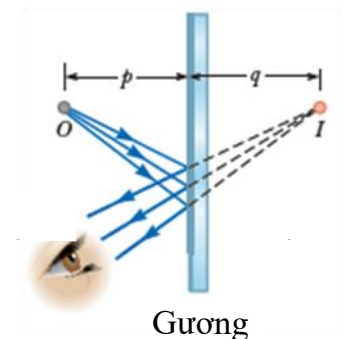


Chương 36: Sự tạo ảnh

Nội dung của chương này đề cập đến các ảnh được tạo thành khi chùm tia sáng gặp các bề mặt ngăn cách giữa hai môi trường. Các ảnh được tạo ra do sự phản xạ hoặc khúc xạ gây bởi các bề mặt này. Chúng ta có thể thiết kế các gương và thấu kính để tạo ra các ảnh có các đặc điểm như mong muốn. Trong chương này, ánh sáng được thể hiện gần đúng như các tia và giả thiết rằng ánh sáng truyền đi theo đường thẳng. Đầu tiên chúng ta xem xét quá trình tạo ảnh bởi các loại gương và thấu kính và xác định vị trí cũng như kích thước của ảnh. Sau đó chúng ta sẽ kết hợp các gương và thấu kính để tạo ra các thiết bị quang học hữu ích như kính hiển vi và kính thiên văn.

36.1 Ảnh tạo bởi gương phẳng

Xét một nguồn sáng điểm đặt ở O trước một gương phẳng và cách gương một đoạn p như trong hình vẽ. Khoảng cách p được gọi là khoảng cách vật. Chùm sáng phân kỳ từ nguồn đến gương và bị phản xạ bởi gương tạo ra chùm tia phân xạ cũng là chùm tia phân kỳ. Đường kéo dài (dường đứt nét trong hình) của chùm tia phản xạ giao nhau ở điểm I . Chùm tia phản xạ dường như được phát ra từ điểm I ở sau gương. Điểm I được gọi là ảnh của vật ở O . Khoảng cách q từ I đến gương được gọi là khoảng cách ảnh.



Gương
Hình 36.1

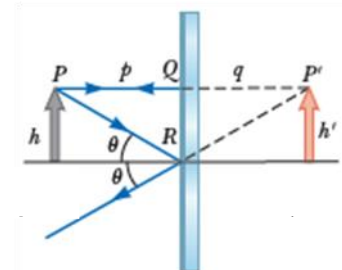
Một ảnh tạo bởi giao điểm của các tia sáng gọi là ảnh thật và một ảnh tạo bởi đường kéo dài của các tia sáng gọi là ảnh ảo. Ảnh của một vật tạo bởi gương phẳng luôn là ảnh ảo. Một ảnh thật có thể hứng được trên màn ảnh, còn ảnh ảo thì không.

Để xác định ảnh của một vật có kích thước, ta cần xác định ảnh của tất cả các điểm trên vật. Mặc dù có vô hạn tia sáng đi từ một điểm trên vật, nhưng chúng ta chỉ cần xét hai tia sáng phát ra từ điểm này và vẽ các tia phản xạ tương ứng nhờ định luật phản xạ ánh sáng để xác định vị trí ảnh. Trong hình 36.2, ảnh của điểm P trên vật được xác định nhờ hai tia: tia PQ và PR . Do hai tam giác PQR và $P'QR$ bằng nhau nên $PQ = P'Q$, vì vậy $|p| = |q|$. Do đó ảnh tạo bởi gương phẳng của một vật đối xứng với vật qua gương.

Hình 36.2 cũng chỉ ra rằng chiều cao h của vật bằng với chiều cao h' của ảnh. Độ phóng đại ảnh của một vật được định nghĩa như sau:

$$M = \frac{\text{chiều cao ảnh}}{\text{chiều cao vật}} = \frac{h'}{h} \quad (36.1)$$

Định nghĩa này cũng sẽ được dùng cho tất cả các loại gương và thấu kính. M sẽ có giá trị dương khi ảnh và vật cùng chiều, M sẽ có giá trị âm khi ảnh và vật ngược chiều. Với gương



Hình 36.2

phẳng $M = +1$.

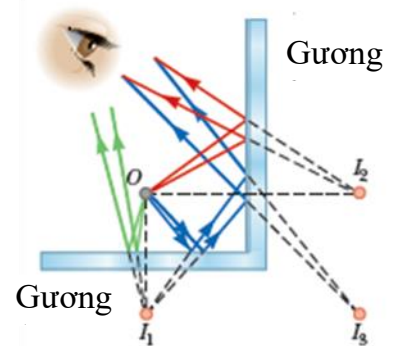
Bổ sung câu hỏi 36.1 vì tất cả các câu Quick Quiz đều có khả năng ra đề thi trắc nghiệm.

Bài tập mẫu 36.1: Các ảnh tạo bởi hai gương.

Hai gương phẳng được đặt vuông góc nhau như hình 36.3 và vật được đặt ở O . Xác định các ảnh được tạo ra.

Giải:

Ảnh của vật qua gương 1 là I_1 và qua gương 2 là I_2 . Ảnh I_3 là ảnh của I_1 qua gương 2 và cũng là ảnh của I_2 qua gương 1.



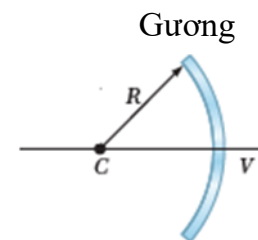
Hình 36.3

Bổ sung phần ứng dụng trong gương chiếu hậu của ô tô (như trong giáo trình gốc).

36.2 Ảnh tạo bởi gương cầu

Có nhiều loại gương cong khác nhau nhưng ở đây chúng ta chỉ khảo sát gương có bề mặt là một phần của mặt cầu (thường là một chỏm cầu), gọi là gương cầu.

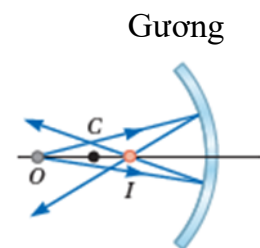
Trong hình 36.4, tâm C của mặt cầu chứa gương gọi là tâm của gương, bán kính R của mặt cầu này gọi là bán kính của gương. Đường thẳng qua C và V (V là điểm chính giữa của gương gọi là đỉnh gương) gọi là trục chính của gương. Nếu mặt phản xạ của gương là mặt lõm thì gọi là gương cầu lõm và nếu mặt phản xạ của gương là mặt lồi thì gọi là gương cầu lồi.



Hình 36.4

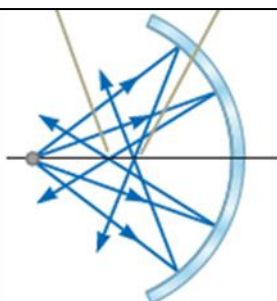
36.2.1 Gương cầu lõm

Xét một nguồn sáng điểm đặt trước gương tại một điểm O tùy ý trên trục chính (Hình 36.5). Hai tia sáng phân kỳ từ O tới gương cho hai tia phản xạ giao nhau tại ảnh I , rồi chúng phân kỳ từ I như thể có một nguồn sáng tại đó. Ảnh I này là ảnh thật.



Hình 36.5

Các tia phản xạ giao nhau ở các điểm khác nhau trên trục chính.



Hình 36.6

Trong chương này chúng ta chỉ xét các tia sáng đi từ vật và tạo một góc nhỏ với trục chính (điều kiện tương điểm). Tất cả các tia này đều cho tia phản xạ qua một điểm duy nhất và làm cho ảnh của vật rõ nét. Các tia xa trục chính cho các tia phản xạ hội tụ tại các điểm khác nhau trên trục chính, tạo ra một ảnh mờ (Hình 36.6). Hiệu ứng này gọi là cầu sai.

Hình 36.7 cho phép chúng ta tính được khoảng cách ảnh q khi biết khoảng cách vật p và bán kính R của gương. Các khoảng cách p và q là đo từ điểm V . Các tia sáng trong hình xuất phát từ đỉnh của vật: một tia qua C cho tia phản xạ truyền ngược lại và một tia tới gương tại V cho tia phản xạ đối xứng tia tới qua trục chính.

