

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VỤ GIÁO DỤC TRUNG HỌC

CHƯƠNG TRÌNH PHÁT TRIỂN
GIÁO DỤC TRUNG HỌC

TÀI LIỆU TẬP HUẤN
PHÁT TRIỂN CHUYÊN MÔN GIÁO VIÊN
TRƯỜNG THPT CHUYÊN

MÔN VẬT LÝ

Quyển 1

Quang học, vật rắn và bán dẫn, thí nghiệm thực hành

Sưu tầm: *Đồ Công Anh* (dungsply@gmail.com)

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VỤ GIÁO DỤC TRUNG HỌC

**CHƯƠNG TRÌNH PHÁT TRIỂN
GIÁO DỤC TRUNG HỌC**

TÀI LIỆU TẬP HUẤN PHÁT TRIỂN CHUYÊN MÔN GIÁO VIÊN TRƯỜNG THPT CHUYÊN

MÔN VẬT LÝ

Chủ trì biên soạn tài liệu

1. VỤ GIÁO DỤC TRUNG HỌC

2. CHƯƠNG TRÌNH PHÁT TRIỂN GIÁO DỤC TRUNG HỌC

Nhóm tác giả biên soạn tài liệu

Hồ Tuấn Hùng

Vũ Thanh Khiết

Nguyễn Thế Khôi

Nguyễn Đình Noãn

Vũ Quang

Nguyễn Trọng Sửu

Nguyễn Xuân Thành

Trần Minh Thi

Dương Quốc Văn

Hà Nội, tháng 7 - 2011

MỤC LỤC

Trang

Lời mở đầu

Phần thứ nhất: Một số chuyên đề chuyên sâu môn Vật lí

1. Các chuyên đề Quang học (Quyển 1)
2. Chuyên đề Vật rắn và Bán dẫn (Quyển 1)
3. Các chuyên đề Vật lí hiện đại (Quyển 2)
4. Các chuyên đề Thiên văn học (Quyển 2)

Phần thứ hai: Thí nghiệm thực hành trường THPT chuyên

1. Thí nghiệm Olympic Vật lý (Quyển 1)
2. Thí nghiệm Vật lí đại cương (Quyển 1)
3. Sử dụng Dao động ký điện tử (Quyển 1)
4. Sử dụng bộ kết nối aMixer MGA (Quyển 1)

Phần thứ ba: Hướng dẫn kết nối mạng lưới GV THPT chuyên và triển khai tập huấn tại địa phương

1. Kết nối mạng lưới giáo viên các trường THPT môn Vật lí thông trên mạng Giáo dục Việt Nam. Khai thác các tiện ích CNTT hiệu quả.
2. Hướng dẫn triển khai tập huấn tại địa phương

LỜI MỞ ĐẦU

Việc bồi dưỡng nâng cao nghiệp vụ phát triển chuyên môn là nhiệm vụ thường xuyên, quan trọng của các cơ quan chức năng và mỗi giáo viên. Đối với giáo viên các trường, lớp chuyên công việc này lại rất cần thiết; bởi vì, phải đào tạo những học sinh say mê, có năng khiếu và trình độ học tập tốt môn học. Hơn nữa, ở một mức độ nhất định chương trình chuyên có thời lượng và yêu cầu cao hơn với chương trình THPT nâng cao.

Thực tiễn đã xác nhận rằng, trong nhiều năm qua, giáo viên các trường, lớp chuyên có trình độ chuyên môn, nghiệp vụ vững chắc, đã góp phần đào tạo nhiều học sinh giỏi hoàn thành tốt việc học tập ở các trường Đại học và Cao đẳng, tiếp tục phát triển sau khi ra trường. Tuy nhiên, vẫn có nhiều vấn đề cần trao đổi, bổ sung để nâng cao hơn nữa mục tiêu, yêu cầu giáo dục các trường, lớp chuyên.

Nội dung “*Tài liệu tập huấn phát triển chuyên môn giáo viên trường THPT chuyên môn Vật lí*” gồm các phần sau đây:

Phần thứ nhất: *Một số chuyên đề chuyên sâu môn Vật lí*

Phần thứ hai: *Thí nghiệm thực hành trường THPT chuyên*

Phần thứ ba: *Hướng dẫn kết nối mạng lưới GV THPT chuyên và triển khai tập huấn tại địa phương*

Các phần được thể hiện ở Quyển 1. Riêng phần thứ nhất, các chuyên đề Vật lí hiện đại và Thiên văn học được thể hiện ở Quyển 2.

Trong quá trình biên soạn tài liệu không tránh khỏi những thiếu sót về nội dung, lỗi kỹ thuật, mong các bạn đọc và đồng nghiệp góp ý kiến.

Trân trọng cảm ơn!

Các tác giả

Phần thứ nhất
MỘT SỐ CHUYÊN ĐỀ CHUYÊN SÂU MÔN VẬT LÝ
CÁC CHUYÊN ĐỀ QUANG HỌC

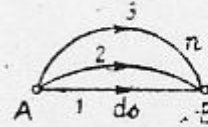
Chuyên đề 1 : Nguyên lí Fermat với các định luật phản xạ và khúc xạ ánh sáng

Mục tiêu về kiến thức là trình bày được nguyên lí Fermat và áp dụng được nguyên lí đó để chứng minh các định luật phản xạ và khúc xạ ánh sáng.

Mục tiêu về kĩ năng là giải được một số bài tập đơn giản bằng nguyên lí Fermat.

I. Nguyên lí Fermat

1. Ta hãy xét sự truyền ánh sáng từ một điểm A đến một điểm B (Hình 1.1). Tất nhiên giữa hai điểm A và B có thể vẽ nhiều con đường : 1,2,3



Hình 1.1

ánh sáng sẽ đi theo con đường nào ? Nguyên lí Fermat cho ta câu trả lời :

Trong số các con đường khả dĩ đi từ điểm A đến điểm B thì ánh sáng sẽ đi theo con đường mà theo đó thời gian truyền là ngắn nhất.

Gọi t là thời gian truyền ánh sáng ; s là độ dài của đường truyền ; v là vận tốc truyền ánh sáng trong môi trường , ta có :

$$t = \frac{s}{v}$$

t là nhỏ nhất.

2. Mặt khác , theo thuyết tương đối , vận tốc ánh sáng trong mọi môi trường (v) đều nhỏ hơn vận tốc ánh sáng trong chân không (c) : $v \leq c$.

Đặt : $n = \frac{c}{v}$; n gọi là *chiết suất của môi trường truyền ánh sáng*. Ta

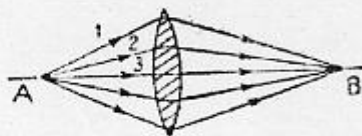
được :

$$t = \frac{ns}{c}$$

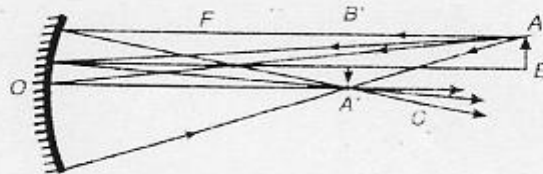
Tích $ns = l$ gọi là *quang trình của tia sáng* ứng với đường đi s. Vì c là một hằng số , nên điều kiện t nhỏ nhất sẽ đưa đến điều kiện l nhỏ nhất.

Nguyên lí Fermat sẽ được phát biểu dưới dạng được dùng phổ biến sau :

Trong vô số các con đường khả dĩ đi từ điểm A đến điểm B thì ánh sáng sẽ đi theo con đường có quang trình ngắn nhất. Trong môi trường đồng tính



a



b

Hình 1.2

thì quang trình ngắn nhất ứng với đường truyền là đoạn thẳng.

3. Tuy nhiên, có một số trường hợp ánh sáng có thể truyền từ điểm A đến điểm B theo rất nhiều con đường. Ví dụ : trường hợp A là một vật sáng hình điểm, còn B là ảnh của A qua một gương cầu hay một thấu kính (Hình 1.2)

Ở đây có gì mâu thuẫn với nguyên lí Fermat ? Người ta đã chứng minh được rằng, trong tất cả các trường hợp nêu trên, quang trình ứng với tất cả các tia sáng đi từ A đến B đều bằng nhau. Như vậy, không có quang trình nào là ngắn nhất; và, do đó, ánh sáng sẽ truyền theo tất cả các đường đi khả dĩ nói trên.

4. Có gì chung giữa các điều nói ở trên ?

Để giải đáp, ta hãy lấy một minh họa cụ thể trong toán học : xét đồ thị của một hàm số $y = f(x)$ có cực đại, cực tiểu và điểm uốn. Tại các điểm cực tiểu, cực đại và điểm uốn thì tiếp tuyến với đồ thị của hàm số sẽ song song với trục hoành. Tại đó, ứng với một biến thiên rất nhỏ của biến số x ($\Delta x \neq 0$) thì độ biến thiên của hàm số y coi như bằng không ($\Delta y = 0$). Những điểm đó gọi là những điểm cực trị.

Tình huống tương tự cũng xảy ra đối với sự truyền ánh sáng : khi chuyển từ đường truyền của tia sáng sang một con đường sát bên cạnh thì quang trình thay đổi không đáng kể : độ biến thiên của quang trình coi như bằng không ($\Delta l = 0$) ; nói cách khác, quang trình ứng với đường truyền của tia sáng là cực trị : *độ biến thiên của quang trình theo sự thay đổi nhỏ của đường truyền tia sáng là bằng không.*

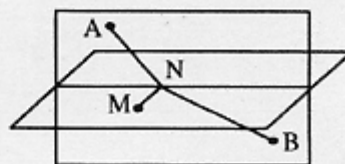
Nguyên lí Fermat có thể phát biểu dưới dạng tổng quát : *tia sáng là đường truyền của ánh sáng có quang trình cực trị.*

Trường hợp chỉ có một đường truyền của tia sáng thì quang trình của tia đó là cực tiểu. Trường hợp có nhiều đường truyền khả dĩ thì quang trình của các đường đó có giá trị bằng nhau.

II. Áp dụng nguyên lí Fermat để chứng minh định luật khúc xạ ánh sáng

Xét sự truyền ánh sáng từ một điểm A trong một môi trường trong suốt, đồng tính, đẳng hướng, có chiết suất n_1 , sang một điểm B trong môi trường có chiết suất n_2 , qua mặt phân cách phẳng (hình 1.3).

Trước hết, phải chứng minh : đường truyền thực của tia sáng phải nằm trong mặt phẳng qua AB và vuông góc với mặt phân cách (gọi là mặt phẳng tới).



Hình 1.3

Thật vậy, xét một đường truyền bất kì AMB. M là một điểm bất kì nằm trong mặt phân cách, nhưng ngoài mặt phẳng tới. Gọi N là hình chiếu của điểm M lên mặt phẳng tới.

Rõ ràng là $AM > AN$ và $MB > NB$

Như vậy, quang trình AMB lớn hơn quang trình ANB :

$$n_1 AM + n_2 MB > n_1 AN + n_2 NB$$

Nói khác đi : đường đi có quang trình cực trị phải nằm trong mặt phẳng tới.

Gọi AIB là đường truyền thực của tia sáng. I là điểm tới, nằm trên giao tuyến của mặt phẳng tới và mặt phân cách. Quang trình AIB gồm hai đoạn : $l_1 = n_1 AI$ và $l_2 = n_2 IB$.

Ta hãy tìm điều kiện để quang trình $l = l_1 + l_2$ là cực trị.

Gọi H và K là chân của các đoạn thẳng hạ vuông góc từ A và B xuống mặt phân cách. Đặt $AH = h_1$; $BK = h_2$; $HK = a$ và $HI = x$.

$$\text{Ta có : } AI = \sqrt{h_1^2 + x^2} \quad \text{và} \quad IB = \sqrt{h_2^2 + (a-x)^2}$$

$$l = n_1 \sqrt{h_1^2 + x^2} + n_2 \sqrt{h_2^2 + (a-x)^2} = n_1 (h_1^2 + x^2)^{\frac{1}{2}} + n_2 (h_2^2 + (a-x)^2)^{\frac{1}{2}}$$

Điều kiện để l là cực trị :

$$\frac{dl}{dx} = 0 \quad \Rightarrow \quad n_1 x (h_1^2 + x^2)^{-\frac{1}{2}} - n_2 (a-x) (h_2^2 + (a-x)^2)^{-\frac{1}{2}} = 0$$

Nhưng $x (h_1^2 + x^2)^{-\frac{1}{2}} = \sin i$ và $(a-x) (h_2^2 + (a-x)^2)^{-\frac{1}{2}} = n \sin r$

với i là góc tới và r là góc khúc xạ.

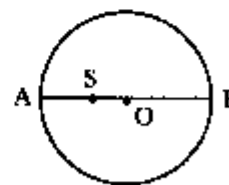
Cuối cùng, ta được :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

Đó là định luật khúc xạ ánh sáng.

III. Bài tập : Điểm Weierstrass

Cho một khối thủy tinh đồng chất hình cầu tâm O, bán kính R, chiết suất n. AOB là một đường kính. Một điểm sáng S, được đặt tại một điểm trên bán kính AO, phát ra một chùm tia sáng rộng chiếu vào phần mặt cầu có đỉnh là B (hình 1.4). Có hai vị trí của S mà đặt nguồn sáng tại đó thì chùm tia ló ra khỏi mặt cầu vẫn là chùm đồng quy, mặc dầu điều kiện tương điểm bị vi phạm. Các điểm đó là : tâm O và điểm Weierstrass.



