

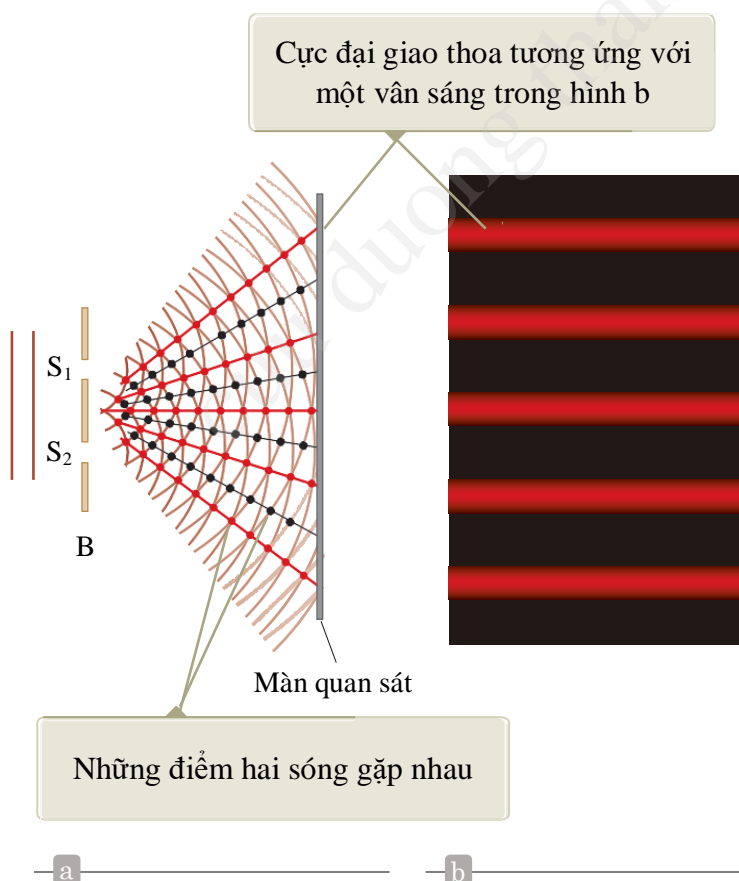
## Chương 37: QUANG HỌC SÓNG

Quang sóng là một nghiên cứu liên quan đến hiện tượng mà không thể được giải thích một cách đầy đủ bằng quang hình học. Đôi khi được gọi là quang vật lý. Những hiện tượng này bao gồm: giao thoa, nhiễu xạ, phân cực. Trong chương 18, chúng ta đã nghiên cứu về mô hình giao thoa sóng và thấy rằng sự chồng chất của hai sóng cơ học có thể được tăng cường hay bị triệt tiêu. Trong cấu trúc giao thoa, biên độ của sóng tổng hợp lớn hơn biên độ của sóng thành phần nếu ở đó hiện tượng giao thoa được tăng cường (cực đại giao thoa). Trong khi đó, giao thoa triệt tiêu (cực tiểu giao thoa) có biên độ tổng hợp nhỏ hơn biên độ của sóng lớn hơn (khi có hai nguồn sóng). Sóng ánh sáng cũng giao thoa với nhau. Về cơ bản, tất cả sự giao thoa liên quan đến sóng ánh sáng phát sinh khi điện từ trường tạo thành sự kết hợp các sóng đơn lẻ.

### 37.1 Giao thoa

#### 37.1.1 Sơ lược lịch sử

Người đầu tiên đề ra thuyết sóng ánh sáng có sức thuyết phục là nhà vật lý người Hà Lan Christiaan Huygens năm 1678. Ưu điểm lớn của nó là giải thích được những định luật về phản xạ và khúc xạ theo thuyết sóng và ý nghĩa vật lý của chiết suất.

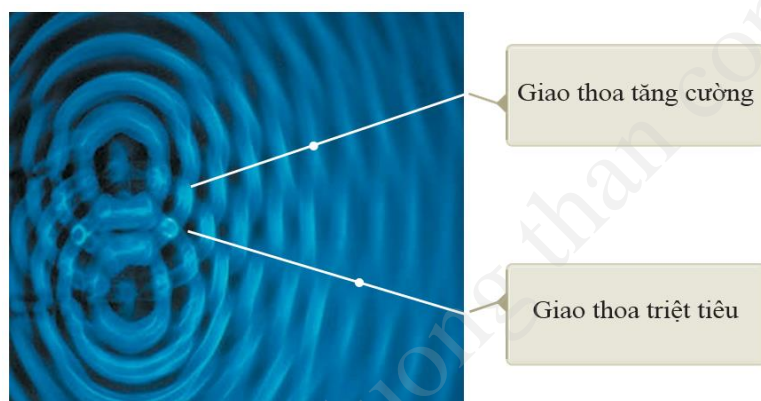


**Hình 37.1:** (a) Sơ đồ thí nghiệm giao thoa khe Young. Hai khe  $S_1$  và  $S_2$  được xem như hai nguồn sóng ánh sáng kết hợp tạo thành sự giao thoa trên màn chắn (hình vẽ không theo tỷ lệ). (b) Bức tranh giao thoa được phóng to từ màn chắn.

Năm 1801, Thomas Young là người đầu tiên xây dựng lý thuyết sóng của ánh sáng trên một cơ sở thực nghiệm vững vàng khi chứng minh rằng hai sóng ánh sáng chồng lên nhau có thể giao thoa với nhau. Sơ đồ dụng cụ thí nghiệm của Young được thể hiện như trong hình 37.1a. Sóng ánh sáng của máy bay đến một rào chắn B (chứa hai khe  $S_1$  và  $S_2$ ). Ánh sáng từ hai khe  $S_1$ ,  $S_2$  tạo ra trên màn quan sát thành các dải sáng, tối (được gọi là vân giao thoa) song song và cách đều nhau (hình 37.1b). Khi tia sáng từ hai khe  $S_1$  và  $S_2$  hội tụ tại một điểm trên màn cùng một lúc thì chúng tăng cường lẫn nhau và tạo thành vân sáng (cực đại giao thoa) tại điểm đó. Ngược lại, khi ánh sáng từ hai khe triệt tiêu nhau tại bất cứ vị trí nào trên màn thì chúng triệt tiêu lẫn nhau và tạo thành vân tối (cực tiểu giao thoa).

### 37.1.2 Giao thoa ánh sáng

Hình 37.2 cho thấy hình ảnh giao thoa thực sự tạo nên trên bề mặt của một bể chứa nước. Các sóng được phát đi từ hai quả cầu nối với cùng một máy rung cơ học và dao động lên xuống đối với mặt nước. Hai quả cầu này làm nhiệm vụ giống như hai khe  $S_1$  và  $S_2$  của hình 37.1, chúng là các nguồn của hai sóng chồng lên nhau để tạo nên hình ảnh giao thoa.



**Hình 37.2:** Bức tranh giao thoa thu được từ các sóng nước được tạo ra từ hai nguồn rung trên bề mặt của một bể nước.

Ánh sáng từ hai khe hẹp hình thành một ảnh hiển thị trên màn quan sát. Ảnh gồm một loạt những vạch sáng tối xen kẽ song song nhau được gọi là vân.

- Giao thoa cực đại (tăng cường) sẽ xảy ra nơi mà một vân sáng xuất hiện.
- Giao thoa cực tiểu (triệt tiêu) sẽ hình thành một vân tối.

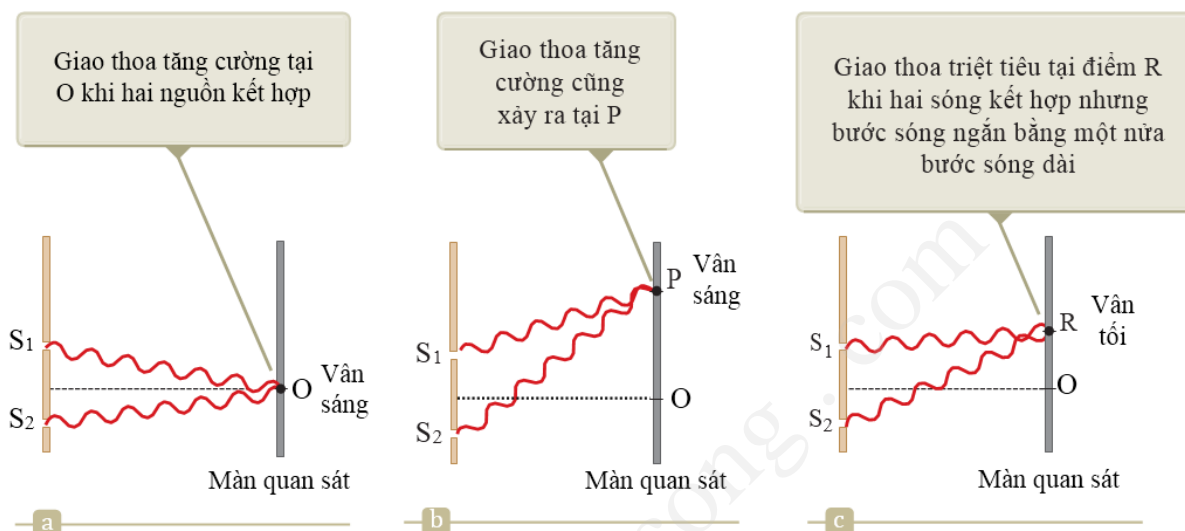
### Cực đại giao thoa

Giả sử có hai sóng giao thoa xảy ra tại điểm O. Hai sóng lan truyền cùng một khoảng cách. Do đó, chúng đến cùng pha. Kết quả là, giao thoa xảy ra tại điểm này và một vân sáng trung tâm sẽ được quan sát (hình 37.3a).

Sóng tần số thấp hơn phải lan truyền xa hơn sóng tần số cao để đạt đến điểm P. Sóng tần số thấp hơn sẽ lan truyền một bước sóng lớn hơn. Do đó, các sóng đến cùng pha. Một vân sáng thứ hai xảy ra tại vị trí này (hình 37.3b).

