

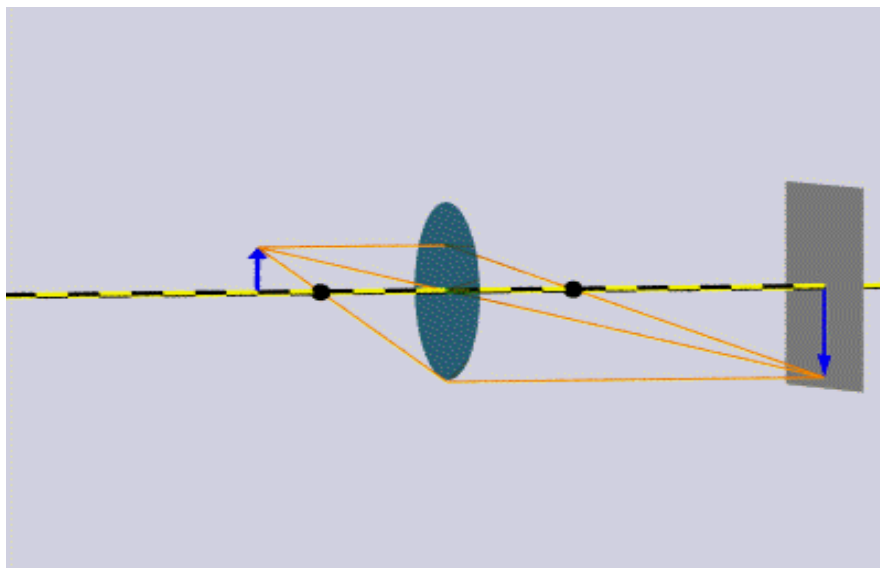


TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM TP. HỒ CHÍ MINH
KHOA VẬT LÝ

NGUYỄN TRẦN TRÁC – DIỆP NGỌC ANH

G
I
Á
O

T
R
Ì
N
H



QUANG HỌC

LƯU HÀNH NỘI BỘ - 2004

LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình Quang học này được soạn để dùng cho sinh viên Khoa Vật lý, Trường Đại học Sư phạm, theo chương trình của Bộ Giáo dục và Đào tạo, có được mở rộng để sinh viên có tài liệu tham khảo một cách thấu đáo. Nội dung Giáo trình gồm các phần sau :

- Quang hình học
- Giao thoa ánh sáng
- Nhiễu xạ ánh sáng
- Phân cực ánh sáng
- Quang điện từ
- Các hiệu ứng quang lượng tử
- Laser và quang học phi tuyến

Để giúp sinh viên có điều kiện thuận lợi hơn trong học tập, giáo trình này sẽ được bổ sung bởi một giáo trình toán Quang học. Qua tài liệu thứ hai này các bạn sinh viên sẽ có điều kiện củng cố vững chắc thêm các kiến thức có được từ phần nghiên cứu lý thuyết.

Người soạn hy vọng rằng với bộ Giáo trình này các bạn sinh viên sẽ đạt kết quả tốt trong quá trình học tập, nghiên cứu về Quang học.

Soạn giả

Nguyễn Trần Trác – Diệp Ngọc Anh

Chương I

QUANG HÌNH HỌC

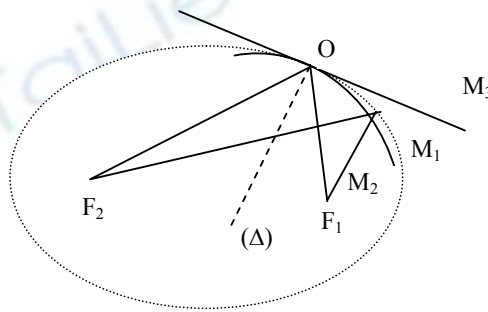
SS1. NHỮNG ĐỊNH LUẬT CƠ BẢN CỦA QUANG HÌNH HỌC.

Chúng ta sẽ sử dụng khái niệm tia sáng để tìm ra các qui luật lan truyền của ánh sáng qua các môi trường, tia sáng biểu thị đường truyền của năng lượng ánh sáng.

I/- NGUYÊN LÝ FERMA.

Ta biết rằng, theo nguyên lý truyền thẳng ánh sáng trong một môi trường đồng tính về quang học (chiết suất của môi trường như nhau tại mọi điểm) ánh sáng truyền theo đường thẳng, nghĩa là khoảng cách ngắn nhất giữa hai điểm cho trước.

Khi truyền từ một môi trường này sang một môi trường khác (có chiết suất khác nhau), ánh sáng sẽ bị phản xạ và khúc xạ ở mặt phân cách hai môi trường, nghĩa là tia sáng bị gãy khúc. Vậy trong trường hợp chung, giữa hai điểm cho trước ánh sáng có thể truyền theo đường ngắn nhất không? Ta hãy khảo sát thí nghiệm sau:



HÌNH 1

Xét một gương êlipxôit tròn xoay M1 có mặt trong là mặt phản xạ. Tại tiêu điểm F1 của gương, ta đặt một nguồn sáng điểm. Theo tính chất của êlipxôit, các tia sáng phát suất từ F1, sau khi phản xạ trên mặt gương, đều qua tiêu điểm F2, đồng thời các đường đi của tia sáng giữa hai tiêu điểm đều bằng nhau. Trên hình vẽ ta xét hai đường đi F1OF2 và F1O'F2.

Bây giờ giả sử ta có thêm hai gương M2 và M3 tiếp xúc với gương êlipxôit tại O. Đường (Δ) là pháp tuyến chung của 3 gương tại O (hình 1). Thực tế cho biết F1OF2 là đường truyền có thực của ánh sáng đối với cả 3 gương. Ta rút ra các nhận xét sau:

- So với tất cả các con đường đi từ F1 đến gương M2 rồi đến F2 thì con đường truyền thực F1OF2 của ánh sáng là con đường dài nhất (mọi con đường khác đều ngắn hơn con đường tương ứng phản xạ trên êlipxôit).
- Đối với gương M3, con đường thực F1OF2 là con đường ngắn nhất (mọi con đường khác đều dài hơn con đường tương ứng phản xạ trên êlipxôit)
- Đối với gương êlipxôit M1, có vô số đường truyền thực của ánh sáng từ F1 tới M1 rồi tới F2. Các đường truyền này đều bằng nhau.

Vậy đường truyền thực của ánh sáng từ một điểm này tới một điểm khác là một cực trị.

