

## 1 Sóng ánh sáng

### 1.1 Ánh sáng là sóng điện từ

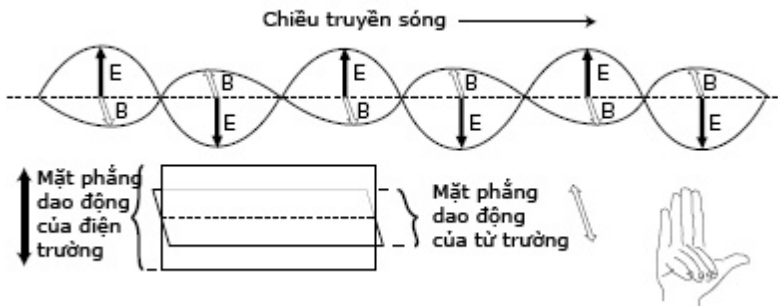
Chúng ta đã biết là ánh sáng có bản chất là sóng điện từ. Trong vùng khả kiến, chúng có bước sóng thay đổi từ 400 nm cho đến 700 nm.

Để hình dung cỡ độ lớn của bước sóng ánh sáng khả kiến các bạn có thể so sánh: bề dày của một màng xà phòng là vào khoảng 1  $\mu\text{m}$  (bằng 1000 nm), và bề dày của một sợi tóc là khoảng 10  $\mu\text{m}$  (bằng 10000 nm). Như vậy, bước sóng ánh sáng khả kiến dài nhất (700 nm, ứng với ánh sáng đỏ) cũng vẫn còn nhỏ hơn bề dày của một màng xà phòng, và nhỏ hơn một phần mười bề dày sợi tóc!

### 1.2 Đặc điểm của sóng phẳng đơn sắc

Chúng ta hãy cùng nhắc lại các tính chất căn bản của một sóng điện từ phẳng đơn sắc (tức là một chùm sáng song song đơn sắc):

- Các vector điện trường và từ trường vuông góc với nhau và vuông góc với phương truyền sóng. Hơn nữa, điện trường, từ trường và chiều truyền sóng tạo nên một tam diện thuận (Hình 1).
- Điện trường và từ trường luôn dao động cùng pha và cùng tần số (là tần số của sóng).
- Tỉ số giữa điện trường và từ trường bằng vận tốc ánh sáng trong chân không.



Hình 1. Nếu đặt bàn tay phải sao cho các ngón tay có thể quét từ vector điện trường sang vector từ trường theo góc nhỏ nhất giữa chúng, thì ngón cái sẽ hướng theo chiều truyền sóng.

### 1.3 Biểu thức của sóng phẳng đơn sắc

Biểu thức của điện trường và từ trường trong một sóng phẳng đơn sắc vào lúc  $t$  và ở tọa độ  $x$  (tính từ nguồn) là:

$$\begin{aligned} E &= E_m \sin(\omega t - kx) \\ B &= B_m \sin(\omega t - kx) \end{aligned} \quad (1)$$

trong đó  $\omega$  là tần số góc, còn  $k$  là số sóng:

$$\begin{aligned} \omega &= 2\pi f \\ k &= \frac{2\pi n}{\lambda} \end{aligned} \quad (2)$$

với  $f$  là tần số sóng,  $n$  là chiết suất môi trường truyền sóng, và  $\lambda$  là bước sóng ánh sáng trong chân không. Chúng ta cũng biết vận tốc truyền sóng trong môi trường bằng tỷ số giữa bước sóng ánh sáng trong môi trường và chu kỳ sóng. Hơn nữa, bước sóng trong môi trường chiết suất  $n$  thì giảm đi  $n$  lần so với bước sóng trong chân không, vì thế:

$$v = \frac{(\lambda/n)}{T} = \frac{\lambda}{n} f = \frac{2\pi}{k} \cdot \frac{\omega}{2\pi}$$