Hình 1.4

Tâm O là điểm tâm thường ; còn điểm Weierstrass có ứng dụng quan trọng trong kính hiển vi.

Hãy dùng nguyên lí Fermat để xác định vị trí của điểm Weierstrass.

Chuyên đề 2 : Lăng kính phẳng . Lăng kính cầu

Những mục tiêu kiến thức của chuyên đề này là :

- Nêu được điều kiện tương điểm đối với lăng kính phẳng , bản mặt song song và lăng kính cầu.
- Xây dựng được công thức xác định vị trí của một điểm sáng qua một lăng kính phẳng và qua một bản mặt song song trong các trường hợp quan sát ảnh vuông góc và xiên góc với các mặt phân cách , khi điều kiện tương điểm được thoả mãn .
- Xây dựng được công thức của lăng kính cầu và của độ tụ của thấu kính mỏng .

Mục tiêu kỹ năng của chuyên đề là giải được các bài tập về lăng kính phẳng, bản mặt song song và lăng kính cầu .

I. Điều kiện tương điểm

Điều kiện tương điểm là điều kiện để ảnh của một điểm sáng qua dụng cụ quang học sẽ là một điểm .

Đối với lăng kính phẳng và bản mặt song song thì điều kiện tương điểm là : *chùm tia sáng phát ra từ điểm sáng chiếu đến lăng kính phẳng hoặc bản mặt song song phải là chùm tia hẹp*, tức là sin của góc mở của chùm tia có thể coi như bằng tang và bằng chính độ lớn của góc đó (đo theo đơn vị radian) .

Điều này thể hiện thực tế ở chỗ : ta nhìn một hòn sỏi ở đáy một bể nước, hay qua một tấm thuỷ tinh phẳng thì vẫn thấy ảnh là một hòn sỏi rõ nét , dù có nhìn theo phương vuông góc hay xiên góc với mặt phân cách.

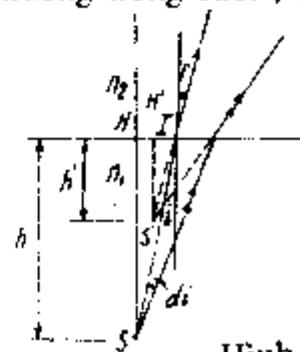
Điều kiện tương điểm đối với lăng kính cầu là : *chùm tia sáng phát ra từ điểm sáng , chiếu đến mặt cầu phải là chùm tia hẹp*. Trong trường hợp vật sáng là một đoạn thẳng nhỏ vuông góc với trục chính , muốn ảnh cũng là một đoạn thẳng nhỏ vuông góc với trục chính thì phải thêm điều kiện : *các chùm tia tới chỉ nghiêng trên trục chính một góc nhỏ* (những chùm tia này gọi là các chùm tia gần trục) .

II. Ảnh của một điểm sáng qua một lăng kính phẳng, nhìn theo phương xiên góc với mặt phân cách

Giả sử có một điểm sáng S nằm trong một môi trường trong suốt , chiết suất n_1 , cách mặt phân cách một khoảng là h (hình 2.1). Trên mặt phân cách là không khí . Người quan sát nhìn theo phương xiên góc với mặt phân cách thấy ảnh S' của S .

Ta hãy xác định vị trí của ảnh S' .

Xét một tia sáng SI , phát ra từ S , đến gặp mặt phân cách ở I , dưới góc tới i , ló ra theo phương IR , dưới góc khúc xạ r và đi vào mắt người quan sát . Ảnh S' nằm trên phương IR .



Hình 2.1

Gọi H là chân của đường hạ thẳng đứng từ S xuống mặt phân cách. Ta có :

$$HI = h \tan i$$

Chùm tia hẹp có góc mở di , phát ra từ S, sẽ cắt đường HI theo một đoạn có chiều dài là :

$$IK = d (HI) = h d (\tan i) = h \frac{di}{\cos^2 i}$$

Chùm tia ló là chùm tia hẹp có góc mở là dr và đồng quy tại S'.

Xét tam giác S'IK. Ta có :

$$\frac{IK}{\sin dr} = \frac{S'I}{\sin(90^\circ - (r + dr))} = \frac{S'I}{\cos(r + dr)}$$

$$S'I = IK \frac{\cos r}{dr} = h \frac{\cos r}{\cos^2 i} \frac{di}{dr}$$

với $\sin dr \approx dr$ và $\cos(r + dr) \approx \cos r$. Mặt khác, ta lại có :

$$n \sin i = \sin r \quad \text{hay} \quad n \cos i di = \cos r dr$$

do đó :

$$\frac{di}{dr} = \frac{\cos r}{n \cos i}$$

Vậy :

$$S'I = h \frac{\cos^2 r}{n \cos^3 i}$$

Cuối cùng, ta được :

$$S'H' = h' = S'I \cos r = \frac{h}{n} \left(\frac{\cos r}{\cos i} \right)^3$$

$$IH' = S'I \sin r = n S'I \sin i = n \frac{h}{n} \tan i \left(\frac{\cos r}{\cos i} \right)^3$$

$$IH' = IH \left(\frac{\cos r}{\cos i} \right)^2$$

Chú ý rằng : $r > i$ nên $\cos r < \cos i$. Do đó : $h' < h$ và $IH' < IH$. Ảnh S' vừa được nâng lên cao vừa được kéo dịch lại gần người quan sát (tức là không được nâng lên theo phương thẳng đứng).

Áp dụng bằng số : Cho $h = 1 \text{ m}$; $n = \frac{4}{3}$ và $i = 30^\circ$.

$$\sin i = \frac{1}{2} ; \quad \cos i = \frac{\sqrt{3}}{2} ; \quad \tan i = \frac{1}{\sqrt{3}} ; \quad IH \approx 0,58 \text{ m} ; \quad \sin r = \frac{2}{3} ;$$

$$\cos r = \frac{\sqrt{5}}{3} ; \quad r \approx 41^\circ 48'.$$

$$\frac{\cos r}{\cos i} = \frac{2\sqrt{5}}{3\sqrt{3}} \approx 0,86 ; \quad S'H' \approx 0,48 \text{ m} ; \quad IH' \approx 0,74 IH$$

III. Công thức của lưỡng chất cầu

Trong mục này, ta nhấn mạnh đến quy ước về dấu và cách xây dựng công thức.

Giả thử có hai môi trường trong suốt, đồng tính, chiết suất n_1 và n_2 , ngăn cách nhau bằng một mặt cầu, tâm C, đỉnh O và bán kính R. Một điểm sáng S nằm trong môi trường n_1 , trên trục CO, chiếu một chùm sáng hẹp gần trục về phía đỉnh O. Xác định vị trí của ảnh S'.

Ta đưa ra quy ước về dấu như sau:

- Góc của các đoạn thẳng đều lấy từ đỉnh O của mặt cầu.
- Chiều dương của đoạn thẳng $d = \overline{OS}$, xác định vị trí của vật, là *ngược chiều tia tới*. Như vậy, vật thật sẽ ứng với $d > 0$; vật ảo sẽ ứng với $d < 0$.
- Chiều dương của đoạn thẳng $d' = \overline{OS'}$, xác định vị trí của ảnh, là *cùng chiều tia tới*. Như vậy, ảnh thật sẽ ứng với $d' > 0$; ảnh ảo ứng với $d' < 0$.
- Chiều dương của đoạn thẳng $R = \overline{OC}$, xác định vị trí của tâm mặt cầu là *ngược chiều tia tới*. Như vậy, nếu tâm C ở cùng phía với vật so với đỉnh O thì $R > 0$; ở khác phía thì $R < 0$. Chú ý rằng có thể quy ước về dấu của R ngược lại. Khi đó sẽ phải đổi dấu của công thức mặt cầu khúc xạ.

Quy trình xây dựng công thức được diễn ra như sau:

- Vẽ hình ứng với một trường hợp cụ thể nào đó (Hình 2.2).

- Dựa vào hình vẽ, xây dựng công thức hình học đối với các đoạn thẳng OS, OS' và OC. Các đoạn thẳng này chỉ có giá trị số học.

- Nêu quy ước về dấu ứng với trường hợp cụ thể đã nêu ở trên.

- Dựa vào quy ước về dấu nói trên để chuyển từ công thức số học sang công thức đại số rồi biến đổi đại số.

Một tia tới bất kì SI, thỏa mãn điều kiện tương điểm, đến gặp mặt cầu tại I, dưới góc tới i . Góc khúc xạ là r . Tia khúc xạ cắt trục CO tại S'.

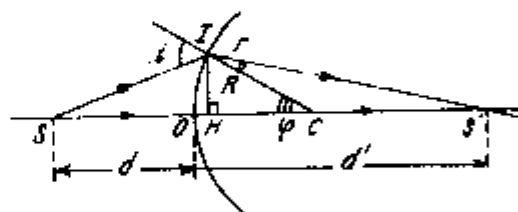
$$\text{Xét tam giác SIC: } \frac{SC}{\sin i} = \frac{SI}{\sin \varphi}$$

φ là góc giữa bán kính CI và trục CO.

$$\text{Xét tam giác S'IC: } \frac{S'C}{\sin r} = \frac{S'I}{\sin \varphi}$$

$$\text{Ta lại có: } n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

Phối hợp ba công thức trên, ta được:



Hình 2.2

$$\frac{n_1}{n_2} \frac{SC}{S'C} = \frac{SI}{S'I}$$

Vì các góc đều là góc nhỏ, nên ta có thể coi: $SI \approx SO$ và $S'I \approx S'O$.
Công thức trên thành ra:

$$\frac{n_1}{n_2} \frac{SC}{S'C} = \frac{SO}{S'O}$$

Theo hình 2.2, ta có: $SC = SO - OC$ và $S'C = S'O + OC$

Kết quả, ta được công thức số học:

$$\frac{n_1}{n_2} \frac{SO - OC}{S'O + OC} = \frac{SO}{S'O}$$

Vì S là vật thật, nên $d = \overline{OS} > 0$; do đó: $OS = SO = d$.

Vì S' là ảnh thật, nên $d' = \overline{OS'} > 0$; do đó: $OS' = S'O = d'$.

Vì $R = \overline{OC} > 0$, nên: $OC = CO = R$.

Thay vào công thức số học ở trên, ta được công thức đại số:

$$\frac{n_1}{n_2} \frac{d - R}{d' + R} = \frac{d}{d'}$$

Sau khi biến đổi đại số, ta được công thức của mặt cầu khúc xạ:

$$\frac{n_1}{d} + \frac{n_2}{d'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

Nếu chọn chiều dương của R cùng chiều tia tới, ta sẽ được công thức:

$$\frac{n_1}{d} + \frac{n_2}{d'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

IV. Bài tập. Ảnh trong trường hợp điều kiện tương điểm bị vi phạm

Cho một gương cầu lõm có bán kính $R = 50$ cm và đường kính đường rìa $D = 1$ cm. Một chùm tia sáng song song, hẹp, nằm trong một mặt phẳng chứa trục chính, được chiếu vào một điểm ở mép gương. Góc làm bởi chùm tia và trục chính là $\alpha = 30^\circ$. Xác định vị trí của điểm đồng quy của chùm tia phản xạ.

Chú ý: Vì chùm tia tới là một chùm tia hẹp, nên chùm tia phản xạ sẽ đồng quy tại một điểm. Nếu chùm tia tới là chùm tia gần trục thì chùm tia phản xạ sẽ đồng quy tại tiêu điểm phụ. Tuy nhiên, vì chùm tia tới làm với trục chính một góc 30° , nên chùm tia phản xạ không đồng quy tại tiêu điểm phụ nữa.

Chuyên đề 3 : Gương cầu và hệ quang học đồng trục

Những mục tiêu kiến thức của chuyên đề này là :

- Những khái niệm cơ bản về gương cầu : các định nghĩa - các công thức - các ứng dụng .

- Các khái niệm về vật và ảnh trong quang hình học .

Những mục tiêu kĩ năng của chuyên đề này là :

- Phương pháp giải các bài tập về hệ quang học đồng trục

- Phương pháp dựng ảnh và vẽ đường đi tia sáng qua hệ quang học đồng trục

Có một vài điều lưu ý dưới đây :

1. Vì kiến thức về gương cầu đã được dạy sơ lược ở lớp 7 THCS , nên trong chương trình Vật lí lớp 11 nâng cao , để tránh lặp lại , người ta không đề cập đến Gương cầu nữa. Tuy nhiên , với kiến thức đã học ở THCS , học sinh không thể giải các bài tập khó về gương cầu ; mặt khác , gương cầu lại có nhiều ứng dụng thực tế quan trọng . Vì vậy , cần phải đưa vấn đề về Gương cầu vào chương trình chuyên sâu Vật lí 11 .

2. Trong việc giải các bài tập về hệ quang học đồng trục , có một hệ thức quan trọng là :

$$d'_1 + d_2 = O_1O_2$$

trong đó , d'_1 là khoảng cách (đại số) từ phân tử O_1 đến ảnh mà nó tạo ra (ta gọi đó là ảnh trung gian) . Ảnh trung gian trở thành vật đối với phân tử O_2 . d_2 là khoảng cách (đại số) từ O_2 đến vật này. O_1O_2 là khoảng cách số học giữa hai phân tử . Điều này có nghĩa là tổng của hai đại lượng đại số d'_1 và d_2 luôn luôn là một đại lượng dương .