## Cực tiểu giao thoa

Sóng tần số cao lan truyền xa hơn một nửa bước sóng so với sóng có tần số thấp để đạt đến điểm R. Sóng có tần số cao trùng với đỉnh của sóng có tần số thấp hơn nên giao thoa bị triệt tiêu (hình 37.3c).



**Hình 37.3:** Trong thí nghiệm giao thoa của Young, ánh sáng nhiễu xạ từ hai khe  $S_1, S_2$  chồng lên nhau tạo nên các điểm giao thoa trên màn quan sát: (a) vân sáng trung tâm, (b) cực đại giao thoa, (c) cực tiểu giao thoa.

**Điều kiện giao thoa:** Để xuất hiện hình ảnh giao thoa trên màn quan sát từ hai nguồn phải thỏa mãn những điều kiện sau đây:

- Các nguồn phát ánh sáng là nguồn kết hợp, có nghĩa là hiệu số pha dao động phải không đổi theo thời gian.
- Các nguồn sáng đơn sắc, có nghĩa là chúng phải có cùng một giá trị bước sóng.

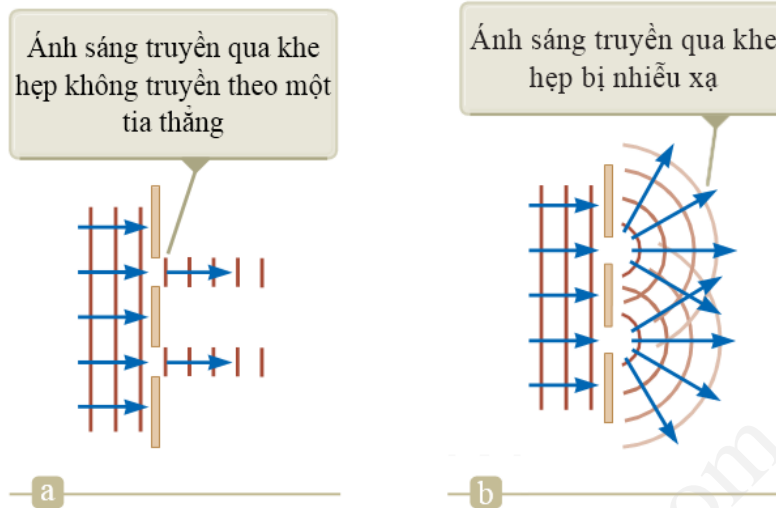
## Cách tạo các nguồn kết hợp

Ánh sáng từ một nguồn đơn sắc được sử dụng để chiếu vào một rào chắn. Rào chắn chứa hai khe hở (hẹp), có hình dạng rãnh (như thí nghiệm của Young được minh họa trong hình 37.1).

Ánh sáng ló ra từ hai khe sáng tương quan nhau vì một nguồn duy nhất sẽ tạo ra chùm sáng ban đầu, đây là một phương pháp thường được sử dụng.

### 37.1.3 Nhiễu xạ qua khe Young

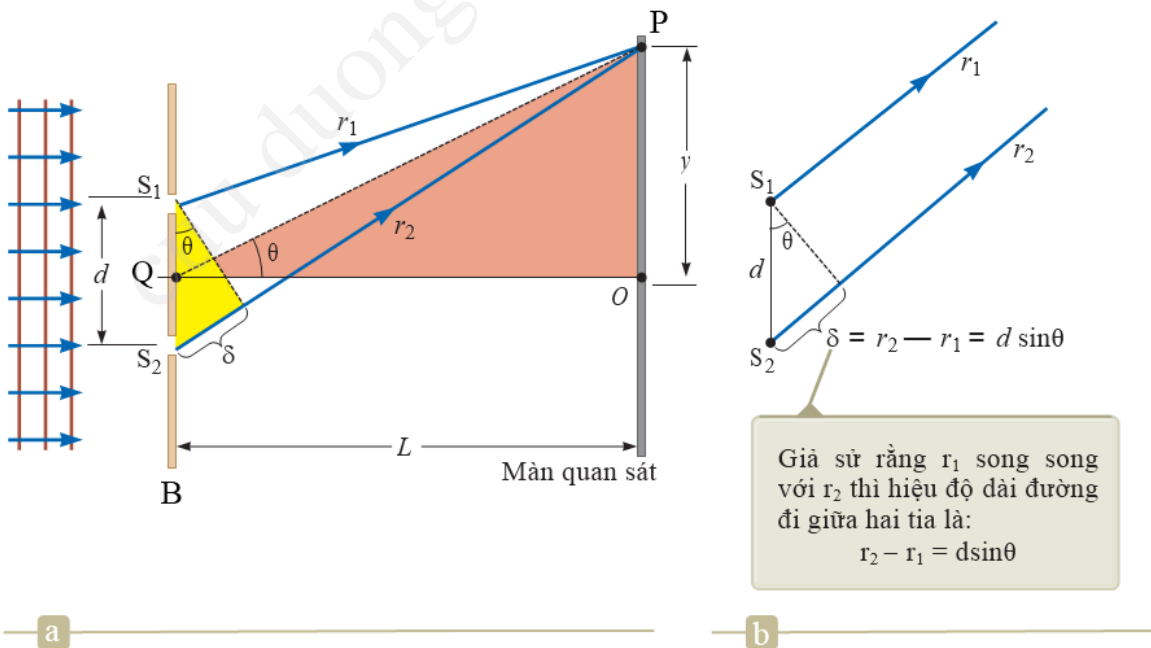
Nếu ánh sáng vẫn lan truyền theo hướng ban đầu sau khi đi qua các khe thì không có hiện tượng giao thoa (hình 37.4a). Theo nguyên lý Huygens, sóng phát ra từ các khe sẽ bị lan ra (phân kỳ) thành nhiều hướng khác nhau được gọi là nhiễu xạ (hình 37.4b).



**Hình 37.4:** (a) Nếu sóng ánh sáng không lan ra sau khi đi qua các khe hẹp thì không xảy ra hiện tượng giao thoa. (b) Sóng ánh sáng từ hai khe chồng chất lên nhau khi chúng bị nhiễu xạ.

### 37.2. Thí nghiệm giao thoa khe Young kép

Hình 37.5 cho thấy tia sáng truyền từ hai khe  $S_1$  và  $S_2$  trên màn B đến một điểm P trên màn quan sát. Màn quan sát được đặt vuông góc với khoảng cách từ màn chắn chứa hai khe một khoảng  $L$ . Trục chính được vẽ từ điểm chính giữa hai khe đến màn quan sát, P được xác định bởi góc  $\theta$  với trục chính,  $y$  là khoảng cách từ điểm P đến trục chính.



**Hình 37.5:** (a) Cấu trúc hình học mô tả thí nghiệm giao thoa khe Young (hình vẽ không theo tỷ lệ). (b) Khi  $L \gg d$  chúng ta xem gần đúng các tia  $r_1$  và  $r_2$  song song với nhau khi chúng đến P.

Sóng ánh sáng đi qua  $S_2$  cùng pha với sóng ánh sáng đi qua  $S_1$  vì hai sóng này là những phần của một sóng duy nhất dội vào màn chắn B. Tuy nhiên, sóng đến P từ nguồn  $S_2$  không thể cùng pha với sóng đến P từ  $S_1$  vì rằng sóng thứ hai phải đi qua một quãng đường dài hơn sóng thứ nhất.

*Điều kiện cực đại giao thoa:* Nếu như hiệu quang lộ bằng không hoặc bằng một bội số nguyên lần bước sóng thì các sóng tới sẽ cùng pha với nhau và khi giao thoa sẽ tăng cường nhau, tạo thành cực đại giao thoa (vân sáng).

$$\delta = d \sin \theta = m\lambda, \text{ với } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (37.2)$$

Khi:  $m = 0$ , gọi là cực đại bậc không.

$m = \pm 1$ , gọi là cực đại bậc một.

$m = \pm 2$ , gọi là cực đại bậc hai.

*Điều kiện cực tiểu giao thoa:* Nếu như hiệu quang lộ bằng một bội số lẻ của nửa bước sóng thì các sóng tới sẽ ngược pha với nhau và khi giao thoa sẽ triệt tiêu lẫn nhau, tạo thành cực tiểu giao thoa (vân tối).

$$\delta = d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda, \text{ với } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (37.3)$$

Khi:  $k \geq 0$  thì k là vân tối thứ  $(k+1)$ . Ví dụ:  $k = 5$  là vân tối thứ  $(5+1) = 6$

$k < 0$  thì k là vân tối thứ  $|k|$ . Ví dụ:  $k = -5$  là vân tối thứ 5

### Bài tập mẫu 37.1:

Xác định vị trí góc của các vân giao thoa bậc (thứ) k tại P trên màn quan sát từ vân sáng trung tâm O.

**Giải:**

Xét tam giác OPQ trong hình 37.5, ta có:

$$\tan \theta = \frac{y}{L} \quad (37.4)$$

Khi đó vị trí của một vân sáng (tối) trên màn quan sát được xác định như sau:

$$y_{s,ng} = L \tan \theta_{s,ng} \quad (37.5)$$

$$y_{tối} = L \tan \theta_{tối} \quad (37.6)$$

trong đó,  $\theta_{s,ng}$ ,  $\theta_{tối}$  được xác định từ công thức (37.2) và (37.3).

Giả sử trong thí nghiệm hai khe Young:  $L \gg d$  và  $d \gg \lambda$ , khi đó góc  $\theta$  trong hình 37.5 là khá nhỏ để cho phép chúng ta sử dụng gần đúng:  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$

Do đó:  $y = L \tan \theta \approx L \sin \theta$

- Điều kiện cực đại giao thoa:

$$y_{s,ng} = L \frac{m\lambda}{d} \quad (37.7)$$

- Điều kiện cực tiểu giao thoa:

$$y_{tối} = L \tan \theta_{tối} \quad (37.6)$$

**Câu hỏi 37.1:** Nguyên nhân nào dẫn đến khoảng cách giữa các vân giao thoa giữa hai khe hẹp tăng lên?

- (a) Giảm bước sóng của ánh sáng
- (b) Giảm khoảng cách giữa hai khe đến màn quan sát
- (c) Giảm khoảng cách giữa hai khe
- (d) Ngâm toàn bộ hệ thí nghiệm trong nước

**Ý nghĩa của thí nghiệm hai khe Young:** Thí nghiệm hai khe Young cung cấp một phương pháp để đo bước sóng của ánh sáng. Thí nghiệm này đã cho mô hình sóng ánh sáng trở nên đáng tin cậy hơn. Ánh sáng có thể triệt tiêu lẫn nhau bằng cách giải thích các vân tối.

