

Chương 6

QUANG HỌC SÓNG

Nội dung chương

- 6.1 Giao thoa ánh sáng
- 6.2 Nhiễu xạ ánh sáng
- 6.3 Phân cực ánh sáng
- 6.4 Tóm tắt nội dung
- 6.5 Câu hỏi lý thuyết và bài tập

Mục tiêu chương

Sau khi tìm hiểu chương này sinh viên nắm được một số kiến thức cơ bản về: hiện tượng giao thoa ánh sáng, giao thoa gây bởi bản mỏng, nhiễu xạ ánh sáng, nguyên lý Huygens – Fresnel, phương pháp đới cầu Fresnel, phân cực ánh sáng, vận dụng các công thức đã học vào bài tập về hiện tượng giao thoa, nhiễu xạ ánh sáng.

§6.1 GIAO THOA ÁNH SÁNG

1. Sự giao thoa của hai nguồn sáng điểm

Xét hai nguồn sáng điểm S_1 và S_2 có tần số bằng nhau ω không đổi theo thời gian, như hình 6.1. Sóng phẳng, điều hòa của hai nguồn sáng này truyền đến điểm P được biểu diễn bởi biểu thức sau:

$$E_1(t) = E_{10}\cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$E_2(t) = E_{20}\cos(\omega t + \varphi_2)$$

Trong đó:

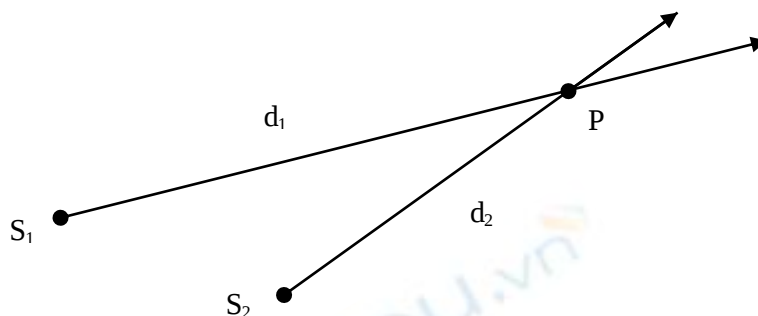
$\varphi_1 = \phi_1 + kd_1$ là pha của sóng của nguồn sáng điểm S_1 tại điểm P.

$\varphi_2 = \phi_2 + kd_2$ là pha của sóng của nguồn sáng điểm S_2 tại điểm P.

Với ϕ_1 và ϕ_2 tương ứng là pha ban đầu của sóng ánh sáng tại điểm S_1 và S_2 ; d_1 và d_2 là khoảng cách từ điểm S_1 và S_2 đến điểm P.

Theo nguyên lý chồng chất:

+ Sự tồn tại của một sóng không làm thay đổi sự truyền của các sóng khác trong cùng môi trường; trong quá trình truyền của các sóng, từng sóng riêng biệt không bị các sóng khác làm nhiễu loạn khi chúng gặp nhau và tiếp tục truyền như trước.



Hình 6.1: Mô tả hai sóng ánh sáng gặp nhau tại P

+ Tại điểm P các sóng gặp nhau, thì nhiễu loạn tác dụng lên điểm này là:

$$u(P, t) = u_1(P, t) + u_2(P, t)$$

với $u_1(P, t)$ và $u_2(P, t)$ là sóng thứ nhất, thứ hai gây ra tại điểm P, khi các sóng này truyền một mình và biên độ của u_1 và u_2 nhỏ.

Như vậy, sóng ánh sáng tại điểm P do hai nguồn S_1 và S_2 truyền đến bằng:

$$\begin{aligned} E(t) &= E_1(t) + E_2(t) = E_{10}\cos(\omega t + \varphi_1) + E_{20}\cos(\omega t + \varphi_2) \\ &= (E_{10}\cos\varphi_1 + E_{20}\cos\varphi_2)\cos\omega t - (E_{10}\sin\varphi_1 + E_{20}\sin\varphi_2)\sin\omega t \\ &= E_0\cos\varphi \cos\omega t - E_0\sin\varphi \sin\omega t \end{aligned}$$

Với:

$$E_0\cos\varphi = E_{10}\cos\varphi_1 + E_{20}\cos\varphi_2 \quad (6.1)$$

$$E_0\sin\varphi = E_{10}\sin\varphi_1 + E_{20}\sin\varphi_2 \quad (6.2)$$

Xác định E_0 và φ

Bình phương hai vế của (6.1) và (6.2) rồi lấy tổng ta được:

$$E_o^2 = E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20}\cos(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (6.3)$$

Chia 2 vế của (6.1) và (6.2) ta được:

$$\tan\varphi = \frac{E_{10}\sin\varphi_1 + E_{20}\sin\varphi_2}{E_{10}\cos\varphi_1 + E_{20}\cos\varphi_2} \quad (6.4)$$

Nhiều loạn tại điểm P, $E(t) = E_0 \cos \varphi \cos \omega t - E_0 \sin \varphi \sin \omega t = E_0 \cos(\omega t + \varphi)$, là một dao động điều hòa có cùng tần số với hai sóng thành phần, có pha và biên độ xác định bởi (6.3) và (6.4)

Để có hiện tượng giao thoa thì hai nguồn sóng S_1 và S_2 phải là hai sóng kết hợp, tức là hai sóng có cùng tần số và hiệu pha không đổi, $\varphi_2 - \varphi_1 = \text{const}$. Khi đó ở vùng hai sóng ánh sáng gặp nhau sẽ hình thành đặc thù giao thoa có những điểm biên độ dao động tổng hợp cực đại (vân sáng), những điểm dao động biên độ cực tiểu (vân tối).

Để đảm bảo hai nguồn S_1 và S_2 phát ra hai sóng có cùng tần số và hiệu số pha không đổi. Thì hai nguồn S_1 và S_2 phải là hai nguồn thứ cấp nhận ánh sáng từ một nguồn sáng điểm S truyền tới và khoảng cách từ S_1, S_2 đến nguồn S là xác định.

2. Cường độ sáng

Cường độ sáng đặc trưng cho độ sáng tại mỗi điểm trong không gian có sóng ánh sáng truyền qua, có trị số bằng năng lượng trung bình của sóng ánh sáng truyền qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền sáng trong một đơn vị thời gian. Cường độ sáng tại một điểm tỷ lệ với bình phương của biên độ sóng sáng.

$$I = kE^2 \quad (6.5)$$

Khi nghiên cứu hiện tượng giao thoa, chúng ta chỉ cần nghiên cứu cường độ sáng tại các điểm khác nhau mà không quan tâm đến độ lớn cụ thể của giá trị cường độ sáng. Để đơn giản chúng ta có thể coi $k = 1$. Hay $I = E^2$.

