48 THẤU KÍNH MỎNG

1. Định nghĩa

Thấu kính là một khối trong suốt, được giới hạn bởi hai mặt cầu hoặc một mặt phẳng và một mặt cầu.

Ta phân biệt hai loại thấu kính : các thấu kính mép mỏng và các thấu kính mép dày, có các dạng như trên Hình 48.1 và 48.2.

Ta chỉ xét các thấu kính mỏng, nghĩa là các thấu kính có bề dày ở tâm rất nhỏ.

Trong Hình 48.3, ta có R_1, R_2 là bán kính các mặt cầu (mặt phẳng được coi là có bán kính bằng vô cực).

Đường thẳng C_1C_2 nối các tâm của hai mặt cầu (hoặc đi qua tâm của mặt cầu và vuông góc với mặt phẳng) được gọi là *trục chính*. Điểm mà trục chính cắt thấu kính gọi là quang tâm O của thấu kính. Các đường thẳng khác C_1C_2 đi qua quang tâm O được gọi là trục phụ (Hình 48.4).

δ được gọi là *đường kính mở* hay *đường kính khẩu độ*.

Trong phần này, ta xét các thấu kính ở trong không khí.

Thấu kính mép mỏng được gọi là *thấu kính hội tụ*.

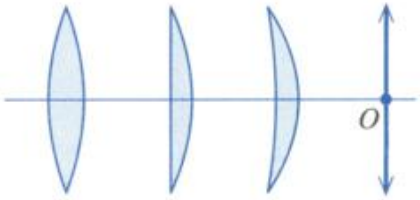
Thấu kính mép dày được gọi là *thấu kính phân kì*.

- Tính chất của quang tâm

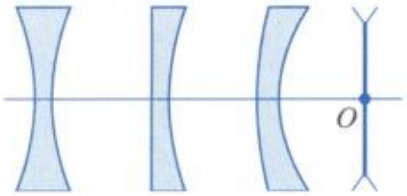
Một tia sáng bất kì qua quang tâm thì truyền thẳng.

- Điều kiện để có ảnh rõ nét

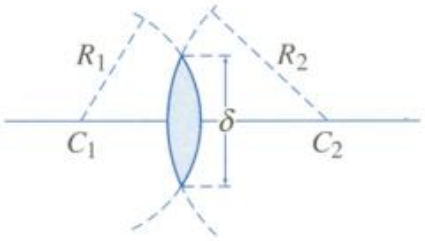
Để thấu kính cho ảnh rõ nét, các tia sáng tới thấu kính phải lập một góc nhỏ với trục chính. Trong điều kiện này, *ứng với một điểm vật chỉ có một điểm ảnh* nên vật cho ảnh rõ nét. Đó là *điều kiện tương điểm*.



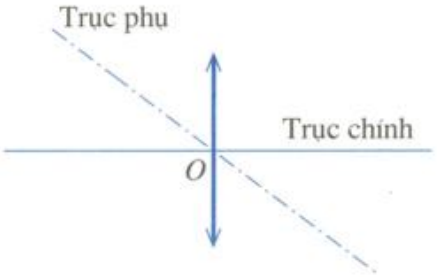
Hình 48.1 *Thấu kính mép mỏng và kí hiệu.*



Hình 48.2 *Thấu kính mép dày và kí hiệu.*

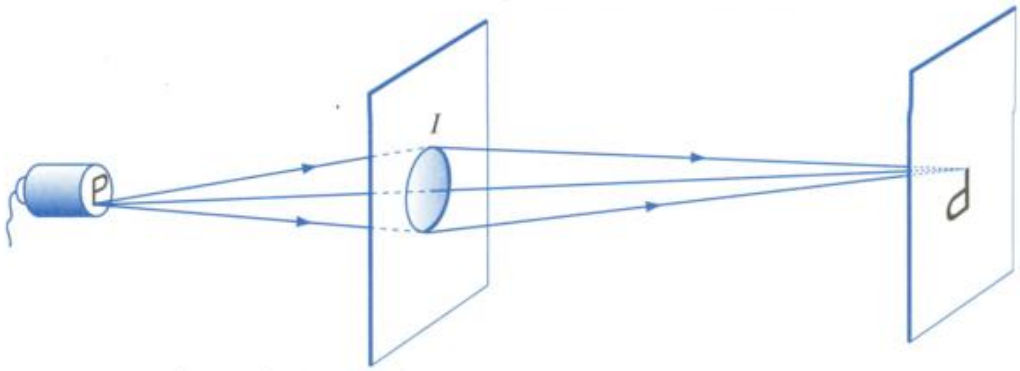


Hình 48.3 *Các yếu tố của thấu kính.*



Hình 48.4 *Trục chính và trục phụ.*

Để có điều kiện này, ta có thể giới hạn chùm tia tới thấu kính bằng một tấm bìa chắn sáng, trên đó có đục một lỗ thủng tròn, được đặt trước thấu kính. Trong trường hợp này, đường kính khẩu độ bằng đường kính của lỗ tròn (Hình 48.5).