Từ hình vẽ ta có: $\tan\theta = h/p$ và $\tan\theta = -h'/q$ ($h' < 0$ vì ảnh ngược chiều với vật).
Độ phóng đại ảnh

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p} \quad (36.2)$$

Mặt khác ta cũng có:

$$\tan\alpha = \frac{-h'}{R-q} \quad \text{và} \quad \tan\alpha = \frac{h}{p-R}$$

Suy ra:

$$\frac{h'}{h} = -\frac{R-q}{p-R} \quad (36.3)$$

Từ 36.2 và 36.3 ta được:

$$\frac{R-q}{p-R} = \frac{q}{p}$$

Suy ra:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} \quad (36.4)$$

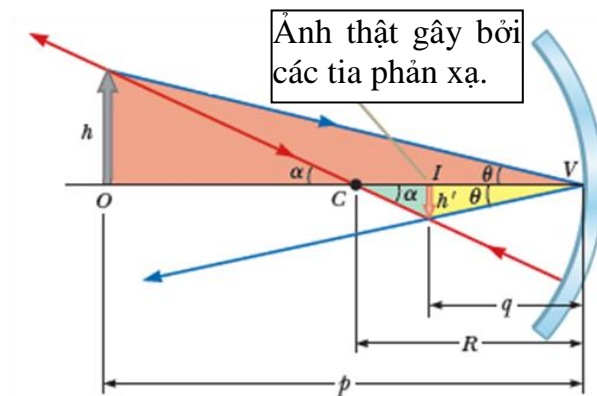
Phương trình 36.4 gọi là phương trình gương cầu.

Nếu vật ở rất xa gương, nghĩa là p rất lớn so với R thì $1/p \approx 0$ và phương trình 36.4 cho $q \approx R/2$. Nghĩa là khi vật ở rất xa gương thì ảnh ở vị trí trung điểm của đoạn CV như hình 36.8. Điểm ảnh đặc biệt này gọi là tiêu điểm F và khoảng cách ảnh này gọi là tiêu cự f , trong đó

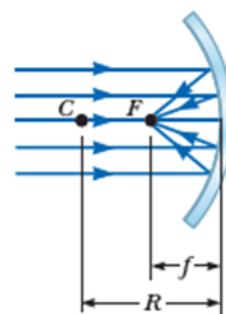
$$f = \frac{R}{2} \quad (36.5)$$

Tiêu cự f là một thông số đặc biệt của gương và được dùng để so sánh gương này với gương khác. Dùng f phương trình 36.4 được viết lại thành:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (36.6)$$



Hình 36.7

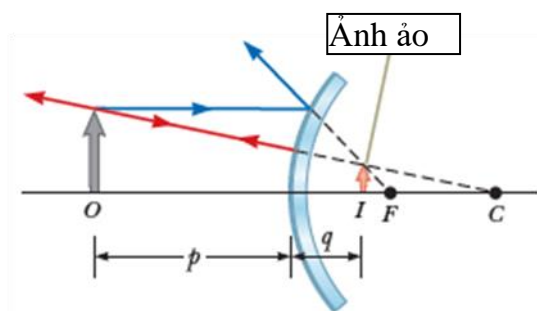


Hình 36.8

36.2.2 Gương cầu lồi

Hình 36.9 cho thấy ảnh của vật ở trước gương là một ảnh ảo và luôn cùng chiều với vật nhưng nhỏ hơn vật.

Các phương trình 36.2, 36.4 và 36.6 sử dụng được cho cả gương cầu lõm và gương cầu lồi, nhưng cần tuân theo quy ước về dấu theo bảng 36.1.



Hình 36.9

Bảng 36.1- Quy ước dấu cho gương cầu

Đại lượng	Dương khi	Âm khi
P	Vật ở trước gương (vật thật)	Vật ở sau gương (vật ảo)
Q	Ảnh ở trước gương (ảnh thật)	Ảnh ở sau gương (ảnh ảo)
h'	Ảnh cùng chiều với vật	Ảnh ngược chiều với vật
f và R	Gương là gương lõm	Gương là gương lồi
M	Ảnh cùng chiều với vật	Ảnh ngược chiều với vật

36.2.3 Các tia sáng đặc biệt

Vị trí và kích thước của ảnh tạo bởi gương có thể được xác định bằng hình vẽ và có thể dùng để kiểm tra các kết quả tính toán bằng các công thức. Việc vẽ hình trở nên đơn giản bằng cách sử dụng hai trong ba tia sáng xuất phát từ một điểm trên vật (thường là đỉnh của vật) theo các phương truyền đặc biệt theo từng loại gương như sau:

- Tia tới song song với trục chính cho tia phản xạ qua tiêu điểm F (hoặc có phương qua tiêu điểm F).
- Tia tới qua tiêu điểm F (hoặc có phương qua tiêu điểm F) cho tia phản xạ song song với trục chính.
- Tia tới gương tại tâm C (hoặc có phương qua tâm C) cho tia phản xạ truyền ngược lại theo phương của tia tới.

Giao điểm của hai trong ba tia trên xác định vị trí ảnh.

Đối với gương cầu lõm, khi cho vật từ xa gương tiến đến F thì ảnh thật (ngược chiều với vật) sẽ tiến ra xa gương và càng lớn dần. Khi vật ở tại F , ảnh ở xa vô cùng. Khi vật ở giữa F và gương thì ảnh là ảo, cùng chiều với vật, lớn hơn vật và cứ lớn dần lên.

Đối với gương cầu lồi, ảnh luôn là ảo, cùng chiều và nhỏ hơn vật. Khi vật tiến về phía gương thì ảnh lớn dần và tiến về phía gương.

Bỏ sung câu hỏi 36.2 và 36.3 vì tất cả các câu Quick Quiz đều có khả năng ra đề thi trắc nghiệm.

Bài tập mẫu 36.2: Một gương cầu có tiêu cự 10,0 cm.

Một gương cầu có tiêu cự 10,0 cm .

(A) Xác định vị trí và mô tả ảnh của một vật đặt cách gương 25 cm.

(B) Xác định vị trí và mô tả ảnh của một vật đặt cách gương 10 cm.

Giải:

(A) Theo công thức gương cầu:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad q = \frac{pf}{p-f} = \frac{25 \cdot 10}{25-10} = 16,7 \text{ cm}$$

Độ phóng đại ảnh:

$$M = -\frac{q}{p} = -0,667$$

Kết luận: Ảnh thu được là ảnh thật, nhỏ hơn vật và ngược chiều với vật.

(B)

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad q = \frac{pf}{p-f} = \frac{10 \cdot 10}{10-10} \rightarrow \infty$$

Kết luận: Ảnh ở xa vô cực, nghĩa là chùm tia xuất phát từ vật đến gương cho chùm tia phản xạ song song nhau.

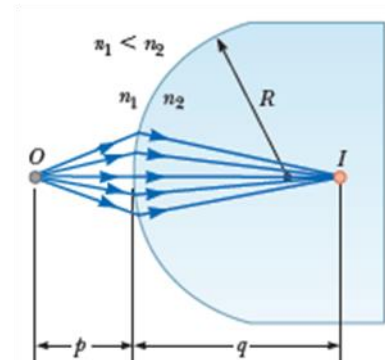
Bỏ sung thêm bài tập mẫu 36.4 như trong giáo trình gốc

36.3 Ảnh tạo bởi sự khúc xạ

Xét hai môi trường trong suốt có chiết suất n_1 và n_2 và ngăn cách nhau bởi mặt cầu có bán kính R (Hình 36.16). Giả sử nguồn sáng điểm đặt ở O trong môi trường có chiết suất n_1 . Một chùm sáng từ O khúc xạ ở mặt cầu và hội tụ ở I , là ảnh của nguồn.