Từ (6.3) ta có:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$\text{Với } I_1 = E_{10}^2 \text{ và } I_2 = E_{20}^2$$

$$\text{Từ } \varphi_2 - \varphi_1 = (\phi_2 - \phi_1) + k(d_2 - d_1)$$

Các điểm sáng và tối khi có hiện tượng giao thoa

Cường độ sáng I cực đại khi $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = 1$. Khi đó $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = (\phi_2 - \phi_1) + k(d_2 - d_1) = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi, \dots = m2\pi \text{ (với } m = 0, \pm 2, \pm 4, \dots)$$

Vì hai nguồn S_1 và S_2 là hai sóng kết hợp nên $\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{2\pi}{\lambda}\Delta d$. Trong thực tế, người ta thường bố trí thí nghiệm sao cho nguồn sáng S_1 và S_2 đồng pha, nghĩa là $(\varphi_2 - \varphi_1) = 0$. Vậy $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta d$ hay $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta d = m2\pi \Rightarrow \Delta d = m\lambda$

Điều kiện để có vân giao thoa cực đại được viết lại:

$$\Delta d = d_2 - d_1 = m\lambda, \text{ với } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (6.6)$$

Cường độ sáng I cực tiểu khi $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = -1$. Khi đó $I = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \pi, \pm 3\pi, \pm 5\pi, \dots = (2m+1)\pi \text{ với } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Điều kiện để có cực tiểu giao thoa được viết lại:

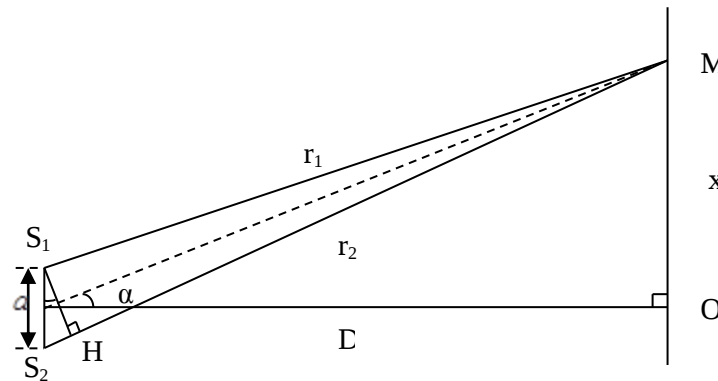
$$\Delta d = d_2 - d_1 = (2m+1)\frac{\lambda}{2}, \text{ với } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (6.7)$$

Đặc biệt, đối với hai nguồn sóng có cùng biên độ, $I_1 = I_2 = I_0 \Rightarrow I = 2I_0(1 + \cos\Delta\varphi)$

Thì cường độ sáng I cực đại bằng $I_{\max} = 4I_0$, cường độ sáng cực tiểu bằng $I_{\min} = 0$.

3. Vị trí vân giao thoa

Hệ thống khe Young được lắp như hình vẽ, gồm hai nguồn sáng S_1 và S_2 cách nhau khoảng cách a (vài mm). Xét điểm M trên màn E , cách O một khoảng cách x .



Hình 6.2: Khe Young

Vì khoảng cách l rất nhỏ so với khoảng cách D từ khe đến màn E nên

$$S_1 H \approx r_2 - r_1 = a \sin \alpha \approx a \tan \alpha = \frac{ax}{D} \text{ hay } r_2 - r_1 = \frac{ax}{D}$$

+ Vị trí vân sáng tương ứng với I cực đại:

$$r_2 - r_1 = \frac{ax}{D} = m\lambda \Rightarrow x_s = m \frac{\lambda D}{a} \text{ với } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (6.8)$$

+ Vị trí vân tối tương ứng với I cực tiểu:

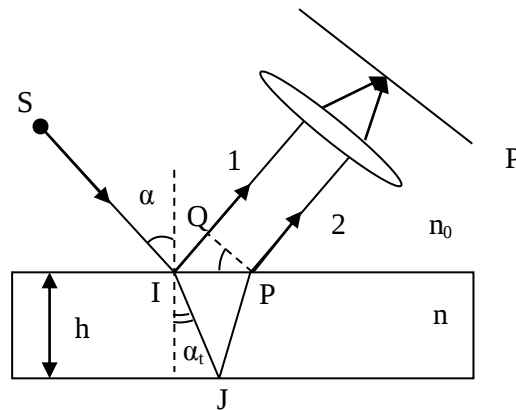
$$r_2 - r_1 = \frac{ax}{D} = (2m+1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow x_T = (2m+1) \frac{\lambda D}{2a} \text{ với } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (6.9)$$

Nếu cả hai nguồn S_1 và S_2 đều phát ra ánh sáng trắng gồm nhiều ánh sáng đơn sắc có bước sóng $\lambda = 0,4 \div 0,6 \mu m$ thì mỗi ánh sáng đơn sắc sẽ cho một hệ vân giao thoa có màu sắc và độ rộng khác nhau. Tại gốc tọa độ O, mọi ánh sáng đơn sắc đều cho vân giao thoa cực đại nên vân cực đại ở giữa là một vân sáng trắng có hai mép viền màu tím và đỏ. Những vân cực đại khác tương ứng với giá trị m là những vân có màu sắc khác nhau nằm chồng lên nhau. Các vân này sẽ nhòe dần khi xa vị trí vân sáng cực đại trung tâm.

4. Giao thoa gây ra bởi bản mỏng

a. Bản mặt song song

Xét một bản mặt song song có độ dày h, có chiết suất n. Nguồn sáng S là nguồn sáng rộng, hợp với bản mặt song song một góc α . Hai tia sáng 1 và 2 có thể coi như là hai nguồn sáng kết hợp. Hai nguồn sáng này song song với nhau khi rời bản mặt song song và gặp nhau tại mặt phẳng tiêu P của thấu kính hội tụ (xem hình vẽ 6.3).



Hình 6.3: Bản mặt song song

Quang lộ của hai tia được tính như sau:

$$\text{Nếu } n_0 < n: \Delta d = (IJ + JP)n - \left(\frac{\lambda}{2} + IQ.n_0\right)$$

$$\text{Nếu } n_0 > n: \Delta d = \left[\frac{\lambda}{2} + (IJ + JP)n\right] - IQ.n_0$$

Hay:

$$\Delta d = (IJ + JP)n - IQ.n_0 \pm \frac{\lambda}{2} \quad (6.10)$$

Ta có:

$$IJ = JP = \frac{h}{\cos \alpha_t} \quad (6.11)$$

$$\tan \alpha_t = \frac{IP/2}{h} \Rightarrow IP = 2h \tan \alpha_t$$

$$IQ = IP \sin \alpha = 2h \tan \alpha_t \sin \alpha$$

Ngoài ra, theo định luật Snell ta có: $n_0 \sin \alpha = n \sin \alpha_t \Rightarrow n_0 = \frac{n \sin \alpha_t}{\sin \alpha}$

$$\Rightarrow IQ.n_0 = 2h \tan \alpha_t \sin \alpha \frac{n \sin \alpha_t}{\sin \alpha} = \frac{2h \sin^2 \alpha_t}{\cos \alpha_t} \quad (6.12)$$

