trò các tâm tán xạ. Tuy nhiên, ta có thể xét một tia tưởng tượng ($1'$) có các thành phần song song với các thành phần của tia (1).



Hình 2.12G

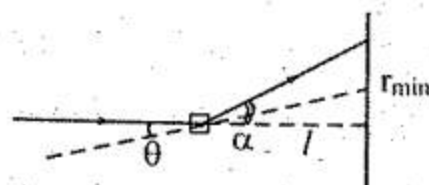
Rõ ràng là quang trình của hai tia (1) và (1') hoàn toàn bằng nhau.

Hiệu quang trình giữa hai tia (1) và (2) cũng bằng hiệu quang trình giữa hai tia (1') và (2). Để dàng chứng minh hiệu quang trình giữa hai tia (1') và (2) là :

$$\Delta = 2d \sin \theta$$

Nếu $\Delta = k\lambda$ thì ta sẽ có một cực đại theo phương phản xạ gương.

2.16. Vòng tròn trên phim là tập hợp của các cực đại giao thoa của các tia X tán xạ trên các tinh thể nhỏ trong khối đa tinh thể. Gọi α là góc tạo bởi phương của tia X tới và phương của tia X tán xạ đi từ khối đa tinh thể đến một điểm trên vòng tròn có bán kính nhỏ nhất $r_{\min}$ (Hình 2.13G). Ta có :



Hình 2.13G

$$\tan \alpha = \frac{r_{\min}}{l} = 0,53 \Rightarrow \alpha = 27,92^\circ \text{ với } r_{\min} = 5,3 \text{ cm và } l = 10 \text{ cm.}$$

Góc trượt θ là góc tạo bởi tia X tới và phân giác của góc α :

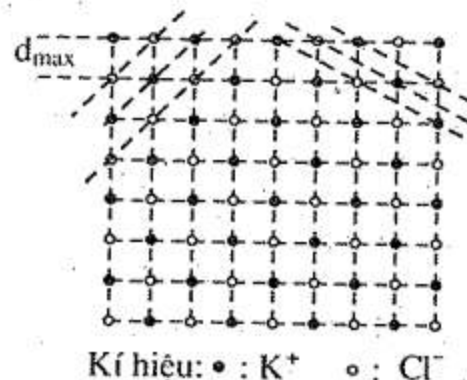
$$\theta = \frac{\alpha}{2} = 13,96^\circ$$

Áp dụng công thức Bragg : $2d \sin \theta = k\lambda$;

với $k = 1$ và $\lambda = 0,15 \text{ nm} = 0,15 \cdot 10^{-9} \text{ m}$, ta được $d = 0,31 \cdot 10^{-9} \text{ m}$.

Chú ý rằng bán kính $r_{\min}$ ứng với giá trị nhỏ nhất của α cũng như của θ . Giá trị nhỏ nhất của θ ứng với giá trị lớn nhất của d ($d_{\max}$ trên hình 2.14G).

Trên hình 2.14G, ta vẽ một mặt bên của mạng tinh thể KCl. Các lớp ion khác nhau sẽ nằm trên các mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng hình vẽ. Trên hình vẽ ta chỉ vẽ 3 loại lớp ion trong số vô vàn lớp ion khả dĩ. Tuy nhiên, các lớp ion nằm trên các mặt phẳng song song với một mặt của mạng tinh thể tự nhiên, chứa xen kẽ các ion K^+ và Cl^- , sẽ có khoảng cách giữa hai lớp cạnh nhau lớn nhất.

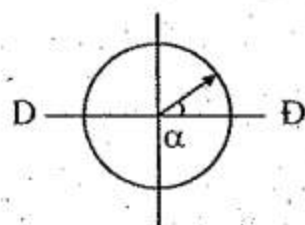


Hình 2.14G

Như vậy, ta có : $d_{\max} = 0,31 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 0,31 \text{ nm}$.

Hằng số mạng tinh thể KCl sẽ là : $a = 2d_{\max} = 0,62 \text{ nm}$.

2.17. Gọi I_0 là cường độ của chùm sáng tự nhiên chiếu đến bản pôlarôit thứ nhất. Vòng tròn trên hình 2.15G chứa ngọn của các vector dao động sáng tại một điểm nào đó trên tia sáng. Đường DD biểu diễn vết của mặt phẳng dao động của bản pôlarôit thứ nhất trên mặt phẳng hình vẽ. Xét các dao động sáng mà ngọn của vector E nằm trên một trong bốn cung phần tư. Cường độ của ánh sáng tới ứng



Hình 2.15G

với các dao động sáng này là $\frac{I_0}{4}$. Vì lí do đối xứng, sau khi qua bản pôlarôit, cường độ của ánh sáng ứng với cung phần tư này cũng bằng cường độ của ánh sáng ứng với các cung phần tư khác. Cường độ sáng ứng với các dao động sáng nằm trong một góc nhỏ $d\alpha$ là :

$$\frac{I_0}{4} \cdot \frac{d\alpha}{\frac{\pi}{2}} = \frac{I_0 d\alpha}{2\pi}$$

Vì biên độ sáng E_0 , sau khi qua bản pôlarôit chỉ còn $E_0 \cos \alpha$ nên sau khi qua bản pôlarôit, cường độ của chùm sáng này sẽ là :

$$dI' = \frac{I_0 d\alpha}{2\pi} \cos^2 \alpha$$

Như vậy, cường độ sáng ứng với các dao động sáng trong một cung phần tư, sau khi qua bản pôlarôit sẽ là :

$$I' = \int dI' = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{I_0}{2\pi} \cos^2 \alpha d\alpha = \frac{I_0}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \alpha d\alpha$$

$$I' = \frac{I_0}{2\pi} \left[\frac{\alpha}{2} + \frac{\sin 2\alpha}{4} \right]_{\alpha=0}^{\alpha=\frac{\pi}{2}} = \frac{I_0}{2\pi} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\sin \pi}{4} \right) = \frac{I_0}{8}$$

Cường độ của chùm sáng phân cực phẳng sau bản pôlarôit thứ nhất là :

$$I_1 = 4I' = \frac{I_0}{2}$$

Kết quả này rất hợp lí, vì giả sử có hai mặt phẳng dao động vuông góc với nhau thì cường độ chùm sáng tới sẽ phân bố đều cho hai mặt phẳng đó.

Tương tự, sau khi qua bản pôlarôit thứ hai, có mặt phẳng dao động làm với mặt phẳng dao động của bản pôlarôit thứ nhất góc 45° thì cường độ của tia ló sẽ tỉ lệ với $\cos^2 45^\circ$. Do đó, sau khi qua bản pôlarôit thứ hai, cường độ của chùm sáng sẽ là :

$$I_2 = I_1 \cos^2 45^\circ = \frac{I_0}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{I_0}{4} = 0,25 I_0$$

2.18. a) Ta có : $d\Phi_\lambda = -k_\lambda \Phi_\lambda dx$

$$\int_{\Phi_0}^{\Phi_\lambda} \frac{d\Phi_\lambda}{\Phi_\lambda} = \int_0^x -k_\lambda dx \Rightarrow \ln \frac{\Phi_\lambda}{\Phi_0} = -k_\lambda x \Rightarrow \Phi_\lambda = \Phi_0 e^{-k_\lambda x}$$

Với $x = 1 \text{ km}$ thì $\Phi_\lambda = 0,99 \Phi_0 \Rightarrow k_\lambda = -\ln 0,99 = 0,01 \text{ km}^{-1}$.

