

## PHẦN 5

# ÁNH SÁNG VÀ QUANG HỌC

Ánh sáng là cơ sở cho hầu như mọi sự sống trên trái đất. Ví dụ, thực vật chuyển đổi năng lượng của ánh sáng mặt trời thành năng lượng hóa học thông qua quá trình quang hợp. Ngoài ra, ánh sáng là phương tiện chính mà chúng ta có thể truyền và nhận thông tin đến và đi từ các vật thể xung quanh cũng như từ trong vũ trụ.

Ánh sáng là một dạng bức xạ điện từ, truyền năng lượng từ nguồn sáng tới người quan sát. Nhiều hiện tượng trong cuộc sống hàng ngày của chúng ta phụ thuộc vào tính chất của ánh sáng. Khi bạn xem tivi hoặc xem ảnh trên màn hình máy tính, bạn sẽ thấy hàng triệu màu được tạo thành từ sự kết hợp chỉ có ba màu là: đỏ, xanh dương và xanh lục. Màu xanh của bầu trời ban ngày, màu đỏ và màu cam trên bầu trời lúc bình minh hay hoàng hôn là kết quả của hiện tượng *tán xạ* ánh sáng bởi các phân tử không khí. Bạn thấy hình ảnh của mình trong gương phòng tắm buổi sáng hoặc hình ảnh của những chiếc xe khác trong gương chiếu hậu khi đang lái xe là kết quả từ *sự phản xạ* ánh sáng. Nếu bạn đeo kính để nhìn cho rõ thì bạn đang nhờ vào hiện tượng *khúc xạ* ánh sáng. Màu sắc của cầu vồng là do sự *tán sắc* ánh sáng khi nó đi qua những hạt mưa lơ lửng trên bầu trời sau cơn mưa. Nếu bạn đã từng nhìn thấy những vòng tròn màu của hào quang xung quanh cái bóng của chiếc máy bay bạn đang đi trên những đám mây thì bạn đang thấy kết quả của hiện tượng *giao thoa* ánh sáng.

Trong phần giới thiệu của chương 35, chúng ta sẽ thảo luận về *lưỡng tính sóng-hạt* của ánh sáng. Trong một số trường hợp, ánh sáng được mô hình như một dòng hạt; ở những trường hợp khác, mô hình sóng hoạt động tốt hơn. Chương 35 đến hết 38 tập trung vào các khía cạnh của ánh sáng được hiểu rõ nhất thông qua *mô hình sóng* của ánh sáng. Trong phần 6, chúng ta sẽ tìm hiểu về *bản chất hạt* của ánh sáng.

# Chương 35: Bản chất của ánh sáng và các định luật quang hình học



Chương này bắt đầu giới thiệu hai mô hình lịch sử của ánh sáng và thảo luận các phương pháp đo tốc độ ánh sáng trước đây. Tiếp theo là những hiện tượng cơ bản của quang hình học: sự *phản xạ* (*reflection*) của ánh sáng từ một bề mặt và sự *khúc xạ* (*refraction*) khi ánh sáng đi qua biên giới giữa hai môi trường. Chúng ta cũng sẽ nghiên cứu sự *tán sắc* (*dispersion*) của ánh sáng khi nó khúc xạ qua vật liệu, dẫn đến hiện tượng xuất hiện cầu vồng. Cuối cùng, chúng ta sẽ nghiên cứu hiện tượng *phản xạ toàn phần* (*total internal reflection*), là cơ sở cho hoạt động của sợi quang và công nghệ sợi quang.

## Bản chất của ánh sáng

35.1 Trong lịch sử có hai mô hình cơ bản về bản chất của ánh sáng. Trước thế kỷ thứ 19, ánh sáng được xem như một dòng hạt. Các hạt này hoặc được phát ra từ các vật hoặc xuất phát từ mắt người quan sát. Newton là người chủ xướng cho lý thuyết hạt ánh sáng. Ông cho rằng các hạt ánh sáng xuất phát từ các vật và đi đến mắt để kích thích cảm giác sáng của người quan sát.

Christian Huygens thì lại tin rằng ánh sáng có thể là một dạng sóng chuyển động nào đó. Ông đã chỉ ra rằng các tia sáng giao thoa với nhau. Những nghiên cứu khác suốt thế kỷ thứ 19 đã dẫn đến một sự thừa nhận chung về lý thuyết sóng của ánh sáng. Thomas Young là người cung cấp bằng chứng rõ ràng đầu tiên (năm 1801) về bản chất sóng của ánh sáng. Ông đã giải thích hiện tượng giao thoa của ánh sáng dựa trên nguyên lý chồng chất. Hiện tượng này không thể giải thích được bằng lý thuyết hạt ánh sáng. Maxwell đã khẳng định rằng ánh sáng là một dạng sóng điện từ có tần số cao và Hertz đã cung cấp bằng chứng thực nghiệm cho lý thuyết của Maxwell vào năm 1887.

Mặc dù mô hình sóng và lý thuyết cổ điển về điện - từ có thể giải thích được hầu hết các tính chất của ánh sáng, nhưng chúng không thể giải thích được một số kết quả thí nghiệm sau đó. Nổi bật nhất là hiệu ứng quang điện được phát hiện bởi Hertz: Khi ánh sáng bắn vào một bề mặt kim loại thì các electron có thể được thoát ra khỏi bề mặt. Các thí nghiệm cho thấy động năng của một electron thoát ra độc lập với cường độ ánh sáng. Phát hiện này mâu thuẫn với mô hình sóng. Einstein đã đề xuất một giải thích về hiệu ứng quang điện vào năm 1905 sử dụng mô hình dựa trên khái niệm lượng tử hóa được Max Planck phát triển vào năm 1900. Mô hình lượng tử giả định năng lượng của sóng ánh sáng nằm trong các hạt gọi là photon và do đó năng lượng được cho là bị lượng tử hóa. Theo lý thuyết của Einstein, năng lượng  $E$  của một photon tỉ lệ thuận với tần số  $f$  của sóng điện từ :

$$E = hf$$

$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  là hằng số Planck.

Như vậy, ánh sáng phải có lưỡng tính sóng hạt. Trong một số hoàn cảnh ánh sáng biểu hiện các đặc trưng của sóng và trong một số hoàn cảnh khác ánh sáng lại biểu hiện các đặc trưng của hạt.

### Đo tốc độ ánh sáng

Vì ánh sáng di chuyển với tốc độ rất cao ( $c = 3,00 \cdot 10^8$  m/s) nên những cố gắng trước đây để đo tốc độ của nó đều không thành công. Galileo đã cố gắng đo tốc độ ánh sáng bằng cách cho hai người quan sát đứng cách nhau 10 km xác định thời gian ánh sáng truyền đi qua khoảng cách giữa hai người và ông đã kết luận rằng vì thời gian phản ứng của người quan sát lớn hơn nhiều thời gian chuyển động của ánh sáng nên không thể đo được tốc độ ánh sáng bằng cách này.

#### 35.2.1 Phương pháp Roemer

Năm 1675, Ole Roemer đã sử dụng các quan sát thiên văn để ước lượng tốc độ ánh sáng. Ông đã sử dụng chu kỳ quay của Io, một mặt trăng của sao Mộc, khi sao Mộc quay xung quanh Mặt Trời. Góc quay của sao Mộc trong khoảng thời gian Trái Đất quay quanh Mặt Trời một góc  $90^\circ$  có thể tính được.

Chu kỳ quay dài hơn khi Trái Đất lùi xa dần sao Mộc, ngắn hơn khi Trái Đất tiến lại gần.

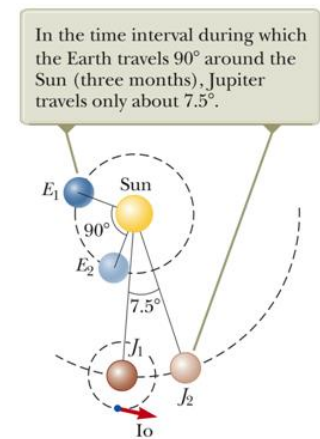
Sử dụng số liệu của Roemer, Huygens đã ước tính giới hạn dưới của tốc độ ánh sáng là  $2,3 \cdot 10^8$  m/s. Đây là một kết quả rất quan trọng trong lịch sử vì nó đã cho thấy rằng ánh sáng có tốc độ hữu hạn và đã cho một ước lượng về tốc độ đó.

#### 35.2.2 Phương pháp Fizeau

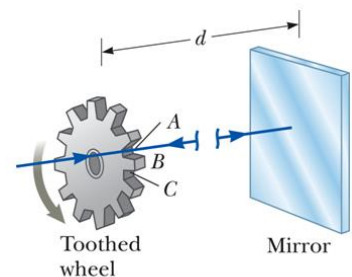
Phương pháp thành công đầu tiên để đo tốc độ ánh sáng bằng các kỹ thuật thuần túy trên mặt đất được phát triển vào năm 1849 bởi nhà vật lý người Pháp Armand H. L. Fizeau.