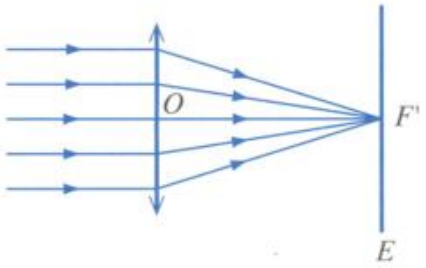
Hình 48.5 *Làm giảm khẩu độ của thấu kính để thoả mãn điều kiện tương điểm.*

2. Tiêu điểm. Tiêu diện. Tiêu cự

a) Tiêu điểm ảnh chính

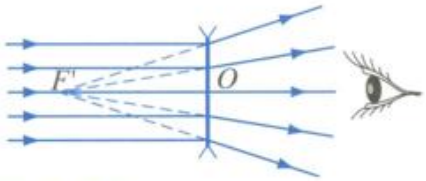
Thí nghiệm

Chiếu một chùm tia sáng song song với trục chính tới một thấu kính hội tụ (cách đơn giản nhất là dùng thấu kính này để hứng chùm sáng song song từ Mặt Trời). Dùng một màn E để hứng chùm tia ló, ta được một vệt sáng hiện trên màn E. Di chuyển màn E cho tới khi vệt sáng này nhỏ và sáng nhất. Vị trí điểm sáng này được gọi là *tiêu điểm ảnh chính* F', thường gọi tắt là *tiêu điểm ảnh* (Hình 48.6).



Hình 48.6 *Thí nghiệm xác định vị trí tiêu điểm ảnh của thấu kính hội tụ.*

Làm lại thí nghiệm trên với một thấu kính phân kì, ta không thể hứng được một điểm sáng trên màn E, nhưng nếu nhìn vào thấu kính như ở Hình 48.7, ta thấy một điểm sáng ở vị trí F'. F' cũng được gọi là tiêu điểm ảnh.



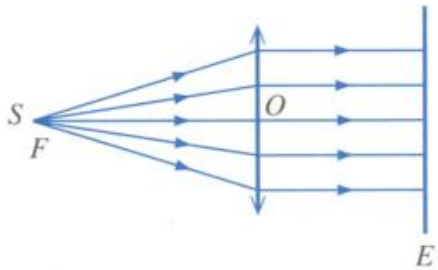
Hình 48.7 *Quan sát tiêu điểm ảnh của thấu kính phân kì.*

Với thấu kính phân kì, tiêu điểm ảnh F' nằm phía tia tới.

b) Tiêu điểm vật chính

Thí nghiệm

• Đặt một nguồn sáng điểm trên trục chính của một thấu kính hội tụ và hứng chùm sáng ló trên một màn ảnh E (Hình 48.8). Di chuyển nguồn sáng

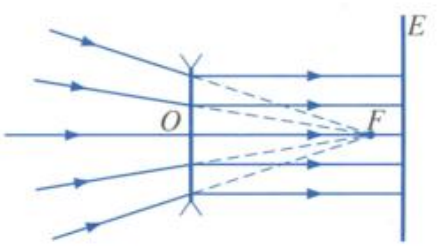


Hình 48.8 *Nguồn sáng ở tiêu điểm vật F của thấu kính hội tụ, chùm sáng ló song song với trục chính.*

điểm này dọc theo trục chính cho tới khi ta thấy vệt sáng tròn trên màn E có đường kính bằng đường kính khẩu độ của thấu kính. Khi đó chùm sáng ló là chùm song song (ta có thể kiểm tra lại điều này bằng cách di chuyển màn E ra xa hay lại gần thấu kính, ta sẽ thấy kích thước của vệt sáng trên màn E không đổi).

Vị trí của nguồn sáng điểm để có chùm sáng ló song song với trục chính như trên được gọi là *tiêu điểm vật chính*, hay gọi tắt là *tiêu điểm vật* của thấu kính, được kí hiệu là F.