Muốn $\Phi_\lambda = 0,1 \Phi_0$ thì $x = -\frac{1}{0,01} \ln \frac{0,1 \Phi_0}{\Phi_0} = 230 \text{ km}$.

b) Ta có :

$$\frac{k_{\lambda_1}}{k_{\lambda_2}} = \frac{\lambda_1^{-4}}{\lambda_2^{-4}} = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^4 \Rightarrow k_{\lambda_2} = k_{\lambda_1} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^4$$

Vậy, đối với bước sóng $0,40 \mu\text{m}$ thì :

$$k_\lambda = 0,01 \left(\frac{0,60}{0,40} \right)^4 = 0,01 (1,5)^4 = 0,05 \text{ km}^{-1}$$

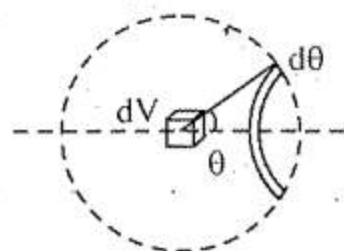
$$x = -\frac{1}{0,05} \ln 0,1 = 46 \text{ km}$$

c) Ta có : $I_\theta = R_\lambda A_\lambda (1 + \cos^2 \theta) dV = \frac{d\Phi_\lambda}{d\omega}$

Quang thông do thể tích dV tán xạ trong phạm vi góc khối $d\omega$ bao quanh phương θ là :

$$d\Phi_\lambda = R_\lambda A_\lambda (1 + \cos^2 \theta) dV \cdot d\omega$$

Ta chọn góc khối $d\omega$ như sau : Vẽ mặt cầu tâm ở điểm giữa của dV , bán kính bằng l , đơn vị độ dài (Hình 2.16G).



Hình 2.16G

Trên mặt cầu đó ta lấy một vành có bề rộng $d\theta$ bao quanh phương θ . Ta có thể tính diện tích của vành này như sau :

Diện tích của vành = Bề rộng của vành $\times$ Chu vi vòng tròn đáy

$$\text{Diện tích của vành} = l \cdot d\theta \cdot 2\pi \cdot l \cdot \sin\theta = 2\pi \sin\theta d\theta$$

Độ lớn của diện tích này bằng độ lớn của góc khối $d\omega$. Vậy :

$$d\omega = 2\pi \sin\theta d\theta$$

$$\text{Do đó : } d\Phi_{\lambda} = R_{\lambda} A_{\lambda} (1 + \cos^2\theta) dV 2\pi \sin\theta d\theta$$

$$d\Phi_{\lambda} = 2\pi R_{\lambda} A_{\lambda} dV (1 + \cos^2\theta) \sin\theta d\theta$$

Quang thông do dV tán xạ trong nửa không gian “ về phía trước ” của dV :

$$\int_{\theta=0}^{\theta=\frac{\pi}{2}} 2\pi R_{\lambda} A_{\lambda} dV (1 + \cos^2\theta) \sin\theta d\theta$$

Quang thông do dV tán xạ trong toàn bộ không gian :

$$\Phi_{\lambda} = 2 \int_{\theta=0}^{\theta=\frac{\pi}{2}} 2\pi R_{\lambda} A_{\lambda} dV (1 + \cos^2\theta) \sin\theta d\theta$$

$$\Phi_{\lambda} = 4\pi R_{\lambda} A_{\lambda} dV \int_{\theta=0}^{\theta=\frac{\pi}{2}} (1 + \cos^2\theta) \sin\theta d\theta$$

$$\text{Ta có : } \int_{\theta=0}^{\theta=\frac{\pi}{2}} (1 + \cos^2\theta) \sin\theta d\theta = \int_{\theta=0}^{\theta=\frac{\pi}{2}} 2\sin\theta d\theta - \int_{\theta=0}^{\theta=\frac{\pi}{2}} \sin^3\theta d\theta$$

$$\int_{\theta=0}^{\theta=\frac{\pi}{2}} 2\sin\theta d\theta = -2\cos\theta \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = -2(0-1) = 2$$

$$\int_{\theta=0}^{\theta=\frac{\pi}{2}} \sin^3\theta d\theta = -(\cos\theta + \frac{1}{3}\cos^3\theta) \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = 1 + \frac{1}{3} = \frac{4}{3}$$

Vậy : $\Phi_\lambda = 4\pi R_\lambda A_\lambda dV (2 - \frac{4}{3}) = \frac{8}{3} \pi R_\lambda A_\lambda dV.$

Ta hãy tính quang thông mà thể tích không khí dV hấp thụ. Giả sử thể tích này có dạng hình hộp, có diện tích đáy dS và có chiều cao dx . Ánh sáng chiếu vào diện tích dS với độ rọi A_λ (Hình 2.17G).

Quang thông chiếu đến dS là : $A_\lambda dS.$

Quang thông bị thể tích không khí này hấp thụ là :

$$\Phi'_\lambda = k_\lambda A_\lambda dS \cdot dx = k_\lambda A_\lambda dV$$

Hình 2.17G

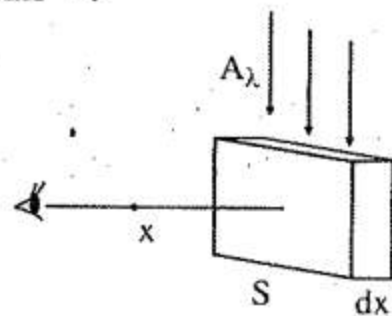
Nếu coi quang thông tán xạ bằng quang thông bị hấp thụ thì ta có :

$$\Phi_\lambda = \Phi'_\lambda \Rightarrow \frac{8}{3} \pi R_\lambda A_\lambda dV = k_\lambda A_\lambda dV$$

Kết quả, ta được : $k_\lambda = \frac{8}{3} \pi R_\lambda.$

Với $\lambda = 0,60 \mu\text{m}$, $k_\lambda = 0,01 \text{ km}^{-1}$ thì $R_\lambda = 0,0012 \text{ km}^{-1}.$

d) Xét một lớp không khí có tiết diện S nhỏ và bề dày dx nhỏ (Hình 2.18G). Ánh sáng mặt trời, với độ rọi A_λ , chiếu theo phương thẳng đứng. Người quan sát nhìn theo phương nằm ngang, cách lớp nói trên khoảng x . Quang thông tán xạ theo phương làm với phương thẳng đứng một góc θ là :



Hình 2.18G

$$d\Phi_{\lambda} = R_{\lambda} A_{\lambda} (1 + \cos^2 \theta) dV.d\omega$$

Theo phương nằm ngang ($\theta = \frac{\pi}{2}$) thì :

$$d\Phi_{\lambda} = R_{\lambda} A_{\lambda} dV.d\omega = R_{\lambda} A_{\lambda} d\omega . S . dx$$