Hình 35.2 biểu diễn một sơ đồ đơn giản của thiết bị đo. Nếu  $d$  là khoảng cách giữa nguồn sáng (được xem là vị trí của bánh xe) và gương và  $\Delta t$  là thời gian ánh sáng di chuyển từ bánh xe đến gương thì tốc độ của ánh sáng là  $c = 2d/\Delta t$ .

Để đo thời gian vận chuyển, Fizeau đã sử dụng một bánh xe răng cưa, chuyển đổi một chùm ánh sáng liên tục thành một loạt các xung ánh sáng. Nếu một xung ánh sáng di chuyển về phía gương và đi qua khe hở tại điểm A trong hình 35.2 và quay trở lại bánh xe tại răng B thì xung phản xạ sẽ không tới được người quan sát. Với tốc độ quay lớn hơn, điểm C có thể di chuyển vào vị trí để cho phép xung phản xạ đi tới người quan sát. Biết khoảng cách  $d$ , số răng của bánh xe và tốc độ góc của bánh xe, Fizeau đã xác định được giá trị tốc độ ánh sáng là  $3,1 \times 10^8$  m/s.



Hình 35.1: Phương pháp Roemer

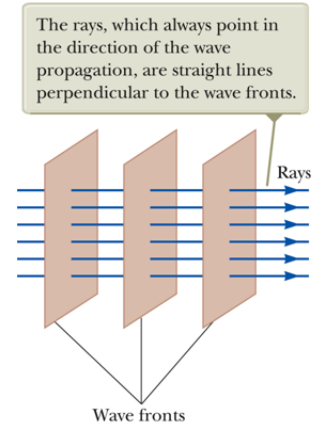


Hình 35.2: Phương pháp Fizeau

Các phép đo mang lại giá trị chính xác hơn được chấp nhận hiện tại là  $2,997\,924\,58 \times 10^8$  m/s.

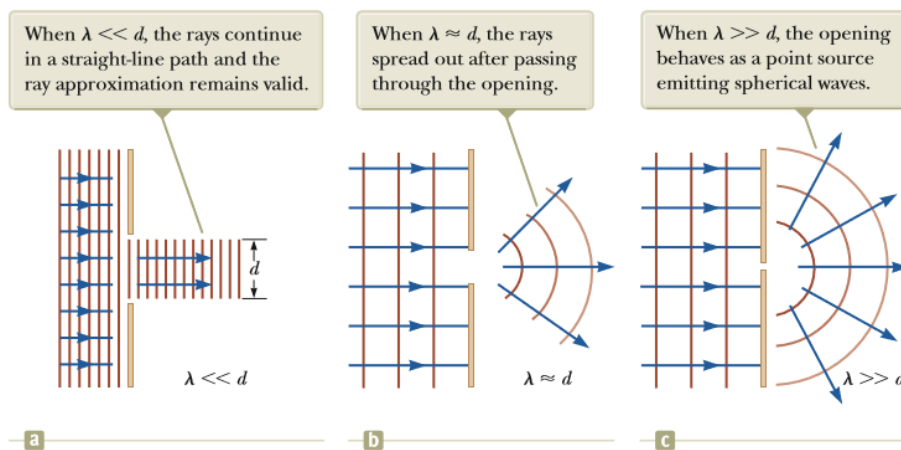
### Gần đúng tia trong quang hình học (quang học tia)

Quang học tia (*Ray Optics*), còn gọi là quang hình học (*Geometric Optics*), nghiên cứu sự lan truyền của ánh sáng. Nó sử dụng giả thuyết rằng ánh sáng truyền đi theo đường thẳng trong một môi trường đồng dạng và thay đổi hướng khi gặp bề mặt của một môi trường khác hoặc nếu như tính chất quang học của môi trường là không đồng dạng. Gần đúng tia (*Ray approximation*) được sử dụng để biểu diễn các chùm sáng. Các tia sáng là những đường thẳng vuông góc với mặt sóng (*front wave*). Với gần đúng tia, chúng ta giả thiết rằng một sóng ánh sáng truyền đi trong môi trường trên một đường thẳng theo hướng của các tia đó.



Hình 35.3: Quang học tia

Nếu một sóng gặp một vật cản với bước sóng  $\lambda \ll d$  thì sóng đó sẽ xuất phát từ khoảng trống và tiếp tục di chuyển theo một đường thẳng,  $d$  là đường kính của khoảng trống. Đây là một gần đúng tốt để nghiên cứu gương, kính, lăng kính ... Các hiệu ứng xảy ra đối với những khoảng trống có kích thước khác nhau.



35.4

Hình 35.4: Một sóng phẳng bước sóng  $\lambda$  chiếu tới màn chắn có một lỗ trống đường kính  $d$ .

### Sự phản xạ ánh sáng

Một tia sáng (tia tới) di chuyển trong một môi trường khi gặp biên giới với một môi trường thứ hai thì một phần của tia tới sẽ bị phản xạ ngược lại môi trường đầu tiên, có nghĩa là nó sẽ hướng ngược lại môi trường thứ nhất. Đối với các sóng ánh sáng truyền trong không gian ba chiều thì hướng của các tia phản xạ khác với hướng của các tia tới.

**Phản xạ gương (specular reflection)** là sự phản xạ từ một bề mặt nhẵn. Các tia phản xạ song song với nhau.

Tất cả hiện tượng phản xạ ánh sáng trong sách này đều được giả thiết là phản xạ gương.

**Sự phản xạ tràn lan (Diffuse reflection)** là sự phản xạ trên một bề mặt thô. Các tia phản xạ truyền đi theo nhiều hướng khác nhau. Một bề mặt được coi là bề mặt thô nếu sự biến đổi bề mặt nhỏ hơn nhiều bước sóng ánh sáng.

### Định luật phản xạ (Law of reflection)

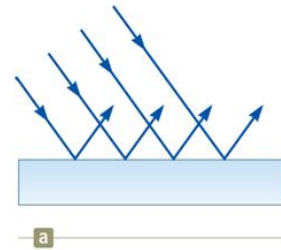
Pháp tuyến là một đường thẳng vuông góc với bề mặt. Nó nằm tại vị trí tia tới đập lên bề mặt. Tia tới tạo với pháp tuyến một góc  $\theta_1$ . Tia phản xạ tạo với tia tới một góc  $\theta'_1$ .

Góc phản xạ bằng góc tới :

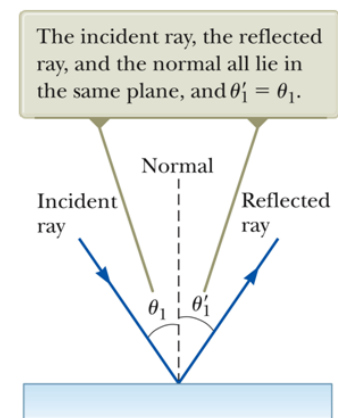
$$\theta'_1 = \theta_1 \quad (35.1)$$

Mối liên hệ này được gọi là định luật phản xạ.

Tia tới, tia phản xạ và pháp tuyến đều nằm trên một mặt phẳng. Bởi vì sự phản xạ sóng là một hiện tượng phổ biến, thường xảy ra nên chúng ta sẽ đưa ra một mô hình phân tích cho trường hợp này được gọi là **mô hình phân tích sóng bị phản xạ (the wave under reflection model)**.



Hình 35.5: Sự phản xạ gương



Hình 35.6: Định luật phản xạ

**Câu hỏi 35.1:** Trong phim, bạn có thể nhìn thấy diễn viên nhìn vào một chiếc gương và thấy mặt mình trong đó. Có thể nói chắc chắn rằng trong cảnh đó người diễn viên nhìn thấy trong gương a) mặt anh ta b) mặt bạn c) mặt đạo diễn d) camera quay cảnh e) không thể xác định được.

### Bài tập mẫu 35.1: Phản xạ nhiều lần

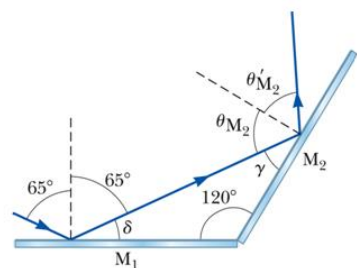
Hai gương hợp nhau một góc  $120^\circ$  như hình vẽ. Tia tới chiếu lên gương  $M_1$  dưới góc  $65^\circ$ , tia phản xạ hướng đến gương  $M_2$ . Hãy xác định hướng của tia sáng sau khi phản xạ trên gương  $M_2$ .