• Với thấu kính phân kì, khi chiếu tới thấu kính một chùm tia hội tụ, ta tìm được một vị trí F trên trục chính của điểm hội tụ để chùm tia ló ra khỏi thấu kính cũng là chùm tia song song với trục chính (Hình 48.9). Điểm F nằm cùng phía với chùm tia ló và là tiêu điểm vật chính hay gọi tắt là *tiêu điểm vật* của thấu kính phân kì.



Hình 48.9 *Chùm tia hội tụ qua thấu kính phân kì.*

Thí nghiệm cho thấy các *tiêu điểm F và F' đối xứng với nhau qua quang tâm.*

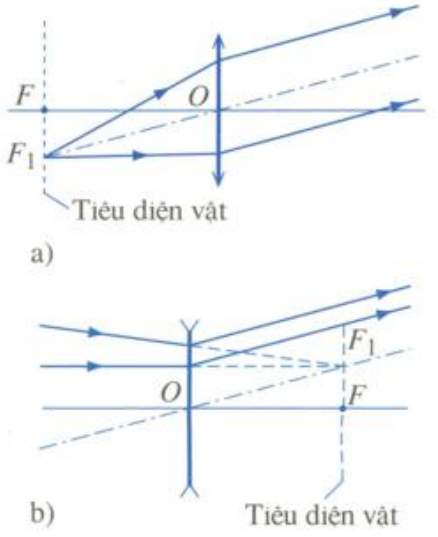
c) Tiêu diện. Tiêu điểm phụ

Mặt phẳng vuông góc với trục chính tại tiêu điểm vật F được gọi là *tiêu diện vật* (Hình 48.10).

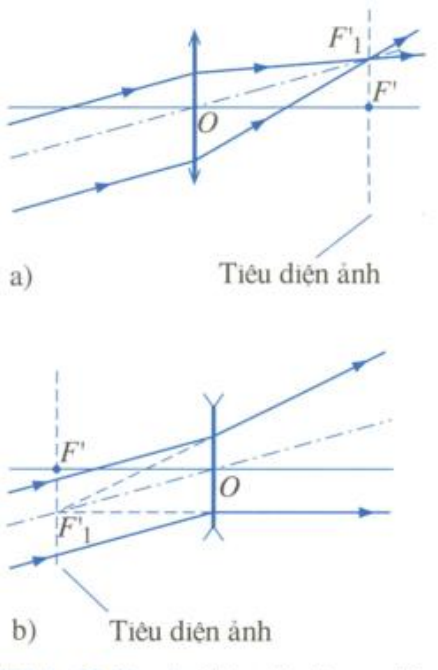
Mặt phẳng vuông góc với trục chính tại tiêu điểm ảnh chính F' được gọi là *tiêu diện ảnh* (Hình 48.11).

Điểm cắt của một trục phụ bất kì với tiêu diện vật hay tiêu diện ảnh được gọi *là tiêu điểm vật phụ* hay *tiêu điểm ảnh phụ.*

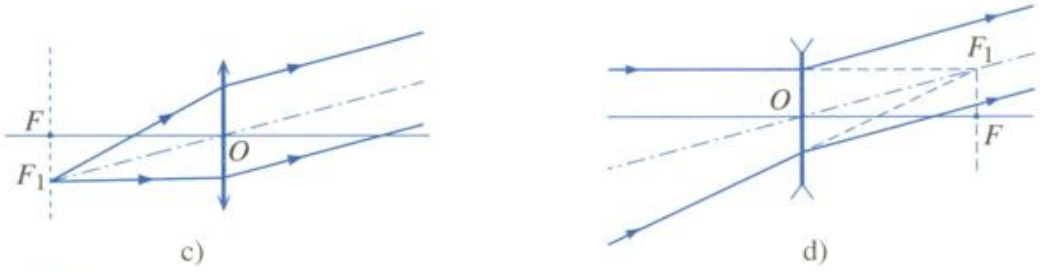
Nếu ta chiếu một chùm tia song song với một trục phụ, thì các tia ló (hoặc các đường kéo dài) sẽ cắt nhau tại tiêu điểm ảnh phụ F'_1, giao điểm của trục phụ với tiêu diện ảnh (các Hình 48.11a, b). Ngược lại, nếu đặt một nguồn sáng điểm tại một tiểu điểm phụ F_1 thì chùm tia sáng ló ra khỏi thấu kính là một chùm tia song song với trục phụ đi qua F_1 (các Hình 48.11c, d).