### Bài tập mẫu 37.2: Xác định độ dài bước sóng

Màn quan sát được đặt cách hai khe 4,80 cm, khoảng cách giữa hai khe là 0,030 mm. Ánh sáng đơn sắc chiếu đến hai khe hẹp và xảy ra hiện tượng giao thoa trên màn. Vân tối thứ nhất cách vân sáng trung tâm một khoảng bằng 4,50 cm

- (A) Xác định độ dài bước sóng

**Giải:**

Vị trí vân tối được xác định từ công thức (37.8):

$$y_{tối} = L \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda}{d}$$

Vân tối thứ nhất kể từ vân sáng trung tâm  $\rightarrow k = 0$ . Độ dài bước sóng được xác định:

$$\lambda = \frac{y_{tối} d}{\left(m + \frac{1}{2}\right)L} = \frac{(4,50 \cdot 10^{-2}) \cdot (0,030 \cdot 10^{-3})}{\left(0 + \frac{1}{2}\right) \cdot 4,80} = 5,62 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 562 \text{ nm}$$

(B) Xác định khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp

**Giải:**

Khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp được định nghĩa là một khoảng vân. Giả sử hai vân sáng liên tiếp là  $(m+1)$  và  $m$ . Khi đó, khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp được xác định như sau:

$$\begin{aligned}y_{m+1} - y_m &= L \frac{(m+1)\lambda}{d} - L \frac{m\lambda}{d} = L \frac{\lambda}{d} \\&= 4,80 \cdot \left( \frac{5,62 \cdot 10^{-7}}{0,03 \cdot 10^{-5}} \right) \approx 9,00 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 9,00 \text{ cm}\end{aligned}$$

### Bài tập mẫu 37.3: Xác định khoảng cách giữa các vân

Một nguồn ánh sáng phát ra ánh sáng nhìn thấy được có hai bước sóng:  $\lambda = 430 \text{ nm}$  và  $\lambda' = 510 \text{ nm}$ . Khoảng cách từ hai khe đến màn quan sát là  $L = 1,50 \text{ m}$ , khoảng cách giữa hai khe là  $d = 0,0250 \text{ mm}$ . Xác định khoảng cách giữa hai vân sáng bậc ba của hai bước sóng.

**Giải:**

Sử dụng công thức (37.7) để xác định vị trí của hai vân sáng bậc ba tương ứng với hai bước sóng. Sau đó, lấy hiệu khoảng cách giữa hai vân sáng bậc ba tương ứng

$$\begin{aligned}\Delta y &= y'_{s,ng} - y_{s,ng} = L \frac{m\lambda'}{d} - L \frac{m\lambda}{d} = \frac{Lm}{d} (\lambda' - \lambda) \\&= \frac{1,50 \cdot 3}{0,0250 \cdot 10^{-3}} (510 \cdot 10^{-9} - 430 \cdot 10^{-9}) \\&= 0,0144 \text{ m} = 1,44 \text{ cm}\end{aligned}$$

## 37.3 Cường độ ánh sáng trong giao thoa với hai khe

Các biểu thức (37.2) và (37.3) cho chúng ta biết các cực đại và cực tiểu giao thoa với hai khe trên màn B của hình 37.5 theo góc  $\theta$ . Chú ý rằng  $\theta$  dùng để xác định vị trí của mọi điểm trên màn tương ứng với một giá trị nhất định của góc  $\theta$ . Ở đây chúng ta muốn tìm biểu thức của cường độ  $I$  của các vân theo góc  $\theta$ .

Giả sử các thành phần điện trường của sóng ánh sáng đến điểm P trong hình 37.5 từ hai khe thay đổi theo thời gian có dạng như sau:

$$E_1 = E_0 \sin \omega t \text{ và } E_2 = E_0 \sin(\omega t + \phi) \quad (37.9)$$

trong đó  $\omega$  là tần số góc của sóng,  $\phi$  là hiệu số pha. Hai sóng đều có cùng biên độ là  $E_0$ .



Hiệu quang lộ  $\delta$  (đối với giao thoa cực đại) tương ứng với độ lệch pha  $2\pi$  rad. Hiệu quang lộ cùng tỉ lệ với  $\lambda$  khi độ lệch pha  $\phi$  bằng  $2\pi$ . Độ lệch pha giữa hai sóng tại P phụ thuộc vào hiệu quang lộ của chúng:  $\delta = r_2 - r_1 = d \sin \theta$

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta \quad (37.10)$$

biểu thức (37.10) cho thấy, độ lệch pha  $\phi$  phụ thuộc vào góc  $\theta$  (như trong hình 37.5).

Theo nguyên lý chồng chất điện trường, cường độ điện trường tổng hợp tại P được xác định:

$$E_p = E_1 + E_2 = E_0 [\sin \omega t + \sin (\omega t + \phi)] \quad (37.11)$$

Biểu thức này cũng có thể được biểu diễn như sau:

$$E_p = 2E_0 \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \sin\left(\omega t + \frac{\phi}{2}\right) \quad (37.12)$$

$E_p$  có cùng tần số với ánh sáng tại các khe hẹp nhưng biên độ điện trường được nhân với hệ số  $2\cos(\phi/2)$ . Để kiểm tra tính phù hợp của biểu thức (37.12), khi  $\phi = 0, 2\pi, 4\pi \dots$  thì cường độ điện trường tại điểm P là  $2E_0$ , tương ứng với điều kiện cho cực đại giao thoa được xây dựng từ công thức (37.2). Tương tự, khi  $\phi = \pi, 3\pi, 5\pi \dots$  thì cường độ điện trường tại điểm P bằng không, tương ứng với cực tiểu giao thoa được xây dựng từ công thức (37.3).

Biểu thức cho cường độ xuất phát từ thực tế rằng, cường độ của một sóng tỷ lệ thuận với bình phương cường độ điện trường tổng hợp tại điểm đó. Sử dụng phương trình (37.12), cường độ ánh sáng tại điểm P được biểu diễn như sau:

$$I \propto E_p^2 = 4E_0^2 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \sin^2\left(\omega t + \frac{\phi}{2}\right)$$

Hầu hết các thiết bị ghi nhận ánh sáng điều đo cường độ ánh sáng trung bình theo thời gian và giá trị trung bình thời gian của  $\sin^2(\omega t + \phi/2)$  trong một chu kỳ là  $\frac{1}{2}$ . Khi đó, cường độ ánh sáng trung bình tại điểm P được viết lại như sau:

$$I = I_{\max} \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (37.13)$$

trong đó,  $I_{\max}$  là cường độ cực đại trên màn quan sát. Thay thế giá trị của  $\phi$  từ công thức (37.10) vào (37.13), ta có:



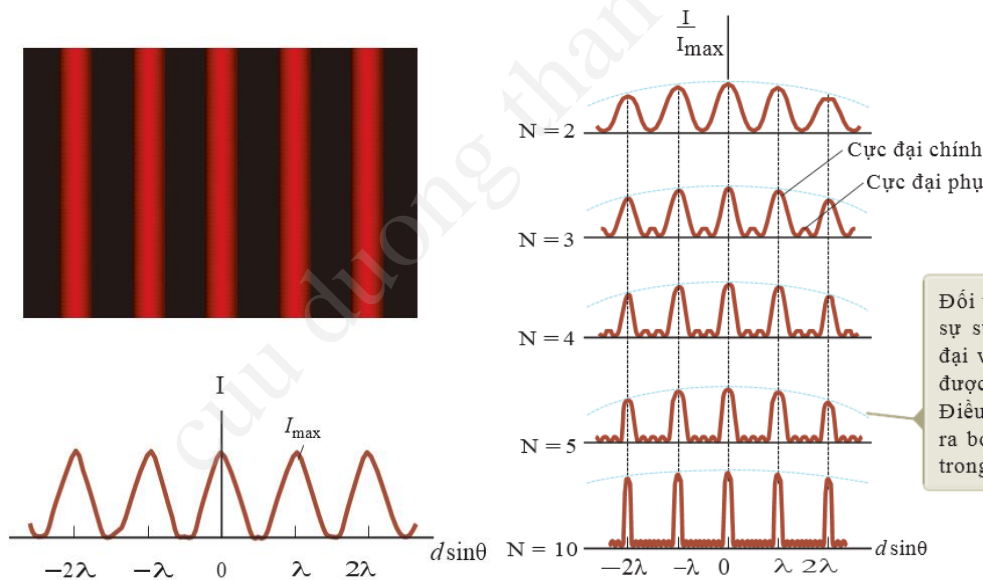
$$I = I_{\max} \cos^2 \left( \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \right) \quad (37.14)$$

Nếu các góc  $\theta$  là nhỏ ( $\sin \theta \approx y/L$ ) thì cường độ  $I$  được viết lại như sau:

$$I = I_{\max} \cos^2 \left( \frac{\pi d}{\lambda L} y \right) \quad (37.15)$$

Hình 37.6 là đồ thị của phương trình (37.14) biểu thị cường độ của hình ảnh giao thoa của hai khe như một hàm của  $d \sin \theta$ . Chú ý rằng từ phương trình (37.14) cường độ biến thiên từ 0 tại vân cực tiểu đến  $I_{\max}$  tại vân cực đại.

Với hệ nhiều hơn 2 khe hẹp (hình 37.7), ảnh nhiễu xạ chứa các cực đại chính và cực đại phụ. Đối với  $N$  khe hẹp thì cường độ của các cực đại chính lớn hơn  $N^2$  lần so với cường độ của các cực đại tạo bởi 1 khe hẹp. Khi số khe hẹp tăng lên thì cường độ của các cực đại chính cũng tăng và trở nên hẹp hơn, khi đó, các cực đại phụ giảm theo cường độ tương đối so với các cực đại chính. Số cực đại phụ bằng  $N-2$ , trong đó  $N$  là số khe hẹp. Hiện tượng giao thoa không thể sinh ra hoặc làm biến mất năng lượng mà chỉ đơn thuần là phân bố lại cường độ ánh sáng trên màn quan sát.