Quang thông do cả cột khí có chiều dày x gửi theo phương nằm ngang là :

$$\Phi_{\lambda} = \int d\Phi_{\lambda} = R_{\lambda} A_{\lambda} S . d\omega \int_0^x dx = R_{\lambda} A_{\lambda} S x . d\omega \quad (1)$$

Mặt khác, ta có thể tính quang thông theo độ chói B_{λ} của cột khí :

$$\Phi_{\lambda} = B_{\lambda} S . \cos \alpha . d\omega$$

$$\text{Với } \alpha = 0 \Rightarrow \Phi_{\lambda} = B_{\lambda} S . d\omega \quad (2)$$

Từ (1) và (2) cho ta : $R_{\lambda} A_{\lambda} x = B_{\lambda}$

Với $x = l$ và $R_{\lambda} = \frac{3}{8\pi} k_{\lambda}$, ta có :

$$B_{\lambda} = \frac{3}{8\pi} k_{\lambda} l A_{\lambda}$$

$$\frac{B_{\lambda}}{A_{\lambda}} = \frac{3}{8\pi} k_{\lambda} l$$

Ứng với $\lambda = 0,60 \mu\text{m}$ thì $k_{\lambda} = 0,01 \text{ km}^{-1}$ và với $l = 10 \text{ km}$, ta có :

$$\frac{B_{\lambda}}{A_{\lambda}} = 0,012$$

Chủ đề 3

3.1. Dòng quang năng toàn phần do Mặt Trời phát ra theo đủ mọi phương :

$$E = 4\pi d^2 A$$

với d là khoảng cách Mặt Trời – Trái Đất ; $A = 1,35 \text{ kW/m}^2 = 1,35 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$ là độ rọi năng lượng của ánh sáng Mặt Trời trên Trái Đất.

$$\text{Độ trung năng lượng toàn phần của Mặt Trời : } R = \frac{E}{4\pi R_0^2} = A \left(\frac{d}{R_0} \right)^2$$

với R_0 là bán kính Mặt Trời : $R_0 = \frac{\alpha}{2} d$; α là đường kính góc của Mặt Trời.

$$\text{Như vậy, ta có : } R = \frac{4A}{\alpha^2} = \sigma T^4$$

$$T \text{ là nhiệt độ bề mặt của Mặt Trời : } T = \sqrt[4]{\frac{4A}{\sigma \alpha^2}}$$

Thay số ta được : $T \approx 5950 \text{ K}$.

3.2. Độ trung năng lượng của Mặt Trời : $R_0 = \sigma T_0^4$

với $T_0 = 6000 \text{ K}$ là nhiệt độ bề mặt Mặt Trời.

$$\text{Độ chói năng lượng của Mặt Trời : } B_0 = \frac{R_0}{\pi} = \frac{\sigma T_0^4}{\pi}$$

Dòng quang năng mà một diện tích nhỏ ds của Mặt Trời gửi đến Trái Đất :

$$dE = B_0 ds \cdot d\omega = B_0 ds \frac{\pi \cdot r^2}{d^2}$$

với $r = 6400 \text{ km} = 64 \cdot 10^5 \text{ m}$ là bán kính Trái Đất ; $d = 15 \cdot 10^7 \text{ km} = 15 \cdot 10^{10} \text{ m}$ là khoảng cách Mặt Trời – Trái Đất.

Dòng quang năng mà Mặt Trời gửi đến Trái Đất :

$$E = \int dE = B_0 S \frac{\pi r^2}{d^2} = B_0 \frac{\pi D^2}{4} \frac{\pi r^2}{d^2} = B_0 \frac{\pi^2 r^2 d^2 \alpha^2}{4d^2} = B_0 \left(\frac{\pi r \alpha}{2} \right)^2$$

với S là diện tích của đĩa Mặt Trời ; D là đường kính của đĩa Mặt Trời và $\alpha = 30'$ là góc trông đĩa Mặt Trời từ Trái Đất ; E cũng là dòng quang năng mà Trái Đất phát ra theo đủ mọi phương.

Độ trung năng lượng của Trái Đất :

$$R = \frac{E}{S'} = \frac{E}{4\pi r^2} = \frac{\pi B_0 \alpha^2}{16} = \frac{\pi \sigma T_0^4 \alpha^2}{16\pi} = \sigma T^4$$

T là nhiệt độ trung bình trên Trái Đất.

Từ kết quả trên, ta suy ra : $T = \frac{T_0}{2} \sqrt{\alpha}$.

Thay số ta được $T \approx 280 \text{ K} = 7^\circ \text{C}$.

3.3. Chú ý rằng năng suất phát xạ ứng với khoảng đơn vị bước sóng sẽ khác năng suất phát xạ ứng với khoảng đơn vị tần số. Vì vậy, từ công thức Plăng về năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối, xem như hàm số của tần số f và nhiệt độ T , không thể đến ngay công thức Plăng về năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối, xem như hàm số của bước sóng λ và nhiệt độ T , bằng cách đổi f ra λ một cách đơn giản được. Cần tiến hành các bước sau đây :

Công thức liên hệ giữa tần số f và bước sóng λ : $f = \frac{c}{\lambda} = c\lambda^{-1}$.

Từ đó ta có : $df = -c\lambda^{-2}d\lambda$ hay $\frac{df}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2}$.

Theo công thức (3.1) : $R_\lambda = r_\lambda d\lambda$.

R_λ là độ trung năng lượng trong vùng bước sóng $d\lambda$ lân cận λ .

Đối với vật đen tuyệt đối thì : $R_\lambda = \rho(\lambda, T)d\lambda$.

Tương tự, ta có thể viết công thức tính độ trung năng lượng của vật trong vùng tần số df lân cận f : $R_f = \rho(f, T)df$.

Có thể chọn df sao cho $R_\lambda = R_f$.

Như vậy, ta sẽ có : $\rho(\lambda, T) = \rho(f, T) \frac{df}{d\lambda} = \rho(f, T) \left(-\frac{c}{\lambda^2} \right)$

$$\text{với } \rho(f, T) = \left(\frac{2\pi f^2}{c^2} \right) \left(\frac{1}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1} \right) (hf)$$

$$\text{Cuối cùng, ta được : } \rho(\lambda, T) = \left(\frac{2\pi c^2}{\lambda^2 c^2} \right) \left(\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \right) \left(\frac{hc}{\lambda} \right) \left(-\frac{c}{\lambda^2} \right).$$

Rút gọn và bỏ dấu trừ trước số hạng cuối cùng (dấu trừ chỉ có ý nghĩa f và λ biến thiên ngược chiều nhau) :

$$\rho(\lambda, T) = \left(\frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \right) \left(\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \right)$$

3.4. Giả sử vật xám nói trên được đặt trong một bình chân không, có thành phản xạ lí tưởng cùng với một vật đen tuyệt đối và hai vật ở trong trạng thái cân bằng nhiệt ở nhiệt độ $T = 1000 \text{ K}$.