Thay (6.11) và (6.12) vào biểu thức (6.10) ta được:

$$\begin{aligned} \Delta d &= \frac{2hn}{\cos \alpha_t} - \frac{2hn \sin^2 \alpha_t}{\cos \alpha_t} \pm \frac{\lambda}{2} \\ &= \frac{2hn}{\cos \alpha_t} (1 - \sin^2 \alpha_t) \pm \frac{\lambda}{2} = 2hn \cos \alpha_t \pm \frac{\lambda}{2} \end{aligned}$$

$$\text{Nhu vậy: } \Delta d = 2hn \cos \alpha_t \pm \frac{\lambda}{2} = 2h\sqrt{n^2 - n_0^2 \sin^2 \alpha_t} \pm \frac{\lambda}{2}$$

+ Ở điểm P, cường độ sáng cực đại khi $\Delta d = \pm m\lambda$

Hay:

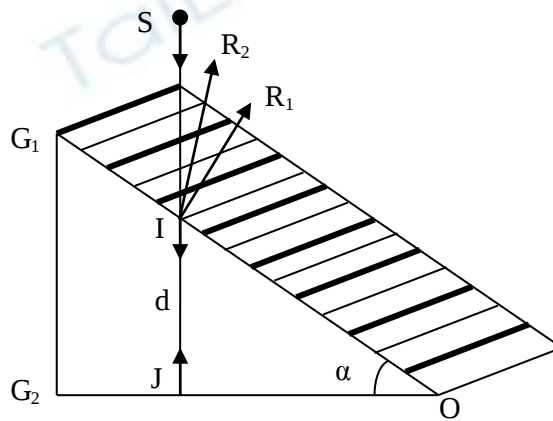
$$2hn \cos \alpha_t = 2h\sqrt{n^2 - n_0^2 \sin^2 \alpha_t} = (2m-1)\frac{\lambda}{2}, \text{ với } m = 1, 2, 3, \dots \quad (6.13)$$

+ Ở điểm P, cường độ sáng cực tiểu khi $\Delta d = \pm(2m-1)\frac{\lambda}{2}$

$$\text{hay } 2hnc\cos\alpha_t = 2h\sqrt{n^2 - n_o^2 \sin^2\alpha_t} = m\lambda, \text{ với } m = 1, 2, 3, \dots \quad (6.14)$$

b. Nêm không khí

Xét nêm không khí bao gồm hai mảnh thủy tinh phẳng G_1 và G_2 , có độ dày rất nhỏ không đáng kể. Hai mảnh thủy tinh này đặt lệch nhau một góc α . Nguồn S là chùm sáng đơn sắc song song vuông góc với mặt thủy tinh phẳng G_2 . Tia sáng tiếp xúc với mảnh thủy tinh G_1 tại điểm I chia làm hai: Tia phản xạ R_1 đi ra ngoài, tia còn lại đi vào nêm không khí tiếp xúc tại mặt thủy tinh G_2 tại K và phản xạ tại điểm J, rồi đi ra ngoài (tia R_2). Tại điểm I có sự gặp nhau giữa hai tia nên có sự giao thoa xảy ra. Trên mặt mảnh thủy tinh phẳng G_1 nhận được vân giao thoa. Tia R_2 đi qua thêm 1 đoạn bằng $2d$ so với tia R_1 , và tia R_2 này phản xạ trên mặt trên của mảnh thủy tinh G_2 (chiết quang hơn môi trường không khí) nên quang lộ dài thêm 1 đoạn $\lambda/2$.



Hình 6.4: Nêm không khí

Hiệu quang lộ của hai tia R_1 và R_2 là: $\Delta d = 2d + \lambda/2$

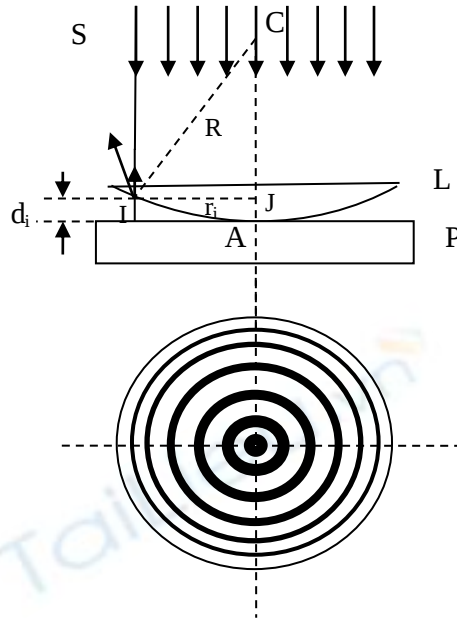
$$+ \text{ Tại điểm I, cường độ sáng cực đại khi } \Delta d = m\lambda \text{ hay } d = (2m-1)\frac{\lambda}{4} \quad (6.15)$$

$$+ \text{ Tại điểm I, cường độ sáng cực tiểu khi } \Delta d = (2m+1)\lambda/2 \text{ hay } d = m\frac{\lambda}{2} \quad (6.16)$$

c. Vân tròn Newton

Xét hệ gồm thấu kính lồi L đặt tiếp xúc với một bản thủy tinh phẳng P tại A. Nguồn sáng S là nguồn sáng vuông góc với bản thủy tinh phẳng với ánh sáng đơn sắc. Do tính đối xứng của thấu kính lồi, các vân giao thoa là các đường tròn đồng tâm, có tâm là điểm tiếp xúc A giữa thấu kính và bản phẳng.

Giống như trường hợp nêm không khí, tại điểm I, cường độ sáng cực đại ứng với vân sáng khi $d_i = (2m-1)\frac{\lambda}{4}$



Hình 6.5: Vân tròn Newton

Tại điểm I, cường độ sáng cực tiểu ứng với vân tối khi $d_i = m\frac{\lambda}{2}$

Chúng ta cần xác định bán kính của vân thứ i, ta có:

$$r_i^2 = R^2 - (R - d_i)^2$$

$$\text{Vì } d_i \sim R \text{ nên } (R - d_i)^2 = R^2 - 2Rd_i + d_i^2 \approx R^2 - 2Rd_i$$

$$\text{Vậy } r_i^2 \approx 2Rd_i$$

$$\text{Tại vị trí I là vân tối, ứng với } d_i = m\frac{\lambda}{2} \Rightarrow r_i^2 = 2Rm\frac{\lambda}{2} = mR\lambda$$

Ta có thể viết biểu thức tính bán kính thứ i của vân tròn:

$$r_i = \sqrt{m}\sqrt{R\lambda} \quad (6.17)$$

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

§6.2. NHIỀU XẠ ÁNH SÁNG

1. Định nghĩa

Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng là sự lệch của chùm sáng khỏi sự truyền thẳng mà không phải do phản xạ hay khúc xạ. Hiện tượng nhiễu xạ là một đặc trưng chung của quá trình sóng khi một phần mặt sóng (sóng âm, sóng vật chất hoặc sóng ánh sáng) bị chặn bởi một vật cản nào đó. Vật cản có thể là mép biên, lỗ tròn có kích thước cùng cỡ bước sóng ánh sáng chiếu tới.