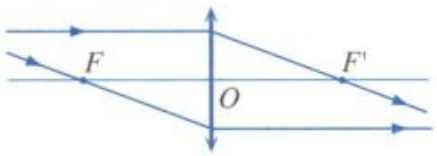
Hình 48.10 *Chùm tia ló song song với trục phụ.*



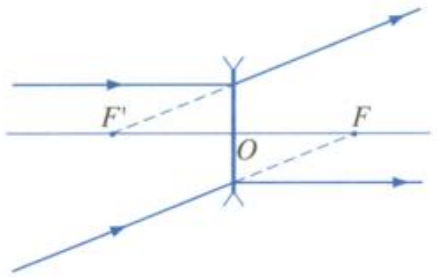
Hình 48.11a, b *Chùm tia ló qua tiêu điểm ảnh phụ F'_1.*



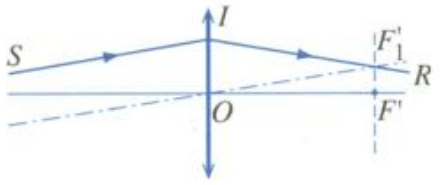
Hình 48.11c, d Chùm tia ló song song với trục phụ.



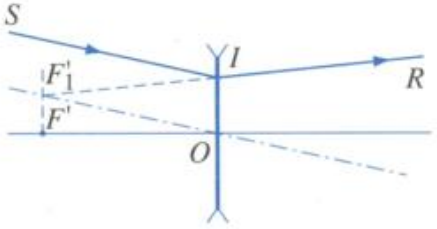
Hình 48.12 Đường đi của các tia đặc biệt qua thấu kính hội tụ.



Hình 48.13 Đường đi của các tia đặc biệt qua thấu kính phân kì.



Hình 48.14 Vẽ tia ló qua thấu kính hội tụ (cách 1).



Hình 48.15 Vẽ tia ló qua thấu kính phân kì (cách 1).

d) Tiêu cự

Tiêu cự là độ dài đại số, được kí hiệu là f, có trị số tuyệt đối bằng khoảng cách từ các tiêu điểm chính tới quang tâm thấu kính.

$$|f| = OF = OF' \qquad (48.1)$$

Quy ước : $f > 0$ với thấu kính hội tụ.

$f < 0$ với thấu kính phân kì.

3. Đường đi của tia sáng qua thấu kính

a) Các tia đặc biệt (Hình 48.12 và 48.13)

– Tia tới song song với trục chính, tia ló tương ứng (hoặc đường kéo dài) đi qua tiêu điểm ảnh chính F'.

– Tia tới (hoặc đường kéo dài) qua tiêu điểm vật chính F, tia ló tương ứng song song với trục chính.

– Tia tới qua quang tâm O thì đi thẳng.

b) Cách vẽ tia ló ứng với một tia tới bất kì

Xét một tia tới bất kì SI, ta có thể vẽ tia ló tương ứng theo các cách sau :

Cách 1 :

– Vẽ trục phụ song song với tia tới SI.

– Vẽ tiêu diện ảnh, cắt trục phụ nói trên tại một tiêu điểm phụ là F'_1.

– Từ I, vẽ tia ló đi qua F'_1 (Hình 48.14 và Hình 48.15).

Cách 2 :

Vẽ tiêu diện vật, cắt tia tới SI tại một tiêu điểm vật phụ là F_1.

– Vẽ trục phụ đi qua F_1.

– Vẽ tia ló song song với trục phụ trên (Hình 48.16 và Hình 48.17).

4. Xác định ảnh bằng cách vẽ đường đi của tia sáng

• Xét một vật nhỏ, phẳng AB được đặt vuông góc với trục chính. Giả sử A ở trên trục chính. Trước hết, xác định ảnh B' của B, sau đó, từ B', hạ đường thẳng góc xuống trục chính, ta được ảnh $A'B'$ của vật AB.

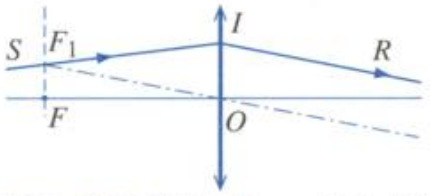
Để xác định ảnh B', từ B vẽ đường đi tia sáng của hai trong các tia đặc biệt. Ảnh B' là giao điểm của các tia ló (Hình 48.18 và 48.19).

• Ta hãy xét xem ảnh của một vật tạo bởi thấu kính hội tụ phụ thuộc như thế nào vào khoảng cách từ vật đến thấu kính (Hình 48.20). Ta chỉ cần sử dụng hai tia đặc biệt là tia song song với quang trục và tia đi qua quang tâm.