Gọi R và a là năng suất phát xạ và năng suất hấp thụ của vật xám ; R_0 là năng suất phát xạ của vật đen tuyệt đối ở cùng nhiệt độ 1000 K .

Theo định luật Kiếc-sốp, ta có : $\frac{R}{a} = R_0$

$$\text{với } R_0 = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1000^4 = 56,7 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Ta lại có : } R = \frac{E}{S} \text{ với } E = 13,2 \text{ kJ/phút} = \frac{13,2 \cdot 10^3}{60} \text{ W} = 220 \text{ W và } S = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2.$$

$$\text{Như vậy, ta có : } R = 22 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{Kết quả, ta có : } a = \frac{R}{R_0} = \frac{22 \cdot 10^3}{56,7 \cdot 10^3} = 0,388$$

3.5. a) Độ trung năng lượng của Mặt Trời : $R_0 = \sigma T_0^4$ với $T_0 = 6000$ K.

$$\text{Độ chói của Mặt Trời : } B_0 = \frac{R_0}{\pi} = \frac{\sigma T_0^4}{\pi}$$

Dòng quang năng do một diện tích nhỏ ds của Mặt trời gửi đến vệ tinh :

$$dE = B_0 ds \cdot d\omega = B_0 ds \frac{\pi \cdot r^2}{d^2} = \sigma T_0^4 \frac{r^2}{d^2} ds$$

với r là bán kính của vệ tinh ; $d = 1,5 \cdot 10^8$ km = $15 \cdot 10^{10}$ m là khoảng cách từ Mặt Trời đến vệ tinh.

Dòng quang năng mà Mặt Trời gửi đến vệ tinh :

$$E = \int dE = \sigma T_0^4 S_0 \frac{r^2}{d^2} = \pi \sigma T_0^4 r_0^2 \frac{r^2}{d^2} = \pi \sigma T_0^4 \left(\frac{\alpha d}{2} \right)^2 \frac{r^2}{d^2} = \pi \sigma T_0^4 \frac{\alpha^2 r^2}{4}$$

với S_0 là diện tích, r_0 là bán kính của đĩa Mặt Trời và α là góc trông đĩa Mặt trời từ vệ tinh.

$$\text{Độ trung năng lượng của vệ tinh : } R = \frac{E}{S} = \frac{\pi \sigma T_0^4 \alpha^2 r^2}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{\sigma T_0^4 \alpha^2}{16} = \sigma T^4$$

với S là diện tích và T là nhiệt độ của vệ tinh : $T = \frac{T_0}{2} \sqrt{\alpha}$.

Thay số ta được : $T \approx 280$ K.

b) Đặt $\lambda_0 = 0,24$ μ m. Ta hãy tính độ trung năng lượng của Mặt Trời ứng với các bức xạ có bước sóng từ $0,24$ μ m đến ∞ .

Độ trung năng lượng của vật đen tuyệt đối ứng với vùng ánh sáng $d\lambda$ là

$$R_\lambda = \rho(\lambda, T) d\lambda$$

Độ trung năng lượng của Mặt Trời ứng với vùng ánh sáng từ λ_0 đến ∞ là

$$R_{\lambda_0 \infty} = \sum R_\lambda = \int_{\lambda_0}^{\infty} \rho(\lambda, T_0) d\lambda \text{ với } \rho(\lambda, T_0) = 2\pi h c^2 \frac{\lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda k T_0}} - 1}$$

Ta hãy xem bậc độ lớn số mũ của e là bao nhiêu.

$$\text{Ta có: } \frac{hc}{\lambda_0 kT_0} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{24 \cdot 10^{-6} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 6000} \approx 0,1$$

với $\lambda > \lambda_0$ thì số mũ trên còn nhỏ nữa. Vì vậy, ta có :

$$e^{\frac{hc}{\lambda kT_0}} \approx \frac{hc}{\lambda kT_0} + 1 \text{ và } \frac{\lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda kT_0}} - 1} \approx \frac{kT_0 \lambda^{-4}}{hc}$$

$$\text{Kết quả là: } R_{\lambda_0 \infty} = 2\pi hc^2 \int_{\lambda_0}^{\infty} \frac{kT_0}{hc} \lambda^{-4} d\lambda = 2\pi \cdot ckT_0 \int_{\lambda_0}^{\infty} \lambda^{-4} d\lambda$$

$$R_{\lambda_0 \infty} = -\frac{2}{3} \pi \cdot ckT_0 \lambda^{-3} \Big|_{\lambda_0}^{\infty} = \frac{2\pi \cdot ckT_0}{3\lambda_0^3}$$

$$\text{Độ chói của Mặt Trời trong vùng ánh sáng nói trên: } B_{\lambda_0 \infty} = \frac{R_{\lambda_0 \infty}}{\pi} = \frac{2ckT_0}{3\lambda_0^3}$$

Dòng quang năng trong vùng ánh sáng nói trên do một diện tích nhỏ ds của

$$\text{Mặt Trời gửi đến vệ tinh: } dE = B_{\lambda_0 \infty} ds \cdot d\omega = B_{\lambda_0 \infty} ds \frac{\pi \cdot r^2}{d^2} = \frac{2ckT_0}{3\lambda_0^3} \frac{\pi \cdot r^2}{d^2} ds$$

Dòng quang năng trong vùng ánh sáng nói trên do đĩa Mặt Trời gửi đến vệ tinh :

$$\begin{aligned} E &= \int dE = \frac{2\pi \cdot ckT_0 r^2}{3\lambda_0^3 d^2} \cdot S_0 = \frac{2\pi \cdot ckT_0 r^2}{3\lambda_0^3 d^2} (\pi R_0^2) = \frac{2\pi \cdot ckT_0 r^2}{3\lambda_0^3 d^2} \left(\frac{\pi \alpha^2 d^2}{4} \right) = \\ &= \frac{\pi^2 ckT_0 r^2 \alpha^2}{6\lambda_0^3} \end{aligned}$$

Độ trung năng lượng của vệ tinh khi đó :

$$R' = \frac{E}{S} = \frac{\pi^2 ckT_0 r^2 \alpha^2}{6\lambda_0^3 4\pi \cdot r^2} = \frac{\pi \cdot ckT_0 \alpha^2}{24\lambda_0^3} = \sigma T^4$$

T là nhiệt độ của vệ tinh khi đó : $T = \sqrt[4]{\frac{\pi \cdot c k T_0 \alpha^2}{24 \sigma \lambda_0^3}}$

Thay số ta được : $T = 23,7 \text{ K}$.

3.6. Điện trở của bóng đèn : $R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{4l}{\pi d^2} = 7,78 \Omega$

với $\rho = 5,5 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$; $l = 0,1 \text{ m}$; $d = 0,03 \text{ mm} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m}$.

Công suất điện tiêu thụ của bóng đèn : $\mathcal{P}_d = \frac{U^2}{R} = 18,5 \text{ W}$ với $U = 12 \text{ V}$.

Công suất quang của bóng đèn, tức là dòng quang năng do bóng đèn phát ra :

$$\mathcal{P} = 0,92 \mathcal{P}_d = 13,4 \text{ W}$$

Độ trung năng lượng của bóng đèn :

$$R = \frac{\mathcal{P}}{S} = \frac{\mathcal{P}}{\pi d l} = 1,42 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$$

S là diện tích xung quanh của dây tóc.