Đối với bất cứ giá trị nào của  $N$ , sự suy giảm cường độ các cực đại về phía bên trái và bên phải được chỉ ra bởi đường nét đứt. Điều này là do ảnh nhiễu xạ gây ra bởi các khe hẹp được đề cập trong chương 38 tiếp theo.

**Hình 37.6:** Sự phụ thuộc của cường độ ánh sáng vào hiệu quang lộ giữa hai sóng khi màn quan sát được đặt rất xa so với khoảng cách giữa hai khe hẹp ( $L \gg d$ ).

**Hình 37.7:** Hình ảnh giao thoa nhiều khe. Khi số khe  $N$  tăng lên thì cực đại chính (các đỉnh cao nhất trong mỗi biểu đồ) càng hẹp hơn nhưng vẫn giữ nguyên vị trí và số lượng cực đại phụ tăng lên.

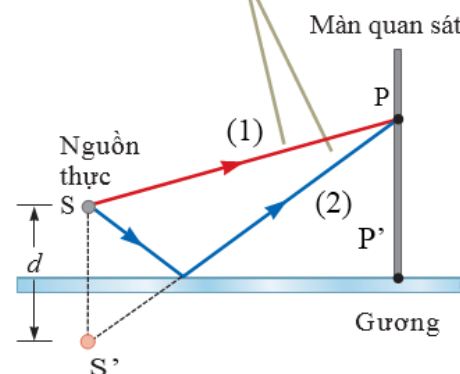
### 37.4 Gương LLOYD

Trong phương pháp giao thoa khe Young đã tạo được hai nguồn sáng kết hợp xuất phát từ một nguồn duy nhất. Phương pháp đơn giản khác cũng tạo được hai nguồn kết hợp là dùng gương Lloyd. Một nguồn sáng điểm S được đặt gần một gương phẳng và một màn quan sát được đặt ở xa và vuông góc với gương phẳng như hình 37.8. Ánh sáng đến điểm quan sát P trên màn có thể được truyền trực tiếp từ nguồn S hoặc có thể được truyền từ S tới gương, bị phản xạ rồi tới P. Tia phản xạ có thể được xem như xuất phát từ nguồn S' là ảnh của S qua gương phẳng. S và S' là hai nguồn sáng kết hợp, tương tự như hai khe Young. Tuy nhiên, những điểm theo lý thuyết (thí nghiệm khe Young) được dự đoán là điểm sáng thì thực tế lại là điểm tối và ngược lại. Điều này chứng tỏ hai nguồn S và S' ngược pha với nhau.

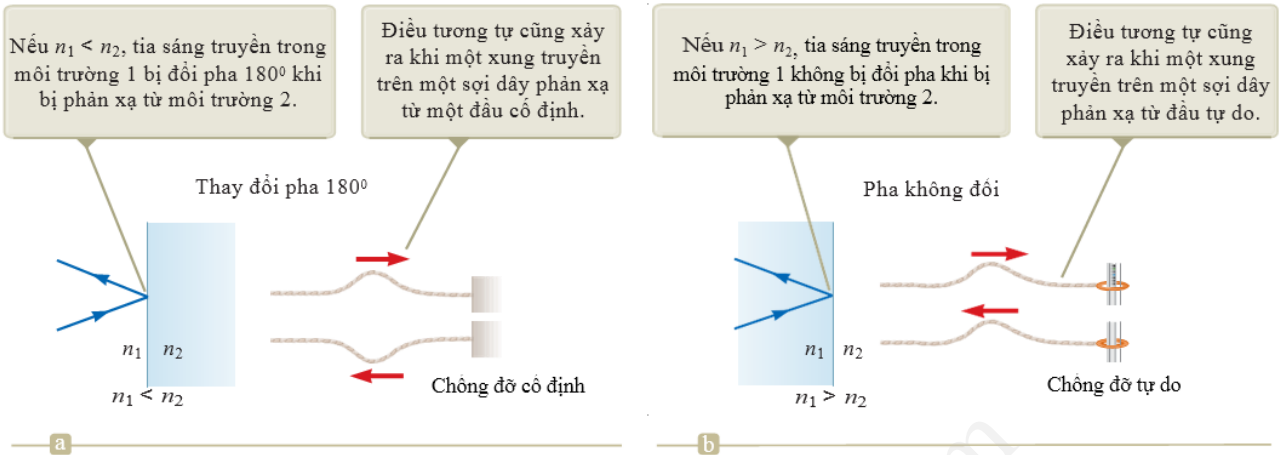
Xét điểm P' là giao giữa gương và màn quan sát (P' cách đều S và S'). Nếu sự khác biệt về quãng đường dẫn đến sự khác biệt về pha thì chúng ta sẽ thấy một vân sáng tại P' (hiệu quang lộ bằng không), tương ứng với vân sáng trung tâm cho hệ giao thoa hai khe. Thay vào đó, một vân tối được quan sát tại P'. Vậy, khi phản xạ trên bề mặt gương, tia phản xạ ngược pha với tia tới hay quang lộ của tia phản xạ tăng thêm nửa bước sóng.

Xung phản xạ trên một sợi dây đàn hồi trải qua sự thay đổi pha  $180^\circ$  khi bị phản xạ từ ranh giới của một sợi dây dày hoặc một trụ chống đỡ cố định, nhưng không có sự thay đổi pha khi xung được phản xạ từ sợi dây mảnh hoặc một trụ chống đỡ cố định. Tương tự, một sóng điện từ bị thay đổi pha  $180^\circ$  (hay  $\pi$  rad) khi bị phản xạ từ môi trường có chiết suất lớn hơn chiết suất của môi trường tới (hình 37.9a). Nếu phản xạ từ môi trường có chiết suất nhỏ hơn chiết suất của môi trường tới thì tia phản xạ không bị thay đổi pha (hình 37.9b). Tương tự như một xung trên một sợi dây bị phản xạ từ một cột chống đỡ.

Hình ảnh giao thoa hiện trên màn quan sát là sự kết hợp giữa tia sáng trực tiếp (1) và tia phản xạ (2).



**Hình 37.8:** Gương Lloyd.  
Tia phản xạ bị đổi pha  $180^\circ$ .



**Hình 37.9:** So sánh sự phản xạ của sóng ánh sáng và sóng trên dây:  
(a) Sự biến đổi pha do phản xạ, (b) Sự biến đổi pha do đổi pha.

## 37.5 Giao thoa của màn mỏng

### 37.5.1 Giao thoa do phản xạ

Màu sắc mà chúng ta nhìn thấy được từ ánh sáng mặt trời đập trên một bong bóng xà phòng hoặc trên ván dầu là kết quả giao thoa của sóng ánh sáng phản xạ từ mặt ngoài và mặt trong của một bản mỏng trong suốt.

Hình 37.10 cho thấy một bản mỏng trong suốt có độ dày không đổi  $t$  và có chiết suất  $n$ , được ánh sáng có bước sóng  $\lambda$  trong không khí tới từ một nguồn điểm ở xa vào màn mỏng, khi đó bước sóng ánh sáng trong màn mỏng được xác định:

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

*Nhắc lại:*

- Một sóng điện từ lan truyền từ một môi trường chiết suất  $n_1$  sang môi trường chiết suất  $n_2$  sẽ chịu một biến đổi pha  $180^\circ$  nếu như phản xạ khi  $n_2 > n_1$ .
- Không có sự biến đổi pha trong sóng phản xạ nếu  $n_2 < n_1$ .
- Bước sóng ánh sáng trong môi trường chiết suất  $n$  là:  $\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$ , trong đó:  $\lambda$  là bước sóng ánh sáng trong chân không.

Giả sử các tia sáng lan truyền trong không khí hầu như vuông góc với hai bề mặt của màng mỏng. Tia phản xạ 1 bị phản xạ tại mặt trên (A) trải qua sự biến đổi pha  $180^\circ$  so với tia tới. Tia 2 bị phản xạ tại bề mặt màng dưới (B) không bị thay đổi pha vì chiết suất của không khí nhỏ hơn màng mỏng. Vì vậy, tia phản xạ 1 bị lệch pha  $180^\circ$  so với tia phản xạ 2, khi đó hiệu quang lộ giữa chúng là  $\lambda_n/2$ . Tuy nhiên, tia phản xạ 2 đi chuyển xa hơn tia

phản xạ 1 một đoạn là  $2t$  trước khi các tia này tái hợp tại mặt trên (A) của màng mỏng. Để cho các sóng cuối cùng đúng cùng pha với nhau và do đó có giao thoa tăng cường nhau thì hiệu quang lộ  $2t$  phải bằng một số nguyên lần  $\lambda_n/2$ . Như vậy, nếu trên màng quan sát thấy cực đại giao thoa (vân sáng) thì:

$$2t = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_n, \text{ với } m = 0, 1, 2, \dots \quad (37.16)$$

Thay thế  $\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$  vào phương trình (37.16) chúng ta tìm được điều kiện để có cực đại giao thoa trong mắt người quan sát:

$$2nt = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda, \text{ với } m = 0, 1, 2, \dots \quad (37.17)$$

Tương tự như vậy đối với những sóng cuối cùng ngược pha với nhau một cách chính xác sẽ xuất hiện sự giao thoa hoàn toàn triệt tiêu nhau thì hiệu quang lộ  $2t$  phải bằng không hoặc một số nguyên lần bước sóng  $\lambda_n$  trong màng mỏng. Như vậy, khi quan sát được cực tiểu giao thoa (vân sáng) thì:

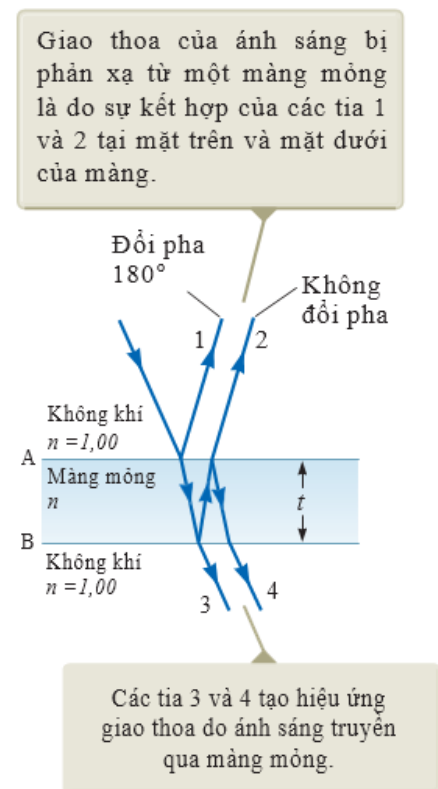
$$2nt = \lambda m, \text{ với } m = 0, 1, 2, \dots \quad (37.18)$$

Các yếu tố ảnh hưởng tới sự giao thoa:

- Pha có thể sẽ bị đảo ngược trong sự phản xạ
- Hiệu quang lộ

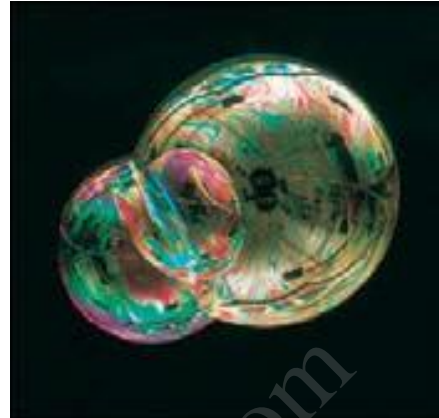
*Chú ý:*

- Các điều kiện sẽ thỏa mãn nếu môi trường ở bề mặt trên của màng mỏng giống với môi trường ở bề mặt dưới của nó. Nếu có những môi trường khác nhau, những điều kiện này sẽ đúng nếu chiết suất cả hai môi trường nhỏ hơn  $n$ .
- Nếu màng mỏng giữa hai môi trường, một môi trường có chiết suất nhỏ hơn màng mỏng và môi trường còn lại có chiết suất cao hơn chiết suất màng mỏng, những điều kiện cho giao thoa cực đại và giao thoa cực tiểu sẽ bị đảo ngược.
- Với các vật liệu khác nhau trên 2 mặt của màng, có thể có một sự biến đổi pha  $180^\circ$  tại cả hai bề mặt hoặc không bề mặt nào, do đó phải



**Hình 37.10:** Giao thoa qua màn mỏng.

kiểm tra hiệu quang lộ và biến đổi pha.

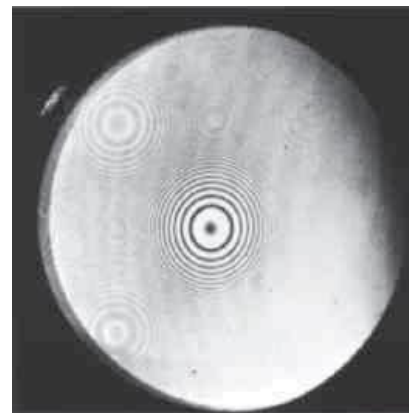
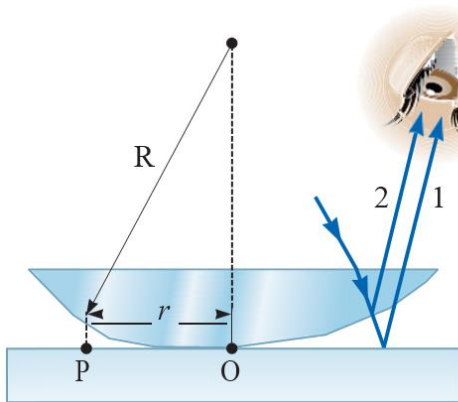


**Hình 37.11:** Giao thoa qua màng mỏng – bong bóng xà phòng.

(a) Một màn mỏng dầu nổi trên mặt nước được thể hiện bằng các hoa văn màu sắc khi ánh sáng trắng tương tác với màn mỏng, (b) Giao thoa qua bong bóng xà phòng, màu sắc có được là do sự giao thoa giữa các tia sáng phản chiếu từ bên trong và bên ngoài bề mặt của màn xà phòng.

### 37.5.2 Vân tròn Newton

Một phương pháp khác để quan sát giao thoa sóng ánh sáng là đặt một thấu kính phẳng – lồi lên trên tấm thủy tinh phẳng như hình 37.12a. Với sự sắp xếp này, lớp không khí giữa tấm thủy tinh và mặt cong của thấu kính tạo thành một bản mỏng không khí có bề dày thay đổi. Điểm quan sát M nằm trên bề mặt cong của thấu kính, cách quang trục của thấu kính một khoảng  $r$  và cách tấm thủy tinh một khoảng  $d$ . Nếu bán kính mặt cong  $R$  của thấu kính rất lớn so với khoảng cách  $r$  và hệ thống được quan sát từ phía trên, gần với trục chính của thấu kính thì ảnh giao thoa quan sát được là các vòng sáng, tối xen kẽ nhau (vân giao thoa quan sát bằng ánh sáng phản xạ với cách bố trí như hình 37.12b là những đường tròn đồng tâm). Ảnh giao thoa này được Newton khám phá ra nên được gọi là vân tròn Newton.



a

b

**Hình 37.12:** Vân tròn Newton: (a) Thí nghiệm, (b) Hình ảnh vân tròn.

Các vân tròn sáng, tối quan sát được là do hiệu ứng giao thoa của hai chùm tia phản xạ 1 và 2. Chùm tia 1 phản xạ tại bề mặt cong của thấu kính. Chùm tia này không bị đổi pha, vì chiết suất của không khí nhỏ hơn chiết suất của chất làm thấu kính. Chùm tia 2 phản xạ tại bề mặt tấm thủy tinh có chiết suất lớn hơn chiết suất không khí nên pha được tăng thêm  $180^\circ$ , hay quang lộ tăng thêm  $\lambda/2$ . Bán kính của các vân sáng, vân tối phụ thuộc vào bán kính mặt cong  $R$  và bước sóng  $\lambda$ .

Vân sáng: bề dày của lớp không khí giữa hai bản thỏa mãn:

$$d = (2m + 1) \frac{\lambda}{4} \quad (37.19)$$

Vân tối: bề dày của lớp không khí giữa hai bản thỏa mãn:

$$d = m \frac{\lambda}{2} \quad (37.20)$$

Các vân giao thoa là các vòng tròn tại tâm  $O$  ( $d \ll R$ ). Bán kính của các vân tối thỏa mãn điều kiện:

$$r_m^2 = R^2 - (R - d_m)^2 \approx 2Rd_m \quad (37.21)$$

Thay thế:  $d_m = m \frac{\lambda}{2}$  vào biểu thức (37.21), ta được:

$$r_m \approx \sqrt{m\lambda R/n} \quad (37.22)$$

**Chiến thuật giải bài toán với giao thoa của màng mỏng:** Khi giải bài toán giao thoa của màng mỏng cần chú ý một số vấn đề sau đây:

**Đặc điểm:** Nhận dạng nguồn sáng, vị trí của người quan sát.

**Phân loại:** Nhận dạng màng mỏng gây ra giao thoa

**Phân tích:**

- Loại giao thoa xuất hiện được xác định bởi mối quan hệ giữa tỷ lệ bước sóng phản chiếu bên trên và bên dưới bề mặt của màng mỏng.
- Độ lệch pha thay đổi dựa vào hiệu quang lộ hoặc các biến đổi pha xảy ra nếu như phản xạ. Cả hai nguyên nhân cần được xem xét khi xác định giao thoa cực đại và giao thoa cực tiểu.
- Xác định chiết suất của môi trường để xác định các phương trình đúng.



*Kiểm tra:* Kiểm tra kết quả tính toán cuối cùng xem có hợp lý hay không, ý nghĩa vật lý như thế nào.

### Bài tập mẫu 37.3: Giao thoa của màng xà phòng

Hãy tính bề dày nhỏ nhất của màng bong bóng xà phòng gây ra cực đại giao thoa do sự phản xạ ánh sáng có bước sóng 600nm trong không khí. Biết chiết suất của màng xà phòng là 1,33.

#### Giải

Hãy tưởng tượng rằng lớp màng mỏng trong hình 37.10 là xà phòng, còn hai phía là không khí.

Độ dày tối thiểu của màng mỏng để ánh sáng phản xạ từ màng mỏng gây ra cực đại giao thoa (công thức (37.17)), tương ứng với  $m = 0$  là:

$$2nt = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \Rightarrow t = \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda}{2n} = \frac{\lambda}{4n} = \frac{600}{4 \cdot 1,33} = 113 \text{ nm}$$

Như vậy, độ dày nhỏ nhất của màng bong bóng xà phòng là 113 nm thì ánh sáng phản xạ từ màng mỏng gây ra cực đại giao thoa.

**Mở rộng:** Nếu màng mỏng dày gấp đôi ( $t = 226 \text{ nm}$ ) thì có xuất hiện cực đại giao thoa hay không?

Để trả lời cho câu hỏi trên thì cần tính giá trị bề dày của màng mỏng mà tại đó có xảy ra cực đại giao thoa. Sử dụng công thức (37.17) để xác định bề dày màng mỏng:

$$t = \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda}{2n} = (2m + 1)\frac{\lambda}{4n}, \text{ với } m = 0, 1, 2, \dots$$

Ứng với  $m = 0 \rightarrow t = 113 \text{ nm}$ ,  $m = 1 \rightarrow t = 338 \text{ nm}$

Vậy: không xuất hiện cực đại giao thoa khi độ dày màng mỏng tăng gấp đôi.

### Bài tập mẫu 37.4: Lớp phủ không phản chiếu cho pin Mặt trời

Pin Mặt trời – thiết bị tạo ra điện khi tiếp xúc với ánh sáng mặt trời, thường được phủ bởi một lớp silicon monoxide ( $\text{SiO}_2$ ,  $n = 1,45$ ) mỏng, trong suốt để giảm tối thiểu sự mất năng lượng do phản xạ từ bề mặt. Giả sử một pin Mặt trời silicon ( $n = 3,5$ ) được phủ một lớp silicon monoxide mỏng (hình 37.12a). Hãy xác định độ dày tối thiểu của lớp silicon monoxide cần tạo ra để sự phản xạ từ ánh sáng khả kiến có bước sóng 550 nm là nhỏ nhất.