Ta có thể phát biểu một cách tổng quát trên khái niệm quang lộ: khi ánh sáng đi từ một điểm A tới một điểm B trong một môi trường có chiết suất n , thì quang lộ được định nghĩa là :

$$\lambda = n \cdot AB$$

Nguyên lý FERMA được phát biểu như sau :

“Quang lộ từ một điểm này tới một điểm khác phải là một cực trị”.

Ta cũng có thể phát biểu nguyên lý này dựa vào thời gian truyền của ánh sáng.

Thời gian ánh sáng truyền một quang lộ nds là $dt = nds/c$, c = vận tốc ánh sáng trong chân không.

Thời gian truyền từ A tới B là :

$$t = \frac{1}{c} \int_A^B nds$$

Quang lộ $\int_A^B nds$ là một cực trị. Vậy thời gian truyền của ánh sáng từ một điểm này tới một điểm khác cũng là một cực trị.

Ta thấy điều kiện quang lộ cực trị không phụ thuộc chiều truyền của ánh sáng. Vì vậy đường truyền thực của ánh sáng từ A đến B cũng phải là đường truyền thực từ B đến A. đó là tính chất rất chung của ánh sáng, gọi là tính truyền trở lại ngược chiều.

Từ định lý FERMA, ta có thể suy ra các định luật khác về đường truyền của ánh sáng.

2. ĐỊNH LUẬT TRUYỀN THẲNG ÁNH SÁNG.

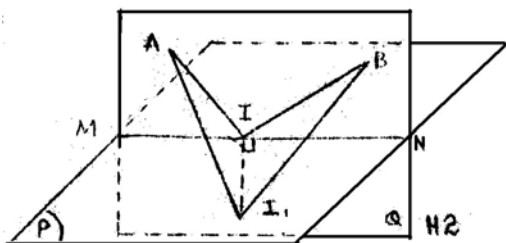
“Trong một môi trường đồng tính, ánh sáng truyền theo đường thẳng”

Thực vậy, trong môi trường đồng tính, chiết suất n bằng nhau tại mọi điểm. Quang lộ cực trị cũng có nghĩa là quãng đường (hình học) cực trị. Mặt khác, trong hình học ta đã biết: đường thẳng là đường ngắn nhất nối liền hai điểm cho trước. Ta tìm lại được định luật truyền thẳng ánh sáng.

3. ĐỊNH LUẬT PHẢN XẠ ÁNH SÁNG.

Xét mặt phản xạ (P) và hai điểm A, B cho trước. Về mặt hình học, ta có vô số đường đi từ A, phản xạ trên (P) tới B. Trong vô số đường đi hình học đó, ta cần xác định đường nào là đường đi của ánh sáng. Theo nguyên lý FERMA, đó là đường đi có quang lộ cực trị.

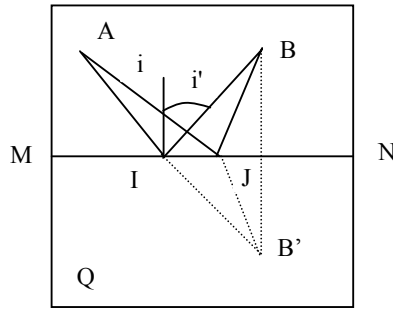
Trước hết, ta chứng tỏ rằng đường đi đó phải ở trong mặt phẳng (Q) chứa A, B và thẳng góc với mặt phản xạ (P)



Thật vậy, nếu tia sáng tới mặt (P) tại một điểm I_1 không nằm trong mặt phẳng (Q) thì ta luôn luôn từ I_1 kẻ được đường thẳng góc với giao tuyến MN của (P) và (Q), và có

$$AIB < AI_1B$$

Vậy điểm tới của hai tia sáng phải nằm trong mặt phẳng (Q), nghĩa là quang lộ khả dĩ phải nằm trong (Q), tức là phải nằm trong mặt phẳng tới.



HÌNH 3

Tiếp theo, ta cần xác định điểm tới I trên MN. Đó chính là giao điểm của AB' với MN (B' là điểm đối xứng với B qua mặt (P)). Thực vậy, với một điểm J nào khác trên MN, ta luôn có:

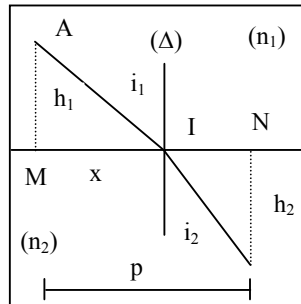
$$AIB < AJB$$

Từ hình 3, ta dễ dàng suy ra : góc tới i = góc phản xạ i'

Vậy tóm lại, từ nguyên lý FERMA, ta tìm lại được định luật phản xạ ánh sáng:

“Tia phản xạ nằm trong mặt phẳng tới. Tia phản xạ và tia tới ở hai bên đường pháp tuyến. Góc phản xạ bằng góc tới”

4. ĐỊNH LUẬT KHÚC XẠ ÁNH SÁNG.



HÌNH 4

Xét mặt phẳng (P) ngăn cách hai môi trường có chiết suất tuyệt đối lần lượt là n_1 và n_2 . Hai điểm A và B nằm ở hai bên của mặt phẳng (P). Ta hãy xác định đường truyền của tia sáng từ A tới B.

Chứng minh tương tự trường hợp phản xạ, ta thấy các tia sáng trong hai môi trường phải nằm trong cùng một mặt phẳng

Đó là mặt phẳng Q chứa A, B và vuông góc với mặt phẳng P (mặt phẳng Q chính là mặt phẳng tới)

Trong mặt phẳng Q, ta hãy xác định đường truyền thực của tia sáng. Trên hình 4, MN là giao tuyến giữa hai mặt phẳng P và Q. Giả sử (AIB) là quang lộ thực. Ta hãy biểu diễn quang lộ (AIB) theo biến số x (x xác định vị trí I trên MN).

$$(AIB) = \lambda = n_1 AI + n_2 IB$$

$$\lambda = n_1 \sqrt{h_1^2 + x^2} + n_2 \sqrt{h_2^2 + (p-x)^2}$$

(là quang lộ thực vậy, theo nguyên lý FERMA, ta phải có:

$$\frac{d\ell}{dx} = n_1 \frac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} - n_2 \frac{(p-x)}{\sqrt{h_2^2 + (p-x)^2}} = 0$$

$$\text{hay } n_1 \sin i_1 - n_2 \sin i_2 = 0$$

$$\text{hay } \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1} (\text{hằng số})$$

Vậy ta đã tìm được định luật khúc xạ ánh sáng. “Tia khúc xạ nằm trong mặt phẳng tới. Tia tới và tia khúc xạ ở hai bên đường pháp tuyến. Tỉ số giữa sin góc tới và sin góc khúc xạ là một hằng số đối với hai môi trường cho trước”

Nhắc lại : $n_{2,1}$ = chiết suất tỉ số đối của môi trường thứ hai với môi trường thứ nhất. Chiết suất tuyệt đối của một môi trường là chiết suất tỉ đối của môi trường đó đối với chân không.