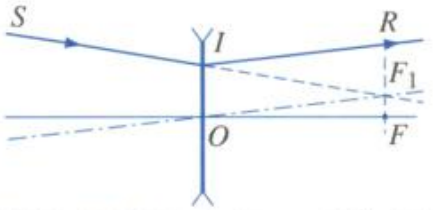
– Khi vật A_1B_1 ngoài tiêu điểm, ảnh $A'_1B'_1$ là ảnh thật, ngược chiều với vật.

– Khi vật A_2B_2 ở trong tiêu điểm, ảnh $A'_2B'_2$ là ảnh ảo, cùng chiều với vật.

– Khi vật ở tiêu điểm, ảnh ở vô cực.

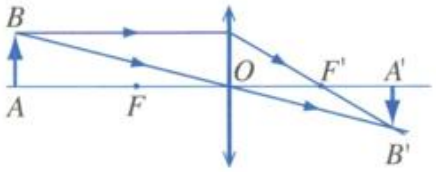


Hình 48.16 Vẽ tia ló qua thấu kính hội tụ (cách 2).

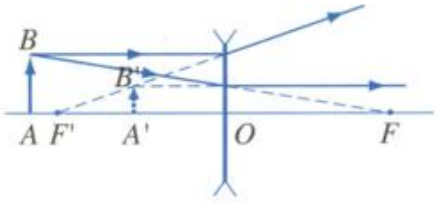


Hình 48.17 Vẽ tia ló qua thấu kính phân kì (cách 2).

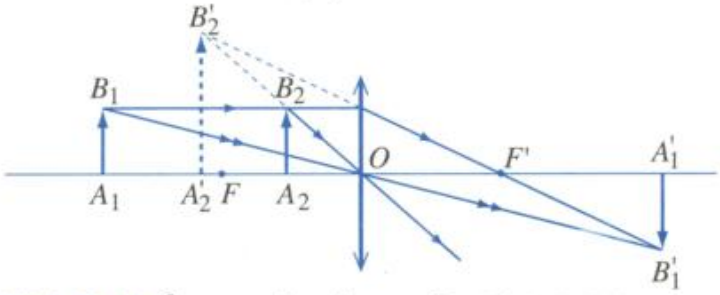
C1 Quan sát một vật qua một thấu kính. Di chuyển thấu kính ra xa hay lại gần vật, ta thấy ảnh luôn luôn nhỏ hơn vật. Đây là thấu kính loại gì ?



Hình 48.18 Sự tạo ảnh bởi thấu kính hội tụ.



Hình 48.19 Sự tạo ảnh bởi thấu kính phân kì.



Hình 48.20 Ảnh thật, ảnh ảo tạo bởi thấu kính hội tụ.

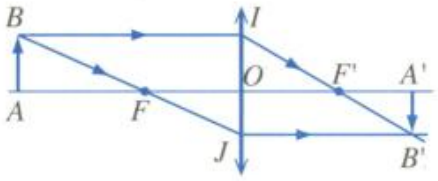
5. Độ tụ

• Các thấu kính mép mỏng có tác dụng làm hội tụ chùm tia sáng đi qua (vì thế được gọi là thấu kính hội tụ). Ngược lại, các thấu kính mép dày có tác dụng làm phân kì chùm tia đi qua (nên gọi là thấu kính phân kì). Để xác định khả năng làm hội tụ chùm tia nhiều hay ít, người ta dùng một đại lượng gọi là *độ tụ*, được định nghĩa là :

Ảnh $B'A'$ trong trường hợp của Hình 48.18 là ảnh thật vì thực sự có tia sáng ló ra khỏi thấu kính tới mỗi điểm trên ảnh $B'A'$.

Ảnh $B'A'$ trong trường hợp của Hình 48.19 là ảnh ảo, vì các tia ló ra khỏi thấu kính không thực sự tới mỗi điểm trên ảnh $B'A'$. Mỗi điểm trên ảnh này chỉ là điểm cắt nhau của các đường kéo dài của các tia ló.

Ta có thể hứng ảnh thật trên màn. Trái lại, với ảnh ảo, ta chỉ có thể quan sát bằng mắt, không thể hứng trên màn.



Hình 48.21 *Ảnh A'B' của vật AB tạo bởi thấu kính hội tụ.*

C2 Cho hai thấu kính hai mặt lồi, làm bằng thuỷ tinh có cùng chiết suất. Các thấu kính phồng, dẹt khác nhau. Thấu kính nào có khả năng làm hội tụ chùm tia sáng đi qua mạnh hơn ?

$$D = \frac{1}{f} \qquad (48.2)$$

Đơn vị của độ tụ là điôp (dp) (với tiêu cự f tính ra mét).