Chứng minh điều này không khó :

- Nếu ảnh trung gian là ảnh thật qua O_1 và ảnh này trở thành vật thật đối với O_2 thì cả d'_1 và d_2 đều dương và O_1O_2 sẽ dương .

- Nếu ảnh trung gian là ảnh thật qua O_1 và ảnh này trở thành vật ảo đối với O_2 thì $d'_1 > 0$ và $d_2 < 0$; nhưng $d'_1 > |d_2|$ nên $O_1O_2 > 0$

- Nếu ảnh trung gian là ảnh ảo qua O_1 và ảnh này trở thành vật thật đối với O_2 thì $d'_1 < 0$ và $d_2 > 0$; nhưng $d_2 > |d'_1|$ nên $O_1O_2 > 0$

Đó là tất cả những trường hợp có thể xảy ra.

Chuyên đề 4 : Cầu sai và Sắc sai

Những mục tiêu kiến thức của chủ đề này là :

- Trình bày được khái niệm về cầu sai và sắc sai .
- Nêu được nguyên nhân của cầu sai và sắc sai .
- Nêu được cách khắc phục cầu sai và sắc sai .

Mục tiêu kĩ năng của chủ đề là giải được các bài tập đơn giản về cầu sai và sắc sai .

I. Cầu sai

Cầu sai là những sai sót của hệ quang học khi điều kiện tương điểm bị vi phạm : góc mở của chùm tia tới rộng , góc mở của mặt cầu rộng , góc nghiêng của chùm sáng trên trục chính lớn (chùm tia không gần trục) ... Trong chương trình chuyên sâu , ta chỉ xét hiện tượng *cầu sai dọc*.

Giả sử có một điểm sáng S nằm trên trục chính của một thấu kính hội tụ . Điểm sáng phát ra một chùm tia rộng chiếu vào mặt thấu kính . Góc mở của các mặt cầu giới hạn thấu kính cũng lớn . Khi đó ảnh của điểm sáng S không còn là một điểm sáng nữa mà nằm giải ra trên một đoạn thẳng trên trục chính.

Chùm tia gặp phần rìa của thấu kính thì hội tụ tại một điểm S_1 nằm gần thấu kính nhất ; chùm tia gặp phần giữa thấu kính thì hội tụ tại một điểm nằm xa thấu kính nhất S_2 (Hình 4.1). Những chùm tia gặp mặt thấu kính tại những điểm nằm giữa rìa và giữa thì sẽ hội tụ tại những điểm nằm giữa S_1 và S_2 .



Hình 4.1

Hiện tượng mà ta vừa mô tả gọi là *cầu sai dọc* .

Đối với thấu kính phân kì cũng có cầu sai dọc . Tuy nhiên đoạn thẳng $S_1 S_2$ là đoạn thẳng ảo .

Do có cầu sai dọc mà thấu kính không có một tiêu điểm chính duy nhất . Các tiêu điểm chính của thấu kính nằm trải ra trên một đoạn thẳng $F_1 F_2$ dọc theo trục chính . Đoạn thẳng này gọi là *tiêu tuyến của thấu kính* . F_1 , nằm gần thấu kính nhất , là tiêu điểm ứng với chùm sáng đi đến phần rìa thấu kính . F_2 , nằm xa thấu kính nhất , ứng với chùm sáng đi đến phần giữa thấu kính .

Để khắc phục cầu sai , người ta phải ghép sát hai thấu kính mỏng , một hội tụ , một phân kì , có các bán kính cong được tính toán phù hợp .

II. Sắc sai

Sắc sai là sai sót của quang hệ liên quan đến sự tán sắc ánh sáng qua thấu kính . Đối với ánh sáng đơn sắc có bước sóng càng dài thì chiết suất của thủy tinh càng nhỏ . Do đó , nếu vật là một điểm sáng trắng thì sẽ có một loạt

những ảnh màu không trùng nhau : ảnh màu tím nằm gần thấu kính nhất ; ảnh màu đỏ nằm xa thấu kính nhất . Nếu hứng ảnh trên một màn ảnh , ta sẽ có ảnh viền màu . Tùy theo vị trí của màn ảnh mà ảnh sẽ có viền màu tím hoặc màu đỏ .

Để khắc phục sắc sai , người ta phải ghép sát hai thấu kính mỏng , một hội tụ , một phân kỳ , có bán kính cong được tính toán phù hợp và làm bằng hai thứ thủy tinh khác nhau (thủy tinh nặng flint và thủy tinh nhẹ crown) . Bảng dưới đây cho biết sự phụ thuộc của chiết suất của một loại thủy tinh flint và một loại thủy tinh crown vào bước sóng ánh sáng



Hình 4.2

Ánh sáng	Bước sóng (μm)	Chiết suất	
		Thủy tinh flint	Thủy tinh crown
Đỏ	0,6563	1,6444	1,3311
Vàng	0,5893	1,6499	1,3330
Lam	0,4861	1,6657	1,3371
Tím	0,4047	1,6852	1,3428

Thông thường , người ta tính toán sao cho tiêu điểm của thấu kính ứng với các tia đỏ và tia lam trùng với nhau . Ở những thấu kính đặc biệt , người ta tính toán sao cho tiêu điểm của thấu kính ứng với ba tia đỏ , vàng và tím trùng với nhau . Tuy thế , ngay khi đã được khử sắc sai , tiêu điểm của thấu kính ứng với các tia sáng có màu khác nhau cũng không trùng khớp với nhau , và màu của ảnh vẫn hơi khác với màu của vật .

Muốn độ tụ của hệ ghép là dương thì thấu kính hội tụ trong hệ phải làm bằng thủy tinh flint .

III. Bài tập

1. Một kính lúp có số bội giác thương mại là 2,5 ; chiết suất 1,5 ; có hai mặt cầu giống nhau và có đường kính đường rìa là 6 cm .

a) Xác định khoảng cách Δf giữa tiêu điểm của thấu kính ứng với chùm tia đi ở phần rìa và tiêu điểm ứng với chùm tia đi ở phần giữa (Δf là tiêu tuyến của thấu kính) .

b) Xây dựng phương án thực hành đo Δf .

2. Một thấu kính tiêu sắc (thấu kính đã được khử sắc sai) gồm hai thấu kính mỏng ghép sát nhau . Mỗi thấu kính mỏng có một mặt phẳng và một mặt cầu . Các mặt cầu có bán kính cong bằng nhau . Một thấu kính làm bằng thủy tinh flint và một thấu kính làm bằng thủy tinh crown . Đối với ánh sáng đỏ (0,66 μm) thì chiết suất của thủy tinh flint là 1,58 ; và của thủy tinh crown là 1,48 . Đối với ánh sáng lam (0,49 μm) thì chiết suất của thủy tinh flint là 1,66 ; và của thủy tinh crown là 1,52 .

a) Người ta muốn độ tụ của hệ thấu kính ghép là 10 điốp và các tiêu điểm của hệ đối với tia đỏ và đối với tia lam trùng với nhau .

Hãy vẽ phác tiết diện bổ dọc của hệ thấu kính và chỉ rõ thành phần nào làm bằng thủy tinh flint ; thành phần nào làm bằng thủy tinh crown .

Tính bán kính cong R của các mặt cầu .

b) Cho rằng trong khoảng bước sóng từ $0,49 \mu\text{m}$ đến $0,66 \mu\text{m}$ thì chiết suất của hai loại thủy tinh nói trên phụ thuộc tuyến tính vào bước sóng . Tính tiêu cự của hệ thấu kính ghép đối với tia vàng ($0,55 \mu\text{m}$) . Rút ra kết luận .

Chuyên đề 5 : Các đại lượng trắc quang

Những mục tiêu kiến thức của chuyên đề này là :

- Trình bày được khái niệm về các đại lượng trắc quang (quang thông , cường độ sáng , độ trung , độ rọi , độ chói) và đơn vị đo các đại lượng đó .
- Thiết lập được công thức tính độ rọi của ảnh .

Mục tiêu kĩ năng của chuyên đề này là giải được các bài tập về các đại lượng trắc quang .

II. Các đại lượng trắc quang

1. Cần chú ý là tồn tại song song hai hệ thống đại lượng đo đặc ánh sáng . Hệ thống đo đặc ánh sáng về phương diện năng lượng (ta tạm gọi là hệ thống năng lượng) và hệ thống đo đặc ánh sáng vừa về phương diện năng lượng , vừa về phương diện tác dụng gây ra cảm giác sáng (ta tạm gọi là hệ thống trắc quang) . Dưới đây là bảng đối chiếu hai hệ thống đó .

Hệ thống năng lượng		Hệ thống trắc quang	
Tên đại lượng	Đơn vị	Tên đại lượng	Đơn vị
Dòng quang năng	oát (W)	Quang thông	lumen (lm)
Độ trung (năng lượng)	Oát trên mét vuông (W/m ²)	Độ trung	lumen trên mét vuông (lm/m ²)
Độ rọi (năng lượng)	Oát trên mét vuông (W/m ²)	Độ rọi	lux (lux)
Độ chói (năng lượng)	Oát trên mét vuông . Stêradian (W/m ² stêradian)	Độ chói	Nít (Nít)
Cường độ (của dòng ánh sáng tại một điểm)	Oát trên mét vuông (W/m ²)	Cường độ sáng (của một nguồn điểm)	Candela (Cd)

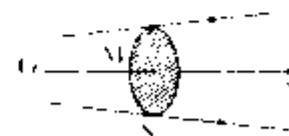
Dòng quang năng dE của một chùm sáng là đại lượng đo bằng lượng năng lượng mà chùm sáng dò truyền qua một tiết diện thẳng dS của chùm trong đơn vị thời gian (Hình 5.1) .

Quang thông dΦ của một chùm sáng đi qua một tiết diện thẳng dS của chùm là đại lượng tỉ lệ với tích của dòng quang năng dE qua tiết diện đó và hàm số thị kiến φ , biểu thị độ nhạy của mắt đối với màu của chùm sáng :

$$d\Phi = 683 \varphi dE$$

dΦ đo bằng lumen ; dE đo bằng oát ; hệ số 683 có đơn vị là lumen trên oát gọi là *đương lượng quang học của oát* .

Hàm số thị kiến φ là một hư số . Giá trị của nó phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng : $0 \leq \varphi \leq 1$. Đối với ánh sáng lục (0,555 μm) thì φ cực đại và bằng 1 . Dưới đây là bảng các giá trị của hàm số thị kiến :



Hình 5.1

Màu	Bước sóng (μm)	Hàm số thị kiến φ
Đỏ	0,70	0,004
Da cam	0,65	0,107
Vàng	0,60	0,760
Lục	0,55	1,000
Lam	0,50	0,323
Chàm	0,45	0,038
Tím	0,40	0,0004

Độ trung của một bề mặt phát sáng dS là đại lượng đo bằng dòng quang năng (hoặc quang thông) đo một đơn vị diện tích của mặt đó phát ra theo đủ mọi phương (hình 5.3) :

$$R = \frac{dE}{dS} \quad \text{hoặc} \quad R = \frac{d\Phi}{dS}$$

Độ rọi trên một mẫu mặt phẳng nhỏ dS bị chiếu sáng bởi một dòng quang năng dE (hoặc quang thông $d\Phi$) là đại lượng đo bằng thương số (Hình 5.3) :

$$A = \frac{dE}{dS} \quad \text{hoặc} \quad A = \frac{d\Phi}{dS}$$

Độ chói của một mặt dS theo phương Ox (làm với pháp tuyến của dS một góc α) là đại lượng đo bằng dòng quang năng (hoặc quang thông) mà một đơn vị diện tích hình chiếu của dS trên phương vuông góc với Ox phát ra trong phạm vi một đơn vị góc khối bao quanh phương Ox (Hình 5.4) :

$$B = \frac{dE}{d\omega \cdot dS \cos \alpha} \quad \text{hoặc} \quad B = \frac{d\Phi}{d\omega \cdot dS \cdot \cos \alpha}$$

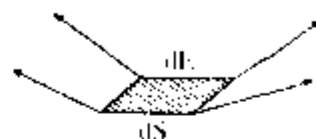
với $dS \cdot \cos \alpha = dS_n$ là hình chiếu của dS lên phương vuông góc với Ox ; $d\omega$ là góc khối bao quanh phương Ox .

Nếu B theo mọi phương đều như nhau (không phụ thuộc α) thì người ta nói rằng nguồn dS phát sáng theo đúng định luật Lambert .