• **TRƯỜNG HỢP ĐẶC BIỆT:** Sự phản xạ toàn phần

Khi chiết suất của môi trường thứ hai nhỏ hơn môi trường thứ nhất, thí dụ : ánh sáng truyền từ thủy tinh ra ngoài không khí, ta có : $n_{2,1} < 1$. Suy ra góc khúc xạ i_2 lớn hơn góc i_1 . Vậy khi i_2 đạt đến trị số lớn nhất là $\pi/2$ thì i_1 có một trị số xác định bởi $\sin \lambda = n_{2,1}$

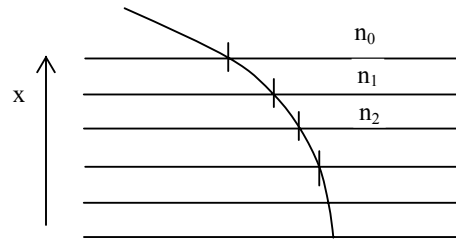
λ được gọi là góc tới giới hạn. Nếu góc tới lớn hơn góc giới hạn này thì toàn bộ năng lượng ánh sáng bị phản xạ trở lại môi trường thứ nhất (không có tia khúc xạ). Đó là sự phản xạ toàn phần.

Trên đây, ta đã thấy, các định luật về quang hình học đã được chứng minh từ nguyên lý FERMA. Ta cũng có thể tìm lại được các định luật này từ nguyên lý Huyghens (*)

Nguyên lý Huyghens là nguyên lý chung cho các quá trình sóng. Điều này trực tiếp chứng minh bản chất sóng của ánh sáng. Tuy nhiên, trong phần quang hình, ta chỉ nhằm xác định đường truyền của ánh sáng qua các môi trường và chưa đề ý tới bản chất của ánh sáng.

Các đây hàng ngàn năm, các định luật quang học được tìm ra một cách riêng biệt, độc lập với nhau, bằng các phương pháp thực nghiệm. Tiến thêm một bước, từ các quan sát thực tế, người ta thừa nhận nguyên lý chung. Rồi từ nguyên lý chung, suy ra các định luật. Đó là phương pháp tiên đề để xây dựng một môn khoa học.

KHÚC XẠ THIÊN VĂN

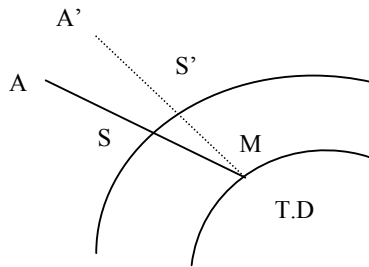


HÌNH 5

Chúng ta hãy quan sát hiện tượng khúc xạ qua một môi trường lớp. Môi trường này có chiết suất thay đổi theo phương x . Giả sử môi trường gồm nhiều lớp có chiết suất biến thiên đều đặn

$$n_0 < n_1 < n_2 < n_3 \dots$$

Các mặt ngăn chia các lớp thẳng góc với trục x (hình 5). Vẽ tia sáng truyền qua các lớp, ta được một đường gãy khúc. Nếu chiết suất biến thiên một cách liên tục, đường gãy khúc trên trở thành đường cong.



HÌNH 6

Lớp khí quyển bao quanh trái đất có mật độ giảm dần theo chiều cao, do đó chiết suất cũng giảm dần theo chiều cao. đó là một môi trường lớp.

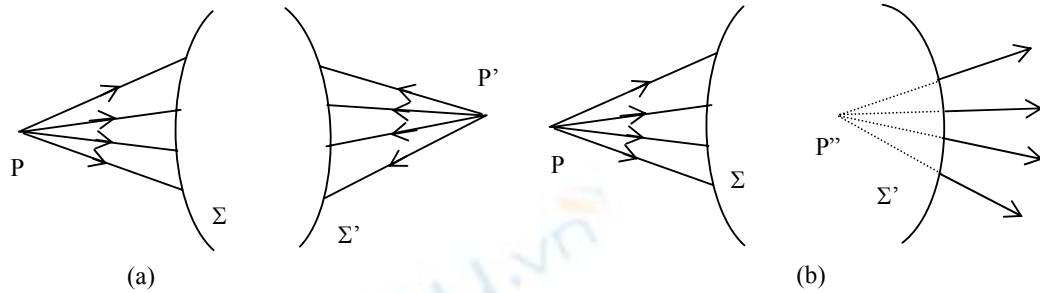
Xét tia sáng từ ngôi sao A tới lớp khí quyển tia sáng bị cong như hình vẽ 6. Người quan sát ở M có cảm giác ánh sáng đến từ phương A'S', tiếp tuyến của tia sáng thực tại M. đó là sự khúc xạ thiên văn. Góc lệch giữa phương thực AS và phương biểu A'S' được gọi là độ khúc xạ thiên văn.

SS2. GƯƠNG PHẪNG VÀ GƯƠNG CẦU.

Ta sẽ áp dụng các định luật quang học cho các môi trường cụ thể, các hệ quang học thường gặp. Mục đích là để nghiên cứu quy luật tạo ảnh trong các hệ quang học.

1. VẬT VÀ ẢNH.

Xét chùm tia sáng, phát suất từ một điểm P, sau khi qua quang hệ, chùm sáng hội tụ tại điểm P'. Ta gọi P là vật, P' là ảnh đối với quang hệ trên. Các mặt Σ , Σ' trên hình vẽ biểu diễn của mặt khúc xạ đầu và cuối của quang hệ.



HÌNH 7

Ta thấy: ảnh là điểm đồng qui của chùm tia ló. Ta có hai trường hợp : ảnh thực và ảnh ảo.

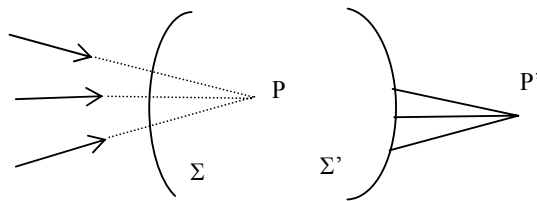
Nếu chùm tia ló hội tụ, ta có ảnh P' thực (P' nằm phía sau Σ' tính theo chiều truyền của ánh sáng tới). Trong trường hợp này, ta có sự tập trung năng lượng ánh sáng thực sự tại điểm P (hình 7a)

Nếu chùm tia ló phân kì, ta có ảnh P'' ảo (P'' nằm phía trước Σ')

Ta cũng có hai trường hợp : vật thực và vật ảo.