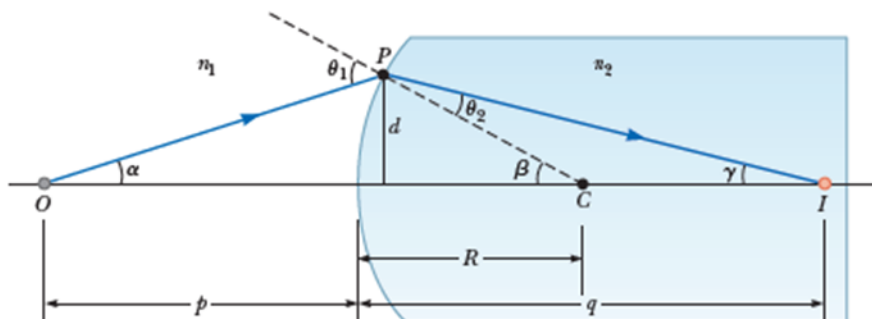
Với một tia sáng từ O khúc xạ qua I (Hình 36.17), định luật Snell cho

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$



Hình 36.16

Với các góc θ nhỏ sao cho có thể sử dụng gần đúng $\sin\theta \approx \theta$ (góc θ tính theo radian) thì phương trình trên có thể viết lại thành



Hình 36.17

$$n_1\theta_1 = n_2\theta_2$$

Theo hình vẽ ta cũng có

$$\theta_1 = \alpha + \beta \quad \text{và} \quad \beta = \theta_2 + \gamma$$

Kết hợp các phương trình trên để khử θ_1 và θ_2 thì thu được

$$n_1\alpha + n_2\gamma = (n_2 - n_1)\beta \quad (36.7)$$

Sử dụng các tam giác trong hình vẽ chúng ta cũng thu được các kết quả

$$\tan\alpha \approx \alpha = \frac{d}{p} \quad ; \quad \tan\beta \approx \beta = \frac{d}{R} \quad \text{và} \quad \tan\gamma \approx \gamma = \frac{d}{q}$$

Thay các biểu thức này vào (36.7) rồi rút gọn thì được

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R} \quad (36.8)$$

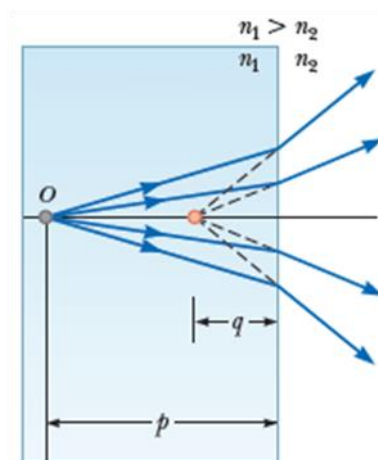
Kết quả này không phụ thuộc α (với α nhỏ) nên tất cả các tia sáng đều hội tụ tại cùng một điểm ảnh I .

Để cho thuận tiện khi xét các trường hợp khác nhau, chúng ta gọi phía mặt ngăn cách chứa chùm sáng tới là phía trước và phía bên kia gọi là phía sau. Ngược với ảnh tạo bởi gương, ảnh thực tạo bởi các tia khúc xạ xuất hiện ở phía sau mặt ngăn cách nên quy ước về dấu cho q và R sẽ ngược với quy ước dấu cho gương.

Sự khúc xạ qua các bề mặt phẳng

Nếu bề mặt khúc xạ là phẳng thì $R \rightarrow \infty$ và phương trình 36.8 trở thành

$$\frac{n_1}{p} = -\frac{n_2}{q} \quad (36.9)$$



Hình 36.18

Phương trình (36.9) cho thấy q và p ngược dấu nhau nên ảnh và vật ở cùng phía so với bề mặt khúc xạ như minh họa ở hình 36.18, nghĩa là ảnh thu được là ảnh ảo.

Bổ sung câu hỏi 36.4 và 36.5 vì tất cả các câu Quick Quiz đều có khả năng ra đề thi trắc nghiệm.

Bài tập mẫu 36.7: Một con cá đang bơi ở độ sâu d so với mặt nước của một hồ nước.

Một con cá đang bơi ở độ sâu d so với mặt nước của một hồ nước.

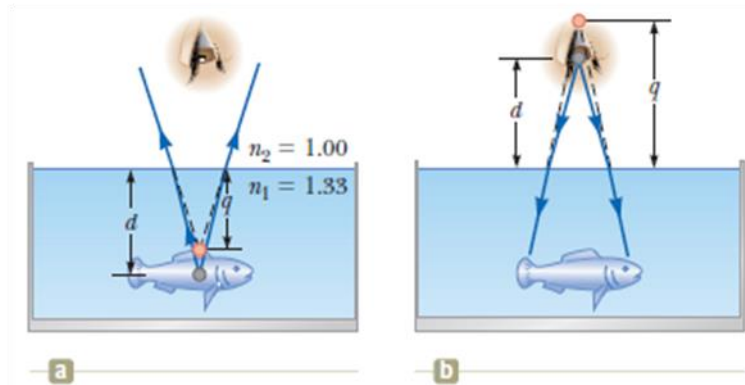
(A) Một người quan sát con cá theo hướng vuông góc với mặt nước sẽ thấy con cá ở độ sâu biểu kiến bằng bao nhiêu?

Giải:

Từ phương trình (36.9), suy ra

$$q = -\frac{n_2}{n_1} p = -\frac{1,00}{1,33} d = -0,752 d$$

$q < 0$ nên ảnh là ảo và người sẽ thấy con cá ở độ sâu biểu kiến khoảng bằng 3/4 độ sâu thực sự (Hình 36.20a).



Hình 36.20

(B) Nếu mặt của người quan sát cách mặt nước một đoạn d thì con cá sẽ thấy mặt người cách mặt nước một đoạn biểu kiến bằng bao nhiêu?

Giải:

Phương trình 36.9 cho

$$q = -\frac{n_2}{n_1} p = -\frac{1,33}{1,00} d = -1,33 d$$

Ảnh của mặt người là ảo, nghĩa là ảnh trong môi trường không khí trên mặt nước (Hình 36.20b).

(C) Nếu con cá có chiều cao thực sự là h (đo từ vây trên đến vây dưới của con cá) thì chiều cao biểu kiến của con cá mà người quan sát nhìn thấy bằng bao nhiêu so với h ?

Giải:

Ảnh của vây trên và vây dưới của con cá ở các vị trí

$$q_1 = -0,752 d \quad \text{và} \quad q_2 = -0,752 (d + h)$$

Chiều cao biểu kiến của con cá là

$$h' = q_1 - q_2 = 0,752 h$$

Vì vậy chiều cao biểu kiến của con cá chỉ bằng khoảng 3/4 chiều cao thực của con cá.

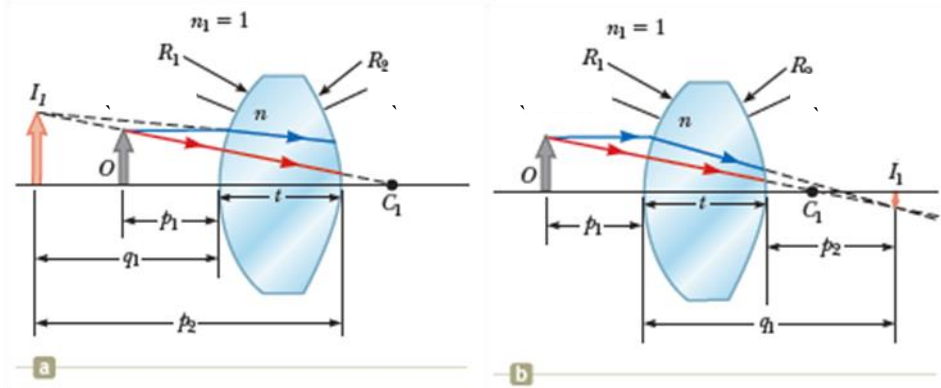
36.4 Ảnh tạo bởi thấu kính mỏng

Thấu kính thường được dùng để tạo ảnh bởi sự khúc xạ trong các hệ thống quang học của các thiết bị như máy ảnh, kính hiển vi, kính viễn vọng. Với thấu kính, ánh sáng sẽ khúc xạ ở cả hai bề mặt của thấu kính và ảnh do sự khúc xạ ở bề mặt thứ nhất của thấu kính sẽ trở thành vật đối với mặt thứ hai. Chúng ta sẽ xem xét thấu kính dày trước rồi cho độ dày của thấu kính xấp xỉ bằng không để có kết quả cho thấu kính mỏng.

Xét một thấu kính đặt trong không khí, thấu kính có chiết suất n và được giới hạn bởi hai mặt cầu có bán kính là R_1 và R_2 như ở hình 36.21. Một vật được đặt ở O sẽ cho ảnh tạo bởi bề mặt 1 ở I_1 xác định bởi q_1 thỏa phương trình

$$\frac{1}{p_1} + \frac{n}{q_1} = \frac{n-1}{R_1} \quad (36.10)$$

Nếu ảnh là ảo (như trong hình 36.21a) thì $q_1 < 0$ và nếu ảnh là thật (như trong hình 36.21b) thì $q_1 > 0$.