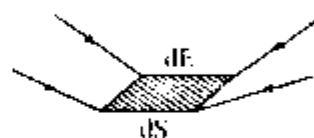
Cường độ của một chùm sáng tại một điểm là đại lượng đo bằng dòng quang năng đi qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với tia sáng tại đó :

$$I = \frac{dE}{dS}$$

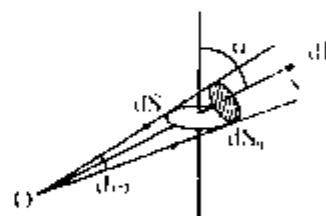
Cường độ sáng của một nguồn sáng điểm S theo phương Sx là đại lượng đo bằng quang thông mà nguồn sáng đó phát ra trong một đơn vị góc khối bao quanh phương Sx :



Hình 5.2



Hình 5.3



Hình 5.4

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

II. Hệ thức giữa độ trung R và độ chói B của một mặt phát sáng

Giả sử có một mặt phẳng nhỏ dS , có độ trung R và có độ chói B , phát sáng theo định luật Lambert vào toàn bộ không gian nằm trước nó. Ta hãy tìm hệ thức giữa R và B . Dưới đây, ta sẽ tính toán trong hệ thống trục quang.

Quang thông mà dS phát ra theo phương làm với pháp tuyến của nó một góc α , nằm trong phạm vi góc khối $d\omega$ là (Hình 5.5):

$$d\Phi = B dS d\omega \cos\alpha$$

Để tìm biểu thức của góc khối $d\omega$, ta dùng tọa độ cầu: vẽ một mặt cầu (bán cầu), tâm O (điểm giữa của dS), bán kính r . Lấy pháp tuyến của dS làm trục Oz . Vòng tròn vĩ tuyến trên mặt cầu, cách đỉnh một cung α , sẽ có bán kính là $r \sin \alpha$. Một cung nhỏ trên vòng tròn đó sẽ có độ dài là $r \sin \alpha d\theta$; với $d\theta$ là số đo của cung nhỏ đó. Một cung nhỏ trên vòng tròn kinh tuyến qua đỉnh sẽ có độ dài là $r d\alpha$. Một mẫu nhỏ hình tứ giác ghênh trên mặt cầu, có hai cạnh là hai cung nhỏ nêu trên sẽ có diện tích là $r^2 \sin \alpha d\alpha d\theta$. Như vậy, biểu thức của góc khối $d\omega$ bao quanh phương α sẽ là:

$$d\omega = \frac{r^2 \sin \alpha \cdot d\alpha \cdot d\theta}{r^2} = \sin \alpha \cdot d\alpha \cdot d\theta$$

Biểu thức của quang thông mà dS phát đi theo phương α sẽ là:

$$d\Phi = B dS \sin \alpha \cos \alpha d\alpha d\theta = \frac{1}{2} B dS \sin 2\alpha \cdot d\alpha \cdot d\theta$$

Quang thông do dS phát ra trong toàn bộ không gian nằm trước nó là:

$$d\Phi = \int d\Phi = \frac{1}{2} B dS \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\pi/2} \sin 2\alpha \cdot d\alpha = \pi B dS$$

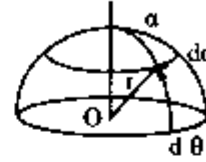
với
$$\int_0^{\pi/2} \sin 2\alpha d\alpha = 1$$

Độ trung của diện tích dS sẽ là:

$$R = \frac{d\Phi}{dS} = \pi B$$

Vậy hệ thức liên hệ độ trung R và độ chói B của một mặt phát sáng theo định luật Lambert sẽ là:

$$R = \pi B$$



Hình 5.5

III. Bài tập

Một vật phẳng sáng nhỏ, có độ chói B , phát sáng theo định luật Lambert, được đặt vuông góc với trục chính của một thấu kính hội tụ, cách thấu kính một khoảng d . Thấu kính có tiêu cự là f và đường kính đường rìa là D . Cho biết $d > f$ và $d \gg D$. Bỏ qua sự hấp thụ và sự phản xạ ánh sáng trên thấu kính.

- a) Tìm biểu thức tính độ rọi A của ảnh.
- b) Nêu ảnh hưởng của D và f đối với độ rọi A .

Chuyên đề 6 : Phương pháp tự chuẩn trực và phương pháp thị sai trong quang học

Mục tiêu kiến thức của chủ đề này là trình bày được nội dung của phương pháp tự chuẩn trực và phương pháp thị sai trong quang học .

Mục tiêu kĩ năng của chủ đề là sử dụng được các phương pháp nói trên trong thực tế.

Đây là một chủ đề về thực hành .

I. Về phương pháp tự chuẩn trực

Trong một số dụng cụ quang học như kính quang phổ , kính thiên văn , ống nhòm ... , nhiều khi người ta phải đặt một tấm thủy tinh mỏng trên có dây chữ thập hoặc thước chia độ , một khe sáng ... tại tiêu diện của một thấu kính hội tụ đóng vai trò của vật kính . Việc điều chỉnh làm sao cho tấm thủy tinh có dây chữ thập , chẳng hạn , nằm đúng tiêu diện của vật kính có thể gọi tắt là " chuẩn trực " cho vật kính .

Việc " chuẩn trực " cho vật kính thường khó chính xác . Để tăng độ chính xác cho công việc này , người ta dùng *phương pháp tự chuẩn trực* . Nội dung của phương pháp này như sau : Tấm thủy tinh có dây chữ thập được chiếu sáng để trở thành vật sáng . Nếu tấm thủy tinh nằm ở tiêu diện của vật kính thì chùm tia sáng ló ra khỏi vật kính sẽ là chùm tia song song . Cho chùm tia ló này chiếu vuông góc vào một gương phẳng , nó sẽ phản xạ ngược trở lại , đi qua vật kính và cho một ảnh thật , bằng vật và hiện đúng tiêu diện chứa vật . Như vậy , phương pháp tự chuẩn trực sẽ gồm 3 bước :

- Chiếu sáng dây chữ thập .
- Đặt một gương phẳng trước vật kính và vuông góc với trục chính .
- Xê dịch từ từ tấm thủy tinh có dây chữ thập dọc theo trục chính cho đến khi thấy được một ảnh thật của dây chữ thập hiện trên tấm thủy tinh .

Phương pháp tương tự như trên dùng để xác định tiêu cự của gương cầu lõm cũng được gọi là phương pháp tự chuẩn trực : Xê dịch một vật sáng (tấm thủy tinh có dây chữ thập) dọc theo trục chính của một gương cầu lõm cho đến khi thu được một ảnh thật bằng vật , hiện trên cùng mặt phẳng với vật . Khi đó , vật và ảnh cùng nằm trên một mặt phẳng đi qua tâm của gương .

Sai số tỉ đối của việc xác định tiêu cự của gương trong phương pháp này đúng bằng sai số tỉ đối của việc xác định khoảng cách từ vật đến gương .

II. Về phương pháp thị sai

Việc xác định vị trí của ảnh thật cho bởi một thấu kính hội tụ thường rất kém chính xác . Đó là vì chùm tia ló tạo ảnh có góc mở rất hẹp nên rất khó xác định điểm đồng hội tụ của nó . Để nâng cao độ chính xác của việc xác định vị trí của ảnh thật cho bởi thấu kính hội tụ , ta có thể áp dụng *phương pháp thị sai* .

Nội dung của phương pháp thị sai như sau : Giả sử ảnh thật có dạng một đoạn thẳng song song với một vạch của dây chữ thập , vẽ trên một tấm thủy

ting trong suốt , mỏng , phẳng , đặt vuông góc với trục chính của thấu kính .
Người quan sát nhìn đồng thời cả ảnh thật lẫn vạch của dây chữ thập .

Có hai tình huống có thể xảy ra :

- Nếu ảnh thật nằm trên mặt tấm thủy tinh thì khi đảo mắt qua lại sang phải hoặc sang trái , ta sẽ thấy khoảng cách giữa ảnh và dây chữ thập không thay đổi .

- Nếu ảnh thật nằm trước hoặc nằm sau tấm thủy tinh thì khi đảo mắt như trên , ta sẽ thấy khoảng cách giữa ảnh và dây chữ thập liên tục thay đổi và ảnh lúc nằm bên phải , lúc nằm bên trái dây chữ thập .

Như vậy , chỉ cần dịch chuyển từ từ tấm thủy tinh dọc theo trục chính cho đến khi , nếu đảo mắt , không thấy khoảng cách giữa ảnh và dây chữ thập thay đổi thì dừng lại . Vị trí của tấm thủy tinh lúc đó chính là vị trí chính xác của ảnh .

Phương pháp thị sai được áp dụng để xác định tiêu cự của thấu kính phân kì . Dùng một thấu kính hội tụ có tiêu cự đã biết để tạo ra một ảnh thật của một vật sáng . Sau khi xác định được chính xác vị trí của ảnh thật này, ta sẽ dùng ảnh đó để tạo ra một vật ảo của thấu kính phân kì mà ta cần xác định tiêu cự , sao cho ảnh cuối cùng là một ảnh thật . Biết được chính xác vị trí của các thấu kính và của các ảnh thật , ta sẽ tính được tiêu cự của thấu kính phân kì .

Chuyên đề 7 : Hiện tượng giao thoa ở các màng mỏng

Mục tiêu kiến thức của chuyên đề này là giải thích được hiện tượng giao thoa xảy ra ở các bản mỏng , nêu được công thức tính khoảng vân ở nêm không khí và công thức tính bán kính của các vân tròn Newton .

Chú ý là ta chỉ xét các vân giao thoa cùng độ dày mà không xét các vân giao thoa cùng độ nghiêng .

Mục tiêu kỹ năng của chuyên đề này là giải được các bài tập về sự giao thoa ở các bản mỏng .

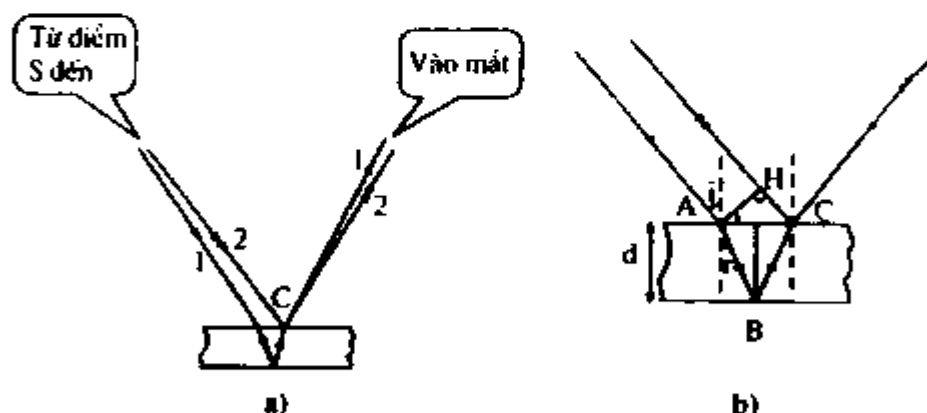
I. Sự giao thoa ánh sáng trên các bản mỏng . Vân định xứ

Nhìn vào bề mặt của các văng dầu, mỡ, bong bóng xà phòng, ta thường thấy có những quang màu rực rỡ. Đó là những vân giao thoa trên các bản mỏng. Các vân này chỉ xuất hiện trên mặt các bản mỏng. Đó là *vân định xứ*.

1. Nêm

Ta hãy giải thích sự giao thoa ánh sáng trên các văng dầu.

Một vùng nhỏ của văng dầu coi như một lớp mỏng có chiết suất n và có hai mặt phẳng làm với nhau một góc α rất nhỏ, tạo thành một *cái nêm* bằng dầu. Nguồn sáng là nguồn sáng trắng rất rộng và nằm xa điểm mà ta quan sát trên văng dầu. Mắt người quan sát cũng ở xa điểm đó (Hình 7.1a)



Hình 7.1

Một tia sáng đơn sắc (λ) phát ra từ một điểm sáng S ở nguồn, chiếu đến mặt nêm (tia số 1). Tia này khúc xạ, truyền vào trong nêm, phản xạ ở mặt dưới của nêm, trở lại mặt trên tại điểm C, rồi đi ra ngoài không khí. Góc ló bằng góc tới.

Một tia sáng đơn sắc thứ hai (λ) phát ra từ S (tia số 2) chiếu đến mặt nêm tại C, gặp tia số 1 tại đó và giao thoa với nhau (vì đó là hai tia kết hợp). Tín hiệu về trạng thái giao thoa sẽ được truyền đến mắt theo một chùm tia rất hẹp 1, 2. Thực tế, chỉ có một cặp tia 1, 2 đi từ nguồn, phản xạ trên mặt nêm tại C rồi đi vào mắt theo phương nói trên.

Một vùng rất nhỏ của văng dầu quanh điểm C coi như một bản mặt song song có bề dày d. Các tia tới 1 và 2 coi như song song với nhau, với góc tới là i. Hai tia đi vào mắt coi như trùng nhau (Hình 7.1b)

Hiệu quang trình ¹⁾ giữa hai tia là :

$$\Delta = (AB + BC).n - HC + \frac{\lambda}{2}$$

với $AB = BC = \frac{d}{\cos r}$; $HC = 2d.tanr.sini$ và $sini = n \sin r$;

Tia số 2 bị mất nửa sóng vì phản xạ từ không khí trên dầu.

1) Quang trình (nl) của một tia sáng là tích của chiều dài đường đi (l) với chiết suất (n) của môi trường truyền ánh sáng. Chính hiệu quang trình giữa hai tia sáng mới quyết định trạng thái giao thoa của hai tia đó

$$\text{Kết quả, ta được : } \Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = 2dn\cos r + \frac{\lambda}{2}$$

Nếu $\Delta = k\lambda$ (k = 1, 2, 3,...) thì ta thấy có cực đại của ánh sáng có bước sóng λ .