**Giải:**

Theo định luật phản xạ, tia phản xạ trên  $M_1$  hợp với gương một góc

$$\delta = 90^\circ - 65^\circ = 25^\circ$$

$$\gamma = 180^\circ - 25^\circ - 120^\circ = 35^\circ$$



Hình 35.7: Sự phản xạ nhiều lần

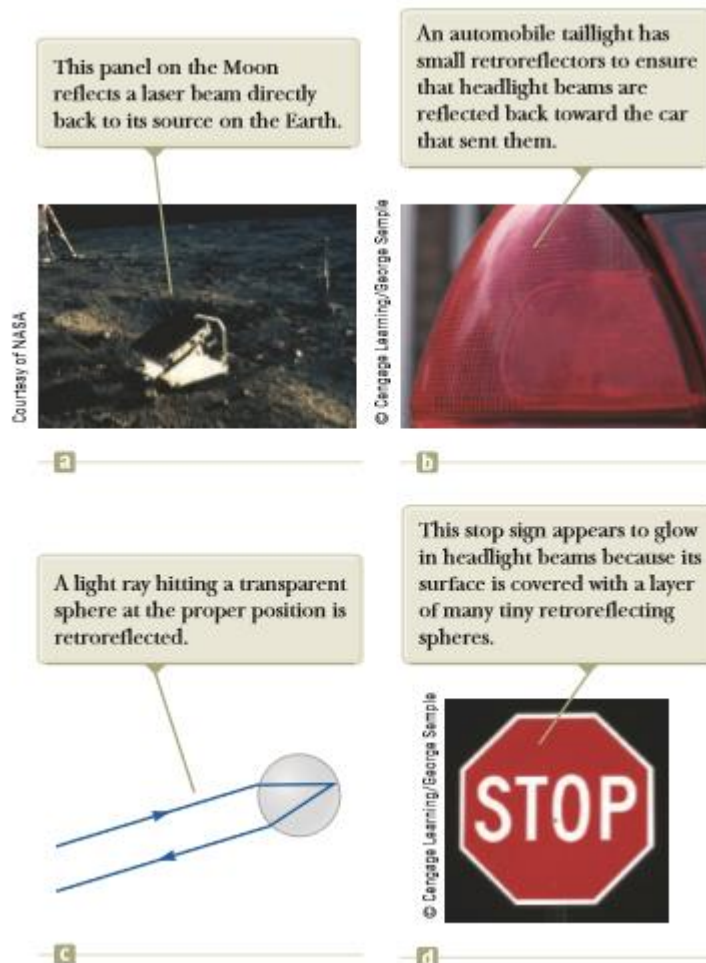
$$\theta_{M_2} = 90^\circ - 35^\circ = 55^\circ$$

Tia phản xạ trên gương  $M_2$  hợp với pháp tuyến một góc

$$\theta'_{M_2} = \theta_{M_2} = 55^\circ$$

### Sự phản xạ ngược (retroreflection)

Giả sử góc hợp giữa hai gương là  $90^\circ$  thì chùm tia phản xạ sẽ quay trở về nguồn phát song song với chùm tia tới ban đầu. Hiện tượng này được gọi là **sự phản xạ ngược**. Có nhiều áp dụng của hiện tượng này như đo khoảng cách tới Mặt Trăng, gương chiếu hậu, tín hiệu giao thông...



Hình 35.8: Ứng dụng hiện tượng phản xạ ngược

Vào năm 1969, một bảng gồm nhiều gương phản xạ nhỏ đã được các phi hành gia tàu Apollo 11 đưa lên Mặt trăng (hình 35.8a). Một chùm tia laser từ Trái đất chiếu đến bảng gương này sẽ được phản xạ trực tiếp trở lại chính nó và thời gian di chuyển của nó có thể đo được. Từ đó có thể xác định được khoảng cách từ Trái đất đến Mặt trăng với sai số 15 cm.

Một ứng dụng hàng ngày khác được tìm thấy trong đèn hậu ô tô. Một phần nhựa của đèn hậu được tạo thành bởi nhiều góc hình khối nhỏ (hình 35.8b) để các chùm đèn pha từ ô tô phía sau chiếu đến sẽ phản xạ lại người lái xe.

Thay vì các góc hình lập phương, các hình cầu nhỏ đôi khi được sử dụng (hình 35.8c). Những quả cầu nhỏ trong suốt được sử dụng trong một vật liệu phủ trên nhiều biển báo đường bộ. Do sự phản xạ ngược từ những quả cầu này, dấu hiệu dừng xe trong hình 35.8d sẽ sáng hơn nhiều so với khi nó chỉ đơn giản là một bề mặt phẳng, sáng bóng. Sự phản xạ ngược cũng được sử dụng cho các tấm phản quang trên giày chạy bộ và quần áo chạy để cho phép người chạy bộ được nhìn thấy vào ban đêm.

### Sự khúc xạ ánh sáng

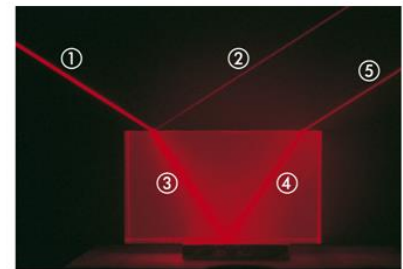
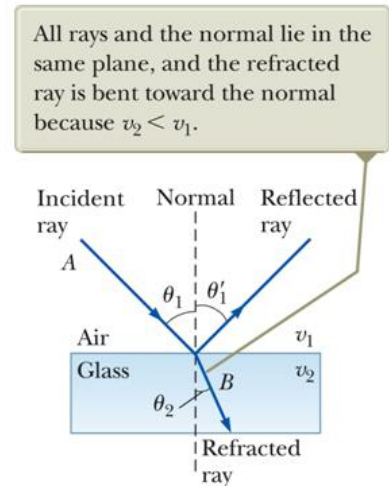
35.5 Khi một tia sáng lan truyền trong một môi trường trong suốt đến gặp mặt phân cách với một môi trường trong suốt khác thì một phần tia tới bị phản xạ và một phần sẽ đi vào môi trường thứ hai.

Tia sáng đi vào môi trường thứ hai này có hướng bị thay đổi. Sự gãy tia sáng này được gọi là khúc xạ (*refraction*).

Tia tới, tia phản xạ, tia khúc xạ và pháp tuyến đều nằm trong cùng một mặt phẳng. Góc khúc xạ (*angle of refraction*) phụ thuộc vào vật liệu và góc tới (*angle of incidence*).

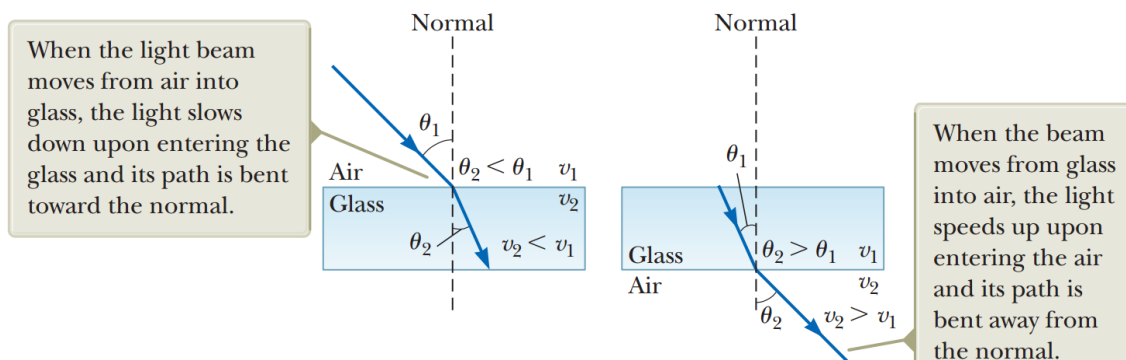
$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} \quad (35.2)$$

$v_1$  là tốc độ ánh sáng trong môi trường thứ nhất và  $v_2$  là tốc độ ánh sáng trong môi trường thứ hai. Đường đi của tia sáng qua bề mặt khúc xạ là có thể đảo ngược. Ví dụ một tia sáng truyền từ A đến B thì nếu có một tia xuất phát từ B sẽ đi theo con đường AB để đến A.



**Câu hỏi 35.2:** Trên hình 35.9, tia tới là tia (1), hãy chỉ ra các tia phản xạ và tia khúc xạ trong những tia sáng 2, 3, 4, 5.

Hình 35.9: Sự khúc xạ ánh sáng

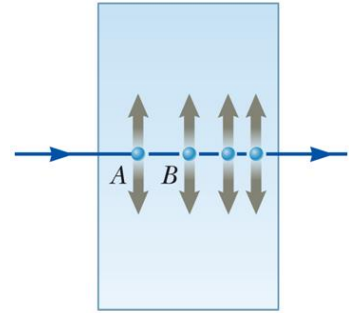


Hình 35.10: (a) Sự khúc xạ ánh sáng khi đi vào môi trường có tốc độ nhỏ hơn, (b) môi trường có tốc độ lớn hơn

Ánh sáng có thể khúc xạ vào trong một vật liệu mà ở đó tốc độ của nó nhỏ hơn. Góc khúc xạ nhỏ hơn góc tới. Tia sáng bị gấp về phía pháp tuyến (hình 35.10.a).

Ánh sáng có thể khúc xạ vào trong một vật liệu mà ở đó tốc độ của nó lớn hơn. Góc khúc xạ lớn hơn góc tới. Tia sáng bị lệch xa khỏi pháp tuyến (hình 35.10.b).