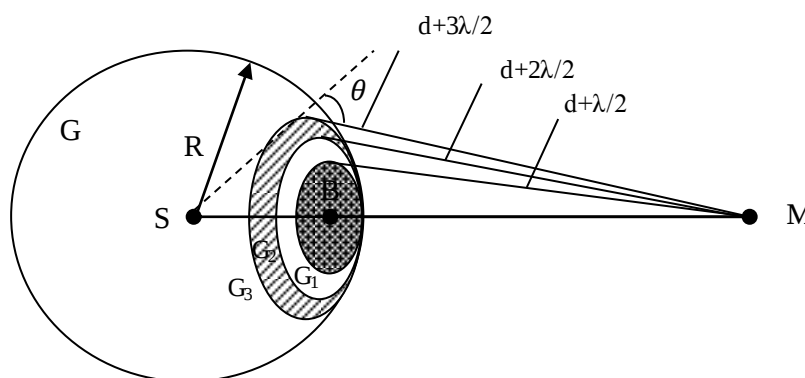
2. Nguyên lý Huygens-Fresnel

- Bất kỳ một điểm nào có sóng truyền đến đều trở thành nguồn phát sóng thứ cấp phát sóng về phía trước nó.

- Sóng ở một điểm bất kỳ xa mặt sóng là chồng chất tất cả sóng thứ cấp.

3. Phương pháp đới cầu Fresnel

Xét nguồn sáng S gồm ánh sáng đơn sắc có bước sóng λ chiếu tới điểm M. Đặt khoảng cách từ M đến điểm B là d . Đặt mặt cầu G có tâm là S, bán kính $R < SM$. Từ M vẽ các mặt cầu $G_0, G_1, G_2, \dots$ có bán kính lần lượt là $d, d + \lambda/2, d + 2\lambda/2, \dots$. Các mặt cầu này chia mặt cầu G thành các đới cầu, được gọi là đới cầu Fresnel.



Hình 6.6: Đới cầu Fresnel

Người ta chứng minh được rằng, các đới cầu này có diện tích bằng nhau:

$$\Delta S = \frac{R\pi d}{R+d} \lambda \quad (6.18)$$

Bán kính của đới cầu thứ k bằng:

$$r_k = \sqrt{\frac{Rd\lambda}{R+d}} \sqrt{k} \quad \text{với } k = 1, 2, 3, \dots \quad (6.19)$$

Theo nguyên lý Huygens, mỗi đới cầu trở thành nguồn sáng thứ cấp phát sáng tới điểm M. Xét đới cầu thứ k, có biên độ dao động sáng là a_k khi truyền đến điểm M. Khi k càng tăng thì bán kính các đới cầu càng tăng và biên độ sóng của các đới cầu truyền tới M giảm dần và khi đó góc nghiêng θ cũng tăng. Vì vậy biên độ dao động a_k sẽ giảm khi k tăng. Đến một giá trị k khá lớn thì $a_k \approx 0$. Vì khoảng cách d_k từ đới cầu và góc nghiêng θ tăng rất chậm nên a_k giảm chậm và chúng ta có thể xem a_k là trung bình cộng của a_{k-1} và a_{k+1} .

$$a_k = \frac{a_{k-1} + a_{k+1}}{2} \quad (6.20)$$

Ngoài ra, khoảng cách giữa các đới cầu chênh lệch một khoảng $\lambda/2$, các đới cầu $G_0, G_1, G_2, \dots$ đều nằm trên mặt sóng G nên pha dao động của tất cả các điểm nằm trên đới cầu đều như nhau. Hiệu pha của hai dao động sáng do hai đới cầu liên tiếp gây ra tại điểm M sẽ là:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(L_2 - L_1) = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{2} = \pi \quad (6.21)$$

Như vậy hai dao động sáng này ngược pha nhau và chúng sẽ khử lẫn nhau. Vì M cách khá xa mặt sóng G nên chúng ta có thể coi các dao động sáng do các đới cầu gây ra tại M cùng phương. Dao động sáng tổng hợp tại M là:

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

4. Nhiễu xạ qua lỗ tròn

Xét nguồn sáng điểm S gồm ánh sáng đơn sắc có bước sóng λ , phát sáng qua lỗ tròn AB trên màn chắn P, truyền đến điểm M cách màn P một đoạn b. Điểm S và M nằm trên trục của lỗ tròn. Lấy điểm S làm tâm, dựng mặt cầu G đi qua lỗ tròn AB. Lấy điểm M làm tâm, vẽ các đới cầu Fresnel $G_0, G_1, G_2, \dots$. Biên độ dao động sóng tại điểm M là:

$$\begin{aligned} a &= a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + \dots + a_n \text{ (giả sử có } n \text{ đới cầu)} \\ &= \frac{a_1}{2} + \left(\frac{a_1}{2} - a_2 + \frac{a_3}{2}\right) + \left(\frac{a_3}{2} - a_4 + \frac{a_5}{2}\right) + \dots + \begin{cases} \frac{a_n}{2}, n \text{ lẻ} \\ \frac{a_{n-1}}{2} - a_n \approx -\frac{a_n}{2}, n \text{ chẵn} \end{cases} \end{aligned}$$

Hay:

$$a = \frac{a_1}{2} \pm \frac{a_n}{2} \quad (6.22)$$

+ Khi không có màn chắn P hoặc kích thước lỗ tròn rất lớn: $n \rightarrow \infty$, $a_n \approx 0$ nên cường

độ sáng tại điểm M: $I_o = a_2 = \frac{a_1^2}{4}$ (6.23)

+ Nếu lỗ có chứa số lẻ các đơi cầu thì

$$a = \frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2} \text{ và } I = \left(\frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2} \right)^2 \quad (6.24)$$

Nhận xét: $I > I_o$, điểm M sáng hơn khi không có màn P.

Nếu lỗ tròn chứa một đơi cầu thì tại M là điểm sáng nhất thì

$$a = \frac{a_1}{2} + \frac{a_1}{2} = a_1 \text{ và } I = a_1^2 = 4I_o \quad (6.25)$$

+ Nếu lỗ có chứa số chẵn các đơi cầu thì

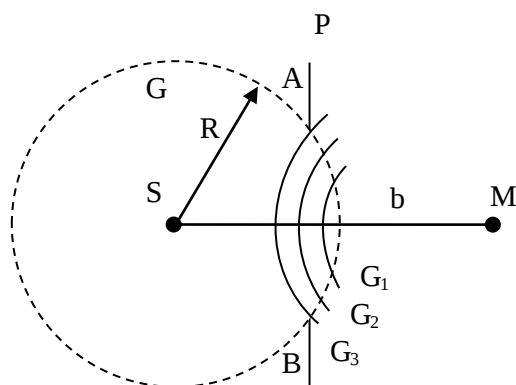
$$a = \frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2} \text{ và } I = \left(\frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2} \right)^2 \quad (6.26)$$

Nhận xét: $I < I_o$, điểm M tối hơn khi không có màn P.