Hình 36.21

Đối với bề mặt thứ hai, vật và ảnh xác định bởi p_2 và q_2 thỏa phương trình

$$\frac{n}{p_2} + \frac{1}{q_2} = \frac{1-n}{R_2} \quad (36.11)$$

Gọi t là độ dày của thấu kính thì $p_2 = -q_1 + t$. Đối với thấu kính mỏng (bề dày rất nhỏ so với các bán kính là R_1 và R_2) thì có thể bỏ qua t nên $p_2 = -q_1$. Phương trình 36.11 trở thành

$$-\frac{n}{q_1} + \frac{1}{q_2} = \frac{1-n}{R_2} \quad (36.12)$$

Kết hợp hai phương trình 36.10 và 36.12 chúng ta thu được

$$\frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_2} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (36.13)$$

Với thấu kính mỏng, gọi p và q lần lượt là khoảng cách ảnh và khoảng cách vật như hình 36.22 thì phương trình 36.13 được viết lại thành

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (36.14)$$

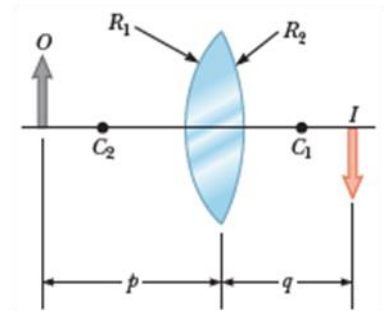
Tiêu cự f của một thấu kính mỏng là khoảng cách ảnh của vật ở xa vô cùng. Theo định nghĩa này chúng ta thu được công thức để xác định f là

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (36.15)$$

Chúng ta có thể viết phương trình 26.14 theo f như sau

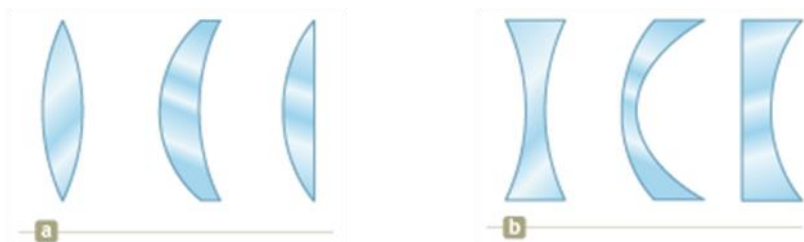
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (36.16)$$

Phương trình 36.16 được gọi là phương trình thấu kính mỏng.



Hình 36.22

Một thấu kính có hai tiêu điểm F_1 , F_2 và hai tiêu điểm này có cùng khoảng cách tới thấu kính. Có hai loại thấu kính: thấu kính hội tụ và thấu kính phân kỳ. Hình 36.23 là một số hình dạng của hai loại thấu kính này.



Hình 36.23. (a) Thấu kính hội tụ. (b) Thấu kính phân kỳ

Bảng 36.2 - Quy ước dấu cho thấu kính.

Đại lượng	Dương khi	Âm khi
p	Vật ở trước thấu kính (vật thật)	Vật ở sau thấu kính (vật ảo)
q	Ảnh ở sau thấu kính (ảnh thật)	Ảnh ở trước thấu kính (ảnh ảo)
h'	Ảnh cùng chiều với vật	Ảnh ngược chiều với vật
R_1 và R_2	Tâm của mặt cầu ở sau thấu kính	Tâm của mặt cầu ở trước thấu kính
f	Thấu kính hội tụ	Thấu kính phân kỳ

Độ phóng đại ảnh.

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p} \quad (36.17)$$

- Khi $M > 0$ thì ảnh cùng chiều với vật, ảnh và vật ở cùng phía so với thấu kính.
- Khi $M < 0$ thì ảnh ngược chiều với vật, ảnh và vật ở hai phía so với thấu kính.

Các tia sáng đặc biệt

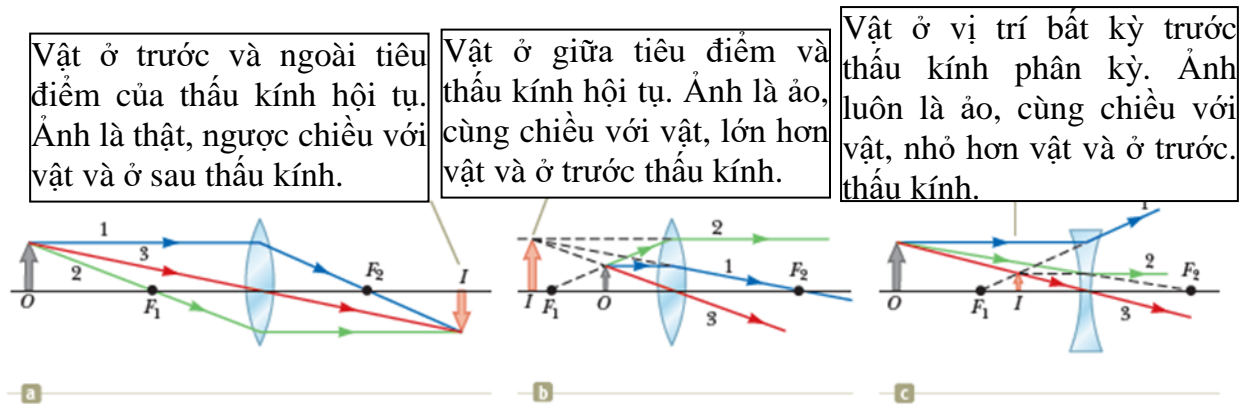
Để dựng ảnh của vật qua thấu kính cho thuận tiện, chúng ta vẽ hai trong ba tia sáng xuất phát từ đỉnh của vật đến thấu theo các phương đặc biệt sau:

* Đối với thấu kính hội tụ

- Tia sáng tới thấu kính song song với trục chính, tia khúc xạ qua thấu kính đi qua tiêu điểm ở sau thấu kính.
- Tia sáng tới qua tiêu điểm (hoặc có phương qua tiêu điểm) ở trước thấu kính, tia khúc xạ qua thấu kính song song với trục chính.
- Tia sáng tới qua tâm của thấu kính cho tia khúc xạ truyền thẳng.

* Đối với thấu kính phân kỳ

- Tia sáng tới thấu kính song song với trục chính, tia khúc xạ qua thấu kính có phương đi qua tiêu điểm ở trước thấu kính.
- Tia sáng tới có phương qua tiêu điểm ở sau thấu kính, tia khúc xạ qua thấu kính song song với trục chính.
- Tia sáng tới qua tâm của thấu kính cho tia khúc xạ truyền thẳng.



Hình 36.22. Ảnh của vật qua thấu kính mỏng

Chính kích thước của hình lớn lên

Đánh số sai hình (không đúng thứ tự)

Bài tập mẫu 36.8: Một thấu kính hội tụ có tiêu cự 10,0 cm.

(A) Một vật đặt cách thấu kính 30,0 cm. Tìm vị trí ảnh và mô tả ảnh. Vẽ hình.

Giải:

Từ phương trình thấu kính

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

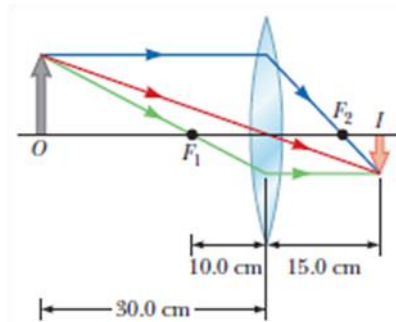
Suy ra:

$$q = \frac{p \cdot f}{p - f} = \frac{30 \cdot 10}{30 - 10} = 15 \text{ cm}$$

Độ phóng đại ảnh:

$$M = -\frac{q}{p} = -\frac{15 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = -0,5$$

Ảnh của vật là ảnh thật ở sau thấu kính, ngược chiều với vật, cao bằng 0,5 lần vật.



(B) Một vật đặt cách thấu kính 10,0 cm. Tìm vị trí ảnh và mô tả ảnh.

Giải:

Tương tự câu a,

$$q = \frac{p \cdot f}{p - f} = \frac{10 \cdot 10}{10 - 10} \Rightarrow q \rightarrow \infty$$

Ảnh ở xa vô cùng so với thấu kính

(C) Một vật đặt cách thấu kính 5,0 cm. Tìm vị trí ảnh và mô tả ảnh. Vẽ hình.