Trong một môi trường, ánh sáng có tốc độ nhỏ hơn trong chân không. Điều đó có thể giải thích như sau. Ánh sáng đập vào một electron. Electron đó có thể hấp thụ ánh sáng, dao động và bức xạ ánh sáng. Sự hấp thụ và phát xạ có thể làm cho tốc độ di chuyển trung bình trong môi trường giảm xuống.



Hình 35.11: Sự giảm vận tốc của tia sáng khi đi vào môi trường

### 35.5.1 Chiết suất - Chỉ số khúc xạ

Tốc độ của ánh sáng trong một vật liệu bất kỳ đều nhỏ hơn tốc độ ánh sáng trong chân không. Chiết suất  $n$  của một môi trường được xác định như sau:

$$n = \frac{c}{v} \quad (35.3)$$

Trong đó,  $c$  là tốc độ ánh sáng trong chân không,  $v$  là tốc độ ánh sáng trong môi trường. Đối với chân không  $n = 1$ , đối với không khí  $n$  cũng được coi là bằng 1. Đối với các môi trường khác,  $n > 1$ . Chiết suất  $n$  là một số không thứ nguyên lớn hơn 1.

Bảng 35.1: Chiết suất của một số môi trường

#### Some Indices of Refraction

TABLE 35.1 Indices of Refraction			
Substance	Index of Refraction	Substance	Index of Refraction
<i>Solids at 20°C</i>		<i>Liquids at 20°C</i>	
Cubic zirconia	2.20	Benzene	1.501
Diamond (C)	2.419	Carbon disulfide	1.628
Fluorite (CaF <sub>2</sub> )	1.434	Carbon tetrachloride	1.461
Fused quartz (SiO <sub>2</sub> )	1.458	Ethyl alcohol	1.361
Gallium phosphide	3.50	Glycerin	1.473
Glass, crown	1.52	Water	1.333
Glass, flint	1.66		
Ice (H <sub>2</sub> O)	1.309	<i>Gases at 0°C, 1 atm</i>	
Polystyrene	1.49	Air	1.000 293
Sodium chloride (NaCl)	1.544	Carbon dioxide	1.000 45

Note: All values are for light having a wavelength of 589 nm in vacuum.

### 35.5.2 Tần số ánh sáng giữa hai môi trường

Khi ánh sáng truyền từ một môi trường sang môi trường khác, tần số (*frequency*) của nó không thay đổi nhưng cả tốc độ và bước sóng đều thay đổi. Để hiểu tại sao như vậy thì hãy



xem hình 35.12. Một sóng ánh sáng truyền qua người quan sát tại điểm A trong môi trường 1 với một tần số nào đó và đi tới biên giới giữa môi trường 1 và môi trường 2. Tần số mà sóng truyền qua người quan sát tại điểm B trong môi trường 2 phải bằng tần số mà chúng truyền qua điểm A. Bởi vì nếu không phải như vậy thì năng lượng sẽ tích lũy lại hoặc biến mất trên biên giới giữa hai môi trường. Do không có cơ chế nào cho điều đó xảy ra nên tần số phải không đổi khi một tia sáng truyền từ môi trường này sang môi trường khác.

Vì  $v = f \cdot \lambda$  và  $f_1 = f_2 = f$ , nhưng  $v_1 \neq v_2$ , suy ra  $\lambda_1 \neq \lambda_2$

Tỉ số chiết suất của hai môi trường có thể được biểu diễn bằng một công thức khác.

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (35.4)$$

Chiết suất tỉ lệ nghịch với tốc độ ánh sáng. Khi tốc độ ánh sáng giảm xuống, chiết suất tăng lên. Chiết suất càng cao thì môi trường càng làm chậm tốc độ ánh sáng. Mối liên hệ này có thể được dùng để so sánh bước sóng và chiết suất:

$$\lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2$$

Vì trong chân không và không khí chiết suất bằng 1 nên chiết suất  $n$  của vật liệu có thể được xác định theo bước sóng  $\lambda$  của ánh sáng trong chân không và bước sóng  $\lambda_n$  của ánh sáng trong môi trường như sau :

$$n = \lambda / \lambda_n \quad (35.5)$$

### 35.5.3 Định luật khúc xạ Snell

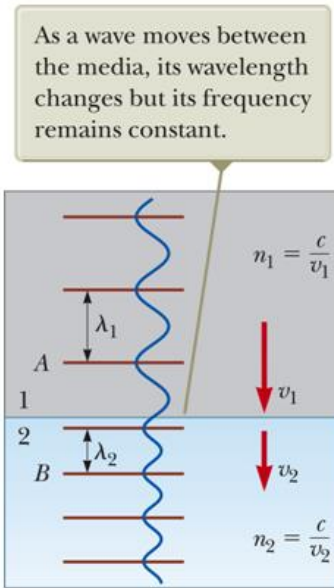
Trong phương trình (35.4) thay tỷ số  $n_2/n_1$  bằng phương trình (35.2) ta thu được phương trình

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (35.6)$$

$\theta_1$  là góc tới,  $\theta_2$  là góc khúc xạ.

Người khám phá ra mối liên hệ này bằng thực nghiệm là Willebrord Snell và vì vậy nó được gọi là định luật khúc xạ Snell.

Khúc xạ là một hiện tượng rất phổ biến, vì vậy có một mô hình phân tích cho hiện tượng này. Đó là mô hình sóng bị khúc xạ (*the wave under refraction model*).



Hình 35.12: Tần số ánh sáng giữa hai môi trường

**Câu hỏi 35.3:** Ánh sáng chiếu từ môi trường có chiết suất 1,3 sang môi trường có chiết suất 1,2. So với tia tới thì: (a) tia khúc xạ gập về phía pháp tuyến nhiều hơn (b) tia khúc xạ không bị lệch (c) tia khúc xạ lệch xa khỏi pháp tuyến nhiều hơn.

### Bài tập mẫu 35.2: Ánh sáng truyền qua một bản song song

Một chùm sáng truyền từ môi trường 1 sang môi trường 2 là một bản phẳng, dày, làm bằng vật liệu có chiết suất  $n_2$ . Hãy chứng tỏ rằng chùm sáng đi vào môi trường 1 từ mặt khác của bản song song với chùm sáng tới.

**Giải:**

Giả sử  $n_2 > n_1$  thì tia sáng sẽ gập về phía pháp tuyến khi đi vào bản phẳng và lệch ra xa pháp tuyến khi đi ra khỏi bản phẳng.

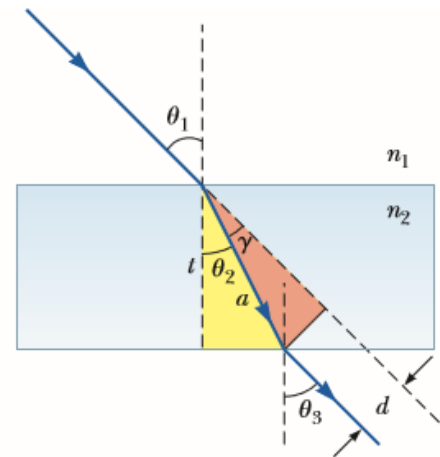
Áp dụng định luật khúc xạ Snell đối với mặt trên, ta có:

$$\sin \theta_2 = \frac{n_1 \sin \theta_1}{n_2}$$

Áp dụng định luật khúc xạ Snell đối với mặt dưới, ta có:

$$\sin \theta_3 = \frac{n_2 \sin \theta_2}{n_1} = \frac{n_2}{n_1} \left( \frac{n_1 \sin \theta_1}{n_2} \right) = \sin \theta_1$$

Như vậy,  $\theta_3 = \theta_1$ . Do đó, hai tia sáng đi tới và đi ra khỏi bản phẳng song song với nhau.



Hình 35.13: Bài tập mẫu 35.2

### Bài tập mẫu 35.3: Đo chiết suất bằng một lăng kính

Góc lệch của tia sáng chiếu qua một lăng kính là cực tiểu khi góc tới  $\theta_1$  có giá trị sao cho tia khúc xạ bên trong lăng kính tạo với pháp tuyến của hai mặt bên lăng kính cùng một góc như nhau như hình vẽ. Hãy thiết lập biểu thức cho chiết suất  $n$  của vật liệu lăng kính theo góc lệch tối thiểu  $\delta_{\min}$  và góc ở đỉnh  $\phi$ .