Nếu $\Delta = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$ hay $2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = k\lambda$ (k = 0, 1, 2, 3,...) thì ta có cực tiểu giao thoa của ánh sáng đó. Khi thay đổi điểm quan sát C thì d và i thay đổi rất chậm, do đó, vùng cực đại giao thoa chiếm một khoảng tương đối rộng trên mặt văng dầu.

Đặc biệt, nếu nêm có dạng hai mặt phẳng giao nhau (Hình 7.2), thì cực đại giao thoa có dạng những dải sáng màu, nằm song song với cạnh nêm. Cực tiểu giao thoa có dạng những vạch tối nằm song song với cạnh nêm và cách nhau đều đặn. Ngay tại cạnh nêm là một là một vân tối.



Hình 7.2

Nếu quan sát theo phương vuông góc với mặt nêm, thì khoảng cách giữa hai vân tối liên tiếp là :

$$l = \frac{\lambda}{2n\alpha}$$

Biết λ và n ; đo được l , ta sẽ tính được α . Đây là một phương pháp thường dùng để đo các góc nhỏ giữa hai mặt của các lớp mỏng.

Nếu nguồn phát ra ánh sáng trắng thì trên mặt nhem sẽ xuất hiện những dải màu sắc sỡ, tương đối rộng. Các bản mỏng là dụng cụ rất tiện lợi cho việc nghiên cứu màu sắc ánh sáng.

2. Vân tròn Newton

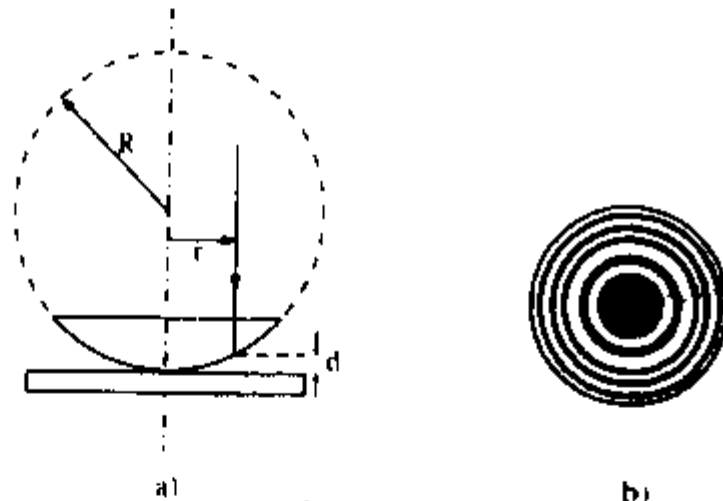
Thiết bị tạo vân tròn Niu-ton gồm một thấu kính hội tụ, một mặt phẳng, một mặt cầu, đặt trên một tấm thủy tinh phẳng (Hình 7.3). Mặt cầu của thấu kính tiếp xúc với tấm thủy tinh. Lớp không khí nằm xen giữa thấu kính và tấm thủy tinh tạo ra một bản mỏng không khí.

Xét trường hợp một chùm sáng song song, đơn sắc, chiếu vuông góc vào mặt phẳng của thấu kính.

Hiệu quang trình giữa tia sáng phản xạ ở mặt trên và tia sáng phản xạ ở mặt dưới của lớp không khí, tại điểm có bề dày d là (Hình 7.3a)

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2}$$

Tia phản xạ ở mặt dưới bị mất nửa sóng.



Hình 7.3

Tất cả các điểm nằm trên mặt cầu ứng với cùng một bề dày d sẽ tạo thành một vân giao thoa có dạng tròn.

Gọi r là bán kính của vân, R là bán kính của mặt cầu, ta có :

$$r^2 = d(2R - d) \approx 2Rd \text{ với } d \ll R.$$

Ứng với vân sáng, ta có :

$$\Delta = k\lambda \Rightarrow d = k\frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{4} \Rightarrow r_{\text{sáng}} = \sqrt{2Rd} = \sqrt{R\lambda\left(k - \frac{1}{2}\right)}$$

với $k = 1, 2, 3, 4, \dots$

Ứng với vân tối, ta có :

$$\Lambda = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow d = k \frac{\lambda}{2} \Rightarrow r_{\text{tối}} = \sqrt{kR\lambda}$$

với $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Tại tâm của hệ vân ($r = 0$), ta có một vân tối. Điều này ứng với sự mất nửa sóng của tia phản xạ ở mặt dưới khi $d = 0$. Hình dạng của hệ vân được vẽ trên hình Hình 7.3b

Biết λ , đo được r , ta sẽ tính được R .

II. Bài tập

1. Chiếu một chùm sáng đơn sắc, song song, từ môi trường trong suốt có chiết suất n_1 sang môi trường trong suốt có chiết suất n_2 , theo phương vuông góc với mặt phân cách phẳng giữa hai môi trường.

Gọi I_0 là cường độ của chùm sáng tới và I_r là cường độ của chùm sáng phản xạ; và gọi $R = \frac{I_r}{I_0}$ là hệ số phản xạ. Tìm biểu thức của R .

2. Người ta phủ trên mặt một tấm thủy tinh phẳng, chiết suất n , một lớp nhựa mỏng, phẳng, trong suốt, chiết suất n' . Các mặt phân cách song song với nhau. Chiếu một chùm sáng đơn sắc, song song, vào mặt lớp nhựa theo phương vuông góc với mặt phân cách. Tìm hệ thức giữa n' và n sao cho hai sóng ánh sáng phản xạ từ mặt trên và mặt dưới của lớp nhựa, khi trở lại môi trường không khí, có biên độ bằng nhau. Bỏ qua sự hấp thụ ánh sáng trong lớp nhựa.

3. Để khử sự phản xạ đối với ánh sáng có bước sóng λ trên mặt các thấu kính thủy tinh, chiết suất n , người ta phủ trên mặt thấu kính một lớp nhựa trong suốt chiết suất n' . Xác định bề dày d và chiết suất n' của lớp nhựa. Cho rằng các tia sáng được chiếu vuông góc với mặt thấu kính.

Hãy nói rõ hơn tác dụng của lớp khử phản xạ. Ở đây ta có thấy điều gì hình như mâu thuẫn với quy luật nhân - quả?

Chuyên đề 8 : Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

Những mục tiêu kiến thức của chuyên đề này là :

- Trình bày được khái niệm về hiện tượng nhiễu xạ .
- Viết được các công thức quan trọng của hiện tượng nhiễu xạ (công thức tính bán kính góc của cực đại trung tâm trong sự nhiễu xạ của chùm tia song song qua một lỗ tròn ; công thức tính bề rộng của vân sáng trung tâm trong sự nhiễu xạ của chùm tia song song qua một khe ; công thức xác định vị trí của các cực đại trong quang phổ cách tử ; công thức Bragg về sự nhiễu xạ của tia X trên mạng tinh thể).
- Trình bày được khái niệm về năng suất phân giải của các dụng cụ quang học .
- Trình bày được cấu tạo của cách tử truyền qua và của máy quang phổ cách tử .

Mục tiêu kỹ năng của chuyên đề này là giải thích được hiện tượng nhiễu xạ và giải được các bài tập về hiện tượng nhiễu xạ .

I. Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

Cho chùm tia sáng Mặt Trời chiếu vuông vào mép thẳng của một màn chắn M. Phía sau màn chắn, ta đặt một màn ảnh E song song với M (Hình 8.1a) Quan sát hình ảnh trên màn ảnh, ta thấy : vùng bóng tối lấn vào vùng sáng hình học một chút

ở biên giới vùng sáng, có những vân tối và vân sáng xen kẽ nhau trước khi chuyển sang vùng sáng hoàn toàn (Hình 8.1b)

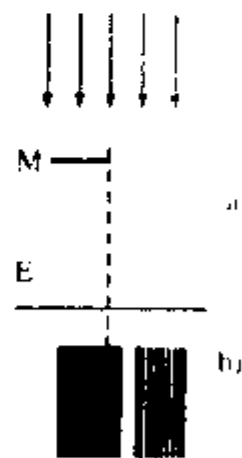
Hiện tượng quan sát được không thể giải thích bằng định luật truyền thẳng ánh sáng.

Đó là kết quả của hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng. Vậy, hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng là hiện tượng truyền ánh sáng sai lệch với định luật truyền thẳng ánh sáng khi chùm sáng gặp vật cản chia cắt mặt sóng ánh sáng.

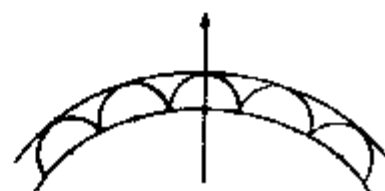
1. Nguyên lý Huy-ghe – Fre-nen

Để giải thích và tính toán về hiện tượng nhiễu xạ, người ta phải dựa vào nguyên lý Huy-ghe – Fre-nen. Nội dung sơ lược của nguyên lý này như sau :

a) Mỗi điểm trên mặt sóng sơ cấp ở thời điểm t sẽ trở thành một nguồn phát sóng thứ cấp. Mặt sóng sơ cấp ở thời điểm tiếp sau đó $t + \Delta t$ sẽ là bao hình của các mặt sóng thứ cấp ở thời điểm đó (Hình 8.2).



Hình 8.1



Hình 8.2

b) Để tìm biên độ của sóng nhiễu xạ tại một điểm M sau vật cản, phải chia mặt sóng sơ cấp trước vật cản thành nhiều phần rất nhỏ, mỗi phần coi như một nguồn phát sóng thứ cấp. Dao động sóng tại M coi như tổng hợp dao động do tất cả các sóng thứ cấp gây ra tại đó. Các nguồn thứ cấp chỉ phát sóng về phía trước (theo hướng truyền của sóng sơ cấp) mà không phát sóng về phía ngược lại.

2. Nhiễu xạ của một sóng cầu (hay nhiễu xạ Fre-nen)

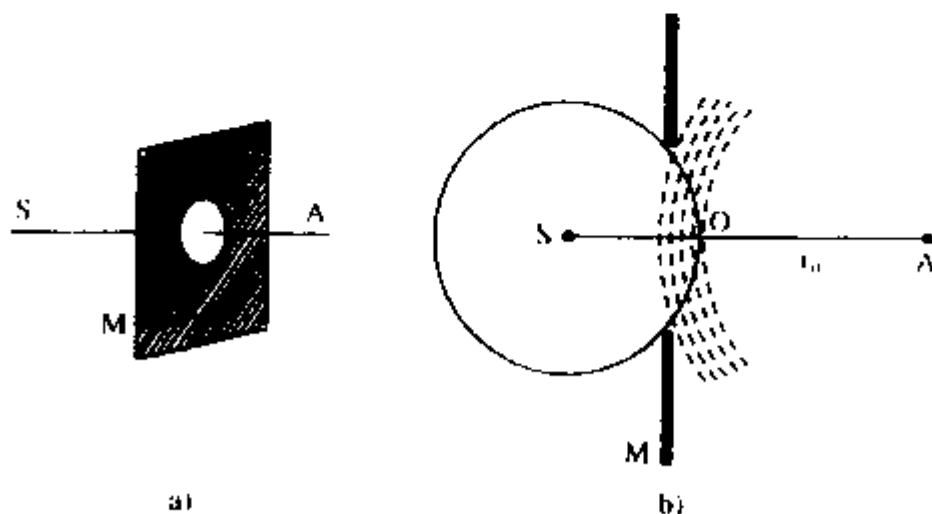
Ta hãy xét sự nhiễu xạ của một sóng cầu qua một lỗ tròn.

Giả sử có một điểm sáng đơn sắc S nằm trên trục của một lỗ tròn nhỏ, khoét trên một màn chắn M (Hình 8.3a) Ta hãy xét cường độ sáng của một điểm A trên trục của lỗ.

Muốn thế, ta hãy chia mặt sóng qua lỗ thành những nguồn thứ cấp theo cách sau đây : thoát tiên ta vẽ mặt cầu tâm A, bán kính $r_0 = AO$; O là đỉnh của mặt sóng qua lỗ. Sau đó, ta tiếp tục vẽ các mặt cầu tâm A, bán kính $r_0 + \frac{\lambda}{2}$; $r_0 + 2 \frac{\lambda}{2}$;

$r_0 + 3 \frac{\lambda}{2}$; $r_0 + 4 \frac{\lambda}{2}$ (Hình 8.3b). Các mặt cầu này chia mặt sóng qua lỗ thành

những đới cầu, gọi là đới cầu Fre-nen. Mỗi đới cầu là một nguồn thứ cấp. Đường truyền của hai sóng ánh sáng từ hai đới cạnh nhau đến điểm A hơn kém nhau $\frac{\lambda}{2}$.