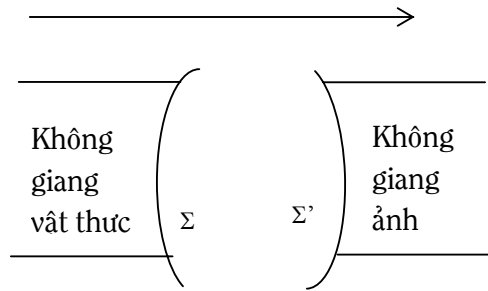
Nếu chùm tia tới quang hệ là chùm phân kì, ta có vật thực (P ở phía trước Σ) (hình 7a)

Nếu chùm tia tới là chùm hội tụ, ta có vật ảo P (điểm đồng qui của các tia tới kéo dài). Trong trường hợp này, P ở phía sau mặt Σ (hình 8)



HÌNH 8

Ta có thể phân biệt dễ dàng tính chất thực hay ảo của vật và ảnh bằng cách phân biệt không gian ảnh thực và không gian vật thực: không gian của các ảnh thực nằm về phía sau mặt khúc xạ (Σ'), không gian của các vật thực nằm phía trước mặt khúc xạ (Σ).



HÌNH 9

Nếu vật nằm ngoài không gian thực thì là vật ảo, tương tự như vậy với ảnh ảo.

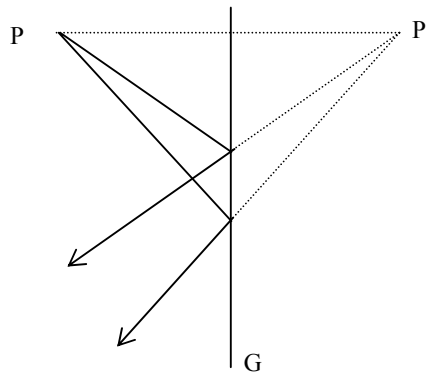
Ta cũng cần lưu ý một điểm là vật đối với quang hệ này nhưng đồng thời có thể là ảnh đối với quang hệ khác. Vậy khi nói vật hay ảnh, thực hay ảo là phải gắn liền với một quang hệ xác định.

2. GƯƠNG PHẪNG.

Một phần mặt phẳng phản xạ ánh sáng tốt được gọi là gương phẳng. Thí dụ: một mặt thủy tinh được mạ bạc, mặt thoảng của thủy ngân...

Giả sử ta có một điểm vật P đặt trước gương phẳng G. ảnh P' của P cho bởi gương theo thực nghiệm, đối xứng với P qua gương phẳng. Ta có thể dễ dàng chứng minh điều này từ các định luật về phản xạ ánh sáng. Ngoài ra, nếu vật thực thì ảnh ảo, và ngược lại.

Trường hợp vật không phải là một điểm thì ta có ảnh của vật là tập hợp các ảnh của các điểm trên vật. Ảnh và vật đối xứng với nhau qua mặt phẳng của gương, chúng không thể chồng khít lên nhau (như bàn tay trái và bàn tay phải) trừ khi vật có một tính đối xứng đặc biệt nào đó.



HÌNH 10

Vật và ảnh còn có tính chất đối chọi cho nhau. Nghĩa là nếu ta hội tụ một chùm tia sáng tới gương G (có đường kéo dài của các tia đồng quy tại P') thì chùm tia phản xạ sẽ hội tụ tại P. (Tính chất truyền trở lại ngược chiều)

Hai điểm P và P' được gọi là hai điểm liên hợp.

Đối với các gương phản xạ, không gian vật thực và không gian ảnh thực trùng nhau và nằm trước mặt phản xạ.

Theo công thức trên ta thấy : Các tia sáng phát xuất từ điểm P, tới gương cầu với các góc θ khác nhau, sẽ không hội tụ ở cùng một điểm ảnh P'. Vậy khác với gương phẳng, ảnh của một điểm cho bởi gương cầu, không phải là một điểm: ảnh P' không rõ.

Tuy nhiên nếu ta xét các gương cầu có góc khẩu độ θ nhỏ thì φ cũng nhỏ, $\cos \varphi \approx 1$, điểm T có thể coi là trùng với O. Công (2.1) trở thành:

$$\frac{1}{\overline{OP'}} + \frac{1}{\overline{OP}} = \frac{2}{\overline{OC}} \quad (2.2)$$

Vậy trong trường hợp này, ta có thể coi như có ảnh điểm P'

Nếu ta kí hiệu $\overline{OP'} = d'$, $\overline{OP} = d$, $\overline{OC} = R$,

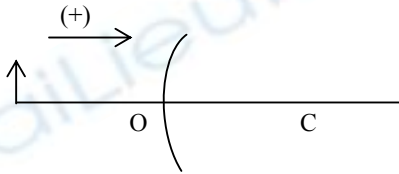
$$\frac{1}{d'} + \frac{1}{d} = \frac{2}{R} \quad (2.3)$$

Vậy muốn có ảnh rõ, góc khẩu độ của gương cầu phải nhỏ.

Công thức trên có thể áp dụng cho gương cầu lõm hay lồi, vật và ảnh thực hay ảo.

Thông thường người ta quy ước chiều dương là chiều truyền của ánh sáng tới.

Thí dụ : Một vật phát sáng đặt cách gương cầu lõm là 7 cm, bán kính chính trục của gương là 5 cm



HÌNH 13

Trong trường hợp này, $d = \overline{OP} = -7$ cm

$R = 5$ cm (chiều dương chọn như trên hình 13)

Vậy ảnh cách gương là $d' = 1,8$ cm. Đó chính là ảnh ảo, ở phía sau gương.

c- Tiêu điểm của gương cầu. Công thức Newton (Niuton)

Chiếu tới gương cầu một chùm tia sáng song song với trục chính. Chùm tia phản xạ hội tụ tại điểm F, điểm F được gọi là tiêu điểm của gương cầu.

Đoạn $\overline{OF}$ được gọi là tiêu cự của gương.

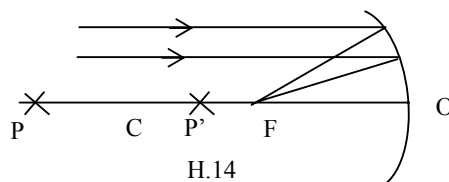
Chùm tia song song ứng với vật ở xa vô cực nên $d = -\infty$, suy ra tiêu cự $f = \overline{OF}$, chính là d' trong công thức (2.3), là $\frac{R}{2}$

$$f = \frac{R}{2} \quad (2.4)$$

Với gương cầu lõm, ta có tiêu điểm thực

Với gương cầu lồi, ta có tiêu điểm ảo

Ta cũng có thể lập công thức gương cầu bằng cách lấy F làm gốc của các khoảng cách.