**Giải:**

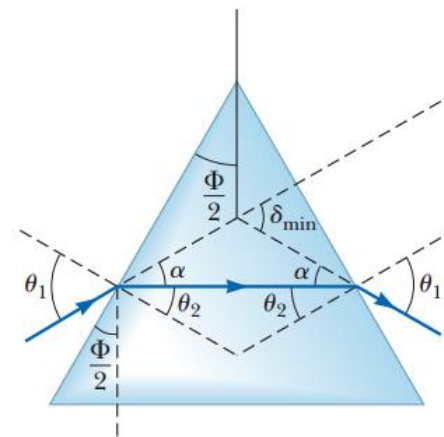
Từ hình vẽ, ta có:

$$\theta_2 = \phi/2$$

$$\delta_{\min} = 2\alpha$$

$$\theta_1 = \theta_2 + \alpha = \phi/2 + \delta_{\min}/2 = \frac{\phi + \delta_{\min}}{2}$$

Áp dụng định luật khúc xạ:



Hình 35.14: Bài tập mẫu 35.2

$$\sin\theta_1 = n\sin\theta_2$$

Chiết suất của vật liệu lăng kính

$$n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\sin\left(\frac{\phi + \delta_{\min}}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\phi}{2}\right)}$$

Dựa vào công thức này, nếu biết được góc ở đỉnh  $\Phi$  và đo được góc lệch cực tiểu  $\delta_{\min}$  ta có thể xác định được chiết suất  $n$  của vật liệu làm lăng kính. Một lăng kính rỗng có thể được dùng để đo chiết suất của các chất lỏng.

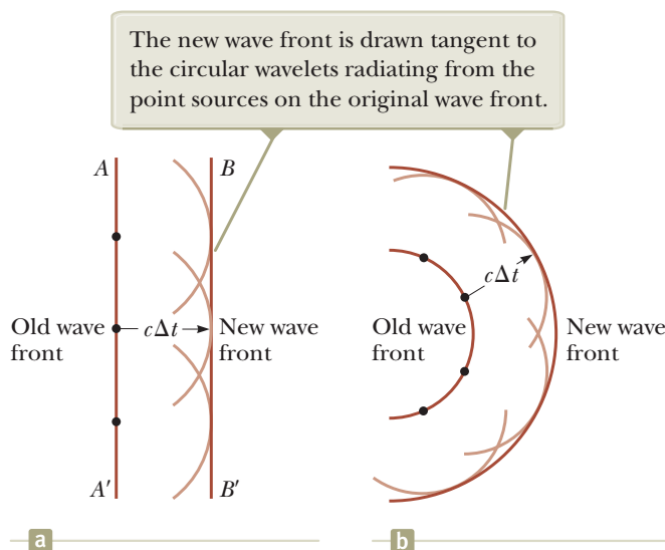
### Nguyên lý Huygens

Huygen đã cho rằng ánh sáng là một dạng chuyển động sóng chứ không phải là một dòng hạt chuyển động. **Nguyên lý Huygens** (*Huygens's Principle*) là một giải thích hình học để xác định vị trí của một sóng mới tại một điểm dựa trên dữ liệu về **mặt đầu sóng** (*wave front*) trước đó.

*Tất cả các điểm trên một mặt đầu sóng đã biết được coi như là những nguồn điểm tạo ra các sóng cầu thứ cấp, được gọi là wavelet, truyền về phía trước nó với một tốc độ đặc trưng cho sóng trong môi trường đó. Sau một khoảng thời gian nào đó, vị trí mới của mặt đầu sóng là mặt tiếp xúc với tất cả các sóng thứ cấp.*

#### 35.6.1 Giải thích Huygens đối với sóng phẳng

Tại thời điểm  $t = 0$ , mặt đầu sóng nằm tại mặt phẳng  $AA'$ . Các điểm chấm trên mặt phẳng  $AA'$  là các nguồn đại diện cho sóng thứ cấp. Sau khi các sóng thứ cấp di chuyển một khoảng  $c\Delta t$  thì mặt đầu sóng mới  $BB'$  là mặt được vẽ tiếp tuyến với các mặt sóng thứ cấp, trong đó  $c$  là tốc độ ánh sáng trong chân không và  $\Delta t$  là khoảng thời gian sóng truyền đi.



Hình 35.15: Nguyên lý Huyghen

### 35.6.2 Giải thích Huygens đối với sóng cầu

Các vòng cung bên trong biểu diễn một phần của sóng cầu. Các chấm là những điểm đại diện mà các sóng thứ cấp đã được lan truyền. Mặt đầu sóng mới tiếp tuyến với các sóng thứ cấp tại mỗi điểm.

### 35.6.3 Nguyên lý Huygens và định luật phản xạ

Định luật phản xạ có thể được dẫn xuất từ nguyên lý Huygens.  $AB$  là mặt đầu sóng phẳng của sóng ánh sáng tới khi tia sáng 1 đập lên mặt phẳng tại điểm A (hình 35.16). Sóng tại A gửi đi một sóng thứ cấp có tâm tại A về phía D. Sóng tại B gửi đi một sóng thứ cấp có tâm tại B về phía C.

Vì  $AD = BC = c\Delta t$ , nên  $\triangle ABC = \triangle ADC$ , và

$$\cos\gamma = BC/AC,$$

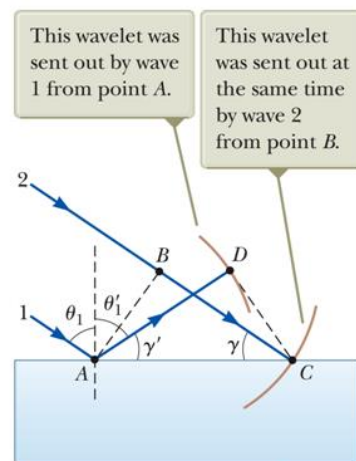
$$\cos\gamma' = AD/AC$$

vì vậy,  $\cos\gamma = \cos\gamma'$

$$\text{suy ra } \gamma = \gamma'$$

$$\text{do đó } \theta_1 = \theta_1'$$

Đó chính là định luật phản xạ.



Hình 35.16: Nguyên lý Huygen và định luật phản xạ

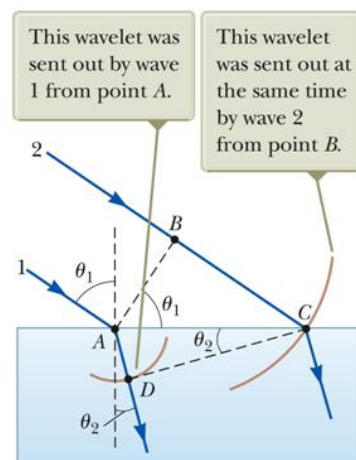
### 35.6.4 Nguyên lý Huygens và định luật khúc xạ

Định luật khúc xạ Snell cũng có thể được dẫn xuất từ nguyên lý Huygens. Tia 1 đập lên bề mặt tại A và sau một khoảng thời gian  $\Delta t$ , tia 2 đập lên bề mặt tại C (hình 35.17). Trong khoảng thời gian này sóng tại A đã gửi đi một sóng cầu tâm tại A hướng tới D. Sóng tại B gửi đi một sóng cầu tâm tại B hướng tới C. Hai sóng cầu này di chuyển trong hai môi trường khác nhau, vì vậy bán kính của chúng khác nhau. Bán kính của sóng cầu xuất phát từ A là  $AD = v_2\Delta t$ , trong đó  $v_2$  là tốc độ sóng truyền đi trong môi trường thứ hai. Bán kính của sóng cầu xuất phát từ B là  $BC = v_1\Delta t$ , trong đó  $v_1$  là tốc độ sóng truyền đi trong môi trường thứ nhất. Từ hai tam giác ABC và ADC, ta có:

$$\sin\theta_1 = \frac{BC}{AC} = \frac{v_1\Delta t}{AC}$$

và

$$\sin\theta_2 = \frac{AD}{AC} = \frac{v_2\Delta t}{AC}$$



Hình 35.17: Nguyên lý Huygen và định luật khúc xạ

suy ra

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

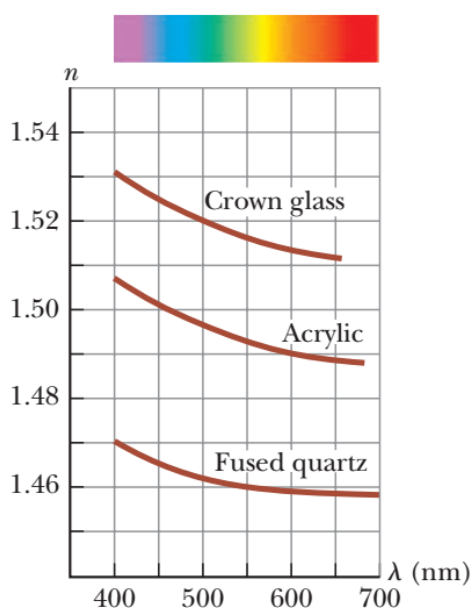
Do đó:  $n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2$

Đây chính là định luật khúc xạ Snell.

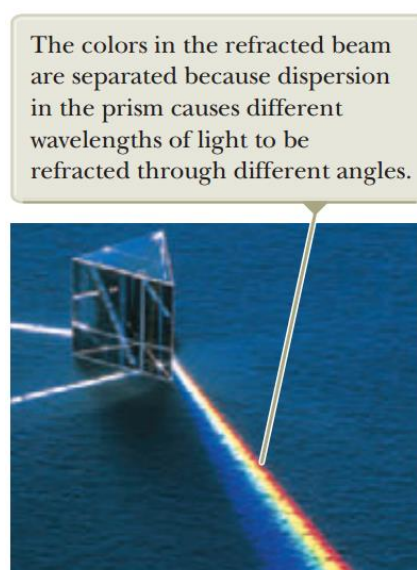
### Sự tán sắc

Chiết suất của một vật liệu thay đổi theo bước sóng của ánh sáng truyền qua vật liệu đó (hình 35.18). Sự phụ thuộc của  $n$  vào  $\lambda$  được gọi là **sự tán sắc ánh sáng** (*dispersion*).