Nhiệt độ của dây tóc : $R = \sigma T^4 \Rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{R}{\sigma}} = 2237 \text{ K}$.

Bước sóng của ánh sáng mà tại đó năng suất phát xạ đơn sắc của dây tóc là cực đại :

$$\lambda_{\max} = \frac{2896}{T} = 1,294 \mu\text{m}$$

Bước sóng này nằm trong vùng ánh sáng hồng ngoại.

3.7. a) $T = \frac{2896}{\lambda_{\max}} \approx 10000 \text{ K}$ với $\lambda_{\max} = 0,289 \mu\text{m}$.

b) Độ trung năng lượng của quả cầu : $R = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^8 \text{ W/m}^2$.

Công suất phát năng lượng của quả cầu :

$$\mathcal{P} = RS = R 4 \pi r^2 \approx 1781 \cdot 10^{10} \text{ W}$$
 với $r = 50 \text{ m}$ là bán kính của quả cầu lửa.

Năng lượng toả ra trong 1.10^{-3} s : $E = \mathcal{P}.t = 1781.10^7$ J.

c) Gọi d là khoảng cách từ quả cầu lửa đến diện tích bị rọi sáng S

$$(d = 10 \text{ km} = 10^4 \text{ m} \gg r).$$

Độ chói của quả cầu lửa : $B = \frac{R}{\pi}$.

Dòng quang năng do một diện tích nhỏ ds của quả cầu lửa gửi đến S :

$$dE = Bds.d\omega = B \frac{S}{d^2} ds$$

Dòng quang năng do quả cầu lửa gửi đến S :

$$E = \int dE = Bs \frac{S}{d^2} = \pi.r^2 B \frac{S}{d^2}$$

Độ rọi năng lượng trên S :

$$A = \frac{E}{S} = \frac{\pi.r^2 B}{d^2} = \frac{r^2 R}{d^2}$$

Tính ra $A = 142.10^2 \text{ W/m}^2$. Độ rọi này có thể làm bốc hơi khoảng 380 g nước trong một phút.

3.8. Điện trở của tấm nicro : $r = \rho \frac{l}{s} = 10 \Omega$

với $\rho = 1.10^{-4} \Omega.m$; $l = 1 \text{ cm} = 1.10^{-2} \text{ m}$; $s = 0,001 \text{ cm}^2 = 1.10^{-7} \text{ m}^2$.

Công suất toả nhiệt của tấm nicro : $\mathcal{P} = r I^2$.

Độ trung năng lượng của tấm nicro : $R = \frac{\mathcal{P}}{2S} = \frac{\mathcal{P}}{2l^2} = \frac{rI^2}{2l^2}$.

với S là diện tích của mặt hình vuông của tấm. Ở đây, ta đã bỏ qua sự phát xạ của các thành bên của tấm.

Ta lại có : $\frac{R}{a} = \rho(\lambda, T) = \sigma T^4$,

với $a = 0,34$ là năng suất hấp thụ của tấm nicro.

Như vậy : $R = a\sigma T^4 = \frac{rI^2}{2l^2}$.

Nhiệt độ của tấm nicrôm là : $T = \sqrt[4]{\frac{rI^2}{2a\sigma l^2}}$

Mặt khác, theo định luật Viên : $\lambda_{\max} = \frac{2896}{T} \Rightarrow T = \frac{2896}{\lambda_{\max}}$.

Chú ý rằng, trong công thức này, $\lambda_{\max}$ được tính bằng micrômét và không có thừa số 10^{-6} .

Kết quả, ta được : $\frac{rI^2}{2a\sigma l^2} = \frac{(2896)^4}{\lambda_{\max}^4} \Rightarrow I = \frac{l(2896)^2}{\lambda_{\max}^2} \sqrt{\frac{2a\sigma}{r}}$

Thay số ta được : $I = 16,9 \text{ A}$.

- 3.9. Độ trung năng lượng toàn phần của thành bình bằng không (vì $T = 0$) và thành bình hấp thụ hoàn toàn các sóng điện từ chiếu đến nó (hệ số phản xạ bằng không). Vì vậy, hoàn toàn không có sóng phản xạ trở lại quả cầu. Quả cầu chỉ bị tiêu hao năng lượng do quá trình phát xạ mà không được bù đắp một chút năng lượng nào. Do đó, nhiệt độ của nó sẽ giảm dần.

Độ trung năng lượng toàn phần của quả cầu khi ở nhiệt độ T : $R = \sigma T^4$

Công suất phát xạ của quả cầu ở nhiệt độ T :

$$\mathcal{P} = RS = R \cdot 4\pi r^2 = \frac{4\pi R d^2}{4} = \pi R d^2 = \pi \sigma R d^2 T^4 \text{ với } d = 1,2 \text{ cm} = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}.$$

Độ tiêu hao năng lượng của quả cầu trong khoảng thời gian ngắn dt :

$$dQ = - \mathcal{P} dt = - \pi \sigma R d^2 T^4 dt$$

Mặt khác, ta lại có : $dQ = mcdT$

Như vậy, ta sẽ có :

$$dt = - \frac{mc}{\pi \sigma d^2} \frac{dT}{T^4} \text{ với } m = D \frac{4}{3} \pi r^3 = D \frac{\pi d^3}{6} ;$$

$$D = 8900 \text{ kg/m}^3 ; c = 390 \text{ J/kg.K}$$

$$\text{Ta được : } dt = -\frac{Ddc}{6\sigma} \frac{dT}{T^4}$$

$$t = \int dt = -\frac{Ddc}{6\sigma} \int_{300}^{150} \frac{dT}{T^4} = \frac{Ddc}{18\sigma} \left[\frac{1}{(150)^3} - \frac{1}{(300)^3} \right]$$

Thay số, ta được : $t = 10580 \text{ s} = 2,94 \text{ h} \approx 3 \text{ h}$.

3.10. Gọi R là độ trung năng lượng toàn phần của dây tóc ở nhiệt độ T .

$$\text{Ta có : } \frac{R}{a} = \rho(\lambda, T) = \sigma T^4 \Rightarrow R = \sigma a T^4$$

Công suất phát xạ của dây tóc : $\mathcal{P} = RS = R \pi d.l = \pi \sigma a T^4 d.l$

Độ tiêu hao năng lượng của dây tóc trong khoảng thời gian nhỏ dt :

$$dQ = -\mathcal{P}dt = -\pi \sigma a T^4 d.l dt$$

Mặt khác, ta lại có : $dQ = mcdT$

$$\text{Cuối cùng, ta được : } \frac{dT}{T^4} = -\frac{\pi \sigma a l d}{mc} dt$$

$$\text{Lấy tích phân hai vế, ta được : } -\frac{1}{3} (T^{-3} - T_0^{-3}) = -\frac{\pi \sigma a l d}{mc} t$$

$$\text{Hay } T^{-3} = T_0^{-3} + \frac{3\pi \sigma a l d}{mc} t$$

Đó là hàm của T theo t mà ta cần tìm. Khi t tăng thì T^{-3} tăng, tức là T giảm.