H.14

Đặt $\overline{FP} = x$, $\overline{FP'} = x'$

Ta có : $d' = \overline{OP'} = \overline{OF} + \overline{FP'} = f + x'$

$$d = \overline{OP} = \overline{OF} + \overline{FP} = f + x$$

Thay vào công thức (2.3), ta được :

$$\frac{1}{f+x'} + \frac{1}{f+x} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f}$$

Suy ra: $xx' = f^2$ (2.5)

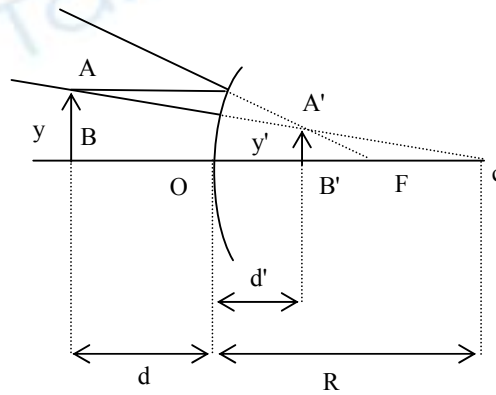
Đó là công thức Newton.

d- Cách vẽ ảnh – Độ phóng đại:

Ta có các tia đặc biệt sau:

- Tia tới song song với trục chính, tia phản xạ qua tiêu điểm F.
- Tia tới qua tiêu điểm F, tia phản xạ song song với trục chính.
- Tia tới qua tâm gương, tia phản xạ đi ngược trở lại.

Để xác định ảnh của một điểm, ta chỉ cần dùng hai trong ba tia trên. Đối với vật không phải là một điểm, ta chỉ cần xác định ảnh của một số điểm đặc biệt.



HÌNH 15

Thí dụ: Có vật AB thẳng, đặt vuông góc với trục chính. Ta chỉ cần vẽ ảnh A' của điểm A (như trên hình vẽ 15), sau đó từ A' hạ đường thẳng góc xuống trục chính, ta được ảnh A'B'.

Gọi y và y' là kích thước của vật và ảnh theo phương vuông góc với trục. độ phóng đại được định nghĩa là:

$$\beta = \frac{y'}{y}$$

Xét các tam giác đồng dạng ABC, A'B'C', ta có:

$$\frac{\overline{B'A'}}{\overline{BA}} = \frac{\overline{B'C}}{\overline{BC}}$$

$$\text{hay } \frac{y'}{y} = \frac{\overline{B'C}}{\overline{BC}} = \frac{\overline{B'O} + \overline{OC}}{\overline{BO} + \overline{OC}} = \frac{-d' + R}{-d + R}$$

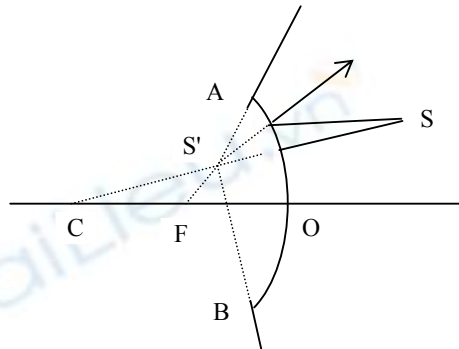
theo công thức (2.3), ta có:

Từ hai công thức trên, suy ra :

$$\boxed{\beta = \frac{-d'}{d}} \quad (2.6)$$

4. Thị trường của gương.

Thị trường của gương là khoảng không gian ở phía trước gương để nếu vật ở trong khoảng không gian này thì mắt sẽ nhìn thấy ảnh của nó qua gương.



HÌNH 16

Trong hình 16, mắt người quan sát S đặt trước gương cầu lồi AOB. điểm S' là ảnh của S cho bởi gương. Thị trường của gương là khoảng không gian giới hạn bởi hình nón đỉnh S', các đường sinh trên chu vi của gương. Bất kì vật nào nằm trong thị trường đều có thể cho chùm tia sáng tới gương để phản xạ tới mắt S, do đó mắt nhìn thấy vật :

Thị trường của gương cầu lồi lớn hơn so với các loại gương khác (gương phẳng, gương lõm) có cùng kích thước, vì vậy thường được dùng làm gương nhìn sau trên các loại xe.

5. Một số ứng dụng của gương.

Trong kỹ thuật, gương phẳng chủ yếu dùng để đổi phương và chiều truyền của chùm tia sáng. Nhờ vậy có thể thu ngắn kích thước của máy móc hay từ dưới mặt biển có thể quan sát các vật ở trên mặt biển, từ trong lòng đất có thể quan sát các vật ở trên mặt đất.

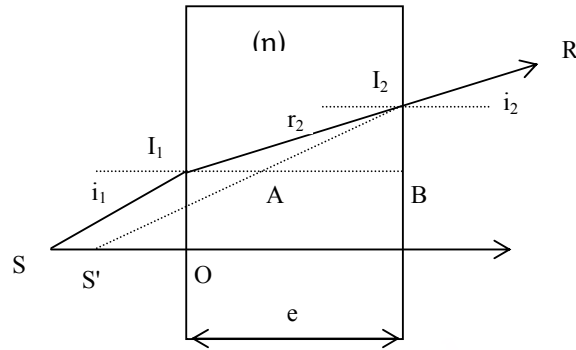
Gương cầu lõm thường được sử dụng với trường hợp chùm tia song song. Khi cần có chùm tia sáng rơi theo một hướng nhất định, thí dụ trong các đèn pha, người ta đặt nguồn sáng tại tiêu điểm của gương cầu lõm. Chùm tia phản xạ từ gương là chùm tia song song định hướng được.

Gương cầu lõm còn dùng để thu ảnh các vật ở xa, như các thiên thể, hiện trên mặt phẳng tiêu của gương. Các gương cầu với bán kính mở (bán kính khẩu độ) lớn cho ảnh với phẩm chất tốt mà việc chế tạo các gương như vậy tương đối không phức tạp bằng việc chế tạo các thấu kính có công dụng tương đương. Vì vậy, trong các kính thiên văn lớn, người ta dùng gương thay cho thấu kính.

Gương cầu lõm còn dùng để tập trung năng lượng của ánh sáng mặt trời trong các pin mặt trời, bếp mặt trời...