Giải:

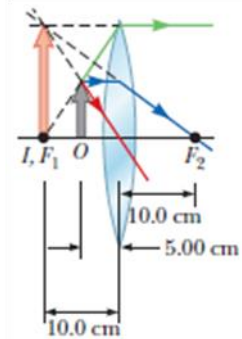
Từ phương trình thấu kính, suy ra:

$$q = \frac{p \cdot f}{p - f} = \frac{5 \cdot 10}{5 - 10} = -10 \text{ cm}$$

Độ phóng đại ảnh:

$$M = -\frac{q}{p} = -\frac{-10 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = 2$$

Ảnh của vật là ảnh ảo, cùng chiều với vật, cao bằng hai lần vật.



Bổ sung bài tập mẫu 36.9 đối với thấu kính phân kỳ như trong giáo trình gốc

Hệ thấu kính mỏng.

Giả sử vật được đặt trước hệ gồm hai thấu kính. Ảnh của vật được xác định theo trình tự sau:

- Xác định ảnh của vật tạo ra bởi thấu kính thứ nhất như là khi không có thấu kính thứ hai.
- Ảnh tạo ra bởi thấu kính thứ nhất là vật của thấu kính thứ hai. Nếu vật này ở sau thấu kính thứ hai thì vật này là vật ảo (nghĩa là $p < 0$).

Ảnh tạo bởi thấu kính thứ hai là ảnh tạo bởi hệ thống hai thấu kính trên.

Độ phóng đại ảnh của hệ hai thấu kính:

$$M = M_1 \cdot M_2 \quad (36.18)$$

Cách thức xác định ảnh như trên cũng được sử dụng cho hệ gồm nhiều hơn hai thấu kính.

Trong trường hợp hệ hai thấu kính được đặt sát nhau thì ảnh của vật tạo bởi hệ giống như ảnh tạo bởi một thấu kính có tiêu cự f thỏa phương trình:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (36.19)$$

trong đó f_1 và f_2 là tiêu cự của hai thấu kính.

Bài tập mẫu 36.10:

Hai thấu kính hội tụ mỏng có tiêu cự lần lượt là $f_1 = 10,0 \text{ cm}$ và $f_2 = 20,0 \text{ cm}$ được đặt cách nhau 20 cm. Một vật ở bên trái thấu kính thứ nhất và cách thấu kính này 30 cm. Tìm vị trí và độ phóng đại của ảnh tạo ra bởi hệ hai thấu kính.

Giải:

Vị trí của ảnh tạo ra bởi thấu kính thứ nhất:

$$q_1 = \frac{p_1 f_1}{p_1 - f_1} = \frac{30 \cdot 10}{30 - 10} = 15 \text{ cm}$$

Độ phóng đại ảnh này bằng:

$$M_1 = -\frac{q_1}{p_1} = -0,5$$

Vật của thấu kính thứ hai (là ảnh trên) có khoảng cách vật là:

$$p_2 = t - q_1 = 20 \text{ cm} - 15 \text{ cm} = 5 \text{ cm}$$

Vị trí của ảnh tạo ra bởi thấu kính thứ hai:

$$q_2 = \frac{p_2 f_2}{p_2 - f_2} = \frac{5 \cdot 20}{5 - 20} = -6,67 \text{ cm}$$

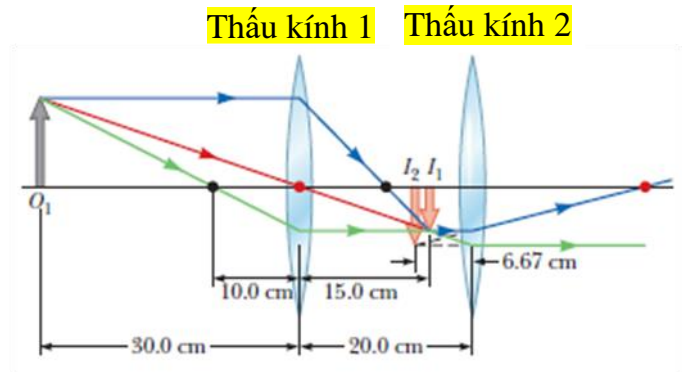
Độ phóng đại ảnh này bằng:

$$M_2 = -\frac{q_2}{p_2} = -\frac{6,67 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = 1,33$$

Độ phóng đại của ảnh tạo ra bởi hệ hai thấu kính:

$$M = M_1 \cdot M_2 = -0,667$$

Nghĩa là ảnh tạo ra bởi hệ ở trước thấu kính thứ hai, ngược chiều với vật và nhỏ hơn vật.



Hình 36.30. Ví dụ

36.5 Quang sai

Các kết quả phân tích của chúng ta về gương và thấu kính được thực hiện với điều kiện các tia sáng tạo với trục chính một góc nhỏ (điều kiện tương điểm) và thấu kính là mỏng. Dưới các điều kiện này, mọi tia sáng đi từ một nguồn điểm đều hội tụ tại một điểm nên ảnh thu được sẽ sắc nét. Khi các điều kiện này không được thỏa, ảnh sẽ không hoàn hảo.

Để phân tích chính xác về ảnh, chúng ta cần dùng định luật Snell để xác định sự phản xạ và khúc xạ cho mỗi tia sáng khi bị phản xạ hoặc khúc xạ ở các bề mặt. Theo cách thực hiện này, một điểm trên vật sẽ không tương ứng một điểm ảnh duy nhất và như vậy ảnh bị nhòe. Sự sai lệch của ảnh thực tế so với ảnh dự đoán (nhờ các kết quả thu được ở các nội dung trước) được gọi là quang sai.

Các loại quang sai

Cầu sai

Quang sai loại này xảy ra do tiêu điểm ứng với chùm tia sáng tới càng xa trục chính của thấu kính (hoặc gương) sẽ khác với tiêu điểm ứng với chùm tia sáng tới đi gần trục chính như hình minh họa 36.31 và 36.8. Nguyên nhân gây ra cầu sai là do sử dụng các thấu kính (hoặc gương) có bề mặt hình cầu.

Nhiều máy ảnh có khẩu độ điều chỉnh được để thay đổi cường độ sáng và giảm bớt cầu sai. Bằng cách giảm khẩu độ, ảnh thu được sẽ rõ nét nhưng cần tăng thời gian phơi sáng.

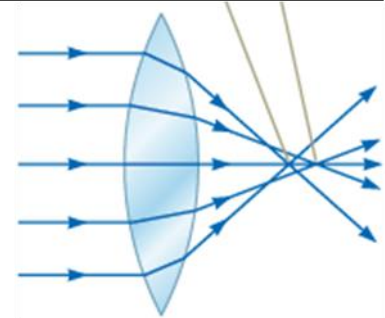
Đối với gương, để giảm cầu sai thì dùng gương parabol thay cho gương cầu.

Sắc sai

Sắc sai xảy ra do chiết suất của môi trường trong suốt phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng. Vì vậy khi sử dụng ánh sáng trắng, tia màu tím bị khúc xạ mạnh hơn tia màu đỏ. Điều này dẫn đến kết quả là tiêu cự thấu kính giảm dần đối với ánh sáng có màu từ đỏ đến tím như hình 36.32.

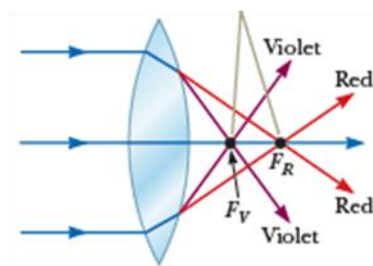
Sắc sai làm mờ ảnh. Để giảm sắc sai, có thể dùng kết hợp một thấu kính hội tụ và một thấu kính phân kỳ làm bằng hai loại thủy tinh có chiết suất khác nhau.

Các tia khúc xạ giao nhau ở các điểm khác nhau trên trục chính.



Hình 36.31

Các tia với bước sóng khác nhau hội tụ ở các điểm khác nhau.