3.11. Bước sóng của photon trước tán xạ :

$$\varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\varepsilon} = 12,4 \cdot 10^{-13} \text{ m với } \varepsilon = 1,00 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Sau tán xạ thì năng lượng của photon giảm đi. Do đó, bước sóng của nó tăng lên. Độ tăng của bước sóng là : $\Delta\lambda = 0,25\lambda = 3,1 \cdot 10^{-13} \text{ m}$.

Áp dụng công thức về sự dịch chuyển bước sóng trong hiệu ứng Com-tơn :

$$\Delta\lambda = \frac{2h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

Ta có : $\sin^2 \frac{\theta}{2} = \frac{m_0 c \cdot \Delta \lambda}{2h} = 6,392 \cdot 10^{-2}$

$\theta = 29,29^\circ \approx 29^\circ 17'$

Bước sóng của photon sau tán xạ : $\lambda' = \lambda + \Delta \lambda = 15,5 \cdot 10^{-13} \text{ m}$.

Năng lượng của photon tán xạ : $\varepsilon' = \frac{hc}{\lambda'} = 1,28 \cdot 10^{-13} \text{ J}$.

Động năng mà electron thu được sau tán xạ :

$W_d = \varepsilon - \varepsilon' = 0,32 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 0,2 \text{ MeV}$

3.12. Năng lượng của photon trước khi tán xạ : $\varepsilon = hf = m_0 c^2$; m_0 là khối lượng nghỉ của electron.

Năng lượng của photon tán xạ : $\varepsilon' = hf'$.

Năng lượng toàn phần của electron trước khi tán xạ là mc^2 với $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$,

với v là vận tốc của electron.

Năng lượng của electron sau tán xạ : $m_0 c^2$.

Theo định luật bảo toàn năng lượng :

$m_0 c^2 + mc^2 = hf' + m_0 c^2 \Rightarrow hf' = mc^2$

Động lượng của photon trước tán xạ : $\vec{p} = \frac{\vec{hf}}{c}$.

Động lượng của photon tán xạ : $\vec{p}' = \frac{\vec{hf}'}{c}$.

Động lượng của electron trước tán xạ : $\vec{mv}$.

Động lượng của electron sau tán xạ bằng 0.

Theo định luật bảo toàn động lượng : $\vec{p} + \vec{mv} = \vec{p}'$.

Định luật này được biểu thị trên hình 3.1G, $\theta = 60^\circ$ là góc tán xạ.

Theo hình 3.1G, ta có :

$$(mv)^2 = \left(\frac{hf}{c}\right)^2 + \left(\frac{hf'}{c}\right)^2 - 2\frac{h^2 ff'}{c^2} \cos \theta$$

$$m^2 v^2 = m_0^2 c^2 + m^2 c^2 - m m_0 c^2$$

$$\Rightarrow \frac{m_0^2 v^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = m_0^2 c^2 + \frac{m_0^2 c^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{m_0^2 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\frac{v^2}{c^2 - v^2} = 1 + \frac{c^2}{c^2 - v^2} - \frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

$$c = 2\sqrt{c^2 - v^2} \Rightarrow 4v^2 = 3c^2 \Rightarrow v = \frac{\sqrt{3}}{2} c$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{3c^2}{4c^2}}} = 2m_0$$

Năng lượng của photon tán xạ : $\varepsilon' = hf' = mc^2 = 2m_0 c^2 = 2\varepsilon$.

Photon tán xạ đã nhận được thêm năng lượng từ electron.

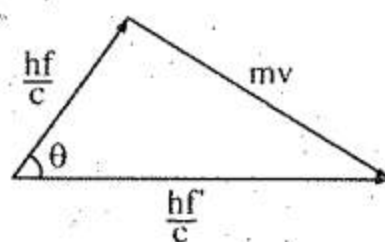
Bước sóng của photon trước lúc tán xạ : $\lambda = \frac{hc}{\varepsilon} = \frac{hc}{m_0 c^2} = \frac{h}{m_0 c}$.

Bước sóng của photon tán xạ : $\lambda' = \frac{hc}{\varepsilon'} = \frac{hc}{2m_0 c^2} = \frac{\lambda}{2}$

Độ dịch chuyển của bước sóng trong hiệu ứng Com-pton :

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = -\frac{\lambda}{2} = -\frac{h}{2m_0 c} = 1,21 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 1,21 \cdot 10^{-2} \text{ \AA}$$

Động năng của electron trước tán xạ là hiệu giữa năng lượng toàn phần của electron và năng lượng nghỉ của nó :



Hình 3.1G

$$W_d = mc^2 - m_0c^2 = 2 m_0c^2 - m_0c^2 = m_0c^2 = 81,9 \cdot 10^{-15} \text{ J} = 0,51 \text{ MeV}$$

Chú ý rằng, trong trường hợp này, không được tính động năng theo biểu thức $\frac{mv^2}{2}$. Biểu thức này chỉ đúng khi $v \ll c$.

Có thể tính được ngay $\Delta\lambda$ nếu áp dụng công thức :

$$\Delta\lambda = \frac{2h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2} \text{ với } \theta = 60^\circ$$

3.13. a) Theo công thức $\Delta\lambda = \frac{2h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$ thì $\Delta\lambda$ sẽ cực đại khi $\theta = 180^\circ$.

$$\text{Như vậy : } \Delta\lambda_{\max} = \frac{2h}{m_0c}$$

Lúc đó, electron nằm ngay trên quỹ đạo của photon và photon bị bật ngược trở lại,

b) Gọi W_d là năng lượng mà electron thu được sau tán xạ ; ε' là năng lượng của photon tán xạ. Theo định luật bảo toàn năng lượng, ta có :

$$W_d = \varepsilon - \varepsilon' = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'} = hc \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda\lambda'} = \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda'} = \varepsilon \frac{\Delta\lambda}{\lambda'}$$

$$W_d = \varepsilon \frac{\Delta\lambda}{\lambda + \Delta\lambda} = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{\lambda}{\Delta\lambda}}$$

Vì ε và λ không đổi, nên W_d sẽ lớn nhất khi $\Delta\lambda$ lớn nhất :

$$W_{d\max} = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{\lambda m_0 c}{2h}} = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{m_0 c^2}{2\varepsilon}}$$

3.14. Dòng quang năng trung bình của chùm sáng : $E = \frac{A}{t} = 1 \cdot 10^8 \text{ W}$,

với $A = 10 \text{ J}$ là năng lượng của xung sáng ; $t = 0,1 \mu\text{s}$ là thời gian kéo dài của xung.

Cường độ của chùm sáng tại chỗ có vết sáng : $I = \frac{E}{S} = \frac{4E}{\pi d^2} = 1,274 \cdot 10^{18} \text{ W/m}^2$;

với $S = \frac{\pi d^2}{4}$ là diện tích của vết sáng ; $d = 10 \mu\text{m} \Rightarrow S = 0,785 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$.