SS3. CÁC MẶT PHẪNG KHÚC XẠ.

1. Bản hai mặt song song.



HÌNH 17

Có một môi trường trong suốt chiết suất n , bề dài e , được giới hạn bởi hai mặt phẳng song song. Nếu môi trường được đặt trong không khí chẳng hạn, các mặt giới hạn trở thành các mặt phẳng khúc xạ. Chúng ta hãy xét sự tạo ảnh của vật S ở cách bản một khoảng cách hữu hạn (H - 17). Tia SO đến vuông góc và truyền thẳng qua bản. Tia SI_1 đến bản dưới góc i_1 . Các góc i_1, i_2 liên hệ với nhau theo định luật khúc xạ. Dễ dàng thấy rằng $i_1 = i_2$ và do đó $r_1 = r_2$. Để đơn giản ta kí hiệu chung là các góc i và r . Như vậy tia ló I_2R song song với tia tới SI_1 . Giao điểm S của I_2R và SO là ảnh ảo của S .

Khoảng cách giữa ảnh và vật

Chúng ta hãy xác định đoạn SS'

$$\left. \begin{aligned} SS' &= e - AB \\ AB &= \frac{I_2B}{\tan i} = \frac{e \cdot \tan r}{\tan i} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \boxed{SS' = e \left(1 - \frac{\tan r}{\tan i}\right)} \quad (3.1)$$

Khoảng cách SS' phụ thuộc vào góc tới i . Thành thử, chùm tia phân kì xuất phát từ S đến bản dưới các góc tới khác nhau sẽ ứng với các vị trí của S' khác nhau. Kết quả là ảnh của điểm qua bản hai mặt song song không còn là điểm nữa. Chúng ta xét trường hợp gần đúng khi góc tới i là nhỏ. Khi đó, có thể xem:

$$\frac{\tan r}{\tan i} \approx \frac{\sin r}{\sin i} = \frac{1}{n}$$

Vậy khoảng cách giữa ảnh và vật là:

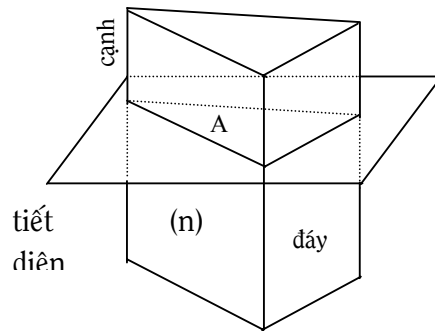
$$\boxed{SS' = e \left(1 - \frac{1}{n}\right)} \quad (3.2)$$

Như vậy để ảnh còn rõ nét, chùm tia tới bản phải là chùm tia hẹp đi gần pháp tuyến

2. Lăng kính.

a- Định nghĩa:

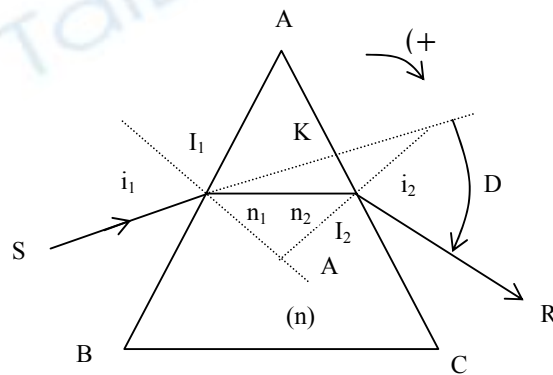
Lăng kính là một môi trường trong suốt được giới hạn bởi hai mặt phẳng không song song



HÌNH 18

Hai mặt phẳng giới hạn này là các mặt khúc xạ. Góc A hợp bởi hai mặt này là góc ở đỉnh của lăng kính. Giao tuyến của hai mặt khúc xạ là cạnh của lăng kính. Mặt đối diện với cạnh là mặt đáy. Mọi mặt phẳng vuông góc với cạnh lăng kính là mặt phẳng thiết diện chính. Chúng ta giới hạn sự khảo sát trong trường hợp đường truyền của chùm tia sáng nằm trong thiết diện chính.

b- Góc lệch của chùm tia sáng qua lăng kính – độ lệch cực tiểu.



HÌNH 19

Cho một chùm tia sáng song song, đơn sắc SI, tới mặt khúc xạ thứ nhất của lăng kính. Chùm tia truyền qua lăng kính, khúc xạ ở hai mặt của lăng kính và ló ra theo phương I₂R. Góc D là góc lệch giữa chùm tia ló I₂R và chùm tia tới SI₁.

Xét tam giác KI₁I₂, ta thấy độ lệch D là :

$$D = (-i_1 + r_1) + (i_2 - r_2) = i_2 - i_1 + r_1 - r_2$$

Với qui ước về dấu như sau : các góc được kể là dương nếu chiều quay từ pháp tuyến tới tia cùng chiều quay của kim đồng hồ, được kể là âm nếu chiều quay trên ngược chiều kim đồng hồ.

Xét tam giác HI₁I₂, ta có:

$$A = r_2 - r_1$$

$$\text{Vậy: } D = i_2 - i_1 - A$$

Tóm lại, ta có các công thức về lăng kính :

$$\begin{aligned}\sin i_1 &= n \sin r_1 \\ \sin i_2 &= n \sin r_2 \\ A &= r_2 - r_1 \\ D &= i_2 - i_1 - A\end{aligned}$$

(3.3)

n là chiết suất của lăng kính

$$\begin{aligned}\text{Nếu các góc } i_1 \text{ và } A \text{ nhỏ :} \\ i_1 &= n r_1 ; i_2 = n r_2 \\ A &= r_2 - r_1 ; D = (n-1)A\end{aligned}$$