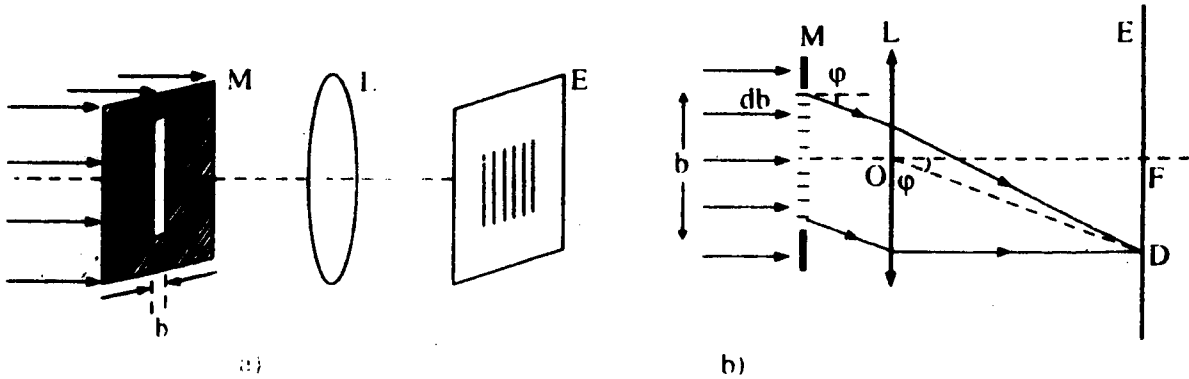
Hình 8.3

Do đó, dao động sóng mà hai đới đó gây ra tại A sẽ ngược pha với nhau và hai sóng đó sẽ triệt tiêu lẫn nhau.

Kết quả là : nếu phần mặt sóng đi qua lỗ chứa một số chẵn đối cầu Fre-nen thì điểm A sẽ là điểm tối. Nếu phần mặt sóng đó chứa một số lẻ đối cầu Fre-nen thì điểm A sẽ là điểm sáng. Như vậy, đi dọc trục SO, ta sẽ lần lượt gặp các điểm sáng và điểm tối. Điều này hoàn toàn mâu thuẫn với quang hình học.

3. Nhiễu xạ của một sóng phẳng hay nhiễu xạ Fra-nô-fo (Fraunhofer)

a) Nhiễu xạ của sóng phẳng qua một khe

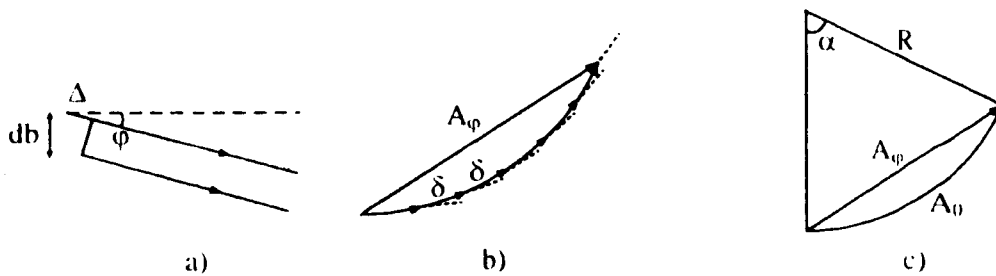


Hình 8.4

Chiếu một chùm tia sáng song song đơn sắc, vuông góc vào một màn chắn M có khoét một khe hẹp. Bề rộng b của khe rất nhỏ so với bề dài của nó. Chùm sáng

nhiễu xạ sau khe được thu vào một thấu kính hội tụ L có trục chính vuông góc với mặt khe. Trên một màn ảnh E đặt tại tiêu diện của thấu kính, vuông góc với trục chính của nó, ta thấy xuất hiện những vân nhiễu xạ, là những dải sáng và tối, xen kẽ nhau (Hình 8.4a)

Để giải bài toán nhiễu xạ này, ta hãy tưởng tượng chia khe b thành nhiều dải hẹp có bề rộng db như nhau (Hình 8.4b) là hình vẽ chứa trục chính và cắt vuông góc với khe b). Mỗi dải hẹp trở thành một nguồn sáng thứ cấp. Sóng ánh sáng mà các dải này phát ra theo cùng một phương, làm với pháp tuyến của mặt khe một góc φ , sau khi qua thấu kính, sẽ hội tụ tại một điểm D trên tiêu diện và trên trục phụ, làm với trục chính góc φ . Tại D, các sóng đó giao thoa với nhau vì là các sóng kết hợp.



Hình 8.5

Hiệu quang trình giữa hai tia sáng đi từ hai dải cạnh nhau đến điểm D là (Hình 8.5a) :

$$\Delta = db.\sin\varphi$$

Hiệu số pha giữa hai dao động sáng mà hai dải cạnh nhau gây ra ở D là :

$$\delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi db.\sin\varphi}{\lambda}$$

Người ta thừa nhận rằng biên độ của dao động sáng mà các nguồn thứ cấp gây ra tại D là như nhau và không phụ thuộc góc φ . Như vậy, dao động sáng do các dải khác nhau gây ra ở D đều được biểu diễn bằng các vectơ Fre-nen có cùng chiều dài, nhưng không cùng phương.

Nếu biểu diễn dao động sáng do dải đầu tiên gây ra ở D bằng một vectơ có phương nằm ngang thì : dao động sáng do dải thứ hai gây ra sẽ được biểu diễn bằng một vectơ có chiều dài như thế, nhưng làm với vectơ thứ nhất một góc δ , bằng hiệu số pha đã nêu trên. Ngọn của vectơ trước trùng với gốc của vectơ sau. Tương tự như thế với các vectơ thứ ba, thứ tư.... Kết quả là ta được một đường đa giác đều (Hình 8.5b). Dao động sáng tổng hợp sẽ được biểu diễn bằng vectơ A_φ có gốc là gốc của vectơ đầu tiên và ngọn là ngọn của vectơ cuối cùng. Chiều dài A_φ biểu diễn biên độ dao động sáng tổng hợp tại D.

Vì số dải hẹp rất lớn và chiều dài của mỗi vectơ biểu diễn dao động sáng được chọn đủ nhỏ nên đường đa giác đều sẽ biến thành một cung tròn (Hình 8.5c). Vectơ A_φ sẽ là dây của cung đó.

Tại tiêu điểm chính F của thấu kính : $\varphi = 0 \Rightarrow \delta = 0$. Các vectơ biểu diễn dao động sáng sẽ nằm nối đuôi nhau trên một đoạn thẳng có chiều dài A_0 . A_0 biểu diễn biên độ dao động sáng tổng hợp tại F và A_0 chính là chiều dài của cung tròn trên hình 8.5c

Ta hãy tính A_φ theo A_0 . Gọi R là bán kính của cung tròn ; α là góc hợp bởi hai bán kính ở hai đầu cung tròn. α đúng bằng độ lệch pha giữa hai dao động sáng

mà dải đầu tiên và dải cuối cùng gây ra ở D.

$$\text{Để dàng tính được : } \alpha = \frac{2\pi b \sin \varphi}{\lambda}$$

Ta lại có các hệ thức sau : $A_0 = R\alpha$

$$A_\varphi = 2R \sin \frac{\alpha}{2}$$

Từ đó, ta có :

$$A_\varphi = A_0 \frac{\lambda}{\pi b \sin \varphi} \sin \left(\frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda} \right)$$

Vì cường độ sáng tỉ lệ với bình phương của dao động sáng, nên ta có :

$$I_\varphi = I_0 \left[\frac{\lambda}{\pi b \sin \varphi} \sin \left(\frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda} \right) \right]^2$$

Đồ thị của $\frac{I}{I_0}$ theo $\sin \varphi$ được vẽ trên hình 8.6 a.

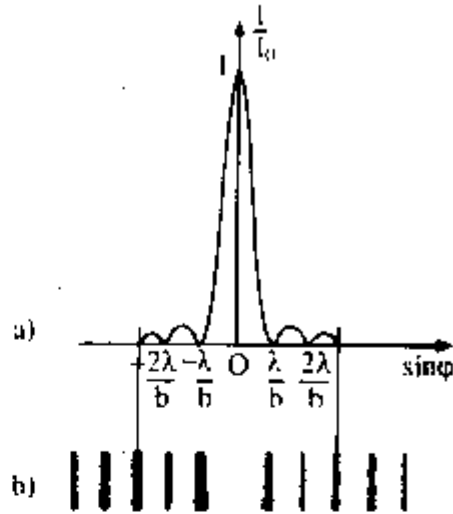
$$I_\varphi = 0 \text{ khi } \sin \left(\frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda} \right) = 0 \Rightarrow \frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda} = k\pi \Rightarrow \sin \varphi = k \frac{\lambda}{b}$$

Vậy, ta thấy xuất hiện các vạch tối tại các vị trí xác định bởi hệ thức :

$$\sin \varphi = k \frac{\lambda}{b} \quad (1) \text{ với } k = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

Các vân tối ứng với trường hợp cung tròn trên hình 8.5c cuộn thành đúng một vòng tròn, hai vòng tròn, ba vòng tròn ...

Giữa hai vân tối là một vân sáng. Nếu coi bề rộng của vân sáng là khoảng cách giữa hai vân tối ở hai bên vân đó thì ta có hình ảnh vân nhiễu xạ qua một khe như sau (Hình 8.6b) : ở chính giữa có một vân sáng gọi là *cực đại trung tâm*, ở hai bên cực đại trung tâm có các vân sáng khác gọi là *các cực đại phụ*. Cực đại trung tâm có bề rộng lớn gấp đôi bề rộng các cực đại phụ và có cường độ lớn hơn rất nhiều cường độ của các cực đại phụ.

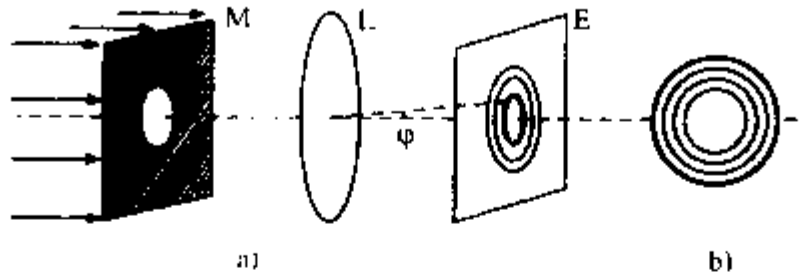


Hình 8.6

b) Nhiễu xạ của một sóng phẳng qua một lỗ tròn

Ta bố trí thí nghiệm quan sát sự nhiễu xạ của sóng phẳng qua một lỗ tròn tương tự như thí nghiệm quan sát sự nhiễu xạ qua một khe (Hình 8.7a)

Trên màn chắn M, ta thay khe hẹp bằng một lỗ tròn nhỏ có bán kính r.



Hình 8.7

Trên màn ảnh E, ta thấy một hệ thống vân tròn (Hình 8.7b) : ở chính giữa là một vân sáng có cường độ lớn gọi là *cực đại trung tâm*. Bao quanh cực đại trung tâm là cực tiểu thứ nhất, rồi đến cực đại phụ và cực tiểu khác.

Nếu coi cực tiểu thứ nhất là giới hạn của cực đại trung tâm thì ta có : *bán kính góc của cực đại trung tâm, nhìn từ quang tâm của thấu kính là :*

$$\sin \varphi = 0,61 \frac{\lambda}{r} \quad (2)$$

$$\text{hoặc } \sin \varphi = 1,22 \frac{\lambda}{d}$$

với $d = 2r$ là đường kính của lỗ tròn.

4. Một vài ứng dụng của hiện tượng nhiễu xạ

a) Năng suất phân giải của các dụng cụ quang học

Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng đã hạn chế khả năng phân giải của các dụng cụ quang học như kính hiển vi, kính thiên văn...

Ta hãy lấy vấn đề về năng suất phân giải của kính thiên văn làm ví dụ.

Chùm tia sáng từ một ngôi sao chiếu đến vật kính của kính thiên văn là một chùm tia song song. Chùm tia này gặp giá đỡ vật kính sẽ bị nhiễu xạ tương tự như nhiễu xạ qua một lỗ tròn. Kết quả là trên tiêu diện của vật kính ta sẽ thu được một ảnh nhiễu xạ giống như hình 8.7b . Bán kính góc của cực đại trung tâm được xác định bởi công thức (2),

Hai ngôi sao khác nhau cho trên tiêu diện của vật kính hai ảnh nhiễu xạ có hình dạng và kích thước như nhau. Tuy nhiên, màu sắc của hai ảnh thì khác nhau tùy thuộc vào nhiệt độ bề mặt của hai ngôi sao. Nếu hai ngôi sao có cùng nhiệt độ thì hai ảnh nhiễu xạ hoàn toàn giống nhau.

Giả sử có hai ngôi sao nằm trên hai phương nhìn rất gần nhau đến mức hai ảnh nhiễu xạ có một phần chồng lên nhau. Vì hai ngôi sao là hai nguồn sáng không kết hợp, nên tại phần chung chỉ có sự cộng cường độ.

Nếu phần chồng chập rất lớn thì ta sẽ phân biệt được hai ảnh nhiễu xạ của hai ngôi sao đó nữa. Ray-lây (Rayleigh) đã đề ra chuẩn sau đây : Hai ảnh nhiễu xạ còn có thể phân biệt được nếu tâm của cực đại trung tâm này nằm trên mép của cực đại trung tâm kia (Hình 8.8)

Hình 8.8

Góc trông nhỏ nhất γ_{\min} giữa hai ngôi sao mà ta còn có thể phân biệt được hai ảnh của chúng trong kính thiên văn gọi là năng suất phân giải của kính thiên văn đó.