#### Giải



**Phân tích:** Hình 37.12a biểu diễn đường đi của các tia sáng trong màng SiO dẫn đến sự giao thoa của ánh sáng phản xạ. Dựa trên cấu trúc hình học của lớp SiO thì trường hợp này là giao thoa của màng mỏng.

Ánh sáng phản xạ từ lớp silicon monoxide là nhỏ nhất khi tia sáng 1 và 2 (hình 37.12a) thỏa mãn điều kiện cực tiểu giao thoa. Trong trường hợp này, cả hai tia đều trải qua sự thay đổi pha  $180^\circ$  trước khi xảy ra giao thoa: tia 1 từ mặt trên của lớp SiO, tia 2 từ mặt dưới của lớp SiO.

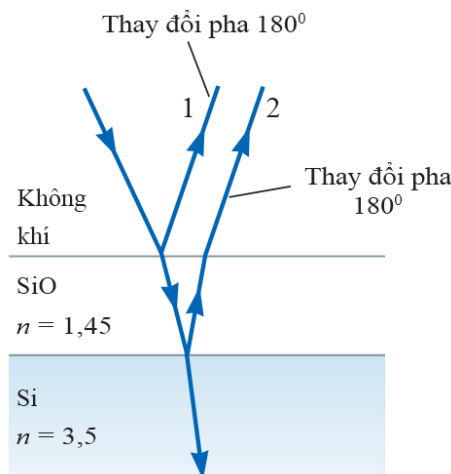
Để sự phản xạ là nhỏ nhất thì lớp silicon monoxide cần tạo ra có hiệu quang lộ phải bằng  $\lambda_n/2$ , với  $\lambda_n$  là bước sóng của ánh sáng trong màng SiO. Vì vậy,  $2nt = \lambda/2$ , trong đó  $\lambda$  là chiều dài bước sóng trong không khí và  $n$  là chiết suất của SiO. Giải để tìm  $t$  và thay số vào chúng ta thu được

$$t = \frac{\lambda}{4n} = \frac{550}{4 \cdot 1,45} = 94,8 \text{ nm}$$

**Kết luận:**

Đối với pin Mặt trời không được phủ một lớp phản xạ thì tổn thất năng lượng lên đến 30%, nhưng khi phủ lớp phản xạ SiO thì giá trị này được giảm xuống còn khoảng 10%. Sự suy giảm đáng kể mất mát năng lượng này làm tăng hiệu suất của pin, vì sự phản xạ giảm có nghĩa là lượng ánh sáng mặt trời đi vào silicon tạo ra các hạt mang điện trong pin. Không có lớp phủ nào được tạo ra mà không xảy ra hiện tượng phản xạ một cách tuyệt đối là do độ dày của lớp phản xạ phụ thuộc vào bước sóng của ánh sáng chiếu vào và ánh sáng tới là ánh sáng trắng nên giá trị của nó nhận một dải các giá trị

Ống kính được sử dụng trong máy ảnh và một số công cụ quang học khác thường được phủ một lớp màng mỏng nhằm giảm hoặc loại bỏ sự phản xạ không mong muốn để tăng cường sự truyền sáng qua thấu kính. Ống kính của máy ảnh trong hình 37.12b có một lớp phủ (độ dày khác nhau) để giảm thiểu sự phản xạ của sóng ánh sáng có bước sóng khác nhau nằm trong vùng khả kiến. Kết quả là một lượng nhỏ ánh sáng bị phản xạ bởi thấu kính có giá trị nằm trong vùng ngoài cùng của quang phổ và thường xuất hiện màu đỏ tím.



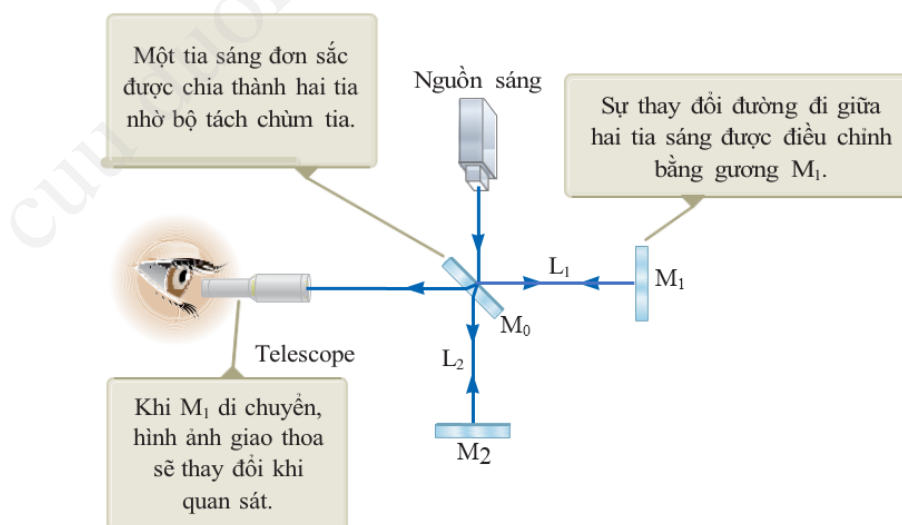
**Hình 37.13:** (a) Sự mất mát năng lượng từ pin Mặt trời là nhỏ nhất bằng cách phủ bề mặt của pin một lớp silicon monoxide mỏng, (b) Ánh sáng phản chiếu từ ống kính của máy ảnh có màu đỏ tím.

### 37.6 Giao thoa kế Michelson

Giao thoa kế được phát minh bởi nhà Vật lý người Mỹ A. A. Michelson. Giao thoa kế chia ánh sáng làm hai phần và sau đó tái kết hợp các phần để tạo thành ảnh giao thoa. Thiết bị có thể được sử dụng để đo bước sóng hoặc độ dài với độ chính xác cao.

**Sơ đồ nguyên lý:** Một tia sáng được chia thành hai tia bởi gương  $M_0$ . Gương được bố trí nghiêng  $45^\circ$  so với chùm tia tới. Gương đóng vai trò là bộ tách chùm tia, nó truyền qua một nửa tia sáng và phản xạ phần còn lại. Tia phản xạ đi về phía gương  $M_1$  (gương  $M_1$  có thể di chuyển được) cách  $M_0$  một đoạn  $L_1$ . Tia sáng truyền qua đi về phía gương  $M_2$  cách  $M_0$  một đoạn  $L_2$ . Sau khi phản xạ trên  $M_1$  và  $M_2$ , các tia phản xạ tái kết hợp tại  $M_0$  và hình thành ảnh giao thoa. Ảnh giao thoa được quan sát bởi kính ngắm Telescope.

**Nguyên lý hoạt động:** Điều kiện giao thoa cho hai tia sáng được xác định bởi hiệu quang lộ giữa chúng. Khi dịch chuyển gương  $M_1$  song song với trục chính của nó và dọc theo tia sáng ra xa một đoạn  $\lambda/4$  thì hiệu quang lộ của tia phản xạ tăng thêm  $\lambda/2$  và hệ vân giao thoa dịch chuyển đi một nửa khoảng vân. Độ dài của bước sóng ánh sáng được đo bằng cách đếm số vân dịch chuyển cho mỗi lần dịch gương  $M_1$ .

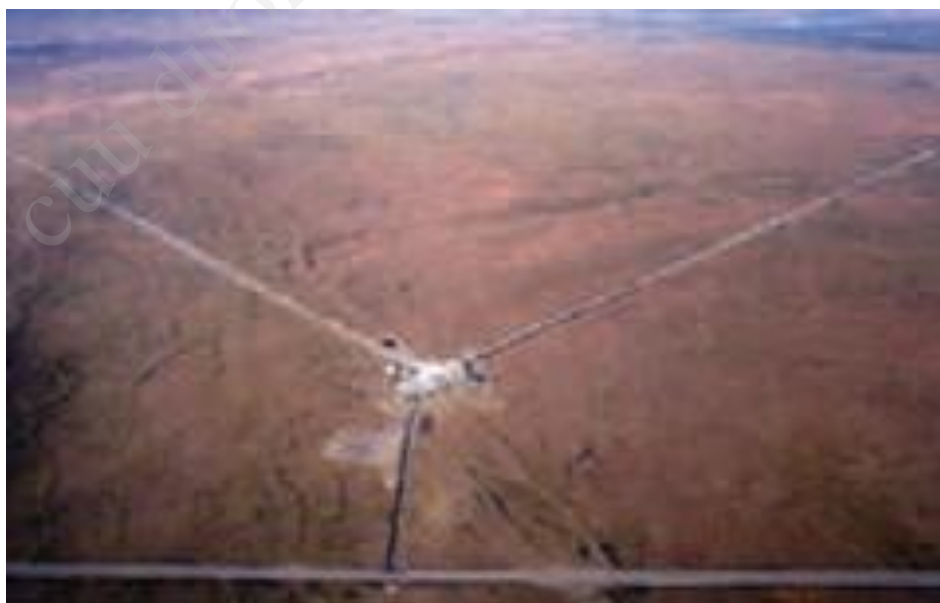


**Hình 37.14:** Giao thoa kế Michelson cho thấy đường đi của ánh sáng bắt đầu từ nguồn sáng. Gương  $M_0$  tách ánh sáng thành 2 chùm phản xạ từ các gương  $M_1$  và  $M_2$  trở về  $M_0$  và sau đó đến kính ngắm Telescope.

*Ứng dụng:* Giao thoa kế Michelson đã được sử dụng để bác bỏ ý tưởng Trái đất chuyển động xuyên qua một vòng trời. Một số ứng dụng hiện đại, bao gồm: Quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) và đài quan sát sóng hấp dẫn dùng giao thoa kế Laser (LIGO).

- Quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier: Được dùng để tạo một phổ với độ phân giải cao trong một khoảng thời gian rất ngắn. Kết quả là một tập hợp các dữ liệu liên quan cường độ sáng phụ thuộc vào vị trí của gương. Nó được gọi là ảnh giao thoa (interferogram). Ảnh giao thoa có thể được phân tích bởi máy tính để cung cấp tất cả các thành phần của bước sóng. Quá trình này được gọi là biến đổi Fourier.
- Đài quan sát sóng hấp dẫn dùng giao thoa kế Laser: Thuyết tương đối rộng tiên đoán sự tồn tại của sóng hấp dẫn. Theo lý thuyết của Einstein, trọng lực tương đương với một biến đổi của không gian, những biến đổi này có thể lan truyền trong không gian. Thiết bị LIGO được thiết kế để phát hiện sự biến dạng tạo bởi một rung động khi nó băng qua gần Trái đất. Giao thoa kế sử dụng chùm tia laser với hiệu quang lộ khoảng vài km. Tại điểm cuối của một nhánh của giao thoa kế, một gương được gắn vào một con lắc lớn. Khi một sóng hấp dẫn đi qua, con lắc di chuyển và tạo ảnh giao thoa tạo bởi các chùm tia laser từ hai nhánh sẽ thay đổi.

Nhờ giao thoa kế của Michelson mà ta so sánh được chiều dài của *mét mẫu* so với bước sóng ánh sáng, là cơ sở để định nghĩa *mét* qua bước sóng ánh sáng. Cũng chính nhờ giao thoa kế của mình, năm 1881, Michelson đã tiến hành thí nghiệm chứng tỏ rằng vận tốc ánh sáng trong chân không là bằng nhau và bằng  $c = 3.10^8$  m/s trong tất cả các hệ qui chiếu quán tính – là một cơ sở thực nghiệm để Einstein xây dựng *lý thuyết tương đối* năm 1907.



**Hình 37.15:** Đài quan sát sóng hấp dẫn bằng giao thoa kế Laser (LIGO) gần Richland, Washington. Chú ý hai nhánh vuông góc của giao thoa kế Michelson.

cuu duong than cong . com

## Tóm tắt chương 37

### Định nghĩa

**Giao thoa ánh sáng** xuất hiện khi hai sóng (hoặc nhiều hơn) chồng lấp lên nhau tại một điểm nhất định. Hình ảnh giao thoa được quan sát khi các nguồn phát ánh sáng là nguồn kết hợp và có bước sóng xác định.

**Cường độ** tại một điểm trong mô hình giao thoa hai khe được xác định:

$$I = I_{\max} \cos^2 \left( \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \right) \quad (37.14)$$

trong đó,  $I_{\max}$  là cường độ cực đại trên màn quan sát.

### Phân tích mô hình và giải quyết vấn đề

Thí nghiệm giao thoa khe Young đóng vai trò như một nguyên mẫu cho hiện tượng giao thoa liên quan đến bức xạ điện từ. Trong thí nghiệm này, hai khe cách nhau một khoảng  $a$  được chiếu sáng bởi nguồn ánh sáng đơn sắc. Điều kiện cho vân sáng (cực đại giao thoa) là:

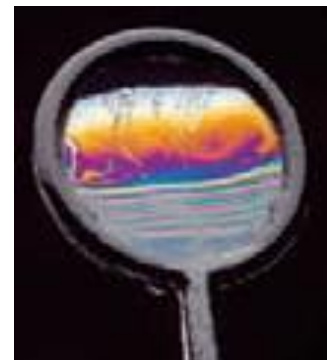
$$\delta = d \sin \theta = m\lambda, \text{ với } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (37.2)$$

Điều kiện cho vân tối (cực tiểu giao thoa) là:

$$\delta = d \sin \theta = \left( m + \frac{1}{2} \right) \lambda, \text{ với } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (37.3)$$

### Câu hỏi lý thuyết chương 37

- Một chùm ánh sáng đơn sắc có bước sóng 500 nm chiếu đến hai khe hẹp cách nhau 2 m. Góc tạo bởi vân sáng thứ hai so với vân sáng trung tâm là?  
(a) 0,05 rad  
(b) 0,025 rad  
(c) 0,1 rad  
(d) 0,25 rad  
(e) 0,01 rad
- Một màn bong bóng xà phòng được dựng thẳng đứng trong không khí và quan sát hiện tượng phản xạ ánh sáng như trong hình 37.16. Giải thích tại sao màn bong bóng xà phòng tối ở phần đầu?



Hình 37.16

3. (a) Trong thí nghiệm giao thoa khe Young, tại sao chúng ta dùng ánh sáng đơn sắc? (b) Nếu sử dụng ánh sáng trắng thì hệ vân giao thoa trên màn sẽ thay đổi như thế nào?
4. Giải thích tại sao khi đặt hai đèn pin gần nhau thì không tạo ra hệ vân giao thoa trên màn quan sát?

### Bài tập chương 37

**37.1.** Người ta thực hiện giao thoa ánh sáng đơn sắc bằng hai khe Young cách nhau 0,32 mm với ánh sáng có bước sóng  $\lambda = 500$  nm. Hãy xác định số cực đại giao thoa có được khi thay đổi góc lệch  $-30^\circ < \theta < 30^\circ$ .

ĐS: 641 cực đại

**37.2.** Trong thí nghiệm Young về hiện tượng giao thoa ánh sáng, nguồn sáng đơn sắc có bước sóng 530 nm. Khoảng cách giữa hai khe hẹp  $S_1$  và  $S_2$  là 0,3 mm. Vân giao thoa được hứng trên một màn ảnh đặt sau hai khe, song song với chúng và cách chúng 2 m. Xác định khoảng cách giữa vân tối thứ nhất và thứ hai.

ĐS: 3,53 mm

**37.3.** Chiếu một chùm tia laser vào hai khe hẹp cách nhau 0,2 mm, khoảng cách từ hai khe đến màn quan sát là 5 m. Xảy ra hiện tượng giao thoa trên màn quan sát. Nếu góc hợp bởi vân sáng trung tâm và vân sáng bậc 1 là  $0,181^\circ$  thì giá trị bước sóng của nguồn sáng laser là bao nhiêu.

ĐS: 632 nm

**37.4.** Thí nghiệm giao thoa khe Young được thực hiện với đèn laser argon (màu xanh lam). Khoảng cách giữa hai khe là 0,5 mm, khoảng cách từ hai khe đến màn quan sát là 3,3 m. Vân sáng đầu tiên cách vân sáng trung tâm một khoảng là 3,4 mm. Hãy xác định giá trị bước sóng của ánh sáng laser argon.

ĐS: 515 nm

**37.5.** Tại sao trường hợp sau đây không thể xảy ra? Hai khe hẹp trên một tấm kim loại đặt cách nhau 8 mm. Một chùm sóng cực ngắn được chiếu vuông góc đến tấm kim loại đi qua hai khe và được hứng ảnh trên màn quan sát. Cho biết bước sóng của bức xạ là  $1,00 \text{ cm} \pm 5\%$ , nhưng chúng ta muốn đo chính xác hơn giá trị của bước sóng. Di chuyển đầu dò sóng cực ngắn dọc theo đường thẳng song song với màn quan sát để khảo sát hình ảnh giao thoa, chúng ta đo được vị trí của vân sáng bậc 1, từ đó xác định được chính xác giá trị bước sóng của nguồn bức xạ.

ĐS:  $\sin \theta_{s,ng} = 1,25$  (không thể xảy ra)

**37.6.** Hai khe Young  $S_1S_2$  cách nhau một khoảng  $d$  được chiếu bằng ánh sáng có bước sóng là 620 nm. Vân sáng đầu tiên (tính từ vân sáng trung tâm) được quan sát tại một góc  $15^\circ$  so với phương ngang. Xác định khoảng cách  $d$  giữa hai khe.

ĐS:  $240\text{ }\mu\text{m}$

**37.7.** Thực hiện thí nghiệm Young về giao thoa ánh sáng với các thông số sau: khoảng cách giữa hai khe  $0,1\text{ mm}$ , ánh sáng được chiếu có bước sóng  $589\text{ nm}$ , khoảng cách từ hai khe đến màn quan sát  $4\text{ m}$ .

(a) Xác định hiệu quang lộ của hai sóng tới từ mỗi khe tại vị trí vân sáng bậc ba.

(b) Xác định hiệu quang lộ của hai sóng tới từ mỗi khe tại vị trí vân tối thứ ba.

ĐS: (a)  $240\text{ }\mu\text{m}$ , (b)  $1,47\text{ }\mu\text{m}$

**37.8.** Một khe sáng đơn sắc  $S$  phát ra ánh sáng có bước sóng  $442\text{ nm}$  chiếu vào hai khe  $S_1$  và  $S_2$  cách nhau  $0,4\text{ mm}$ . Xác định khoảng cách xa nhất đặt màn quan sát, sao cho vị trí của hai vân tối đối diện với hai khe và chỉ có một vân sáng ở giữa chúng.

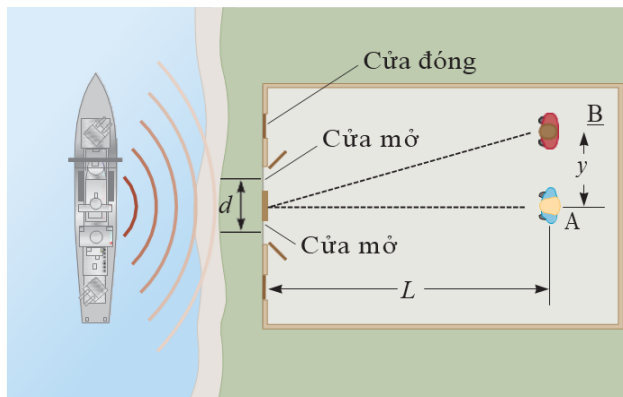
ĐS:  $36,2\text{ cm}$

**37.9.** Hai loa của một thùng nổ cách nhau  $35\text{ cm}$ . Một bộ dao động điện từ tạo ra dao động cho hai loa với cùng tần số là  $2\text{ kHz}$ . Xác định góc được tạo bởi đường thẳng vuông góc tại trung điểm của đường nối hai loa để người quan sát nghe được âm có cường độ lớn nhất, nhỏ nhất? Biết tốc độ truyền âm là  $340\text{ m/s}$ .