35.7



Hình 35.18: Sự thay đổi chiết suất theo bước sóng



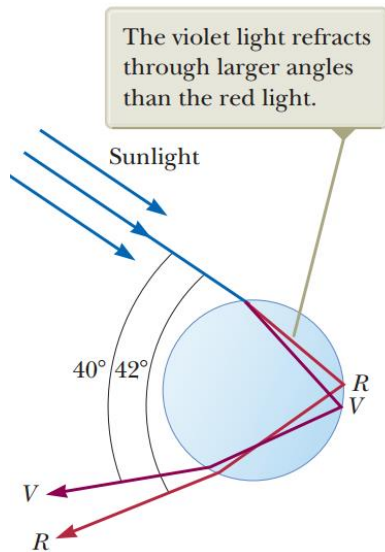
Hình 35.19: Khúc xạ qua lăng kính

Theo định luật Snell, ánh sáng có bước sóng khác nhau sẽ bị gập những góc khác nhau khi truyền qua vật liệu khúc xạ.

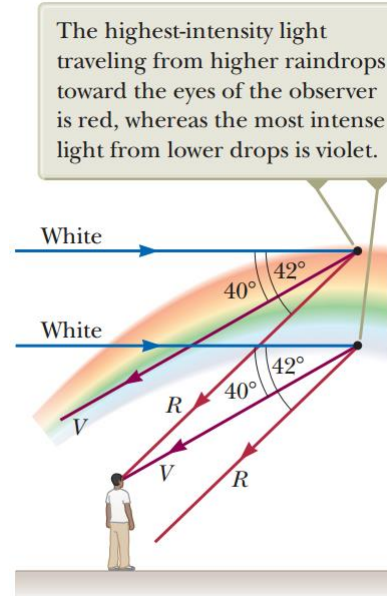
Chiết suất của một vật liệu nói chung giảm khi bước sóng tăng lên. Ánh sáng tím bị gập nhiều hơn ánh sáng đỏ khi băng qua môi trường khúc xạ.

Giả sử có một chùm ánh sáng trắng chiếu tới một lăng kính như hình 35.19 thì vì các màu có góc lệch khác nhau nên ánh sáng trắng sẽ trải ra thành một phổ ánh sáng nhìn thấy được. Tia tím bị lệch nhiều nhất, tia đỏ bị lệch ít nhất, các màu còn lại nằm ở giữa.

Sự tán sắc ánh sáng trắng thành một phổ có thể được minh họa một cách rõ rệt nhất trong tự nhiên thông qua sự tạo thành cầu vồng trên bầu trời lúc trời sắp mưa.



Hình 35.20: Tia sáng bị nhiễu xạ trên giọt nước



Hình 35.21: Cầu vồng

Một tia sáng chiếu lên một giọt nước trong không khí sẽ bị cả phản xạ và khúc xạ (hình 35.20). Khúc xạ đầu tiên ở mặt ánh sáng chiếu tới của giọt nước làm cho ánh sáng tím bị lệch nhiều nhất còn ánh sáng đỏ bị lệch ít nhất.

Ở mặt sau của giọt nước, ánh sáng bị phản xạ, nó sẽ bị khúc xạ lần nữa khi đến mặt trước của giọt nước rồi đi vào không khí. Các tia sáng đi ra khỏi giọt nước dưới những góc lệch khác nhau: Góc giữa tia sáng trắng và tia tím mạnh nhất là  $40^\circ$ , góc giữa tia sáng trắng và tia đỏ mạnh nhất là  $42^\circ$ .

Nếu một giọt mưa ở phía trên cao trên bầu trời được quan sát thì tia đỏ được nhìn thấy, còn giọt nước ở độ cao thấp hơn trên bầu trời sẽ chiếu tia tím tới người quan sát. Vì vậy, người quan sát trên mặt đất sẽ nhìn thấy cầu vồng như trên hình 35.21. Các màu khác của phổ ánh sáng nằm giữa màu đỏ và màu tím.

Hình 35.22 còn cho thấy sự xuất hiện của một cầu vồng đôi. Cầu vồng thứ cấp nhạt hơn cầu vồng sơ cấp, màu thì ngược lại. Cầu vồng thứ cấp tạo thành do ánh sáng bị phản xạ hai lần ở mặt bên trong của giọt nước trước khi đi ra ngoài. Các cầu vồng cấp cao hơn cũng có thể xuất hiện nhưng với cường độ rất yếu.

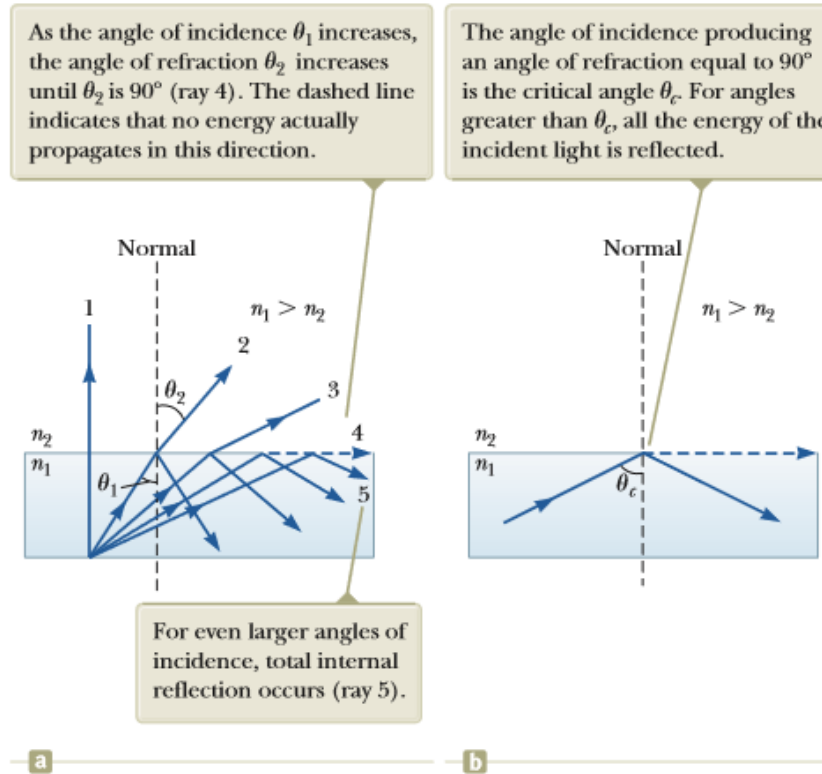


Hình 35.22: Cầu vồng đôi

**Câu hỏi 35.4:** Trong nhiếp ảnh, các ống kính trong máy ảnh sử dụng hiện tượng khúc xạ để tạo thành hình ảnh trên bề mặt nhạy sáng. Lý tưởng nhất là bạn muốn tất cả các màu trong ánh sáng từ vật thể được chụp sẽ bị khúc xạ với cùng một lượng như nhau. Trong số các vật liệu được hiển thị trên Hình 35.14, bạn sẽ chọn loại nào cho ống kính máy ảnh một thành phần? (a) crown glass (b) acrylic (c) fused quartz (d) không thể xác định.

## Sự phản xạ toàn phần

35.8



Hình 35.23: Sự phản xạ toàn phần

Một hiện tượng được gọi là **phản xạ toàn phần** (*total internal reflection*) có thể xảy ra khi ánh sáng chiếu từ một môi trường đến môi trường có chiết suất nhỏ hơn.

Trên hình 35.23, một tia sáng chiếu từ môi trường 1 đến mặt phân cách với môi trường 2. Các hướng khả dĩ của tia sáng được đánh số từ tia 1 đến tia 5. Các tia khúc xạ bị gập xa khỏi pháp tuyến khi  $n_1 > n_2$ .

Có một góc tới làm cho tia khúc xạ bị lệch với góc khúc xạ bằng  $90^\circ$ , khi đó tia khúc xạ nằm trên mặt phân cách. Góc tới đó được gọi là **góc tới hạn**  $\theta_c$  (critical angle). Sử dụng định luật khúc xạ với  $\theta_2 = 90^\circ$ :

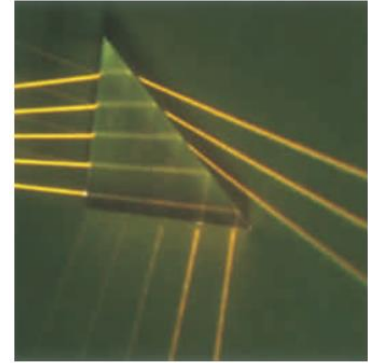
$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin \theta_2$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (n_1 > n_2) \quad (35.6)$$

Đối với góc tới lớn hơn góc tới hạn thì tia tới sẽ bị phản xạ hoàn toàn tại mặt phân cách hai môi trường. Tia này tuân theo định luật phản xạ tại điểm tới. Hiện tượng phản xạ toàn phần chỉ xảy ra khi ánh sáng được chiếu từ một môi trường tới môi trường có chiết suất thấp hơn.