Vậy vận tốc truyền sóng được xác định từ:

$$v = \frac{\omega}{k} \quad (3)$$

### 1.4 Cường độ sáng

Theo định nghĩa, cường độ sáng là năng lượng sóng ánh sáng đi qua một đơn vị diện tích vuông góc với phương truyền sóng trong một đơn vị thời gian. Chúng ta có thể chứng tỏ được là cường độ sóng ánh sáng tỷ lệ với bình phương biên độ dao động của điện trường:

$$I = ka^2 \quad (4)$$

trong đó  $a$  là biên độ dao động của điện trường và  $k = 1/(2c\mu_0)$ , với  $c$  là vận tốc ánh sáng trong chân không, và  $\mu_0$  là độ từ cảm của chân không.

### 1.5 Nguyên lý chồng chất sóng

Để tìm ánh sáng tổng hợp tại nơi có nhiều sóng ánh sáng gặp nhau chúng ta cũng dùng nguyên lý chồng chất như đối với các sóng khác:

Khi các sóng đến gặp nhau thì từng sóng riêng biệt không bị các sóng khác làm cho thay đổi, còn tại nơi gặp nhau thì sóng tổng hợp bằng tổng tất cả các sóng tới.

## 2 Giao thoa của sóng ánh sáng

### 2.1 Giao thoa của hai sóng

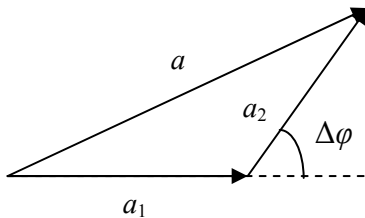
Xét hai sóng phẳng cùng tần số, cùng phương dao động đến gặp nhau. Tại nơi gặp nhau chúng có biểu thức dao động:

$$x_1 = a_1 \sin(\omega t)$$

$$x_2 = a_2 \sin(\omega t + \Delta\varphi)$$

Theo nguyên lý chồng chất sóng, biểu thức của dao động tổng hợp tại nơi gặp nhau là:

$$x = x_1 + x_2$$



Hình 2. Tổng hợp hai dao động bằng giản đồ vectơ.

Để tìm biên độ của dao động tổng hợp nói trên chúng ta hãy dùng phương pháp giản đồ vectơ như minh họa trên Hình 2.

Theo đó thì:

$$a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos \Delta\varphi$$

Hay nếu dùng cường độ sóng:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \cos \Delta\varphi \quad (5)$$

Nếu tại nơi gặp nhau hai dao động thành phần cùng pha với nhau ( $\Delta\varphi = 2m\pi$ ,  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) thì chúng sẽ tăng cường lẫn nhau để tạo một dao động có cường độ cực đại. Ngược lại, nếu tại đó hai dao động thành phần ngược pha với nhau ( $\Delta\varphi = (2m + 1)\pi$ ,  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) thì chúng sẽ bù trừ lẫn nhau để tạo một dao động có cường độ cực tiểu.

$$I = \begin{cases} I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} & \Delta\varphi = 2m\pi & I_{max} \\ I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1I_2} & \Delta\varphi = 2(m+1)\pi & I_{min} \end{cases} \quad m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (6)$$

Như vậy trong vùng hai sóng gặp nhau chúng ta sẽ thấy những nơi có biên độ dao động cực đại (gọi là vân sáng) xen kẽ với những vùng có biên độ dao động cực tiểu (gọi là vân tối). Đó là hiện tượng giao thoa.

Tuy nhiên, trong một căn phòng có bật hai ngọn đèn chẳng hạn, tại sao chúng ta không hề thấy có các vân giao thoa?