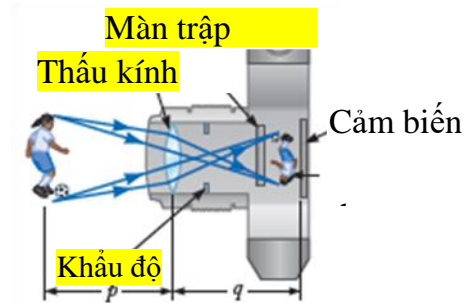
Hình 36.32

36.6 Máy ảnh

Máy ảnh là một thiết bị quang học đơn giản được mô tả như hình 36.33. Máy ảnh gồm một buồng tối, một thấu kính hội tụ để tạo ra ảnh thật và một bộ phận nhạy sáng (để lưu ảnh) được điều chỉnh ở đúng vị trí của ảnh.

Máy ảnh sẽ lưu ảnh trên phim hoặc được số hóa để lưu thông tin về ảnh vào một thẻ nhớ (máy ảnh kỹ thuật số). Bằng cách thay đổi khoảng cách từ thấu kính đến bộ phận lưu ảnh cho phù hợp chúng ta sẽ thu được ảnh rõ nét của vật.

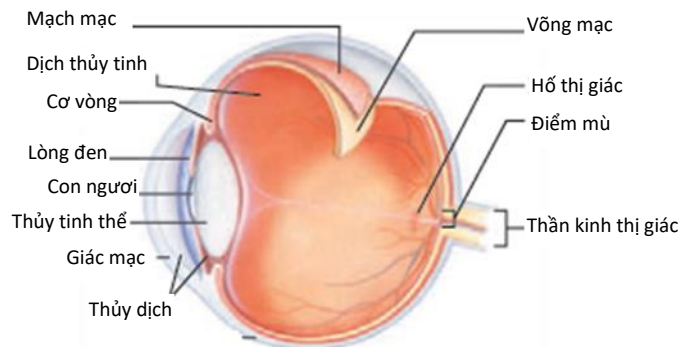
Chưa nhắc đến khẩu độ



Hình 36.33: Máy ảnh kỹ thuật số

36.7 Mắt

Giống như máy ảnh, mắt hội tụ ánh sáng và tạo ra ảnh rõ nét. Mắt điều chỉnh lượng sáng đi vào và tạo ảnh bằng một cơ chế rất phức tạp, chính xác và hiệu quả hơn rất nhiều so



Hình 36.34: Các thành phần cơ bản của mắt

với một máy ảnh tinh vi. Mắt thực sự là một kỳ quan sinh lý học. Hình 36.34 trình bày các thành phần cơ bản của mắt.

Giác mạc là một màng mỏng cứng và trong suốt cho phép ánh sáng đi vào mắt. Lòng đen điều chỉnh lượng ánh sáng vào mắt bằng cách mở rộng ra khi gặp ánh sáng yếu hoặc thu hẹp lại khi gặp ánh sáng mạnh. Hệ thống giác mạc và thủy tinh thể hội tụ ánh sáng vào võng mạc, nơi đây gồm hàng triệu tế bào cảm thụ ánh sáng. Khi bị ánh sáng kích thích, các tế bào này sẽ gửi các xung về não nhờ các dây thần kinh thị giác giúp chúng ta cảm nhận được vật. Ảnh của vật được cảm nhận rõ khi ảnh này hiện ra ở võng mạc.

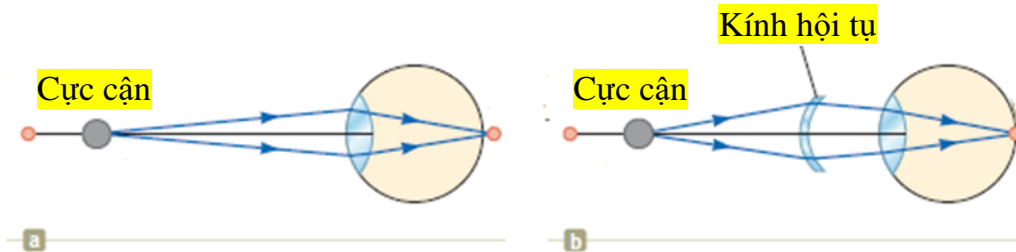
Khi cần nhìn một vật, hình dạng của thủy tinh thể được thay đổi (tiêu cự của thủy tinh thể thay đổi theo) cho phù hợp nhờ cơ vòng. Quá trình này gọi là sự điều tiết. Do khả năng điều tiết bị hạn chế nên mắt chỉ thấy rõ vật khi vật được đặt trong một khoảng giới hạn gọi là giới hạn nhìn rõ của mắt. Điểm gần mắt nhất của giới hạn nhìn rõ gọi là điểm cực cận và điểm xa mắt nhất gọi là điểm cực viễn. Người có mắt bình thường thì điểm cực cận cách mắt trung bình khoảng 25 cm và điểm cực viễn ở xa vô cùng. Tuy nhiên khi người càng lớn tuổi khoảng cách từ cực cận đến mắt sẽ tăng.

Có hai loại tế bào cảm thụ ánh sáng: tế bào hình que và tế bào hình nón. Tế bào hình que rất nhạy cảm với ánh sáng giúp chúng ta nhìn trong tối nhưng không phân biệt được màu sắc. Tế bào hình nón nhạy cảm với các bước sóng khác nhau của ánh sáng. Tế bào hình nón được chia thành ba loại: đỏ, xanh lá cây và xanh dương. Nếu hai loại tế bào hình nón đỏ và xanh lá cây kích thích đồng thời, bộ não sẽ hiểu là màu vàng. Nếu cả ba loại tế bào hình nón đều bị kích thích đồng thời bởi các ánh sáng đỏ, xanh lá cây và xanh dương thì bộ não sẽ hiểu là màu trắng. cả ba loại tế bào hình nón đều bị kích thích đồng thời bởi các ánh sáng với mọi màu sắc khác nhau thì bộ não cũng sẽ hiểu là màu trắng.

Các tật của mắt

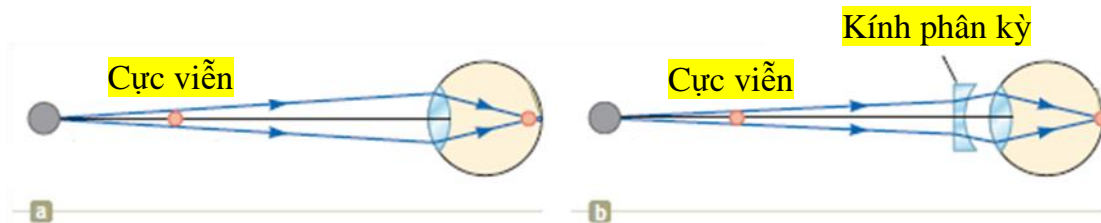
Viễn thị

Người bị viễn thị có thể nhìn rõ các vật ở xa nhưng không thể nhìn rõ các vật ở gần. Điểm cực cận của mắt người bị viễn thị ở xa hơn so với người có mắt bình thường. Khi nhìn các vật ở gần, khả năng khúc xạ của giác mạc và thủy tinh thể không đủ để hội tụ ánh sáng trên võng mạc (Hình 36.37a). Tật này có thể khắc phục bằng cách đeo kính hội tụ (Hình 36.37b) để hội tụ ánh sáng trên võng mạc.



Hình 36.37

Cận thị

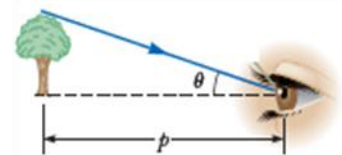


Hình 36.38

Người bị cận thị có thể nhìn rõ các vật ở gần nhưng không thể nhìn rõ các vật ở xa. Điểm cực viễn của mắt người bị cận thị không ở xa vô cực (như mắt bình thường) và có thể cách mắt nhỏ hơn 1m. Tiêu cự lớn nhất của mắt cận thị không đủ để tạo ra ảnh rõ nét của vật ở xa trên võng mạc mà ở trước võng mạc nên mắt không nhìn rõ được vật (Hình 36.38a). Tật này có thể khắc phục bằng cách đeo kính phân kỳ (Hình 36.38b) giúp điểm hội tụ ở trên võng mạc.