Góc tới hạn đối là nhỏ khi  $n_1$  lớn hơn  $n_2$  đáng kể. Ví dụ, góc tới hạn của một viên kim cương trong không khí là  $24^\circ$ . Bất kỳ tia sáng nào bên trong viên kim cương tiếp cận bề mặt

ở góc lớn hơn  $24^\circ$  được phản xạ lại hoàn toàn trở lại tinh thể. Điều này khiến cho kim cương trở nên lấp lánh. Các góc của các mặt được cắt sao cho ánh sáng bị phản xạ nhiều lần bên trong viên kim cương. Nhiều phản xạ làm cho ánh sáng đi vòng vòng trên một con đường dài trong môi trường và sự tán sắc đáng kể xảy ra. Vào thời điểm ánh sáng đi qua bề mặt trên cùng của tinh thể, các tia với những màu sắc khác nhau đã được tách khá rộng ra với nhau.



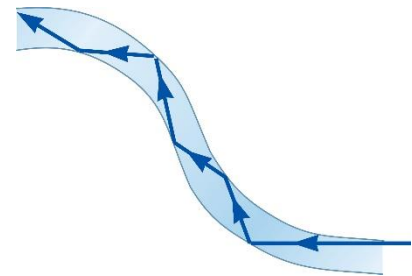
Hình 35.24: Câu hỏi 35.5

**Câu hỏi 35.5:** Trong hình 35.27, năm tia sáng đi vào lăng kính thủy tinh từ bên trái.

- (i) Có bao nhiêu trong số các tia này sẽ phản xạ toàn phần tại bề mặt nghiêng của lăng kính? (a) một (b) hai (c) ba (d) bốn (e) năm?  
 (ii) Giả sử lăng kính trong hình 35.27 có thể được quay trong mặt phẳng của tờ giấy. Để cho tất cả năm tia đều phản xạ toàn phần từ bề mặt nghiêng thì lăng kính được quay (a) theo chiều kim đồng hồ hay (b) ngược chiều kim đồng hồ?

### Quang học sợi (Fiber Optics)

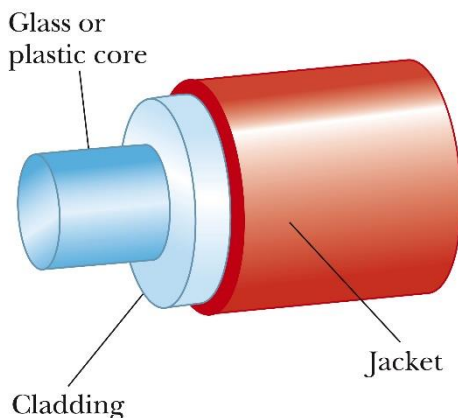
Một ứng dụng của hiện tượng phản xạ toàn phần là sử dụng các thanh làm bằng chất dẻo hoặc thủy tinh để dẫn ánh sáng từ nơi này đến nơi khác (hình 35.25). Các ứng dụng thực tế thường gặp là nội soi trong xét nghiệm y tế hoặc truyền tin.



Hình 35.25: Ánh sáng truyền đi trong một thanh mềm, trong suốt do phản xạ toàn phần

Một lõi trong suốt được bao quanh bởi một lớp vật liệu có chiết suất  $n$  nhỏ hơn chiết suất của lõi (hình 35.26). Điều này làm cho ánh sáng truyền đi chỉ trong lõi do hiện tượng phản xạ toàn phần. Bên ngoài là lớp vỏ bọc.

Một ống ánh sáng mềm được gọi là một sợi quang. Một bó các sợi quang song song với nhau tạo thành một đường truyền quang như hình 35.27.



Hình 35.26: Cấu trúc một sợi quang học



Hình 35.27: Một bó sợi quang học



## Tóm tắt chương 35

**Gần đúng tia** (*Ray approximation*): Trong một môi trường đồng dạng, ánh sáng truyền đi theo đường thẳng.

Hiện tượng **phản xạ toàn phần** (*total internal reflection*) có thể xảy ra khi ánh sáng chiếu từ một môi trường có chiết suất cao đến môi trường có chiết suất nhỏ hơn.

**Góc tới hạn**  $\theta_c$  (*critical angle*) là góc tới làm cho tia khúc xạ bị lệch với góc khúc xạ  $\theta_2 = 90^\circ$ . Từ định luật khúc xạ:

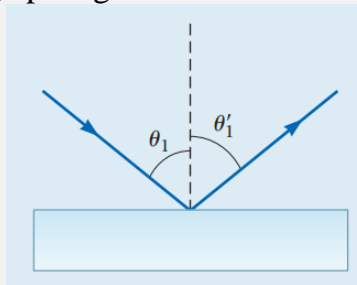
$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (n_1 > n_2) \quad (35.6)$$

**Định luật phản xạ** (*Law of reflection*)

Khi một tia sáng (hay một sóng bất kỳ) chiếu lên một bề mặt nhẵn thì góc phản xạ  $\theta'_1$  bằng góc tới  $\theta_1$ :

$$\theta'_1 = \theta_1 \quad (35.1)$$

Sự gãy (sự đổi hướng) của tia sáng khi truyền qua mặt phân cách giữa hai môi trường được gọi là sự khúc xạ (*refraction*). Tia tới, tia phản xạ, tia khúc xạ và pháp tuyến của mặt phân cách đều nằm trong cùng một mặt phẳng.

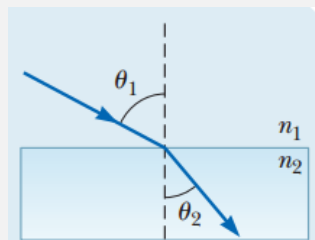


**Định luật khúc xạ Snell** (*Snell's law of refraction*)

Góc khúc xạ (*angle of refraction*) phụ thuộc vào vật liệu và góc tới (*angle of incidence*) theo hệ thức

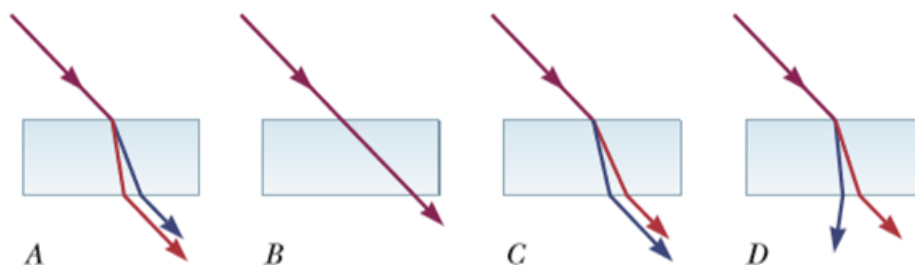
$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \quad (35.6)$$

$\theta_1$  là góc tới,  $\theta_2$  là góc khúc xạ.



## Câu hỏi lý thuyết chương 35

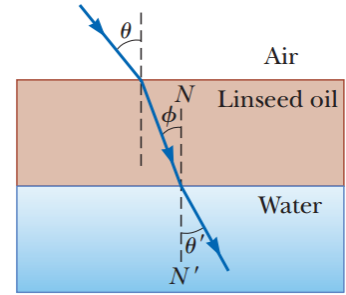
- Một sóng ánh sáng di chuyển giữa môi trường 1 và môi trường 2. Phát biểu nào sau đây là đúng khi nói về tốc độ, tần số và bước sóng của nó trong hai môi trường, các chiết suất của môi trường, góc tới và góc khúc xạ? Nhiều hơn một phát biểu có thể đúng.  
 (a)  $v_1 / \sin\theta_1 = v_2 / \sin\theta_2$  (b)  $\csc\theta_1 / n_1 = \csc\theta_2 / n_2$  (c)  $f_1 / \sin\theta_1 = f_2 / \sin\theta_2$  (d)  $n_1 / \cos\theta_1 = n_2 / \cos\theta_2$   
 ( $\csc\theta = 1/\sin\theta$ )
- Điều gì xảy ra với sóng ánh sáng khi truyền từ không khí vào thủy tinh?  
 (a) Tốc độ của nó vẫn giữ nguyên.  
 (b) Tốc độ của nó tăng lên.  
 (c) Bước sóng của nó tăng.  
 (d) Bước sóng của nó vẫn giữ nguyên.  
 (e) Tần số của nó vẫn giữ nguyên.
- Một tia sáng chứa cả bước sóng xanh và đỏ chiếu lên một tấm kính như hình vẽ. Những phát biểu nào trong hình dưới thể hiện kết quả có thể xảy ra nhất? (a) A (b) B (c) C (d) D (e) không cái nào.