## 2.2 Tại sao thường ít khi thấy giao thoa ánh sáng?

Trong phần trên, chúng ta đã coi độ lệch pha  $\Delta\varphi$  giữa hai sóng là không thay đổi theo thời gian, tuy nhiên đối với đa số các nguồn sáng thực thì  $\Delta\varphi$  lại thay đổi rất nhanh và hỗn loạn. Khi đó cường độ sáng quan sát được là trung bình theo thời gian của biểu thức (5) ở phần trên:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \langle \cos \Delta\varphi \rangle$$

trong đó dấu  $\langle \rangle$  chỉ phép lấy trung bình theo thời gian. Vì độ lệch pha thay đổi nhanh và hỗn loạn theo thời gian nên trung bình theo thời gian của  $\cos \Delta\varphi$  bằng không. Do đó cường độ tổng hợp chỉ đơn giản là tổng của hai cường độ thành phần:

$$I = I_1 + I_2$$

như chúng ta vẫn thường thấy trong thực tế.

## 2.3 Nguồn kết hợp

Để quan sát được hiện tượng giao thoa ánh sáng chúng ta phải dùng hai nguồn sáng có độ lệch pha không thay đổi theo thời gian, hai nguồn như thế được gọi là hai nguồn kết hợp. Ngày nay, cách đơn giản nhất để có các nguồn kết hợp là sử dụng laser, vì chúng luôn luôn là các nguồn kết hợp.

Ngoài ra, khi không có nguồn laser, người ta thường tạo hai nguồn kết hợp bằng cách tách ánh sáng từ cùng một nguồn làm hai phần có quang trình khác nhau. Khi gặp lại nhau hai sóng này sẽ cho giao thoa vì độ lệch pha giữa chúng chỉ phụ thuộc vào hiệu quang trình. Thật vậy, giả sử sóng từ cùng một nguồn được tách ra làm hai phần đi theo hai lộ trình có chiều dài  $d_1, d_2$  khác nhau. Tại nơi gặp nhau, biểu thức dao động của chúng là:

$$x_1 = a \sin(\omega t - kd_1)$$

$$x_2 = a \sin(\omega t - kd_2)$$

Do đó giữa chúng có độ lệch pha:

$$\Delta\varphi = k(d_2 - d_1) = \frac{2\pi}{\lambda}(nd_2 - nd_1)$$

hay:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L \quad (7)$$

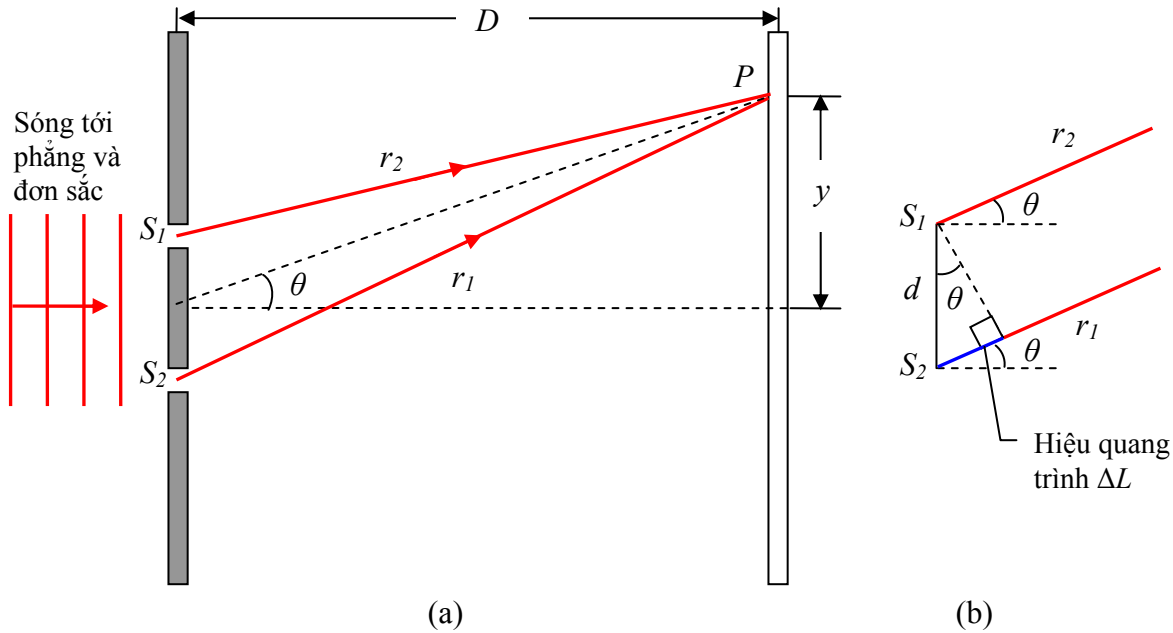
trong đó  $\Delta L = (nd_2 - nd_1)$  là hiệu quang trình giữa hai sóng tại nơi chúng gặp nhau, đại lượng này hiển nhiên không thay đổi theo thời gian. (Nhắc lại: quang trình bằng quãng đường truyền nhân với chiết suất của môi trường truyền sóng).