ĐS: âm có cường độ lớn nhất:  $0^\circ; 29,1^\circ; 76,3^\circ$

âm có cường độ nhỏ nhất:  $14,1^\circ; 46,8^\circ$

**37.10.** Một nhà kho ven sông có một sổ cánh cửa nhỏ hướng ra bờ sông. Hai trong số các cửa này được mở (hình 37.17). Các bức tường của nhà kho được lót bằng vật liệu hấp thụ âm. Hai người đứng cách hai cánh cửa tại khoảng cách  $L = 150\text{ m}$ . Người A đứng dọc theo một đường thẳng đi qua điểm giữa hai cánh cửa, người B đứng cách người A một khoảng  $y = 20\text{ m}$ . Một chiếc tàu ven sông phát ra tiếng còi. Để người A nghe được âm thanh to và rõ, còn người B thì không nghe được âm thì khoảng cách giữa hai cánh cửa mở phải bằng bao nhiêu? Biết bước sóng của nguồn âm là  $3\text{ m}$  và giả sử người B đang đứng ở vị trí cực tiểu đầu tiên.



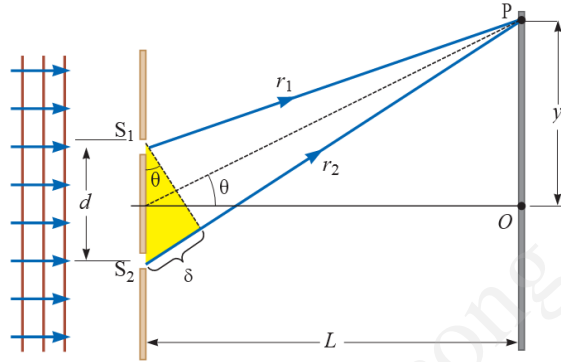
Hình 37.17

ĐS:  $11,3\text{ m}$



**37.11.** Thực hiện thí nghiệm giao thoa qua hai khe (hình 37.18) với:  $d = 0,15 \text{ mm}$ ,  $L = 140 \text{ cm}$ ,  $\lambda = 643 \text{ nm}$ ,  $y = 1,8 \text{ cm}$ . Hãy xác định:

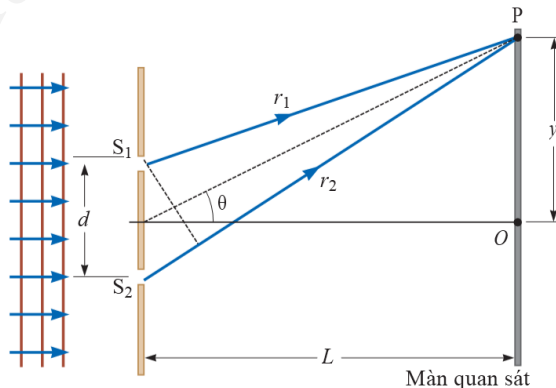
- (a) Hiệu quang lộ  $\delta$  của sóng từ hai khe tại điểm P.  
 (b) Mối quan hệ giữa hiệu quang lộ và bước sóng  $\lambda$ .  
 (c) Tại điểm P là điểm cực đại, cực tiểu hay trạng thái trung gian? Giải thích?  
 ĐS: (a)  $1,93 \mu\text{m}$ , (b)  $\delta = 3\lambda$ , (c) cực đại



Màn quan sát **Hình 37.18**

**37.12.** Thực hiện giao thoa ánh sáng như hình 37.19 (hình vẽ không theo tỷ lệ):  $L = 1,2 \text{ m}$ ,  $d = 0,12 \text{ mm}$ ,  $\lambda = 500 \text{ nm}$ . Hãy xác định độ lệch pha giữa hai sóng tới P khi:

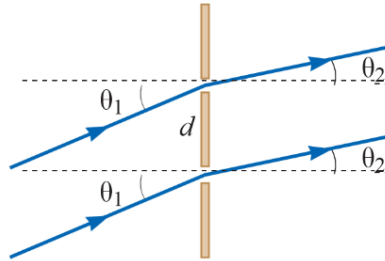
- (a)  $\theta = 0,5^\circ$   
 (b)  $y = 5 \text{ mm}$   
 (c) Giá trị của  $\theta$  là bao nhiêu khi độ lệch pha là  $0,333 \text{ rad}$  ?  
 (d) Giá trị của  $\theta$  là bao nhiêu khi hiệu quang lộ  $\delta = \lambda/4$



Màn quan sát **Hình 37.19**

ĐS: (a)  $13,2 \text{ rad}$ , (b)  $6,28 \text{ rad}$ , (c)  $1,27 \cdot 10^{-2}$ , (d)  $5,97 \cdot 10^{-2}$

**37.13.** Các tia sáng kết hợp có bước sóng  $\lambda$  chiếu vào hai khe hẹp cách nhau một khoảng  $d$ , với góc tới  $\theta_1$  theo phương ngang (hình 37.20). Các tia ló ra khỏi hai khe một góc  $\theta_2$  tương ứng.



**Hình 37.20**

Hình ảnh giao thoa cực đại tạo thành bởi các tia sáng được hứng trên màn quan sát đặt cách hai khe khá xa. Hãy chứng minh rằng góc  $\theta_2$  được xác định như sau:

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left( \sin \theta_1 + \frac{m\lambda}{d} \right)$$

**37.14.** Hai khe hẹp đặt cách nhau 0,18 mm. Hình ảnh giao thoa được hứng trên màn chắn cách hai khe một khoảng 80 cm bằng ánh sáng có bước sóng 656,3 nm. Hãy xác định phần trăm cường độ cực đại tại khoảng cách  $y = 0,6$  cm so với cường độ cực đại tại vân sáng trung tâm.

ĐS: 96,8%

**37.15.** Cường độ ánh sáng tại một điểm giao thoa hai khe trên màn là 64,0% giá trị cực đại.

(a) Xác định độ lệch pha nhỏ nhất (tính bằng rad) giữa hai nguồn.

(b) Biểu diễn độ lệch pha dưới dạng hiệu quang lộ đối với ánh sáng có bước sóng 486,1 nm.

ĐS: (a) 1,29 rad, (b)  $\delta = r_2 - r_1 = d \sin \theta = \frac{\phi \lambda}{2\pi}$

**37.16.** Một màng bong bóng xà phòng (chiết suất  $n = 1,33$ ) bay trong không khí, lớp bong bóng dạng hình cầu, bề dày 120 nm.

(a) Bước sóng của ánh sáng nhìn thấy được phản xạ mạnh nhất là?

(b) Xác định độ dày nhỏ nhất của màng xà phòng (lớn hơn 120 nm) để ánh sáng phản xạ là lớn nhất với cùng giá trị bước sóng.

ĐS: (a) 638 nm, (b) 360 nm

**37.17.** Cho một màng mỏng có chiết suất là 1,5. Chiếu một ánh sáng có bước sóng trong khoảng  $0,4 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,75 \mu\text{m}$ , góc chiếu tới là  $0^\circ$ . (a) Tìm độ dày  $t$  nhỏ nhất sao cho để ngoài ánh sáng màu vàng ( $\lambda = 0,58 \mu\text{m}$ ) cho cực đại giao thoa còn có giao thoa của một ánh sáng  $\lambda$  khác. (b) Xác định giá trị  $\lambda$  ở câu (a).

ĐS: (a)  $0,483 \mu\text{m}$ , (b)  $0,414 \mu\text{m}$

**37.18.** Một màng dầu mỏng ( $n = 1,25$ ) nằm trên mặt ván trơn và ẩm ướt. Ánh sáng đỏ có bước sóng  $640 \text{ nm}$  và ánh sáng xanh có bước sóng  $512 \text{ nm}$  bị phản xạ mạnh nhất. Coi các tia sáng được chiếu vuông góc đến màng mỏng. Xác định bề dày của lớp màng dầu?

ĐS:  $512 \text{ nm}$

**37.19.** Một vật liệu có chiết suất  $1,3$  được sử dụng để làm lớp phủ chống sự phản xạ trên bề mặt thủy tinh ( $n = 1,5$ ). Tính độ dày tối thiểu của lớp vật liệu này để sự phản xạ từ ánh sáng có bước sóng  $500 \text{ nm}$  là nhỏ nhất.

ĐS:  $96,2 \text{ nm}$

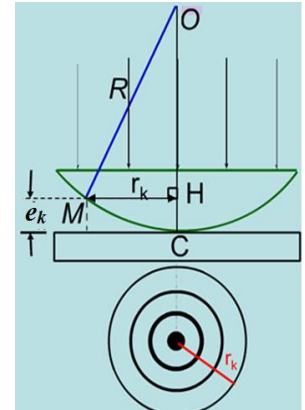
**37.20.** Một lớp màng mỏng  $\text{MgF}_2$  có chiết suất  $1,38$  được sử dụng để phủ trên ống kính của máy ảnh.

(a) Xác định ba bước sóng dài nhất được tăng cường.

(b) Có bất kỳ bước sóng ánh sáng nào trong quang phổ có thể nhìn thấy được không?

ĐS: (a)  $276 \text{ nm}$ ,  $138 \text{ nm}$ ,  $92,0 \text{ nm}$ , (b) không (thuộc vùng tử ngoại)

**37.21.** Hình 37.21 cho thấy mặt thấu kính có bán kính cong  $R$ , đặt trên một bản thủy tinh phẳng và được soi từ trên bằng ánh sáng có bước sóng  $\lambda$ . Hình cho thấy các vân giao thoa tròn (gọi là vân tròn Newton) xuất hiện, tương ứng với độ dày thay đổi  $e_k$  của lớp không khí giữa thấu kính và bản thủy tinh.



**Hình 37.21**

(a) Tìm bán kính  $r$  của các vân sáng, thừa nhận  $\frac{r}{R} \ll 1$

(b) Chứng minh rằng hiệu bán kính các vân sáng liên tiếp cho bởi biểu thức:

$$\Delta r = r_{k+1} - r_k \approx \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\lambda R}{k}}$$

(c) Chứng minh rằng diện tích giữa các vân sáng liên tiếp cho bởi biểu thức:

$$A = \pi \lambda R, \text{ với } k \gg 1$$

(chú ý rằng diện tích này không phụ thuộc vào  $k$ )