36.8 Kính lúp

Kính lúp là một thấu kính hội tụ, giúp chúng ta quan sát các vật nhỏ bằng cách tạo ra một ảnh ảo lớn hơn vật. Xét một vật được nhìn ở khoảng cách p tới mắt như hình 36.39. Kích thước của ảnh tạo ra trên võng mạc phụ thuộc vào góc trông vật θ . Khi vật tiến tới gần mắt hơn, góc θ tăng và chúng ta thấy vật lớn hơn. Góc trông θ lớn nhất khi vật ở điểm cực cận (Hình 36.40a). Chúng ta có thể làm tăng góc trông để nhìn rõ các chi tiết của vật hơn bằng cách đặt một thấu kính hội tụ giữa vật và mắt sao cho vật ở giữa tiêu điểm và thấu kính. Độ bội giác của kính lúp được định nghĩa là tỷ số giữa góc trông ảnh của vật qua kính lúp và góc trông vật trực tiếp khi vật đặt ở cực cận của mắt



Hình 36.39

$$m = \frac{\theta}{\theta_0} \quad (36.22)$$

Độ bội giác lớn nhất khi ảnh ở cực cận của mắt, nghĩa là $q = -25 \text{ cm}$. Khoảng cách vật tương ứng với ảnh này bằng

$$p = \frac{25f}{25 + f}$$

trong đó f là tiêu cự của kính lúp. Nếu các góc θ và θ_0 là nhỏ thì

$$\tan\theta_0 \approx \theta_0 \approx \frac{h}{25} \text{ và } \tan\theta \approx \theta \approx \frac{h}{p} \quad (36.23)$$

Phương trình (36.22) trở thành

$$m_{max} = \frac{\theta}{\theta_0} = 1 + \frac{25 \text{ cm}}{f} \quad (36.24)$$

Để quan sát mà mắt không phải điều tiết (đỡ mỏi mắt), cần điều chỉnh để vật ở tiêu điểm của kính lúp nhằm tạo ảnh ở vô cùng. Trong trường hợp này, phương trình 26.23 trở thành

$$\theta_0 \approx \frac{h}{25} \text{ và } \theta \approx \frac{h}{f}$$

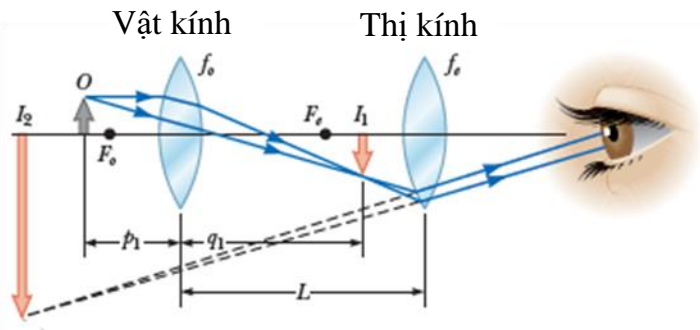
và độ bội giác là

$$m_{min} = \frac{\theta}{\theta_0} = \frac{25 \text{ cm}}{f} \quad (36.25)$$

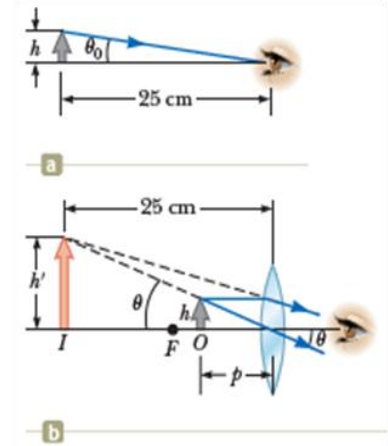
Độ bội giác của kính lúp có thể đạt giá trị cỡ bằng 4.

36.9 Kính hiển vi

Kính hiển vi là một hệ thống quang học cho phép đạt được độ bội giác lớn hơn rất nhiều so với kính lúp. Kính hiển vi gồm hai thấu kính hội tụ gọi là vật kính (có tiêu cự rất ngắn $f_o < 1 \text{ cm}$) và thị kính (có tiêu cự f_e cỡ vài cm). Hai thấu kính cách nhau một khoảng L lớn hơn nhiều so với f_e . Vật kính cho ảnh thật của vật tại I_1 ở ngay tiêu điểm của thị kính hoặc trong khoảng tiêu điểm này và thị kính. Thị kính, như một kính lúp, tạo ra ảnh ảo tại I_2 lớn hơn



Hình 36.41



Hình 36.40

ảnh tại I_1 . Vật cần quan sát được đặt rất gần tiêu điểm của vật kính nên $p_1 \approx f_o$. Hơn nữa q_1 xấp xỉ bằng L nên độ phóng đại ảnh cho bởi vật kính là

$$M_o = -\frac{q_1}{p_1} \approx -\frac{L}{f_o}$$

Độ bội giác của thị kính khi vật (là ảnh ở I_1) ở tiêu điểm của thị kính là

$$m_e = \frac{25 \text{ cm}}{f_e}$$

Độ bội giác của kính hiển vi được định nghĩa bằng

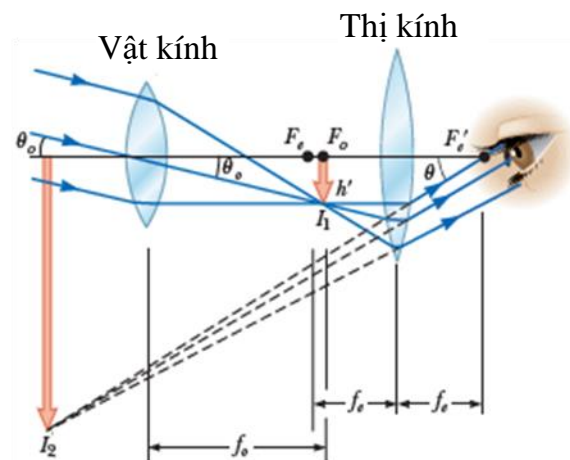
$$M = M_o \cdot m_e = -\frac{L}{f_o} \cdot \frac{25 \text{ cm}}{f_e} \quad (36.26)$$

Kính hiển vi cho phép chúng ta nhìn rõ các chi tiết của các vật nhỏ đến mức khó tin và khả năng này ngày càng được tăng lên. Tuy nhiên kính hiển vi quang học chỉ cho phép quan sát mẫu có kích thước lớn hơn bước sóng ánh sáng sử dụng.

36.10 Kính thiên văn

Kính thiên văn dùng để quan sát các vật ở xa chẳng hạn như các hành tinh trong hệ mặt trời. Có hai loại kính thiên văn: kính thiên văn khúc xạ và kính thiên văn phản xạ.

Kính thiên văn khúc xạ gồm hai thấu kính hội tụ gọi là vật kính và thị kính như hình 36.42. Hai thấu kính được sắp đặt sao cho vật ở rất xa qua vật kính cho ảnh thật tại I_1 (tại tiêu điểm của vật kính) ở rất gần tiêu điểm của thị kính. Thị kính sẽ tiếp tục tạo ra ảnh tại I_2 (của ảnh tại I_1) lớn hơn nhiều so với ảnh ở I_1 . Khi mắt quan sát ảnh ở vô cùng thì ảnh tạo bởi vật kính (là vật đối với thị kính) phải ở đúng tiêu điểm của thị kính. Lúc này khoảng cách giữa hai kính bằng $f_o + f_e$.



Hình 36.42

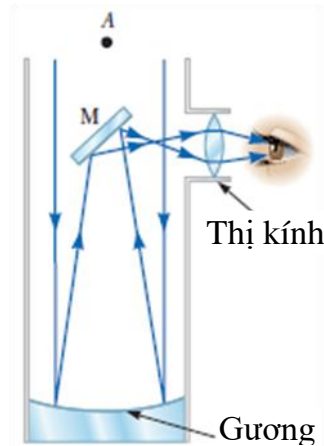
Độ bội giác của kính thiên văn được định nghĩa bằng θ/θ_o , trong đó θ_o là góc trông vật khi không dùng kính và θ là góc trông ảnh cuối cùng ở vị trí mắt người quan sát. Theo hình 36.42 ta có:

$$\tan \theta_o \approx \theta_o \approx -\frac{h'}{f_o} \quad \text{và} \quad \tan \theta \approx \theta \approx \frac{h'}{f_e}$$

Suy ra độ bội giác của kính thiên văn bằng

$$m = \frac{\theta}{\theta_o} = -\frac{f_o}{f_e} \quad (36.27)$$

Loại kính thiên văn khác là kính thiên văn phản xạ với cấu tạo như ở hình 36.43. Với kính thiên văn loại này, ảnh của vật được tạo ra ở A nhờ một gương parabol, người sẽ quan sát ảnh này qua thị kính.