Từ hệ thức (7) chúng ta suy ra điều kiện đối với hiệu quang trình để cho cực đại và cực tiểu giao thoa:

$$\Delta L = \begin{cases} m\lambda & I_{\max} \\ (m + \frac{1}{2})\lambda & I_{\min} \end{cases} \quad m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (8)$$

### 3 Giao thoa với hai khe Young

Ngay từ năm 1801, khi đa số các nhà khoa học còn mơ hồ về bản chất sóng của ánh, thì Thomas Young đã thực hiện một thí nghiệm để chứng tỏ rằng ánh sáng có thể giao thoa, và do đó có bản chất là sóng. Đó là thí nghiệm giao thoa trên hai khe hẹp mô tả trên Hình 3.



Hình 3. (a) Hai sóng đến từ các khe  $S_1$  và  $S_2$  (vuông góc với mặt phẳng hình vẽ) gặp nhau tại một điểm  $P$  trên màn quan sát, cách trục giữa một khoảng  $y$ , và có góc nghiêng là  $\theta$  so với trục. (b) Khi  $D \gg d$ , hai tia  $r_1$  và  $r_2$  có thể coi như song song, hợp với trục giữa một góc  $\theta$ .

### 3.1 Hiệu quang trình

Do ánh sáng là sóng nên nó có thể đi vòng qua hai khe (đây là hiện tượng nhiễu xạ, một hiện tượng đặc trưng cho sóng, mà chúng ta sẽ xét trong bài sau), sau đó kết hợp lại trên màn quan sát để cho giao thoa. Ở đây, ánh sáng từ cùng một nguồn đã được tách thành hai phần, tạo nên hai nguồn kết hợp  $S_1$  và  $S_2$ .

Nếu khoảng cách từ hai khe đến màn quan sát lớn hơn rất nhiều so với khoảng cách giữa hai khe ( $D \gg d$ ) thì hiệu quang trình giữa hai tia đến gặp nhau tại  $P$  là:

$$\Delta L = d \sin \theta \quad (9)$$

### 3.2 Vân giao thoa

Theo đó thì các vị trí trên màn ứng với cùng một góc lệch  $\theta$  sẽ có cùng một giá trị của hiệu quang trình, tương ứng với một trạng thái giao thoa xác định. Các vị trí này tạo nên một đường thẳng song song với hai khe. Vậy vân giao thoa là những vân thẳng, song song với hai khe, trạng thái sáng hay tối của vân sẽ được xác định từ điều kiện (8).

$$\Delta L = d \sin \theta = \begin{cases} k\lambda & I_{max} \\ (k + \frac{1}{2})\lambda & I_{min} \end{cases} \quad k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (10)$$

Ở vị trí trung tâm là một vân sáng, vì tại đó góc lệch  $\theta$  bằng không, và ở hai bên của vân sáng trung tâm (ứng với  $k$  dương và âm) là các vân tối sáng xen kẽ nhau. Vân tương ứng với một giá trị xác định của số đại số  $k$  được gọi là vân bậc  $k$ .