Áp suất ánh sáng tác dụng lên mặt bị chiếu sáng được tính theo công thức :

$$P = \frac{I}{c}(1 + k) = 0,637 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 \text{ với } k = 0,5$$

3.15. Ta hãy tìm biểu thức áp suất của sóng cơ học, sau đó mở rộng cho sóng ánh sáng. Xét một sóng phẳng truyền đến đập vuông góc vào một mặt phẳng có diện tích S , đặt vuông góc với phương truyền sóng.

Áp suất mà sóng tác dụng lên mặt đó là : $P = \frac{F}{S} = \frac{\Delta mv}{S \cdot \Delta t}$:

Ta hiểu P là “độ gia tăng trung bình của áp suất” so với áp suất thủy tĩnh ; F là “độ gia tăng trung bình của áp lực” so với áp lực thủy tĩnh ; Δmv là “phần động lượng trung bình” mà sóng truyền cho diện tích S trong khoảng thời gian Δt (ta sẽ gọi Δmv là xung lượng).

Nếu sóng bị hấp thụ hoàn toàn thì trong khoảng thời gian Δt , nó truyền cho diện tích S xung lượng Δmv ; nếu sóng bị phản xạ hoàn toàn thì trong khoảng thời gian Δt , nó truyền cho diện tích S xung lượng $2 \cdot \Delta mv$.

$$\text{Mặt khác, ta lại có : } P = \frac{F}{S} = \frac{FV}{SV} = \frac{F \cdot \Delta t}{SV \cdot \Delta t} = \frac{\Delta E}{SV \cdot \Delta t} = \frac{I}{V}.$$

V là tốc độ truyền sóng (còn v là tốc độ dao động của phần tử môi trường) ; ΔE là năng lượng mà sóng truyền cho diện tích S trong khoảng thời gian Δt ; I là cường độ của sóng tại bề mặt của S .

$$\text{Từ hai công thức về } P, \text{ ta suy ra : } \Delta mv = \frac{\Delta E}{V}.$$

Nếu hệ số phản xạ của mặt S là k thì :

- Phần xung lượng của sóng phản xạ là $(k \cdot \Delta mv)$ sẽ truyền cho S xung lượng là $2k \cdot \Delta mv$, tức là gây ra trên S một áp suất riêng phần $2k \frac{I}{V}$;
- Phần xung lượng của sóng bị hấp thụ là $(1 - k) \Delta mv$ sẽ truyền hoàn toàn cho S và gây ra áp suất riêng phần $(1 - k) \frac{I}{V}$.

Vậy áp suất mà sóng gây ra trên S sẽ là : $P = 2k \frac{I}{V} + (1 - k) \frac{I}{V} = \frac{I}{V} (1 + k)$.

Áp dụng cho sóng ánh sáng, thay V bằng c, ta có : $P = \frac{I}{c} (1 + k)$

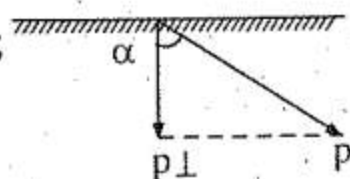
I là cường độ sáng trên mặt S. Ta lại thu được đúng công thức mà ta đã chứng minh bằng thuyết photon ánh sáng.

Về cơ chế của hiện tượng, giải thích như sau :

Thành phần điện trường trong sóng điện từ chiếu tới tác dụng lên các electron tự do trên mặt của vật bị chiếu sáng, tạo ra một dòng điện xoay chiều trên bề mặt này ; thành phần từ trường trong sóng tới tác dụng ngay một lực điện từ lên dòng điện này. Vận dụng quy tắc bàn tay trái và các tính chất của sóng điện từ, ta thấy lực điện từ luôn luôn có phương vuông góc với mặt bị chiếu sáng và hướng theo chiều truyền ánh sáng. Vì vậy, chính lực điện từ đã gây áp suất lên mặt vật bị chiếu sáng.

3.16. Gọi $\vec{p}$ là động lượng của photon trong ánh sáng tới ;

$\vec{p}_\perp$ là thành phần pháp tuyến của $\vec{p}$ (Hình 3.2G).



Hình 3.2G

Ta có : $p_\perp = p \cos \alpha$

Chỉ có thành phần pháp tuyến mới gây áp suất trên mặt vật bị chiếu sáng.

Gọi N là số photon đi qua một tiết diện thẳng của chùm sáng trong 1 s :

$$N = \frac{I}{hf} \text{ với } I = 2000 \text{ W/m}^2$$

Số photon này sẽ đập lên diện tích S' của mặt bị chiếu sáng :

$$S' = \frac{S}{\cos \alpha} \text{ với } S = 1 \text{ m}^2 ; \alpha = 60^\circ$$

Số photon bị phản xạ là kN . Các photon phản xạ gây ra áp suất riêng phần :

$$P_{px} = kN \frac{2 \frac{hf}{c} \cos \alpha}{S'} = 2kN \frac{hf \cos^2 \alpha}{Sc} = 2k \frac{I}{c} \cos^2 \alpha$$

Số photon bị hấp thụ là $(1 - k)N$. Các photon phản xạ gây ra áp suất riêng phần :

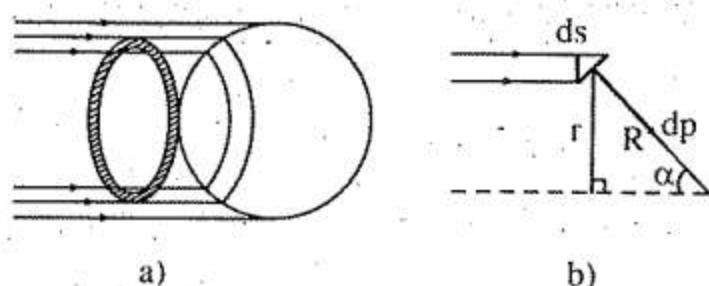
$$P_{ht} = (1 - k)N \frac{2 \frac{hf}{c} \cos \alpha}{S'} = (1 - k)N \frac{hf \cos^2 \alpha}{S_c} = (1 - k) \frac{I}{c} \cos^2 \alpha$$

Vậy, áp suất mà chùm sáng gây ra trên mặt gương sẽ là

$$P = P_{px} + P_{ht} = \frac{I}{c} (1 + k) \cos^2 \alpha$$

Thay số ta được : $P = 3.10^{-6} \text{ N/m}^2$.

3.17. Xét phân áp lực do dòng ánh sáng nằm trong hình trụ có tiết diện hình vành khăn có bán kính trong là r và bán kính ngoài là $r + dr$ tác dụng lên quả cầu (Hình 3.3G) ; với $0 \leq r \leq R$; $R = 5 \text{ cm}$.



Hình 3.3G

Diện tích mặt cắt của dòng ánh sáng này là

$$ds = \pi(r + dr)^2 - \pi r^2 \approx 2\pi r dr$$

Dòng quang năng ứng với dòng ánh sáng này là

$$dE = Ids = 2\pi I r dr \text{ với } I = 8000 \text{ W/m}^2$$

Số photon trong dòng này đến đập vào quả cầu trong 1 s là

$$N = \frac{dE}{hf} = \frac{2\pi I r dr}{hf}$$

Góc tới của chùm photon này trên mặt cầu là α (Hình 3.3G).