Theo chuẩn Ray-lây, ta có : $\sin \gamma_{\min} = 1,22 \frac{\lambda}{d}$

với d là đường kính của vật kính. Ta thấy vật kính có đường kính càng lớn thì có năng suất phân giải càng cao.

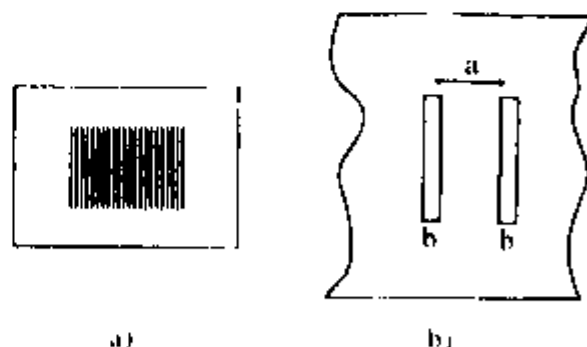
b) Cách tử nhiễu xạ

Cách tử nhiễu xạ là một hệ thống rất nhiều khe hẹp khoét song song cách đều nhau trên một màn chắn (Hình 8.9).

Bề rộng b của mỗi khe rất nhỏ so với khoảng cách a giữa hai khe cạnh nhau ; a gọi là hằng số cách tử

Bố trí thí nghiệm với cách tử giống như ở hình 8.4a hoặc 8.7a ; trong đó, ta thay màn chắn có khe hoặc có lỗ tròn bằng một cách tử.

Khi chiếu một chùm sáng song song, đơn sắc, vuông góc vào một cách tử thì mỗi khe trên cách tử sẽ tạo ra trên tiêu diện của thấu kính một hệ thống vân nhiễu xạ giống như ở hình 8.6b. Chỉ có điều khác là : do khe rất hẹp, nên cực đại trung tâm rất rộng.



Hình 8.9

Vì vị trí của hệ vân trên tiêu diện của thấu kính không phụ thuộc vị trí của khe trên màn chắn, nên tất cả các hệ vân do các khe tạo ra sẽ chồng khít lên nhau. Tuy nhiên, vì các chùm sáng nhiễu xạ qua các khe là các chùm kết hợp, nên khi gặp nhau trên tiêu diện chúng sẽ giao thoa với nhau.

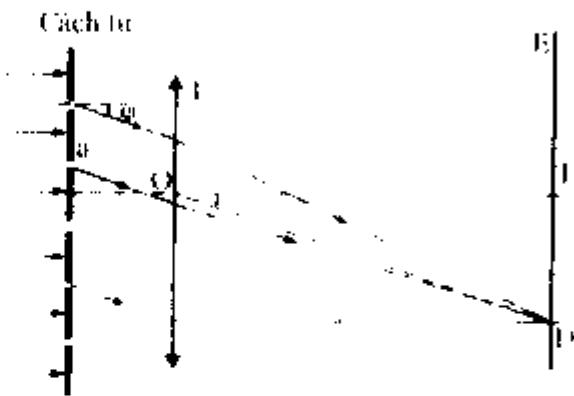
Do đó, trong vùng của các cực đại nhiễu xạ sẽ xuất hiện các vân giao thoa (Hình 8.10)



Hình 8.10

Ta hãy xác định vị trí của các vân giao thoa. Xét sự giao thoa của các sóng tại điểm D trên tiêu diện của thấu kính (Hình 8.11) Trục phụ qua D làm với trục chính góc φ .

Các tia sáng nhiễu xạ phát ra từ các khe, làm với pháp tuyến của mặt cách tử góc φ , sau khi qua thấu kính sẽ hội tụ tại điểm D và giao thoa với nhau. Các dao động sáng mà các khe gây ra ở D đều có cùng biên độ A_φ . Hiệu quang trình giữa hai tia phát ra từ hai khe cạnh nhau là



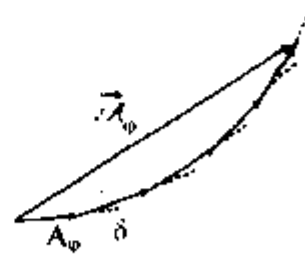
Hình 8.11

$$\Delta = a \sin \varphi$$

Hiệu số pha giữa hai dao động sáng do hai khe cạnh nhau gây ra ở D là :

$$\delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi a \sin \varphi}{\lambda}$$

Mỗi dao động sáng tại D được biểu diễn bằng một vectơ Fre-nen có môđun tỉ lệ với A_φ và có giá làm với giá của vectơ trước nó một góc δ . Tập hợp các vectơ biểu diễn các dao động sáng do các khe tiếp nhau gây ra tại D tạo thành một đường đa giác đều gồm N cạnh (Hình 8.12)



Hình 8.12

N là số khe của cách tử. Dao động tổng hợp tại D được biểu diễn bằng vectơ \vec{A}_φ trên hình 8.12 .

Mỗi khi $\delta = 2k\pi$ thì đường đa giác đều sẽ trải ra thành một đoạn thẳng có

chiều dài là $r_{\varphi} = NA_{\varphi}$. Đó là biên độ cực đại của dao động tổng hợp.

Vậy, cực đại giao thoa nằm tại các vị trí xác định bởi :

$$\delta = 2k\pi \Rightarrow \frac{2\pi a \sin \varphi}{\lambda} = 2k\pi \quad \text{hay} \quad \sin \varphi = k \frac{\lambda}{a} \quad (3)$$

So sánh hai công thức (1) và (3), ta thấy : vì $a \gg b$, nên các cực đại giao thoa nằm lọt trong cực đại trung tâm nhiễu xạ (Hình 8.10)

Nếu nguồn sáng phát ra chùm sáng song song, không đơn sắc, gồm các ánh sáng có bước sóng $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots$ thì trên tiêu diện của thấu kính ta sẽ có các vạch màu đơn sắc $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots$ nằm riêng rẽ.

Tập hợp các vạch ứng với $k = 1$ tạo thành quang phổ bậc 1 của nguồn sáng.

Tập hợp các vạch ứng với $k = 2$ tạo thành quang phổ bậc 2 của nguồn sáng...

Khoảng cách giữa các vạch trong quang phổ bậc 2 rộng gấp đôi khoảng cách giữa các vạch trong quang phổ bậc 1...

Tất cả các vấn đề đề cập đến trong khe Y-âng đều áp dụng được cho cách tử nhiễu xạ. Đó là vì khe Y-âng là một cách tử có 2 khe.

Tuy nhiên, các vạch quang phổ cho bởi cách tử nhiễu xạ thì sắc nét hơn nhiều các vạch quang phổ cho bởi khe Y-âng.

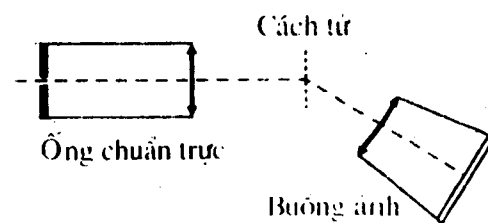
c) Máy quang phổ cách tử

Tương tự như máy quang phổ lăng kính, máy quang phổ cách tử cũng có ba bộ phận chính (Hình 8.13)

– Ống chuẩn trực là bộ phận tạo ra chùm tia sáng song song từ chùm sáng của nguồn cần phân tích chiếu tới.

– Cách tử dùng để phân tích chùm sáng từ ống chuẩn trực chiếu tới.

– Buồng ảnh dùng để thu ảnh của quang phổ do cách tử tạo ra.



Hình 8.13

Trong các máy quang phổ cách tử, để có độ phân giải cao, người ta thường dùng các quang phổ bậc 2, bậc 3 ...

5. Nhiễu xạ tia X

Để đo bước sóng tia X, ta không thể dùng các cách tử thông thường được. Đó là vì hằng số cách tử vào cỡ 10^{-6} m, trong khi đó, bước sóng tia X vào cỡ 10^{-10} m ; tức là bước sóng tia X quá nhỏ so với hằng số cách tử và hiện tượng nhiễu xạ sẽ không đáng kể.

Năm 1913, Lau-e (Lauer) đề xuất ý kiến dùng tinh thể làm cách tử nhiễu xạ đối với tia X. Chiếu một chùm tia X mạnh vào một tinh thể (Hình 8.14).

Hình các tia X nhiễu xạ trên một phim ảnh. Ta được một hình ảnh nhất định (Hình 8.14) đó là ảnh nhiễu xạ tia X. Mỗi loại tinh thể cho một kiểu ảnh nhiễu xạ riêng. Nếu biết hằng số mạng tinh thể, ta có thể tính được bước sóng tia X ; ngược lại, nếu biết bước sóng tia X ta sẽ xác định được cấu trúc của mạng tinh thể.

Phép nghiên cứu cấu trúc tinh thể dựa vào ảnh nhiễu xạ tia X gọi là *phép phân tích cấu trúc*.

Ta hãy tìm công thức xác định vị trí các cực đại nhiễu xạ của tia X trên phim. Chiếu một chùm tia X song song, đơn sắc vào bề mặt (phẳng) của một tinh thể. Có một lớp nguyên tử (hoặc ion) trên bề mặt đóng vai trò của những tâm phát sóng thứ cấp. Lớp nguyên tử thứ hai nằm cách lớp trên một khoảng d . Các tia X tới làm với lớp tinh thể góc θ mà ta gọi là *góc tới* (Hình 8.15)

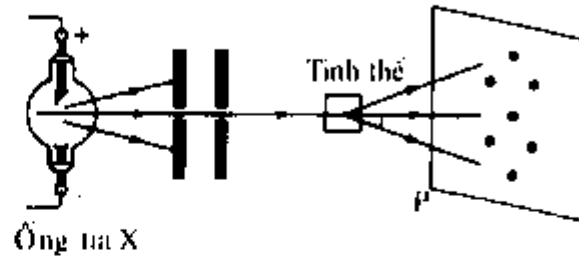
Ta hãy xem khi nào theo phương phản xạ sẽ có cực đại nhiễu xạ của các tia X. Muốn thế, ta hãy tính hiệu đường đi Δ giữa hai tia phản xạ trên hai nút mạng bất kì nằm trên hai lớp cạnh nhau.

Để dàng chứng minh được công thức sau đây : $\Delta = 2d\sin\theta$

Vậy, điều kiện để theo phương phản xạ có cực đại nhiễu xạ tia X là :

$$2d\sin\theta = k\lambda \quad (4)$$

Công thức (4) là công thức Bre-gơ (Bragg) về nhiễu xạ tia X.



Hình 8.14



Hình 8.15

II. Bài tập

Một cách tử truyền qua của một máy quang phổ có hằng số cách tử là $2 \mu\text{m}$. Mặt phẳng của cách tử vuông góc với trục của ống chuẩn trực. Chiếu một chùm sáng trắng vào khe của máy quang phổ.

1. Tính chiều rộng của các quang phổ bậc 1, bậc 2, bậc 3 của ánh sáng nhìn thấy. Cho biết tiêu cự của thấu kính buồng ảnh là 40 cm ; bước sóng của ánh sáng đỏ là $0,76 \mu\text{m}$, của ánh sáng tím là $0,40 \mu\text{m}$.
2. Tìm điều kiện về hằng số cách tử và tổng số vạch của cách tử để có thể phân giải được hai vạch $0,5890 \mu\text{m}$ và $0,5896 \mu\text{m}$ của Natri trong quang phổ bậc 3.

Chuyên đề 9 : Hiện tượng phân cực ánh sáng

Mục tiêu kiến thức của chuyên đề này là :

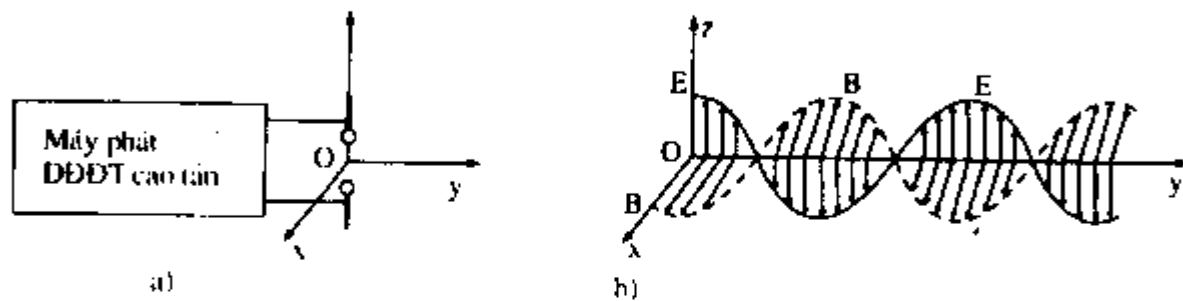
- Nêu được đặc điểm của ánh sáng tự nhiên và ánh sáng phân cực phẳng.
- Trình bày được sự phân cực vì phản xạ .

Mục tiêu kỹ năng của chuyên đề này là giải được các bài toán định tính về hiện tượng phân cực ánh sáng

I. Hiện tượng phân cực ánh sáng

1. Sóng điện từ phân cực phẳng

Hai quả cầu kim loại được nối với một máy phát dao động điện từ cao tần tạo thành một *dao động tử* (Hình 9.1a) Tại gốc O của hệ trục tọa độ Oxyz xuất hiện một điện trường xoay chiều cao tần có phương nằm dọc theo trục Oz.