### 3.3 Phân bố cường độ sáng theo góc

Trong trường hợp này hai nguồn kết hợp có cường độ sáng như nhau nên công thức (5) trở thành:

$$I = 2I_0(1 + \cos \Delta\varphi) = 4I_0 \cos^2 \frac{\Delta\varphi}{2}$$

hay

$$I_r = \frac{I}{I_0} = 4 \cos^2 \frac{\Delta\varphi}{2} \quad (11)$$

với  $I_0$  là cường độ sáng qua mỗi khe,  $I_r$  cường độ sáng tương đối, và độ lệch pha  $\Delta\varphi$  xác định từ:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta L}{\lambda} = 2\pi \frac{d \sin \theta}{\lambda} \quad (12)$$

Kết hợp (11) và (12) chúng ta có thể vẽ được sự phân bố của cường độ sáng tương đối theo góc  $\theta$ .

### 3.4 Thí nghiệm ảo

Để thấy rõ ảnh giao thoa và sự phân bố cường độ sáng theo góc, mời các bạn tự tay thực hiện thí nghiệm ảo sau đây, do W. Fendt (<http://www.walter-fendt.de>) lập trình bằng Java.

Trong thí nghiệm này các bạn có thể thay đổi bước sóng ánh sáng tới hay khoảng cách giữa hai khe, và thu được ngay hình ảnh giao thoa trên màn cũng như vị trí các vân sáng và tối. Ngoài ra, thay vì quan sát ảnh các vân các bạn cũng có thể xem phân bố của cường độ sáng theo góc lệch.

Chú ý là máy tính của bạn phải có cài đặt Java Runtime Environment phiên bản 1.4 trở lên (có thể tải về từ <http://www.java.com>). Ngoài ra, nếu cần trợ giúp về thuật ngữ chuyên môn tiếng Anh dùng trong thí nghiệm thì các bạn xem Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Giải thích thuật ngữ tiếng Anh dùng trong thí nghiệm ảo về giao thoa trên hai khe Young.

Interference	Giao thoa
Slit	Khe
Double slit	Hệ hai khe
Wavelength	Bước sóng
Spacing between slits	Khoảng cách giữa các khe
Angle	Góc
Maxima, maximum	Cực đại (số nhiều và số ít)
Minima, minimum	Cực tiểu (số nhiều và số ít)
Relative intensity	Cường độ sáng tương đối (tỷ số giữa cường độ sáng giao thoa với cường độ sáng qua một khe)
Interference pattern	Ảnh giao thoa
Intensity profile	Phân bố cường độ sáng
Order of the maxima/minima	Bậc của cực đại/cực tiểu

Hãy Click vào chữ “Thí nghiệm” để bắt đầu: [Thí nghiệm](#).

## 4 Giao thoa trên màng mỏng

Khi ánh sáng phản xạ trên một màng mỏng (như màng xà phòng, màng dầu loang trên mặt nước v.v...) thì hai tia phản xạ ở mặt trên và mặt dưới của màng mỏng có thể cho giao thoa khi gặp lại nhau. Chính vì vậy mà chúng ta thấy các vân màu trên màng xà phòng hay màng dầu.

Giao thoa chỉ xảy ra đối với các màng mỏng, có bề dày cỡ bước sóng ánh sáng, vì nếu màng dày hơn thì hai tia phản xạ sẽ không phải là hai tia kết hợp nữa.

### 4.1 Độ lệch pha do phản xạ

Chắc các bạn cũng biết là khi sóng cơ phản xạ trên một vật cản cố định thì sóng phản xạ sẽ đổi chiều dao động, hay nói cách khác sóng phản xạ sẽ lệch pha  $\pi$  so với sóng tới.