Nếu lỗ tròn chứa hai đơi cầu thì tại M là điểm tối nhất thì

$$a = \frac{a_1}{2} - \frac{a_2}{2} \approx 0 \text{ và } I = 0 \quad (6.27)$$

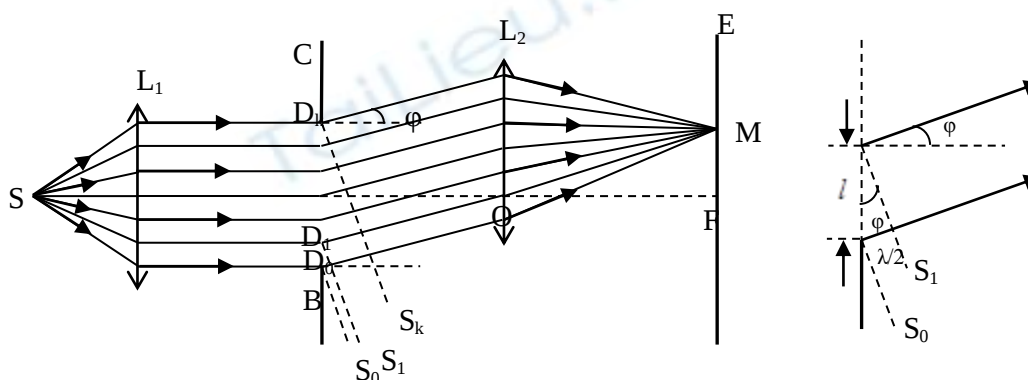
Như vậy, điểm M có thể sáng hơn hay tối hơn so với trường hợp không có màn chắn phụ thuộc vào kích thước của lỗ và vị trí của màn quan sát.



Hình 6.7: Nhiễu xạ qua lỗ tròn

5. Nhiễu xạ của sóng phẳng qua khe hẹp

Xét nguồn sáng S đơn sắc có bước sóng λ , nguồn sáng này được đặt tại tiêu điểm của thấu kính hội tụ, chùm tia thu được là chùm sáng song song. Chiếu chùm sáng song song đơn sắc này vào khe hẹp có bề rộng b . Sau khi đi qua khe hẹp này, chùm tia sáng sẽ bị nhiễu xạ theo nhiều phương (xác định bởi góc φ). Muốn quan sát hiện tượng nhiễu xạ, chúng ta dùng thấu kính hội tụ L , chùm tia nhiễu xạ sẽ hội tụ tại điểm M nằm trên mặt phẳng tiêu của thấu kính hội tụ L . Với giá trị φ khác nhau, chùm tia nhiễu xạ sẽ hội tụ tại các điểm khác nhau, và điểm hội tụ này có thể là sáng hay là tối.



Hình 6.8: Nhiễu xạ của sóng phẳng qua khe

Định lý Malus:

“Quang lộ của các tia sáng giữa hai mặt trực giao của một chùm sáng thì bằng nhau”

Vì ánh sáng chiếu đến khe hẹp là sóng phẳng nên mặt phẳng khe là mặt sóng, các sóng thứ cấp trên mặt phẳng khe sẽ dao động cùng pha. Các tia nhiễu xạ theo phương $\varphi = 0$ sẽ hội tụ tại điểm F , các tia sáng này gửi từ mặt phẳng khe đến điểm F có quang lộ bằng nhau và dao động cùng pha nên chúng tăng cường nhau. Do đó, điểm F là điểm cực đại giữa, rất sáng.

Xét các tia nhiễu xạ theo phương $\varphi \neq 0$, sử dụng phương pháp đối cầu Fresnel ta vẽ các mặt phẳng $S_0, S_1, S_2, \dots$ vuông góc với chùm tia nhiễu xạ này và cách nhau một đoạn $\lambda/2$.

Ta tính được bề rộng của mỗi dải:
$$l = \frac{\lambda}{2 \sin \varphi} \quad (6.28)$$

$$\text{Số dải trên khe là: } N = \frac{b}{l} = \frac{2b \sin \varphi}{\lambda} \quad (6.29)$$

Theo nguyên lý Huygens, các dải này là nguồn thứ cấp dao động cùng pha phát sáng đến điểm M. Quang lộ của hai tia sáng từ hai dải kế tiếp nhau chênh lệch một đoạn $\lambda/2$ nên hai dao động này sẽ ngược pha nhau tại điểm M và chúng khử lẫn nhau. Nếu số dải trên khe N là chẵn thì điểm M là điểm tối vì từng cặp dải kế tiếp nhau sẽ trừ khử lẫn nhau. Khi đó điểm M là điểm cực tiểu nhiễu xạ.

Điều kiện để M là điểm tối: N là số chẵn

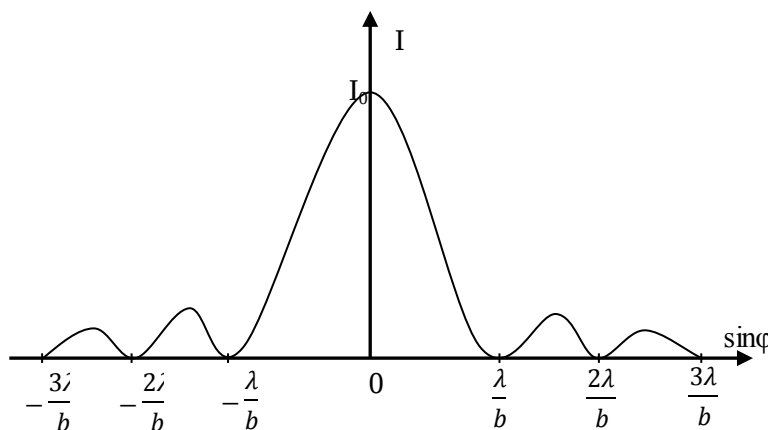
$$N = 2k \Leftrightarrow \frac{2b \sin \varphi}{\lambda} = 2k \Rightarrow \sin \varphi = k \frac{\lambda}{b} \text{ với } k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (6.30)$$

Nếu số dải trên khe N là lẻ thì tương tự như trên từng cặp dải kế tiếp nhau sẽ trừ khử lẫn nhau nhưng dao động sáng do dải cuối cùng không bị khử. Như vậy điểm M là điểm sáng, gọi là cực đại nhiễu xạ bậc k. Tuy nhiên cường độ sáng tại điểm cực đại này sẽ nhỏ hơn rất nhiều so với điểm F.

Điều kiện để M là điểm sáng: N là số lẻ

$$N = 2k + 1 \Leftrightarrow \frac{2b \sin \varphi}{\lambda} = 2k + 1 \Rightarrow \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2b}, \text{ với } k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (6.31)$$

Hình vẽ 6.9 sau biểu diễn cường độ sáng trên màn quan sát. Các điểm cực đại nhiễu xạ bậc $k = 1, 2, 3, \dots$ nằm xen kẽ giữa các điểm cực tiểu nhiễu xạ và phân bố đối xứng qua điểm cực đại ở giữa.