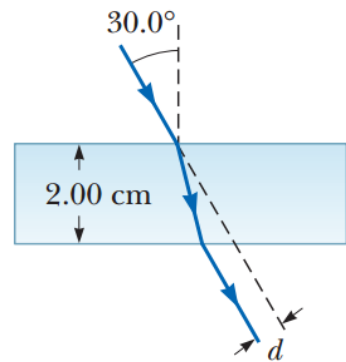
- Lõi của một sợi quang truyền ánh sáng với tổn thất năng lượng tối thiểu nếu nó bị bao quanh bởi cái gì? (a) nước (b) kim cương (c) không khí (d) thủy tinh (e) thạch anh.
- Ánh sáng màu nào khúc xạ nhiều nhất khi chiếu từ không khí vào thủy tinh dưới góc tới  $\theta \neq 0$ ? (a) tím (b) xanh lam (c) xanh (d) vàng (e) đỏ.
- Tại sao một mẫu kim cương lấp lánh hơn một mẫu thủy tinh có cùng kích thước và hình dạng?
- Một quảng cáo sản phẩm bán một vật liệu có chiết suất 0,85. Đó có phải là một sản phẩm tốt để mua hay không? Tại sao mua hay tại sao không?

## Bài tập chương 35

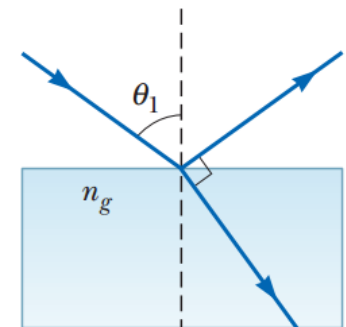
1. Tìm năng lượng của (a) một photon có tần số  $5,00 \times 10^{17}$  Hz và (b) một photon có bước sóng  $3,00 \times 10^2$  nm. Kết quả tính bằng electron vôn (eV), biết  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{19}$  J.
2. Một tia sáng chiếu từ không khí qua một lớp dầu rồi đi vào nước như hình BT-2. Biết chiết suất của dầu là  $n = 1,48$ , của nước là  $1,33$  và của không khí là  $1$ ; góc  $\phi = 20,0^\circ$ . Hãy tính góc  $\theta$  và  $\theta'$ .
3. Một tia sáng chiếu vào một khối thủy tinh phẳng ( $n = 1,50$ ) có độ dày  $2,00$  cm dưới một góc  $30,0^\circ$  so với pháp tuyến. Tính các góc tới và khúc xạ ở mỗi bề mặt của tia sáng xuyên qua khối thủy tinh.
4. Một tia sáng từ trong nước chiếu tới một môi trường trong suốt dưới góc tới  $37,0^\circ$  và tia truyền qua bị khúc xạ một góc  $25,0^\circ$ . Tính tốc độ ánh sáng trong chất trong suốt đó.
5. Một lăng kính có góc ở đỉnh  $\Phi = 50,0^\circ$  được làm bằng khối zirconia. Góc lệch tối thiểu  $\delta_{\min}$  của nó bằng bao nhiêu?
6. Một tia sáng đi qua khối thủy tinh có chiết suất  $n = 1,50$  bị dịch chuyển ngang bởi một khoảng  $d$  như trong hình BT-6.
  - (a) Tìm giá trị của  $d$ .
  - (b) Tìm khoảng thời gian cần thiết để ánh sáng đi qua khối thủy tinh.
7. Ánh sáng có bước sóng  $700$  nm chiếu lên mặt của lăng kính thạch anh ( $n = 1,458$  đối với ánh sáng  $700$  nm) dưới góc tới  $75,0^\circ$ . Góc đỉnh của lăng kính là  $60,0^\circ$ . Tính
  - (a) góc khúc xạ ở bề mặt thứ nhất,
  - (b) góc tới ở bề mặt thứ hai,
  - (c) góc khúc xạ ở bề mặt thứ hai và
  - (d) góc giữa tia tới và tia ló ra.
8. Một chùm ánh sáng vừa phản xạ vừa khúc xạ ở bề mặt giữa không khí và thủy tinh như trên hình BT-8. Nếu chiết suất của thủy tinh là  $n_g$ , hãy tìm góc tới  $\theta_1$  trong không khí để tia phản xạ và tia khúc xạ vuông góc với nhau.
9. Một chùm ánh sáng chứa bước sóng đỏ và tím chiếu lên một phiến thạch anh dưới góc tới  $50,0^\circ$ . Chiết suất của thạch anh là  $1,455$  đối với ánh sáng đỏ (bước sóng  $600$  nm) và chiết suất của nó là  $1,468$  đối với ánh sáng tím (bước sóng  $410$  nm). Tìm độ tán sắc của bản mỏng, được định nghĩa là sự khác biệt về góc khúc xạ cho hai bước sóng.



Hình BT-2

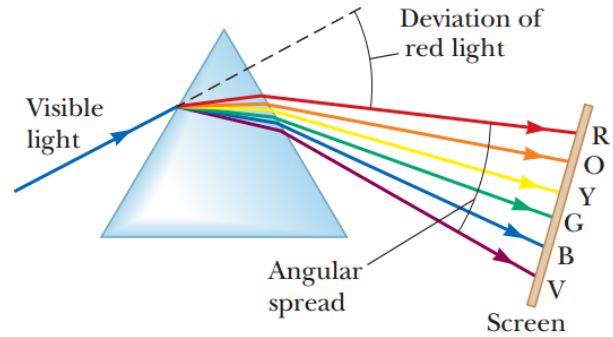


Hình BT-6



Hình BT-8

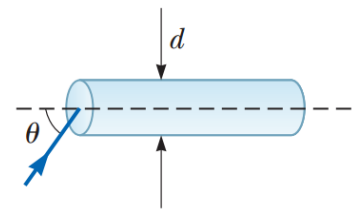
10. Chiết suất của thủy tinh đối với ánh sáng tím là 1,66 và đối với ánh sáng đỏ là 1,62. Một tia sáng trắng chiếu qua một lăng kính có góc đỉnh là  $\phi = 60,0^\circ$ . Góc tới của tia sáng trên một mặt bên là  $50,0^\circ$ . Hãy tính độ trải rộng (angular spread) của chùm ánh sáng ló ra ở mặt bên kia (hình BT-10).



Hình BT-10

11. Một sợi quang thủy tinh có chiết suất  $n = 1,5$  được nhúng trong nước ( $n = 1,33$ ). Hãy xác định góc tới hạn đối với sự phản xạ toàn phần bên trong sợi quang đó.

12. Một thanh trong suốt đường kính  $d = 2,00$  mm có chiết suất 1,36. Xác định góc  $\theta$  lớn nhất để các tia sáng chiếu tới một đầu thanh như trong hình BT-12 bị phản xạ toàn phần bên trong dọc theo mặt ngoài của thanh.



Hình BT-12

13. Một chùm ánh sáng chiếu từ không khí lên bề mặt một chất lỏng dưới góc tới là  $30,0^\circ$  thì góc khúc xạ là  $22,0^\circ$ . Hãy tìm góc tới hạn để ánh sáng bị phản xạ toàn phần bên trong chất lỏng khi được bao quanh bởi không khí.

14. Một tia sáng đi vào bầu khí quyển của Trái đất và chiếu thẳng đứng xuống bề mặt Trái đất bên dưới cách một khoảng  $h = 100$  km. Chiết suất của không khí nơi ánh sáng đi vào bầu khí quyển là 1,00 và nó tăng tuyến tính theo khoảng cách đến giá trị  $n = 1,000293$  tại bề mặt của Trái Đất.

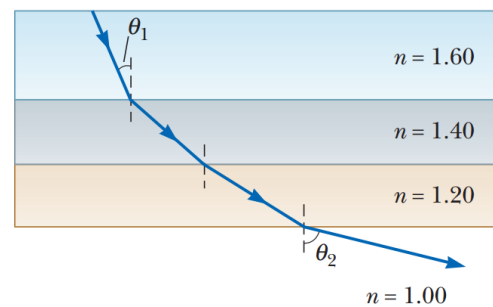
(a) Tia sáng đi hết quãng đường này hết bao lâu?

(b) Nếu không có bầu khí quyển Trái đất thì ánh sáng sẽ truyền đi trong khoảng thời gian nhanh hơn bao nhiêu phần trăm?

15. Hình BT-15 cho thấy đường đi của chùm sáng xuyên qua một số tấm phẳng với chiết suất khác nhau.

(a) Nếu góc  $\theta_1 = 30,0^\circ$ , thì góc  $\theta_2$  của chùm tia ló ra bằng bao nhiêu?

(b) Góc tới  $\theta_1$  phải bằng bao nhiêu để có phản xạ toàn phần trên bề mặt với môi trường có chiết suất  $n = 1,20$  và  $n = 1,00$ ?



Hình BT-15

16. Một chùm ánh sáng là sự cố từ không khí trên bề mặt chất lỏng. Nếu góc tới là  $30,0^\circ$  và góc khúc xạ là  $22,0^\circ$ , hãy tìm góc tới cho tổng phản xạ bên trong của chất lỏng khi được bao quanh bởi không khí.