Với thấu kính hội tụ : $D > 0$.

Với thấu kính phân kì : $D < 0$.

• Công thức tính độ tụ của thấu kính là :

$$D = \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \qquad (48.3)$$

trong đó, n là chiết suất tỉ đối của vật liệu làm thấu kính đối với môi trường xung quanh thấu kính.

R_1, R_2 là bán kính của các mặt thấu kính,

– Quy ước : R_1, $R_2 > 0$ với các mặt lồi,

R_1, $R_2 < 0$ với các mặt lõm,

R_1 (hay R_2) = ∞ với mặt phẳng.

Một thấu kính có độ tụ D càng lớn thì có khả năng hội tụ chùm tia sáng đi qua càng mạnh. Thấu kính phân kì không làm hội tụ, mà ngược lại, làm phân kì chùm tia, nên có độ tụ âm.

6. Công thức thấu kính

a) Để thành lập công thức liên hệ giữa các vị trí của vật và ảnh, ta xét trường hợp vật thật, ảnh thật như trên Hình 48.21.

Xét các tam giác đồng dạng BIJ và FOJ, ta có :

$$\frac{OJ}{IJ} = \frac{OF}{IB}$$

Xét các tam giác đồng dạng $B'JI$ và $F'OI$, ta có :

$$\frac{OI}{JI} = \frac{OF'}{JB'}$$

Cộng hai phương trình vế với vế, ta được :

$$\frac{OJ + OI}{JI} = \frac{OF}{IB} + \frac{OF'}{JB'}$$

mà $OJ + OI = JI$, suy ra :

$$1 = \frac{OF}{IB} + \frac{OF'}{JB'}$$

hay

$$1 = OF'\left(\frac{1}{IB} + \frac{1}{JB'}\right)$$

suy ra $$\frac{1}{IB} + \frac{1}{JB'} = \frac{1}{OF'}$$

hay $$\frac{1}{OA} + \frac{1}{OA'} = \frac{1}{OF'}$$

b) Để lập công thức liên hệ giữa các độ lớn của ảnh và vật ta chia vế với vế hai phương trình đầu tiên ở trên :

$$\frac{OJ}{OI} = \frac{JB'}{IB}$$

suy ra $$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

Hình 48.22 Nhìn các chữ số qua một thấu kính hội tụ.

c) Để tổng quát hoá các công thức trên, ta thay các khoảng cách hình học bằng các trị đại số với quy ước như sau :

$$OA \to |d|;\ OA' \to |d'|;\ OF' \to |f|$$

$d > 0$ với vật thật.

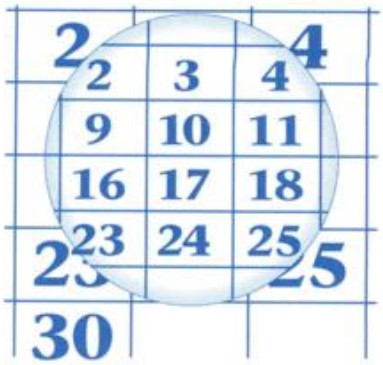
$d' > 0$ với ảnh thật, $d' < 0$ với ảnh ảo.

$f > 0$ với thấu kính hội tụ.

$f < 0$ với thấu kính phân kì.

Ta được các công thức tổng quát sau, áp dụng cho mọi trường hợp, cho cả hai loại thấu kính hội tụ và phân kì :

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{f} \qquad (48.4)$$



Hình 48.23 Nhìn các chữ số qua một thấu kính phân kì.

Số phóng đại được định nghĩa là :

$$k = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

Ta có : $$k = -\frac{d'}{d} \qquad (48.5)$$

Nếu ảnh và vật cùng chiều, $k > 0$.

Nếu ảnh và vật ngược chiều, $k < 0$.

CÂU HỎI

1. Người ta có thể tạo ra lửa với một thấu kính. Khẳng định này đúng không ? Nếu đúng, hãy trình bày cách tạo ra lửa bằng cách sử dụng một thấu kính.
2. Độ tụ cho biết đặc trưng gì của thấu kính ?

BÀI TẬP

Chọn câu đúng từ bài 1 đến bài 7.