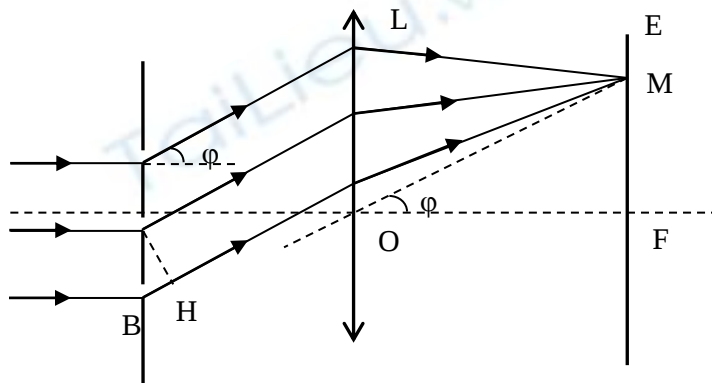


Hình 6.9: Cường độ sáng trên màn quan sát

6. Nhiễu xạ của sóng phẳng qua cách tử phẳng

Các tử phẳng là một hệ gồm rất nhiều khe cách đều nhau. Một cách tử nhiễu xạ có kích thước vài cm, trên 1 cm có khoảng vài nghìn khe được gọi là số vạch/cm. Mỗi một khe có độ rộng b , các khe liên tiếp nhau có khoảng cách d , còn được gọi là chu kỳ hay hằng số cách tử.

Xét một cách tử phẳng có N khe hẹp. Chiếu chùm sáng đơn sắc song song có bước sóng λ vuông góc với mặt cách tử. Các khe hẹp được coi như là nguồn kết hợp, do vậy ngoài hiện tượng nhiễu xạ do một khe hẹp gây ra còn có hiện tượng nhiễu xạ do các khe gây ra.



Hình 6.10: Nhiễu xạ của sóng phẳng qua cách tử phẳng

Tất cả N khe hẹp đều cho điểm cực tiểu nhiễu xạ trên màn E khi góc φ thỏa mãn điều kiện:

$$\sin \varphi = k \frac{\lambda}{b} \text{ với } k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (6.32)$$

Những điểm cực tiểu này được gọi là cực tiểu chính.

a. Xét sự phân bố cường độ sáng giữa những cực tiểu chính

Hiệu quang lộ giữa hai khe kế tiếp nhau đến điểm M: $L_1 - L_2 = d \sin \varphi$.

Điểm M là điểm sáng thì dao động sáng do hai tia này phải cùng pha tức là khi hiệu quang lộ bằng số nguyên lần bước sóng. Điểm nằm giữa hai cực tiểu chính trên màn E khi góc φ thỏa mãn điều kiện:

$$L_1 - L_2 = d \sin \varphi = m \lambda \Rightarrow \sin \varphi = m \frac{\lambda}{d} \text{ với } m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (6.33)$$

Các điểm này được gọi là cực đại chính. Điểm cực đại chính giữa tại điểm F (ứng với $m=0$ và $\varphi=0$) gọi là cực đại nhiễu xạ trung tâm.

Ví dụ: Xét sự phân bố cường độ sáng giữa hai cực tiểu chính ứng với $k = 1$. Giả sử $d = 3b$. Vì $d > b$ nên $|m|\frac{\lambda}{d} < |k|\frac{\lambda}{b} \Rightarrow |m| < |k|\frac{d}{b} = 3$ và m nhận các giá trị là $0, \pm 1, \pm 2$. Như vậy giữa hai cực tiểu chính ứng với $k = 1$ có 5 cực đại chính.

b. Xét sự phân bố cường độ sáng giữa những cực đại chính

Điểm nằm giữa hai cực đại chính liên tiếp nhau có góc nhiễu xạ φ thỏa mãn

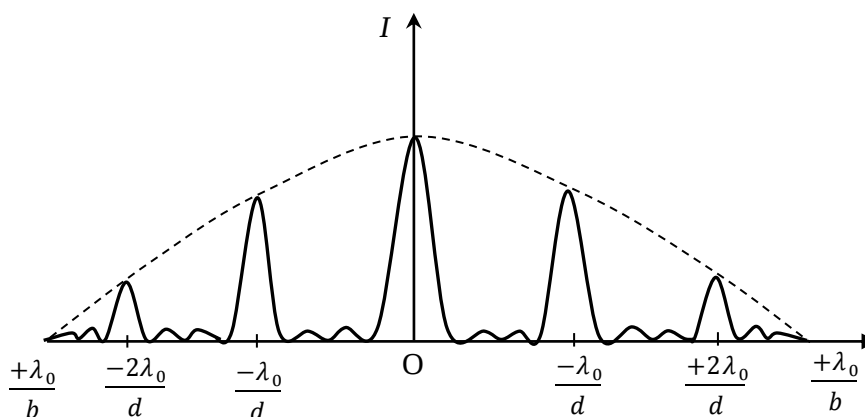
$$\text{điều kiện:} \quad \sin \varphi = (2m+1) \frac{\lambda}{2d} \quad (6.34)$$

Hiệu quang lộ của hai tia tới từ hai khe kế tiếp là:

$$L_1 - L_2 = d \sin \varphi = (2m+1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \sin \varphi = (2m+1) \frac{\lambda}{2d} \text{ với } m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (6.35)$$

Đây chính là điều kiện để có cực tiểu giao thoa. Tuy nhiên, không hẳn điểm này là điểm tối. Ta xét hai trường hợp đơn giản sau:

- Nếu số khe hẹp là chẵn cụ thể $N = 2$ thì các dao động sáng do hai khe hẹp gửi tới sẽ khử hoàn toàn và điểm chính giữa đó là điểm tối được gọi là *cực tiểu phụ*.
- Nếu số khe hẹp là số lẻ $N = 3$ thì các dao động sáng do hai khe hẹp gửi tới sẽ khử lẫn nhau nhưng dao động sáng do khe thứ ba không bị khử. Như vậy giữa hai cực đại chính là một cực đại có cường độ khá nhỏ gọi là *cực đại phụ*. Giữa cực đại chính và cực đại phụ là hai cực tiểu phụ. Điều này được minh họa bằng hình 6.11 dưới đây.