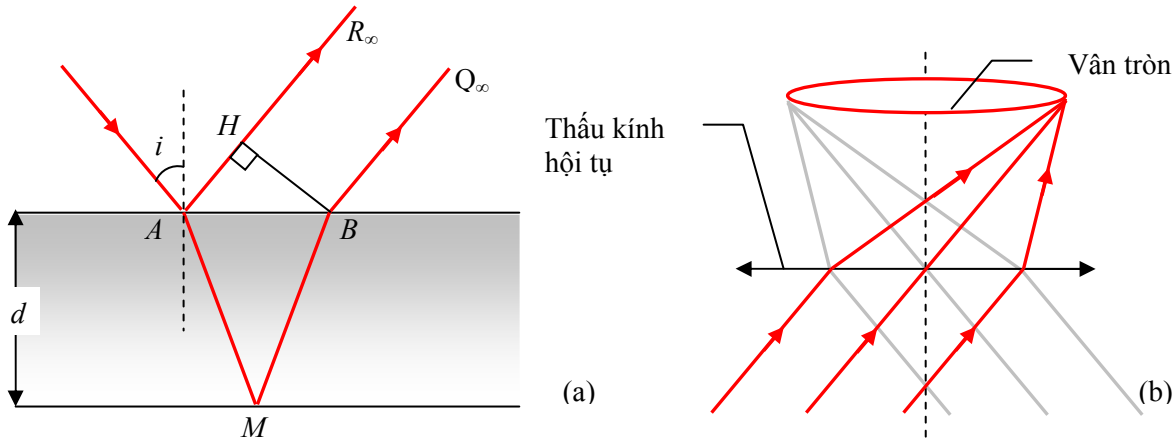
Đối với sóng ánh sáng cũng vậy: khi ánh sáng phản xạ trên một môi trường có chiết suất lớn hơn thì tia phản xạ bị lệch pha  $\pi$  so với tia tới, và do đó có quang trình tăng thêm  $\lambda/2$  so với tia tới.

Ví dụ: khi tia sáng đi trong không khí (có chiết suất bằng 1) đến phản xạ trên nước (có chiết suất cỡ 1,33) thì tia phản xạ bị lệch pha  $\pi$  so với tia tới; ngược lại, khi tia sáng đi ngược lại, từ nước đến phản xạ trên không khí thì tia phản xạ không hề bị lệch pha so với tia tới. Các bạn đừng bao giờ quên tính chất này khi xét giao thoa do phản xạ trên các màng mỏng.

### 4.2 Giao thoa với bản mỏng song song

Xét một bản mỏng song song có bề dày  $d$ , chiết suất  $n > 1$  đặt trong không khí. Một tia sáng đến bản mỏng dưới góc tới  $i$  sẽ phản xạ ở cả mặt trên và mặt dưới, cho hai tia ló song song (Hình 4a). Hai tia này sẽ giao thoa ở vô

cùng hay ở trên mặt phẳng tiêu của một thấu kính hội tụ có trục chính vuông góc với bản. Để xác định trạng thái giao thoa, chúng ta cần tìm độ lệch quang trình giữa chúng.



Hình 4. (a) Hai tia phản xạ ứng với cùng một tia tới. (b) Các tia cùng độ nghiêng tạo một vân tròn.

#### 4.2.1 Hiệu quang trình

Theo Hình 4, so với ánh sáng tới tại  $A$  thì tia phản xạ từ mặt trên có quang trình tăng thêm:

$$AR_\infty + \frac{\lambda}{2}$$

trong đó có tính đến độ tăng quang trình do phản xạ trên môi trường có chiết suất lớn hơn, như đã trình bày trong phần trên. Còn tia sáng đi vào bản mỏng và phản xạ từ mặt dưới thì có quang trình tăng thêm:

$$n(AM + MB) + BQ_\infty = 2nAM + BQ_\infty$$

trong đó, quang trình của phần tia sáng đi trong bản mỏng đã được nhân với chiết suất bản mỏng, theo định nghĩa của quang trình. Như vậy, giữa hai tia phản xạ có độ lệch quang trình là:

$$\Delta L = 2nAM - AH - \frac{\lambda}{2}$$

Dùng định luật khúc xạ và các biến đổi hình học ta có thể suy ra:

$$\Delta L = 2nd\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2} \quad (13)$$