1. Nhìn qua một thấu kính hội tụ, ta thấy ảnh của vật thì ảnh đó
   A. luôn nhỏ hơn vật.
   B. luôn lớn hơn vật.
   C. có thể lớn hơn hay nhỏ hơn vật.
   D. luôn ngược chiều với vật.
2. Quan sát ảnh của một vật qua một thấu kính phân kì
   A. ta thấy ảnh lớn hơn vật.
   B. ta thấy ảnh nhỏ hơn vật.
   C. ảnh ngược chiều với vật.
   D. ảnh luôn luôn bằng vật.
3. A. Ảnh cho bởi thấu kính hội tụ luôn lớn hơn vật.
   B. Ảnh cho bởi thấu kính phân kì luôn lớn hơn vật.
   C. Với thấu kính hội tụ, vật thật luôn cho ảnh thật.
   D. Với thấu kính phân kì, vật thật luôn cho ảnh ảo.
4. Với một thấu kính :
   A. Số phóng đại $k > 1$.
   B. Số phóng đại $k < 1$.
   C. Số phóng đại $k \geq 1$.
   D. Số phóng đại $k > 1$ hoặc $k < 1$ hoặc $k = 1$.
5. A. Với thấu kính hội tụ, độ tụ $D < 0$.
   B. Với thấu kính phân kì : $D < 0$.
   C. Với thấu kính hội tụ : $D = 1$.
   D. Với thấu kính phân kì : $D \leq 1$.
6. Với thấu kính hội tụ :
   A. Độ tụ D càng lớn nếu hai mặt thấu kính càng cong.
   B. Độ tụ D càng lớn nếu hai mặt thấu kính càng ít cong.
   C. Độ tụ $D = 1$.
   D. Độ tụ $D < 1$.

7. Với thấu kính hội tụ :

A. Khi vật thật cách thấu kính là $2f$ (f là tiêu cự) thì ảnh cũng cách thấu kính là $2f$.

B. Vật thật cho ảnh ảo.

C. Vật thật cho ảnh thật.

D. Ảnh và vật có độ lớn bằng nhau.

8. Chọn câu phát biểu **không** chính xác.

Với thấu kính phân kì :

A. Vật thật cho ảnh thật.

B. Vật thật cho ảnh ảo.

C. Tiêu cự $f < 0$.

D. Độ tụ $D < 0$.

9. Cho một thấu kính L có độ tụ $D = 5$ điôp. Xác định vị trí, tính chất và độ lớn ảnh của một vật AB cao 2 cm, vuông góc với trục chính, trong các trường hợp sau :

a) AB là vật thật, cách L là 30 cm.

b) AB là vật thật, cách L là 10 cm.

Hãy vẽ đường đi của tia sáng trong mỗi trường hợp.

10. Chiếu một chùm sáng hội tụ tới một thấu kính L. Cho biết chùm tia ló song song với trục chính của L.

a) Hỏi L là thấu kính loại gì ?

b) Điểm hội tụ của chùm sáng tới là một điểm ở sau thấu kính, cách L là 25 cm. Tìm tiêu cự và độ tụ của L.

c) Đặt vật $AB = 2$ cm vuông góc với trục chính và cách L 40 cm. Xác định ảnh của AB.

11. Cho hai thấu kính hội tụ L_1, L_2 lần lượt có các tiêu cự 20 cm và 25 cm, đồng trục, cách nhau một khoảng $a = 80$ cm. Vật $AB = 2$ cm, vuông góc với trục, ở trước hệ hai thấu kính và cách L_1 là 30 cm (L_1 ở trước L_2).

a) Hãy xác định ảnh cho bởi hệ.

b) Làm lại câu trên nếu đưa L_2 sát lại với L_1.

12. Cho thấu kính L_1 độ tụ $D_1 = 4$ điôp, thấu kính L_2, độ tụ $D_2 = -4$ điôp, ghép đồng trục, cách nhau 60 cm.

a) Điểm sáng S ở trên trục của hệ, cách L_1 là 50 cm. Ánh sáng qua L_1 rồi qua L_2. Xác định vị trí, tính chất của ảnh cho bởi hệ.

b) Tìm khoảng cách giữa L_1 và L_2 để chùm tia ló ra khỏi hệ là chùm tia song song.

Em có biết ?

SỰ PHẢN XẠ ÁNH SÁNG BỞI GƯƠNG CẦU

Gương cầu là một gương phản xạ ánh sáng, có dạng một chỏm cầu có độ cong bé. Có hai loại gương cầu : gương cầu lõm và gương cầu lồi. Các loại gương cầu có nhiều ứng dụng trong đời sống hằng ngày như : gương để khám răng, gương chiếu hậu, gương báo hiệu giao thông.

Khác với ở gương phẳng, ảnh và vật không đối xứng với nhau qua gương cầu ; do đó, ảnh có thể lớn hơn hay nhỏ hơn vật.