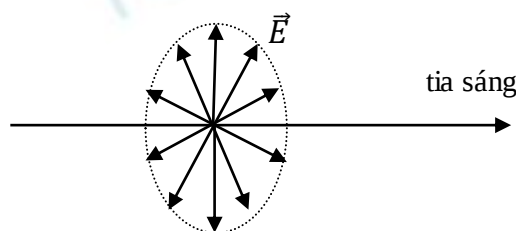


Hình 6.11: Mô tả vị trí cực đại và cực tiểu

6.3. PHÂN CỰC ÁNH SÁNG

Một nguồn sáng thông thường gồm rất nhiều các nguyên tử phát xạ định hướng một cách hỗn loạn. Mỗi nguyên tử kích thích bức xạ một đoàn sóng phân cực trong khoảng thời gian 10^{-8} giây. Tất cả bức xạ cùng tần số sẽ kết hợp tạo nên một sóng có vec tơ $\vec{E}$ dao động theo một chiều xác định (sóng phân cực phẳng) tồn tại không lâu hơn 10^{-8} giây. Các đoàn sóng liên tục được phát ra với các chiều dao động của $\vec{E}$ thay đổi hoàn toàn ngẫu nhiên. Sự thay đổi chiều này xảy ra rất nhanh nên không thể phân biệt được trạng thái phân cực tức thời của ánh sáng.

Ánh sáng phát ra một nguồn sáng thông thường như bóng đèn dây tóc, mặt trời, ngọn nến ... trong môi trường trong suốt, đồng chất và đẳng hướng có tính đối xứng tròn xoay quanh phương truyền của nó. Ánh sáng có tính chất đó được gọi là *ánh sáng tự nhiên* hay *ánh sáng không phân cực* được biểu diễn như hình 6.11.



Hình 6.12: Ánh sáng không phân cực

Ánh sáng có vec tơ $\vec{E}$ luôn song song với một phương hoàn toàn xác định trong quá trình truyền, được gọi là *ánh sáng phân cực thẳng* hay *phân cực toàn phần*. Mặt phẳng chứa tia sáng và phương dao động của vec tơ $\vec{E}$ được gọi là mặt phẳng dao động. Mặt phẳng chứa tia sáng và vuông góc với mặt phẳng dao động gọi là *mặt phẳng phân cực*.

Thực tế chúng ta thường gặp sóng ở dạng phân cực một phần, trạng thái này là kết quả của sự chồng chất của ánh sáng phân cực và ánh sáng tự nhiên theo một tỷ lệ nào đó. Sóng phân cực toàn phần và sóng không phân cực là các trường hợp tới hạn. Ánh sáng phân cực một phần có vec tơ $\vec{E}$ dao động theo mọi phương vuông góc với phương truyền nhưng biên độ dao động khác nhau theo phương khác nhau.

1. Định luật Maalus về phân cực ánh sáng

Thực nghiệm chứng tỏ rằng, bản tinh thể Tuamalin (hợp chất silicôbôrat aluminium) với chiều dày 1mm có thể biến ánh sáng tự nhiên thành ánh sáng phân cực thẳng. Nguyên nhân của hiện tượng này là do tính hấp thụ ánh sáng không đều theo các phương khác nhau trong tinh thể (gọi là tính hấp thụ dị hướng). Trong bản Tuamalin có một phương đặc biệt gọi là quang trục của tinh thể (kí hiệu là Δ). Theo phương quang trục, ánh sáng không bị hấp thụ và truyền tự do qua bản tinh thể, còn theo phương vuông góc với quang trục, ánh sáng bị hấp thụ hoàn toàn. Khi ta chiếu một chùm tia sáng tự nhiên vuông góc với mặt ABCD của bản tinh thể tuamalin có quang trục song song cạnh AB, vì ánh sáng là sóng ngang nên tia sáng sau bản tuamalin có vectơ sáng $\vec{E}$ song song với quang trục của bản. Dưới đây ta sẽ xét kĩ hơn về sự truyền ánh sáng qua bản tuamalin.

Xét ánh sáng tự nhiên truyền tới bản tuamalin T_1 , bất kì vectơ sáng $\vec{E}$ nào của ánh sáng tự nhiên cũng đều có thể phân tích thành hai thành phần: $\vec{E}_{1x}$ vuông góc với quang trục Δ_1 và $\vec{E}_{1y}$ song song với quang trục Δ_1 . Khi đó:

$$E^2 = E_{1x}^2 + E_{1y}^2 \quad (6.36)$$

Do ánh sáng tự nhiên có $\vec{E}$ phân bố đều đặn xung quanh tia sáng nên ta có thể lấy trung bình:

$$\overline{E_{1x}^2} = \overline{E_{1y}^2} = \frac{1}{2} \overline{E^2} \quad (6.37)$$

Do tính hấp thụ dị hướng của bản tinh thể tuamalin, thành phần $\vec{E}_{1x}$ vuông góc với quang trục bị hấp thụ hoàn toàn, còn thành phần $\vec{E}_{1y}$ song song với quang trục được truyền hoàn toàn qua bản tuamalin T_1 , ánh sáng tự nhiên đã biến thành ánh sáng phân cực toàn phần có vectơ sáng $\vec{E} = \vec{E}_{1y}$ song song với quang trục Δ_1 và cường độ sáng I_1 sau bản bằng:

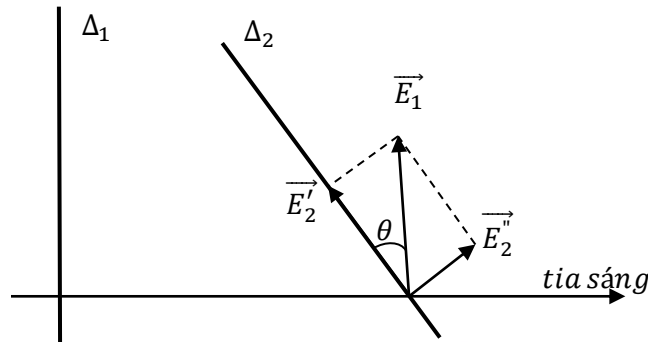
$$I_1 = E_1^2 = \overline{E_{1y}^2} = \frac{1}{2} \overline{E^2} = \frac{1}{2} I_o \quad (6.38)$$

trong đó $I_o = \overline{E^2}$ là cường độ của ánh sáng tự nhiên truyền tới bản T_1 .

Lấy một bản tuamalin T_2 có quang trục Δ_2 đặt sau T_1 . Đặt góc giữa 2 quang trục Δ_1 và Δ_2 là θ . Vectơ sáng $\vec{E}$ được phân tích thành hai thành phần:

$$\vec{E}_2' = \vec{E}_1' \cos \theta \text{ (song song với quang trục } \Delta_2 \text{)}$$

$$\vec{E}_2'' = \vec{E}_1' \sin \theta \text{ (vuông góc với quang trục } \Delta_2 \text{)}$$



Hình 6.13: Vector sáng trên hai quang trục Δ_1 và Δ_2 .

Thành phần $\vec{E}_2'$ sẽ xuyên qua bản tuamalin T_2 và thành phần $\vec{E}_2''$ sẽ bị hấp thụ hoàn toàn. Như vậy sau khi qua bản tuamalin T_2 chúng ta nhận được ánh sáng phân cực toàn phần có vectơ sáng $\vec{E}_2 = \vec{E}_2'$, cường độ sáng $I_2 = E_2^2 = E_1^2 \cos^2 \theta = I_1 \cos^2 \theta$. I_1 là cường độ sáng sau khi đi qua bản tuamalin T_1 . Cường độ sáng I_2 tỷ lệ với cường độ sáng I_1 và góc θ . Như vậy giữ cố định bản T_1 và quay bản T_2 xung quanh tia sáng thì I_2 sẽ thay đổi.