Mỗi photon trong chùm, khi phản xạ, sẽ truyền cho quả cầu một động lượng là $2 \frac{hf}{c} \cos \alpha$, nằm vuông góc với mặt cầu. Tuy nhiên, vì có những photon nằm ở các vị trí đối xứng với nhau qua trục của chùm sáng, nên động lượng

tổng cộng mà chùm truyền cho quả cầu sẽ nằm dọc theo trục của chùm sáng. Vì vậy, động lượng mà mỗi photon truyền cho quả cầu theo phương nói trên là $2 \frac{hf}{c} \cos^2 \alpha$.

Động lượng mà chùm sáng hình vành khăn truyền cho quả cầu trong 1 s (chính là lực mà chùm sáng hình vành khăn tác dụng lên quả cầu) là :

$$dF = \frac{2\pi I r dr}{hf} \cdot \frac{2hf \cos^2 \alpha}{c} = 4\pi \frac{I}{c} \cos^2 \alpha r dr$$

Mặt khác, ta lại có (Hình 3.14 b) : $\sin \alpha = \frac{r}{R} \Rightarrow \cos^2 \alpha = 1 - \frac{r^2}{R^2}$

Do đó :
$$dF = 4\pi \frac{I}{c} r dr - 4\pi \frac{I}{c R^2} r^3 dr$$

Lực mà toàn bộ chùm sáng tác dụng lên quả cầu là

$$F = \int dF = 4\pi \frac{I}{c} \int_0^R r dr - 4\pi \frac{I}{c R^2} \int_0^R r^3 dr$$

$$F = 2\pi R^2 \frac{I}{c} - \pi R^2 \frac{I}{c} = \pi R^2 \frac{I}{c}$$

Thay số ta được : $F = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ N}$.

3.18. a) Khối lượng của 1 mm^3 : $m = D \cdot V = 1 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$;

với $D = 1000 \text{ kg/m}^3$ và $V = 1 \text{ mm}^3 = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$

Nhiệt lượng cần thiết để đưa 1 mm^3 nước từ 37°C lên 100°C :

$$Q_1 = mc(100 - 37) = 0,263 \text{ J với } c = 4,18 \text{ kJ/kg.K} = 4180 \text{ J/kg.K}$$

Nhiệt lượng cần thiết để làm bay hơi 1 mm^3 nước ở 100°C :

$$Q_2 = mL = 2,26 \text{ J với } L = 2260 \text{ kJ/kg} = 226 \cdot 10^4 \text{ J/kg}$$

Nhiệt lượng cần thiết để làm bay hơi 1 mm^3 nước ở 37°C :

$$Q = Q_1 + Q_2 = 2,523 \text{ J}$$

b) Thể tích nước mà tia laze có thể làm bay hơi trong mỗi giây :

$$V = \frac{\mathcal{P}}{Q} = 3,96 \text{ mm}^3 \approx 4 \text{ mm}^3 \text{ với } \mathcal{P} = 10 \text{ W}$$

c) Độ sâu của vết : $h = \frac{V}{2\pi r v} = 3,86 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$;

với $r = 0,1 \text{ mm}$ và $v = 0,5 \text{ cm/s} = 5 \text{ mm/s}$.

d) Bức xạ $10,6 \text{ }\mu\text{m}$ là bức xạ hồng ngoại. Người ta sử dụng bức xạ này vì muốn dùng tác dụng nhiệt của nó. Ngoài ra, bức xạ này có tính đâm xuyên rất yếu, nên nó chủ yếu có tác dụng ngoài da.

MỤC LỤC

<i>Lời nói đầu</i>	3
Chủ đề 1. CÁC ĐẠI LƯỢNG TRẮC QUANG	5
A – LÍ THUYẾT VÀ BÀI TẬP VÍ DỤ	5
I – Dòng quang năng và quang thông	5
II – Cường độ và cường độ sáng của nguồn	7
III – Độ trung năng lượng và độ trung sáng	9
IV – Độ chói năng lượng và độ chói sáng	9
V – Độ rọi năng lượng và độ rọi sáng	10
VI – Độ rọi của ảnh	11
VII – Bài tập ví dụ	13
B – ĐỀ BÀI TẬP	17
Chủ đề 2. SÓNG ÁNH SÁNG	19
A – LÍ THUYẾT VÀ BÀI TẬP VÍ DỤ	19
I – Hiện tượng giao thoa ánh sáng	19
II – Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng	27
III – Hiện tượng phân cực ánh sáng	37
IV – Hiện tượng hấp thụ ánh sáng	43
V – Hiện tượng tán xạ ánh sáng	45
VI – Bài tập ví dụ	47
B – ĐỀ BÀI TẬP	65
Chủ đề 3. LƯỢNG TỬ ÁNH SÁNG	72
A – LÍ THUYẾT VÀ BÀI TẬP VÍ DỤ	72
I – Sự bức xạ nhiệt	72
II – Hiệu ứng Com-pton (Compton)	80
III – Áp suất ánh sáng	83
IV – Sơ lược về laze	84
V – Bài tập ví dụ	87
B – ĐỀ BÀI TẬP	93
HƯỚNG DẪN GIẢI BÀI TẬP	97
Chủ đề 1	97
Chủ đề 2	104
Chủ đề 3	126

Chịu trách nhiệm xuất bản :

Chủ tịch Hội đồng Thành viên NGUYỄN ĐỨC THÁI
Tổng Giám đốc HOÀNG LÊ BÁCH

Chịu trách nhiệm nội dung :

Tổng biên tập PHAN XUÂN THÀNH

Tổ chức và chịu trách nhiệm bản thảo :

Phó Tổng biên tập NGUYỄN HIỀN TRANG

Giám đốc CTCP Dịch vụ xuất bản Giáo dục Hà Nội PHẠM THỊ HỒNG

Biên tập lần đầu:

PHẠM ĐÌNH LƯỢNG

Biên tập tái bản và sửa bản in :

VŨ THỊ THANH MAI

Trình bày bìa :

TA THANH TÙNG

Chế bản :

HOÀNG THÙY TRANG - ĐÌNH XUÂN DUNG

Công ty cổ phần Dịch vụ xuất bản Giáo dục Hà Nội –
Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam giữ quyền công bố tác phẩm.

BỒI DƯỠNG HỌC SINH GIỎI VẬT LÝ TRUNG HỌC PHỔ THÔNG - QUANG HỌC 2

Mã số : C3L08h9 - CPD

In 1.000 bản (QĐ 64-STK), khổ 17x24cm, tại Công ty CP In - Phát hành Sách
và TBTH Quảng Nam, 260 Hùng Vương, TP. Tam Kỳ, tỉnh Quảng Nam

Số ĐKXB : 2692-2019/CXBIPH/7-927/GD

Số QĐXB : 1441/QĐ-GD-ĐN ngày 16 tháng 12 năm 2019

In xong và nộp lưu chiểu tháng 01 năm 2020

Mã ISBN : 978-604-0-19124-3