Ta có thể xác định vị trí của ảnh cho bởi gương cầu (lồi hoặc lõm) bằng công thức :

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{f} \Rightarrow d' = \frac{df}{d - f}$$

trong đó : $|d|$: khoảng cách từ vật tới gương cầu

$|d'|$: khoảng cách từ ảnh tới gương cầu

f : tiêu cự của gương ($|f| = OF = \frac{R}{2}$)

(Nếu vật cách gương một khoảng bằng f thì ảnh ở vô cực)

Ảnh có thể cùng chiều hay ngược chiều với vật.

Theo quy ước : $f > 0$ với gương cầu lõm

$f < 0$ với gương cầu lồi

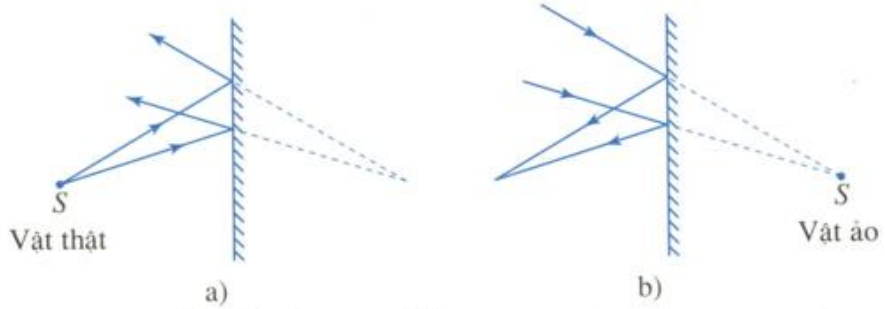
$d' > 0$ nếu ảnh thật (ở trước gương)

$d' < 0$ nếu ảnh ảo (ở sau gương)

Hình 48.24 Gương cầu lồi đặt ở đoạn đường cong nguy hiểm.

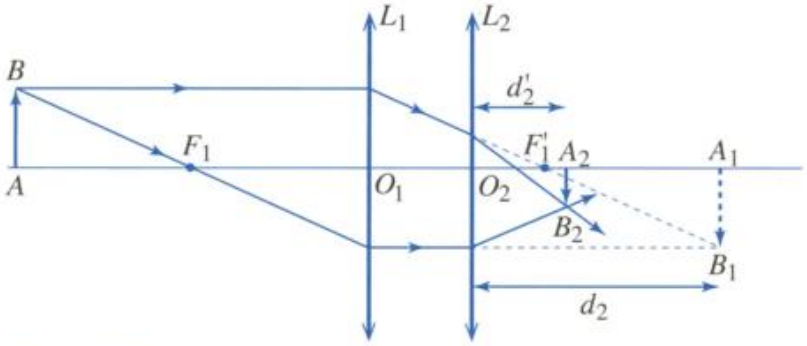
VẬT THẬT VÀ VẬT ẢO

Trong các bài quang học trên, ta chỉ đề cập tới các vật thật khi xét các dụng cụ quang (gương, thấu kính,...). Với các vật thật, chùm tia sáng tới dụng cụ quang từ một điểm trên vật phải là chùm tia phân kì (Hình 48.25a). Trong nhiều bài toán về quang hệ, ta còn gặp các trường hợp chùm tia tới một dụng cụ quang là một chùm tia hội tụ. Điểm gặp nhau của chùm tia tới này là một vật ảo đối với dụng cụ quang trên (Hình 48.25b).



Hình 48.25 Vật thật và vật ảo đối với gương phẳng.

Ta thử xét bài toán về một quang hệ gồm hai thấu kính hội tụ L_1 và L_2 ghép đồng trục với nhau như Hình 48.26.



Hình 48.26

Chùm tia từ B tới L_1 là chùm tia phân kì, vậy điểm B (và AB) là vật thật đối với L_1.

Chùm tia đi qua L_1, tới L_2 là chùm tia tới hội tụ ở B_1 (sau L_2), nên B_1 (và A_1B_1) là vật ảo đối với L_2 (A_1B_1 đồng thời là ảnh thật của AB đối với L_1).

A_2B_2 là ảnh cho bởi hệ thấu kính (L_1, L_2).

Với thấu kính L_2 (tiêu cự là f_2), ta có công thức :

$$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_2'} = \frac{1}{f_2}$$

Quy ước về dấu đối với vật ảo và vật thật như sau :

– với vật thật, khoảng cách d (từ vật tới thấu kính) > 0.

– với vật ảo, khoảng cách d < 0.

Trong trường hợp hình vẽ trên, vì A_1B_1 là vật ảo đối với L_2 nên d_2 < 0.