Trường hợp $\theta = 0$, hai quang trục song song thì $I_2 = I_1$, đây là giá trị cực đại.

$\theta = \frac{\pi}{2}$, hai quang trục vuông góc với nhau thì $I_2 = 0$. Khi đó T_1 được gọi là kính phân cực và T_2 được gọi là kính phân tích.

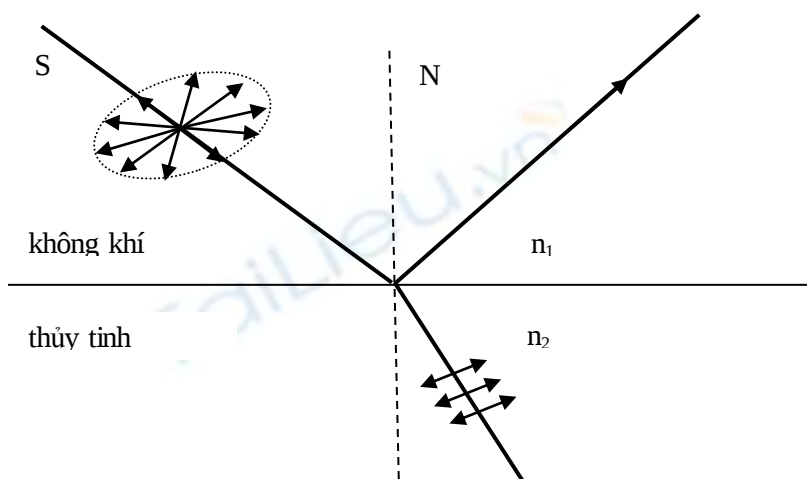
Định luật Malus: Khi cho một chùm tia sáng tự nhiên truyền qua hai bản tuamalin có quang trục hợp với nhau một góc θ thì cường độ sáng nhận được tỉ lệ với $\cos^2 \theta$.

2. Sự phân cực ánh sáng do phản xạ và khúc xạ

Thực nghiệm chứng tỏ rằng khi cho một tia sáng tự nhiên chiếu tới mặt phân cách giữa hai môi trường dưới góc tới $i \neq 0$ thì tia phản xạ và tia khúc xạ đều là ánh sáng phân cực một phần. Vectơ cường độ điện trường của tia phản xạ có biên độ dao động lớn nhất theo phương vuông góc với mặt phẳng tới, còn vectơ cường độ điện trường của tia khúc xạ có biên độ dao động lớn nhất theo phương nằm trong mặt phẳng tới. Khi thay đổi góc tới i thì mức độ phân cực của tia phản xạ và tia khúc xạ

cũng thay đổi. Khi góc tới i thỏa mãn điều kiện: $\tan i_B = n_{21}$ thì tia phản xạ sẽ phân cực toàn phần. Với $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ là chiết suất tỉ đối của môi trường hai đối với môi trường một.

Góc tới i_B được gọi là góc tới Brewster hay góc phân cực toàn phần. Khi phản xạ từ không khí trên thủy tinh thì $i_B = 57^\circ$. Tia khúc xạ không bao giờ là ánh sáng phân cực toàn phần, nhưng khi $i = i_B$ thì tia khúc xạ cũng bị phân cực mạnh nhất.

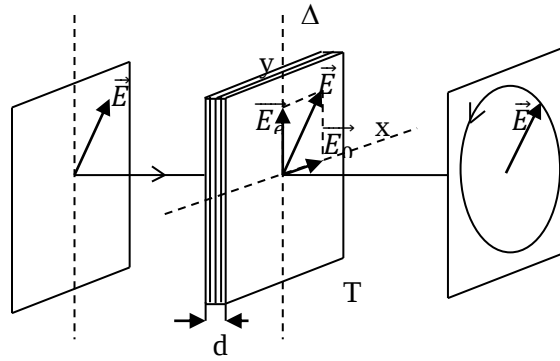


Hình 6.14: Ánh sáng phân cực do phản xạ và khúc xạ.

a. Ánh sáng phân cực Elip

Chúng ta đã nghiên cứu ánh sáng phân cực thẳng, đó là ánh sáng có vector sáng $\vec{E}$ dao động theo một phương xác định, tức là $\vec{E}$ dao động trên đường thẳng. Thực nghiệm cho thấy ta có thể tạo ra ánh sáng phân cực trong đó đầu mút vector sáng $\vec{E}$ chuyển động trên một đường elip (hay đường tròn), ánh sáng phân cực này được gọi là ánh sáng phân cực elip hay phân cực tròn.

Xét một bản tinh thể T có quang trục Δ và độ dày d . Chiếu một tia sáng phân cực toàn phần vuông góc với mặt trước của bản tinh thể, tia sáng này có vector sáng $\vec{E}$ hợp với quang trục một góc α . Khi vào bản tinh thể, tia sáng này bị tách thành hai: tia thường và tia bất thường. Tia thường có vector sáng $\vec{E}_o$ vuông góc với quang trục, còn tia bất thường có vector sáng $\vec{E}_e$ song song với quang trục và cả hai vector sáng đều nằm trong mặt phẳng vuông góc với tia sáng.



Hình 6.15: Ánh sáng phân cực ellip

Vector sáng tổng hợp của tia thường và tia bất thường tại điểm M sau bản tinh thể được phân tích bằng:

$$\vec{E} = \vec{E}_e + \vec{E}_o$$

Trong bản tinh thể, hai tia này truyền đi với vận tốc khác nhau (do chiết suất của tinh thể đối với hai tia khác nhau, $n_e \neq n_o$) và sau khi đi ra khỏi bản chúng lại truyền đi với cùng một vận tốc. Do đó, hiệu quang lộ của tia thường và tia bất thường tại một điểm M sau bản bằng:

$$\Delta L = L_o - L_e = (n_o - n_e)d \quad (6.39)$$

Hiệu pha của hai sóng ánh sáng tại M bằng:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(L_o - L_e) = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d \quad (6.40)$$

với λ là bước sóng của ánh sáng trong môi trường chân không.

Các vector sáng $\vec{E}_e$ và $\vec{E}_o$ dao động theo hai phương vuông góc với nhau, do đó đầu mút vector sáng tổng hợp sẽ chuyển động trên một đường elip xác định bởi phương trình:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos \Delta\varphi = \sin^2 \Delta\varphi \quad (6.41)$$

với A_1 và A_2 lần lượt là biên độ và $\Delta\varphi = \varphi_o - \varphi_e$ là hiệu pha dao động của hai vector sáng $\vec{E}_e$ và $\vec{E}_o$.

Như vậy, ánh sáng phân cực thẳng sau khi truyền qua bản tinh thể sẽ biến thành ánh sáng phân cực elip.