Bây giờ, ta hãy xác định điều kiện ứng với độ lệch cực tiểu. Góc D có giá trị là một cực trị khi : $\frac{dD}{di_1} = 0$

$$\text{hay } \frac{dD}{di_1} = \frac{di_2}{di_1} - 1 = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{di_2}{di_1} = 1$$

mặt khác, từ các công thức lăng kính, ta có :

$$\cos i_1 \cdot d i_1 = n \cos r_1 \cdot d r_1$$

$$\cos i_2 \cdot d i_2 = n \cos r_2 \cdot d r_2$$

$$d r_2 = d r_1$$

$$\text{suy ra: } \frac{di_2}{di_1} = \frac{\cos r_2 \cdot \cos i_1}{\cos r_1 \cdot \cos i_2} = 1$$

$$\text{vậy } \cos r_2 \cdot \cos i_1 = \cos r_1 \cdot \cos i_2$$

$$\text{hay } \cos^2 r_2 \cdot \cos^2 i_1 = \cos^2 r_1 \cdot \cos^2 i_2$$

$$\text{suy ra : } \sin^2 i_1 = \sin^2 i_2$$

$$\text{hay } i_1 = \pm i_2$$

ta lấy $i_1 = -i_2$ vì $i_1 = i_2$ không thích hợp (nếu $i_1 = i_2$ thì $A=0$, $D=0$, đó là trường hợp bản hai mặt song song). Khảo sát thực nghiệm xác nhận kết quả trên ($i_1 = -i_2$) ứng với độ lệch cực tiểu D_m

$$\text{Vậy } D_m = i_2 - i_1 - A = -2i_1 - A$$

$$\text{suy ra } i_1 = \frac{D_m + A}{2}$$

$$\text{và } A = r_2 - r_1 = -2r_1$$

$$\text{suy ra : } r_1 = \frac{-A}{2}$$

Từ công thức $\sin i_1 = n \sin r_1$, suy ra :

$$\sin \frac{D_m + A}{2} = n \sin \frac{A}{2}$$

Khi có độ lệch cực tiểu ($|i_1| = |i_2|$), đường đi tia sáng qua lăng kính đối xứng qua mặt phẳng phân giác của góc A.

C- Sự biến thiên của góc lệch D theo chiết suất của lăng kính ứng với các đơn sắc – Sự tán sắc

Chiết suất của các môi trường biến thiên theo bước sóng của ánh sáng. Vì vậy, khi ta chiếu một tia sáng tạp (gồm nhiều ánh sáng đơn sắc có các bước sóng khác nhau) qua lăng kính, góc lệch ứng với các đơn sắc sẽ khác nhau. Ta khảo sát sự biến thiên của góc lệch D theo sự biến thiên của chiết suất

Làm phép tính vi phân đối với các công thức (3.3) và nhớ rằng A và i_1 là các trị bất biến trong các phép tính này, ta có :

$$0 = n \cdot \cos r_1 \cdot dr_1 + \sin r_1 \cdot dn \quad (3.5)$$

$$\cos i_2 \cdot di_2 = n \cos r_2 \cdot dr_2 + \sin r_2 \cdot dn \quad (3.6)$$

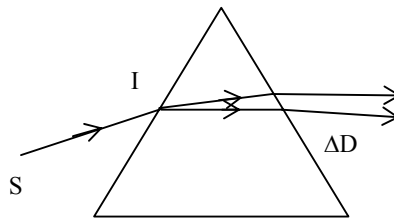
$$0 = dr_2 - dr_1$$

$$dD = di_2 \quad (3.7)$$

Nhân hai vế của (3.5) với $\cos r_2$ và hai vế của (3.6) với $\cos r_1$, đồng thời thay di_2 bằng dD và dr_2 bằng dr_1 , sau đó trừ các kết quả với nhau, ta có :

$$\cos r_1 \cdot \cos i_2 \cdot dD = dn \cdot \sin (r_2 - r_1) = dn \sin A$$

$$\text{Vậy } \frac{dD}{dn} = \frac{\sin A}{\cos r_1 \cos i_2}$$



HÌNH 20

Nếu n và $n + \Delta n$ là chiết suất của lăng kính ứng với các bước sóng λ và $\lambda + \Delta \lambda$ và giả sử lăng kính thỏa mãn điều kiện góc lệch cực tiểu đối với bước sóng λ , ΔD là góc tán sắc giữa hai chùm tia ứng với λ và $\lambda + \Delta \lambda$ được xác định như sau :

$$\frac{\Delta D}{\Delta n} \approx \frac{dD}{dn} = \frac{\sin A}{\cos i_1 \cdot \cos i_2} = \frac{2 \sin \frac{A}{2} \cdot \cos \frac{A}{2}}{\cos \frac{A}{2} \cdot \cos i_{2m}}$$

$$\frac{\Delta D}{\Delta n} \approx - \frac{2 \frac{\sin i_{1m}}{n}}{\cos i_{1m}}$$

trong đó, i_{1m} và i_{2m} là các trị số của góc i_1 và i_2 khi có độ lệch cực tiểu.

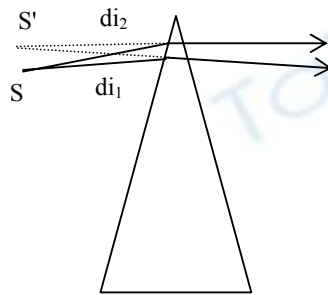
Vậy:

$$\Delta D = -2 \operatorname{tg} i_{1m} \frac{\Delta n}{n} \quad (3.9)$$

Do tính chất này nên lăng kính được dùng để phân tích một chùm ánh sáng tạp thành các chùm tia sáng đơn sắc trong các máy quang phổ.

d. Vài ứng dụng của lăng kính :

* Ảnh cho bởi lăng kính :



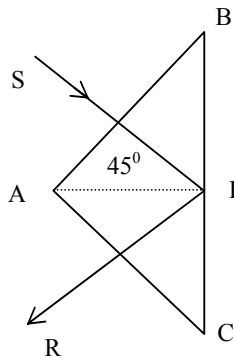
- Nếu vật ở vô cực, chùm tia tới (đơn sắc) song song với lăng kính, chùm tia ló ra cũng song song, ta được một ảnh rõ ở vô cực (trong các máy quang phổ)

Hình 21

- Khi vật cách lăng kính một đoạn hữu hạn, trong trường hợp tổng quát, ảnh của vật không rõ. Ảnh của một điểm không phải là một điểm. Tuy nhiên, người ta chứng minh được: ảnh S' của một điểm S có thể coi là một điểm khi chùm tia sáng phát xuất từ S đến lăng kính ở gần cạnh của lăng kính và thỏa mãn gần đúng điều kiện có độ lệch cực tiểu. Khi đó:

$$\frac{dD}{di_1} = \frac{di_2}{di_1} - 1 = 0 \quad \text{hay} \quad di_1 = di_2$$

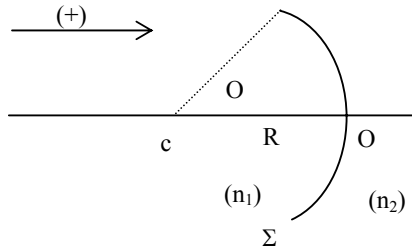
* Lăng kính phản xạ toàn phần :



HÌNH 22

Dùng một lăng kính với tiết diện chính là một tam giác vuông cân ABC. Chiếu một chùm tia sáng song song tới thẳng góc với mặt AB, tới BC tại I với góc tới 45° . Mà ta biết góc giới hạn $\approx 41^\circ 50'$ (với $n \approx 1,5$). Vậy tại I, ánh sáng phản xạ toàn phần, đi ra khỏi lăng kính theo phương IR.