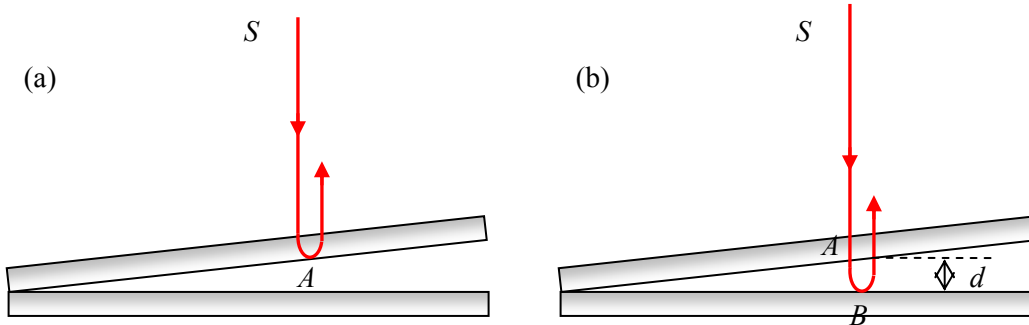
#### 4.2.2 Vân cùng độ nghiêng

Thông thường người ta dùng một nguồn sáng rộng đơn sắc để chiếu sáng bản mỏng, do đó ánh sáng tới bản dưới những góc tới khác nhau. Theo công thức trên thì tất cả các tia phản xạ ứng với cùng một góc tới sẽ có cùng một trạng thái giao thoa. Do đó các vân giao thoa tạo bởi bản mỏng song song còn được gọi là các vân cùng độ nghiêng.

Nếu dùng một thấu kính hội tụ có trục chính vuông góc với bản để kết hợp các tia phản xạ, thì trên màn quan sát đặt tại mặt phẳng tiêu chúng ta thấy các tia ứng với cùng một góc nghiêng  $i$  và cùng nằm trong một mặt phẳng hình sẽ gặp nhau tại một điểm (Hình 4b). Với các tia cũng có góc nghiêng  $i$  nhưng không nằm trong mặt phẳng hình vẽ thì chúng ta có thể hình dung được bằng cách xoay Hình 4b quanh trục thấu kính. Như thế tất cả các tia có cùng độ nghiêng sẽ được kết hợp thành một vân hình tròn nhận tiêu điểm thấu kính làm tâm.

### 4.3 Giao thoa với nêm không khí

Đặt hai bản thủy tinh dày chồng lên nhau với một bên hơi nâng lên để tạo một góc nghiêng rất nhỏ, chúng sẽ có một bản mỏng không khí hình nêm, gọi là nêm không khí (Hình 5). Chiếu một chùm sáng phẳng đơn sắc đến vuông góc với mặt dưới của nêm, chúng ta sẽ quan sát được các vân giao thoa thẳng, song song với cạnh nêm ở mặt trên của nêm; ngoài ra, tại cạnh nêm là một vân tối.



Hình 5. Hai tia phản xạ từ cùng một tia tới ở mặt trên và mặt dưới của nêm không khí. Tia tới và tia phản xạ được vẽ tách ra cho dễ thấy.

Như minh họa trên Hình 5, khi gặp lại nhau tại điểm tới  $A$  ở mặt trên của nêm, tia phản xạ ở mặt dưới có quang trình dài hơn là:

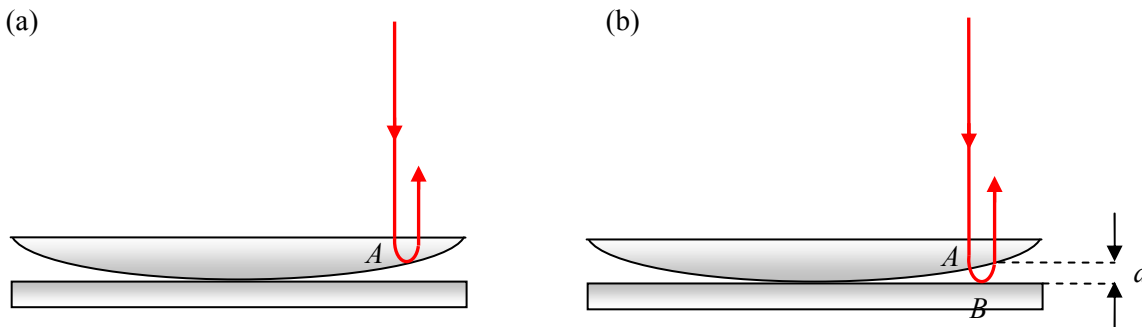
$$\Delta L = 2d + \frac{\lambda}{2} \quad (14)$$

trong đó  $d$  là bề dày của nêm không khí tại  $A$ , còn  $\lambda/2$  là độ tăng quang trình do phản xạ trên thủy tinh tại  $B$ .

Theo đó thì tất cả các điểm ở mặt trên của nêm và ứng với cùng một bề dày  $d$  thì có cùng trạng thái giao thoa, vì vậy vân giao thoa trên nêm còn được gọi là vân cùng độ dày. Nếu hai bản thủy tinh giới hạn nêm rất phẳng thì vân sẽ là những đường thẳng song song với cạnh nêm. Ở cạnh nêm thì bề dày bằng không nên độ lệch quang trình bằng  $\lambda/2$ , ta có một vân tối.

### 4.4 Hệ vân tròn Newton

Đặt mặt lồi của một thấu kính phẳng lồi lên trên một bản thủy tinh phẳng dày, chiếu ánh sáng phẳng đơn sắc tới vuông góc với bản thủy tinh (Hình 6). Nếu bán kính mặt lồi khá lớn thì bản mỏng không khí giới hạn giữa chúng có thể cho giao thoa do phản xạ, gọi là hệ vân tròn Newton. Hệ vân Newton được quan sát ngay ở mặt trên của nêm, và là những đường tròn có tâm nằm trên trục chính của thấu kính; ngoài ra, tại điểm tiếp xúc là một điểm tối.



Hình 6. Hai tia phản xạ từ cùng một tia tới ở mặt trên và mặt dưới của bản mỏng không khí trong hệ vân tròn Newton.



Như minh họa trên Hình 6, khi gặp lại nhau tại điểm  $A$  ở mặt trên của bản không khí, tia phản xạ ở mặt dưới có quang trình dài hơn là:

$$\Delta L = 2d + \frac{\lambda}{2} \quad (15)$$

trong đó  $d$  là bề dày của nêm không khí tại vị trí quan sát, còn  $\lambda/2$  là độ tăng quang trình do phản xạ trên thủy tinh.

Theo đó thì tất cả các điểm ở mặt trên của bản không khí và ứng với cùng một bề dày  $d$  thì có cùng trạng thái giao thoa, vì vậy vân giao thoa cũng thuộc loại vân cùng độ dày. Vân giao thoa là những đường tròn có tâm nằm trên trục thấu kính. Ở điểm tiếp xúc thì bề dày bằng không nên độ lệch quang trình bằng  $\lambda/2$ , ta có một điểm tối.

## 5 Trắc nghiệm

Chúng tôi đã tổng hợp một số đề thi trắc nghiệm của trường đại học Bách Khoa tp HCM để soạn một bài trắc nghiệm dưới dạng Flash. Nó có thể giúp các bạn tự đánh giá kiến thức của mình về giao thoa ánh sáng. Để dùng bài trắc nghiệm này trên máy tính của các bạn phải có cài đặt Flash Player 7 ActiveX Control hay Plugin. Nếu chưa có, các bạn có thể tải về từ <http://www.macromedia.com>.

Hãy Click vào chữ “Trắc nghiệm” sau đây để bắt đầu: [Trắc nghiệm](#).