Hình 36.43

Tóm tắt chương 36

Độ phóng đại ảnh qua gương hoặc thấu kính được định nghĩa là

$$M = \frac{\text{chiều cao ảnh}}{\text{chiều cao vật}} = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p}$$

Độ bội giác m là tỷ số giữa góc trông ảnh của vật qua thấu kính θ và góc trông vật trực tiếp khi vật đặt ở cực cận của mắt θ_0 .

$$m = \frac{\theta}{\theta_0}$$

Khi điều kiện tương điểm được thỏa, khoảng cách vật p và khoảng cách ảnh q cho bởi gương cầu có bán kính R thỏa phương trình:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f} \quad (36.4, 36.6)$$

Một mặt cầu bán kính R ngăn cách hai môi trường trong suốt có chiết suất khác nhau sẽ tạo ra ảnh của vật nhờ sự khúc xạ với khoảng cách vật p và khoảng cách ảnh q thỏa phương trình:

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{n_2 - n_1}{R} \quad (36.8)$$

trong đó n_1 là chiết suất môi trường chứa tia tới và n_2 là chiết suất môi trường chứa tia khúc xạ.

Tiêu cự của một thấu kính liên hệ với bán kính của các bề mặt thấu kính theo phương trình:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (36.15)$$

Với một thấu kính mỏng và điều kiện tương điểm được thỏa thì khoảng cách vật p và khoảng cách ảnh q thỏa phương trình:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (36.16)$$

Độ bội giác lớn nhất của **kính lúp**

$$m_{max} = \frac{\theta}{\theta_0} = 1 + \frac{25 \text{ cm}}{f} \quad (36.24)$$

Độ bội giác của **kính hiển vi** bằng

$$M = -\frac{L}{f_0} \cdot \frac{25 \text{ cm}}{f_e} \quad (36.26)$$

trong đó f_0 và f_e lần lượt là tiêu cự của vật kính và thị kính.

Độ bội giác của **kính thiên văn khúc xạ** bằng

$$m = -\frac{f_o}{f_e} \quad (36.27)$$

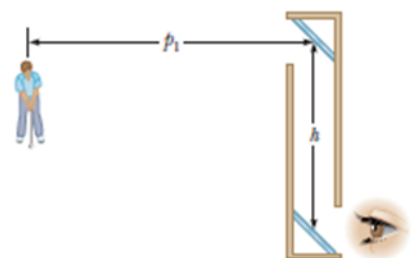
trong đó f_0 và f_e lần lượt là tiêu cự của vật kính và thị kính.

Câu hỏi lý thuyết chương 36

1. Tại sao một số xe cứu thương lại in dòng **AMBULANCE** chữ ở trước xe ?
2. Tại sao sắc sai không xảy ra đối với gương?
3. Một thấu kính hội tụ có thể trở thành một thấu kính phân kỳ không khi đặt thấu kính này vào trong một chất lỏng?
4. Một nhóm người đi cắm trại vào ban ngày muốn đốt lửa nhưng quên không mang diêm. Trong nhóm có người bị cận thị và có người bị viễn thị. Hỏi có thể dùng kính của người nào nhằm hội tụ ánh sáng mặt trời để đốt lửa?

Bài tập chương 36

1. Kính tiềm vọng rất hữu ích để quan sát các vật mà không thể nhìn một cách trực tiếp. Kính này thường được dùng trong các tàu ngầm. Giả sử một vật ở



khoảng cách p_1 tới gương trên và tâm của hai gương cách nhau một khoảng h như hình vẽ. (a) Khoảng cách từ ảnh cuối cùng đến kính bên dưới bằng bao nhiêu ? (b) Ảnh cuối cùng là thực hay ảo ? (c) Cùng chiều hay ngược chiều với vật ? (d) Độ phóng đại của ảnh này bằng bao nhiêu ?

ĐS: Ảnh cuối cùng là ảnh ảo, cách gương dưới một khoảng $(p_1 + h)$, cao bằng vật và cùng chiều với vật.

2. Một nha sĩ dùng gương cầu để khám răng cho bệnh nhân. Răng ở trước và cách gương 1,00 cm và ảnh tạo ra ở sau gương và cách gương 10,00 cm. Hãy xác định bán kính của gương và độ phóng đại ảnh.

ĐS: $R = 2,22 \text{ cm}$ và $M = 10$

3. Một gương cầu lõm tạo ra ảnh ngược chiều với vật và cao gấp 4 lần vật. Cho biết khoảng cách giữa ảnh và vật là 0,666 m. Hãy tìm tiêu cự của gương.

ĐS: 0,160 m

4. Ảnh của một vật tạo ra bởi một gương cầu hiện ra trên màn ảnh cao gấp 5 lần vật. Màn ảnh cách vật 5,00 m. (a) Gương cầu sử dụng là gương lồi hay lõm? (b) Xác định bán kính của gương và khoảng cách từ gương đến vật.

ĐS: (a) Gương lõm. (b) $R = 2,08 \text{ m}$ và $p = 1,25 \text{ m}$

5. Một hồ bơi có chiều sâu 2,00 m so với mặt đất và chứa đầy nước. Một người đứng trên bờ hồ sẽ thấy độ sâu biểu kiến của hồ bằng bao nhiêu? Cho biết chiết suất của nước bằng 1,333.

ĐS: 1,50 m

6. Một quả cầu bằng thủy tinh ($n = 1,50$) có bán kính 15,0 cm. Quả cầu chứa bên trong nó một bọt khí nhỏ ở trên tâm quả cầu và cách tâm 5,00 cm. Một người nhìn xuống theo phương của đường kính chứa bọt khí sẽ thấy độ sâu biểu kiến của bọt khí so với mặt cầu bằng bao nhiêu?

ĐS: 8,57 cm

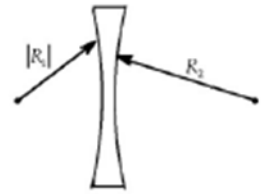
7. Bộ phận tạo ảnh trong máy chiếu (projector) là một thấu kính mỏng. Một trang trình chiếu (slide) có chiều cao 24,00 mm qua máy chiếu tạo ra ảnh trên màn cao 1,80 m. Khoảng cách từ slide đến màn ảnh là 3,00 m. Hãy xác định tiêu cự của thấu kính và khoảng cách từ thấu kính đến slide.

ĐS: $f = 39,0 \text{ mm}$ và $p = 39,5 \text{ mm}$

8. Một vật cao 1,00 cm được đặt bên trái một thấu kính hội tụ tiêu cự 8,00 cm. Bên phải và cách thấu kính hội tụ này 6,00 cm đặt một thấu kính phân kỳ tiêu cự -16,00 cm. Tìm vị trí và chiều cao ảnh cuối cùng. Ảnh này cùng chiều hay ngược chiều với vật? Là ảnh thật hay ảo?

ĐS: $q_2 = -7,47 \text{ cm}$; $h' = 1,07 \text{ cm}$; ảnh thật và cùng chiều với vật.

9. Một thấu kính giới hạn bởi hai mặt cầu như hình vẽ có bán kính cong là 32,5 cm và 42,5 cm. Thủy tinh làm thấu kính có chiết suất 1,51 đối với ánh sáng đỏ và 1,53 đối với ánh sáng tím. Với một vật ở rất xa thì ảnh tạo ra bởi ánh sáng đỏ và ảnh tạo ra bởi ánh sáng tím hiện ra ở những vị trí nào?



ĐS: $p_d = -36,1 \text{ cm}$ và $p_t = -34,7 \text{ cm}$

10. Một người nhìn rõ được các vật cách mắt từ 30 cm đến 1,5 m. Người này đeo kính hai tròng như hình vẽ. (a) Phần trên của kính giúp người này có thể nhìn rõ các vật ở rất xa mà không cần điều tiết. Phần này của kính có độ tụ bằng bao nhiêu? (b) Phần dưới của kính giúp người có thể nhìn thấy rõ vật ở gần nhất cách mắt 25 cm. Phần này của kính có độ tụ bằng bao nhiêu? Giả sử kính đeo sát mắt.



ĐS: (a) $-0,667 \text{ dp}$, (b) $0,667 \text{ dp}$