SS4. MẶT CẦU KHÚC XẠ.

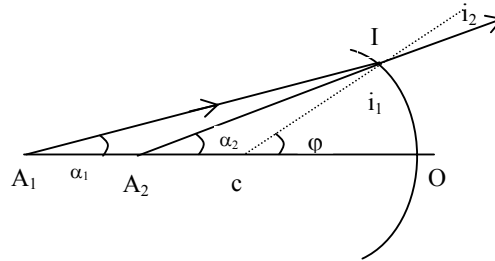


HÌNH 23

Ta gọi mặt cầu khúc xạ là hệ quang học gồm hai môi trường trong suốt có chiết suất khác nhau n_1 và n_2 được ngăn cách bởi một phần mặt cầu Σ . Để nghiên cứu mặt cầu khúc xạ, ta căn cứ vào các yếu tố sau đây: C là tâm của mặt cầu, O là đỉnh – đường thẳng qua CO gọi là quang trục chính. Các đường thẳng khác đi qua tâm C được gọi là các quang trục phụ. Đoạn $OC \approx R$ là bán kính của mặt cầu khúc xạ. Mọi mặt phẳng chứa quang trục chính được gọi là tiết diện chính của hệ, ví dụ như mặt phẳng hình vẽ. Góc θ (hình 23) được gọi là góc mở của mặt cầu.

Nếu chiều của ánh sáng truyền tới được qui ước là chiều dương ghi trên hình vẽ thì môi trường phía sau mặt Σ là môi trường ảnh thực, còn môi trường phía trước là môi trường vật thực.

1. Công thức mặt cầu khúc xạ.



HÌNH 24

Ta xét ảnh của điểm A_1 nằm trên quang trục. Và chỉ xét các tia đi gần trục OC. Chọn tia thứ nhất là tia A_1C , trùng với quang trục. Tia này truyền thẳng qua mặt khúc xạ. Vì vậy ảnh sẽ nằm trên quang trục (H. 24). Tia thứ hai dùng để xác định ảnh là tia A_1I , tới mặt khúc xạ dưới góc tới i_1 . Góc khúc xạ tương ứng trong môi trường thứ hai là i_2 . Vì là tia gần trục, góc i_1 và i_2 là bé, để có thể viết định luật khúc xạ gần đúng dưới dạng :

$$n_1 i_1 \approx n_2 i_2 \quad (4.1)$$

Từ hình vẽ ta có các hệ thức sau :

$$i_1 = \varphi - \alpha_1 \quad \text{và} \quad i_2 = \varphi - \alpha_2$$

$$\varphi = \frac{OI}{OC}, \quad \alpha_1 = \frac{OI}{OA_1}, \quad \alpha_2 = \frac{OI}{OA_2}$$

Như vậy, theo định luật khúc xạ (1.5) ta có :

$$n_1 \left(\frac{\overline{OI}}{\overline{OC}} - \frac{\overline{OI}}{\overline{OA_1}} \right) = n_2 \left(\frac{\overline{OI}}{\overline{OC}} - \frac{\overline{OI}}{\overline{OA_2}} \right)$$

$\overline{OC}$ là bán kính R của mặt cầu, $\overline{OA_1}$ và $\overline{OA_2}$ là khoảng cách đến vật và đến ảnh kể từ đỉnh mặt cầu. Ta đặt $\overline{OG} = p$ và $\overline{OG'} = p'$. Thay vào biểu thức trên ta được công thức mặt cầu khúc xạ :

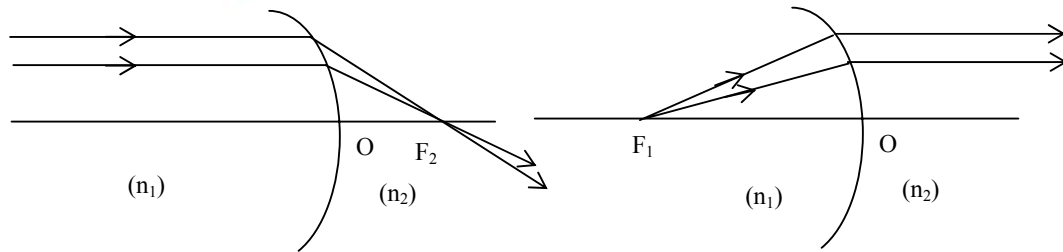
$$\boxed{\frac{n_2}{p'} - \frac{n_1}{p} = \frac{n_2 - n_1}{R}} \quad (4.2)$$

Đại lượng bên vế phải $\phi = \frac{n_2 - n_1}{R}$ được gọi là tụ số của quang hệ. Giá trị của ϕ là giá trị đại số, nó cho biết xu thế đi về gần quang trục hay đi ra xa của các chùm tia khúc xạ. đơn vị đo tụ số là “điốp” nếu chiều dài tính ra mét

Chú ý : đối với mặt cầu khúc xạ, ta chỉ có ảnh rõ khi các tia tới đi gần trục chính.

2. Các tiêu điểm, mặt phẳng liên hợp và mặt phẳng tiêu.

a- Các tiêu điểm:



HÌNH 25

Cho chùm tia sáng song song với quang trục tới quang hệ. sau khi khúc xạ chùm tia hội tụ tại F_2 (H.25). F_2 được gọi là tiêu điểm ảnh. F_2 là thực nếu nó nằm trong không gian ảnh thực. Tương tự, nếu có chùm tia xuất phát từ F_1 trên quang trục, sau khi khúc xạ trở thành chùm song song với quang trục (H.25), thì F_1 được gọi là tiêu điểm vật. Tiêu điểm F_1 là thực nếu nó nằm trong không gian vật thực. Các đoạn thẳng $\overline{OF_2} = f_2$ và $\overline{OF_1} = f_1$ được gọi là các tiêu cự ảnh và tiêu cự vật. Các tiêu cự cũng mang dấu theo qui ước chung.

Dễ dàng dùng công thức (4.2) để xác định các tiêu cự

Kết quả là

$$\boxed{f_1 = \frac{-n_1 R}{n_2 - n_1} = -\frac{n_1}{\phi}} \quad \text{và} \quad \boxed{f_2 = \frac{n_2 R}{n_2 - n_1} = \frac{n_2}{\phi}} \quad (4.3)$$

Tỉ số giữa hai tiêu cự :