Hình 9.1

Từ O xuất hiện một sóng điện từ lan truyền ra xung quanh. Ta hãy xét sóng lan truyền theo phương Oy (Hình 9.1b). Khi sóng lan truyền thì tại mỗi điểm vectơ cường độ điện trường luôn song song với Oz và có môđun "dao động" theo hàm số sin :

$$E = E_0 \cos \left(\omega t - \frac{y}{v} \right) \quad (v \text{ là tốc độ truyền sóng điện từ trong môi trường}).$$

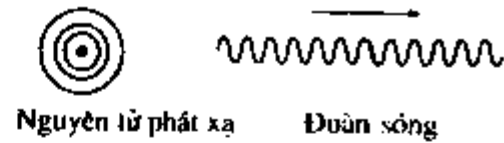
Người ta nói *mặt phẳng yOz là mặt phẳng dao động của sóng điện từ*. Như vậy, *mặt phẳng dao động là mặt phẳng chứa các vectơ cường độ điện trường*. Mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng dao động được gọi là *mặt phẳng phân cực*.

Sóng truyền theo phương Oy có mặt phẳng dao động không đổi gọi là *sóng phân cực phẳng*. Nói chung, sóng điện từ phát ra từ một máy phát đều là sóng phân cực phẳng.

Vì trong sóng điện từ phân cực phẳng có một phương ưu tiên, nên ta dễ dàng phát hiện ra phương này. Chẳng hạn, có thể dùng anten râu của một máy thu để phát hiện phương dao động của vectơ cường độ điện trường E : Nếu anten song song với vectơ E thì tín hiệu thu được sẽ cực đại, nếu anten vuông góc với vectơ E thì tín hiệu thu được sẽ bằng không.

2. Ánh sáng phân cực phẳng và ánh sáng tự nhiên

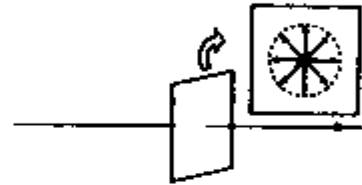
Ánh sáng do các nguyên tử (hay phân tử) của nguồn sáng phát ra. Mỗi nguyên tử khi phát ra ánh sáng đóng vai trò như một dao động tử. Nó phát ra một *đoàn sóng điện từ (sóng ánh sáng) phân cực phẳng* gồm hàng vạn chu kỳ (Hình 9.2)



Hình 9.2

Tuy nhiên, trong một nguồn sáng có vô số nguyên tử đồng thời phát sáng. Theo bất kì một phương Oy nào cũng có vô vàn sóng ánh sáng truyền đi. Các mặt phẳng dao động của các sóng ánh sáng được sắp xếp đều xung quanh phương Oy của tia sáng. Đó là ánh sáng tự nhiên. Vậy, *ánh sáng tự nhiên là ánh sáng trong đó, dao động sóng được thực hiện như nhau trong tất cả các mặt phẳng chứa tia sáng.*

Không thể dùng mô hình 9.1 b để biểu diễn ánh sáng tự nhiên được. Trên một mặt phẳng vuông góc với tia sáng (Hình 9.3) các dao động sóng được biểu diễn bằng các vector có gốc nằm trên tia sáng và ngọn nằm trên một đường tròn có tâm nằm trên tia sáng.



Hình 9.3

Nếu bằng cách nào đó giữ lại các dao động sóng trong một mặt phẳng nhất định chứa tia sáng và triệt tiêu các dao động sóng trên tất cả các mặt phẳng khác thì ta sẽ có ánh sáng phân cực phẳng.

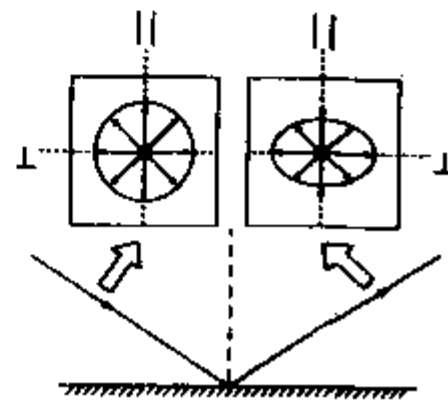
Vậy, *ánh sáng phân cực phẳng là ánh sáng trong đó dao động sóng chỉ được thực hiện trong một mặt phẳng nhất định chứa tia sáng.*

3. Sự phân cực vì phản xạ. Ánh sáng phân cực một phần

Việc biến ánh sáng tự nhiên thành ánh sáng phân cực gọi là *sự phân cực ánh sáng.*

Có nhiều cách tạo ra ánh sáng phân cực. Cách đơn giản nhất là cho ánh sáng tự nhiên phản xạ trên một gương phẳng (Hình 9.4)

Ánh sáng phản xạ không còn là ánh sáng tự nhiên nữa. Tuy trong ánh sáng phản xạ vẫn còn các dao động sóng nằm trong các mặt phẳng khác nhau chứa tia sáng, nhưng biên độ của các dao động sóng không còn bằng nhau nữa: dao động sóng nằm trong mặt phẳng tới (biểu diễn bằng kí hiệu \parallel) có biên độ nhỏ nhất; dao động sóng nằm trong mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng tới (biểu diễn bằng kí hiệu \perp) có biên độ lớn nhất.



Hình 9.4

Nếu biểu diễn các dao động sáng trong một mặt phẳng vuông góc với tia phản xạ bằng những vectơ có gốc nằm trên tia sáng thì ngọn của các vectơ này sẽ nằm trên một đường elip.

Khi đó, ánh sáng phản xạ là *ánh sáng phân cực một phần*. Có thể nói dao động sáng song song với mặt gương thì phản xạ tốt hơn dao động sáng nằm trong mặt phẳng vuông góc với mặt gương.

Nếu cho tia sáng phản xạ nhiều lần trên các gương phẳng có mặt phản xạ quay vào nhau và song song với nhau thì tia sáng ló ra cuối cùng sẽ là tia sáng phân cực phẳng.

Đặc biệt, nếu góc tới thoả mãn điều kiện : *tia phản xạ vuông góc với tia khúc xạ* (Điều kiện Briu-xơ-Brewster) thì *tia phản xạ sẽ là tia sáng phân cực phẳng*. Khi đó, ta có công thức :

$$\tan i = n$$

i là góc tới ; n là chiết suất của gương.

II. Bài tập

Một nêm không khí được tạo ra giữa hai tấm thuỷ tinh phẳng . Chiếu vào mặt tấm thuỷ tinh một chùm sáng song song , đơn sắc , phân cực phẳng , dưới góc tới Brewster . Mô tả hiện tượng xảy ra , nếu :

- mặt phẳng dao động của ánh sáng tới trùng với mặt phẳng tới .
- mặt phẳng dao động của ánh sáng tới vuông góc với mặt phẳng tới .

Chuyên đề 10 : Sự bức xạ nhiệt

Mục tiêu kiến thức của chuyên đề này là :

- Trình bày được các khái niệm : sự bức xạ nhiệt , năng suất phát xạ đơn sắc , năng suất hấp thụ đơn sắc , vật đen tuyệt đối .
 - Phát biểu và viết được công thức của các định luật : định luật Kirchoff , định luật Stefan - Boltzman , định luật Wien , công thức Planck .
 - Neureu được đặc điểm của năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối .
- Mục tiêu kỹ năng của chuyên đề là giải được các bài tập về sự bức xạ nhiệt.

I. Sự bức xạ nhiệt

1. Sự bức xạ nhiệt

Một vật được “nung nóng” sẽ bức xạ, tức là phát ra các sóng điện từ : tia hồng ngoại, ánh sáng nhìn thấy, tia tử ngoại ... Nếu không được bổ sung năng lượng thì năng lượng dự trữ của vật sẽ bị giảm dần, do đó, nhiệt độ của nó sẽ giảm, đồng thời, các thành phần bức xạ của nó sẽ bị thay đổi dần. Sự bức xạ của vật trong trường hợp này là sự bức xạ không cân bằng.

Ngược lại, nếu ta liên tục bù đắp cho vật phần năng lượng đã bị tiêu hao để giữ cho nhiệt độ (T) của vật không đổi thì các thành phần bức xạ của vật sẽ không bị thay đổi. Sự bức xạ của vật lúc đó gọi là *sự bức xạ nhiệt*.

Vậy, *sự bức xạ nhiệt là sự bức xạ của một vật được giữ ở một nhiệt độ không đổi, tức là ở trạng thái cân bằng nhiệt*.

2. Năng suất phát xạ đơn sắc và năng suất hấp thụ đơn sắc

a) Năng suất phát xạ đơn sắc

Kết một vật phát xạ, phát ra chùm sáng không đơn sắc. Tách trong chùm sáng này những ánh sáng gần đơn sắc, có bước sóng nằm trong khoảng từ λ đến $\lambda' + d\lambda$, với $d\lambda$ rất nhỏ so với λ .

Gọi R_λ là dòng quang năng của chùm sáng gần đơn sắc nói trên, do một đơn vị diện tích của vật phát ra theo đủ mọi phía ; R_λ cũng là độ trung năng lượng của vật ứng với chùm sáng đó.

$$\text{Đại lượng : } r_\lambda = \frac{R_\lambda}{d\lambda}$$

gọi là *năng suất phát xạ đơn sắc* của vật trong vùng ánh sáng có bước sóng λ .

Đơn vị của năng suất phát xạ đơn sắc là oát trên mét khối (W/m^3).

Ta hiểu năng suất phát xạ đơn sắc là độ trung năng lượng của vật ứng với một ánh sáng có bước sóng nhất định.

b) Năng suất hấp thụ đơn sắc

Giả sử độ rọi năng lượng của ánh sáng có bước sóng λ trên mặt vật là A_λ . Năng suất phát xạ đơn sắc của vật đối với ánh sáng có bước sóng λ là r_λ . Phần năng lượng ánh sáng có bước sóng λ bị một đơn vị diện tích của vật hấp thụ trong một giây là : $q_\lambda = A_\lambda - r_\lambda$.

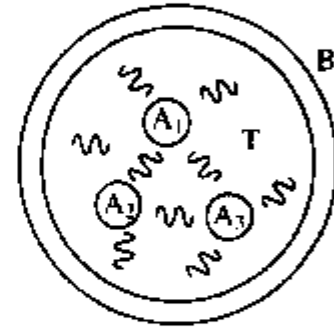
Năng suất hấp thụ đơn sắc của vật ở vùng bước sóng λ là : $a_\lambda = \frac{q_\lambda}{A_\lambda}$

Năng suất hấp thụ đơn sắc được tính bằng phần trăm.

3. Định luật Kiéc-sốp về sự bức xạ nhiệt

Định luật này được thiết lập bằng con đường suy diễn lí thuyết, sau đó được nghiệm lại bằng thực nghiệm.

Giả sử có một bình kín B có thành bên trong và bên ngoài phản xạ lí tưởng, tức là vỏ bình hoàn toàn không hấp thụ năng lượng. Như vậy vỏ bình ngăn cách không cho phần bên trong và phần bên ngoài bình trao đổi năng lượng với nhau (Hình 10.1)



Hình 10.1

Giả sử trong bình có ba vật bức xạ nhiệt A_1 , A_2 và A_3 . Ngoài ba vật đó ra, trong bình là chân không. Đây không phải là chân không “trống rỗng”, mà là chân không chứa đầy bức xạ (sóng điện từ) do ba vật phát ra.

Sau một thời gian trao đổi năng lượng bằng con đường bức xạ và hấp thụ năng lượng sóng điện từ thì hệ ba vật sẽ đến trạng thái cân bằng nhiệt. Lúc đó, ba vật sẽ có cùng nhiệt độ T.

Trạng thái cân bằng này xảy ra đối với mọi sóng điện từ có bước sóng khác nhau.

Như vậy, trong một giây, phần năng lượng của sóng điện từ có bước sóng λ mà một vật nào đó phát ra cũng phải bằng phần năng lượng của sóng điện từ có bước sóng λ mà vật đó hấp thụ.

Gọi năng suất phát xạ đơn sắc của các vật A_1 , A_2 và A_3 lần lượt là $r_{1\lambda}$, $r_{2\lambda}$ và $r_{3\lambda}$; năng suất hấp thụ đơn sắc của chúng là $a_{1\lambda}$, $a_{2\lambda}$ và $a_{3\lambda}$; diện tích của chúng là S_1 , S_2 và S_3 .

Dòng quang năng đơn sắc λ mà vật A_1 phát ra là : $E_{1\lambda} = S_1 r_{1\lambda}$.

Lượng năng lượng ánh sáng đơn sắc λ mà vật A_1 hấp thụ trong một giây là

$$Q_{1\lambda} = q_{1\lambda} S_1 = a_{1\lambda} S_1 A_\lambda$$

Ở trạng thái cân bằng nhiệt, ta phải có : $E_{1\lambda} = Q_{1\lambda}$. Từ đó suy ra $\frac{r_{1\lambda}}{a_{1\lambda}} = A_\lambda$.

Độ rọi năng lượng đơn sắc A_λ là chung cho mọi vật trong bình B. Ta có thể coi nó bằng mật độ dòng năng lượng đơn sắc rọi đến các vật trong bình :

$$A_\lambda = u_\lambda c$$

u_λ là mật độ năng lượng đơn sắc trong bình ; c là tốc độ ánh sáng trong chân không.

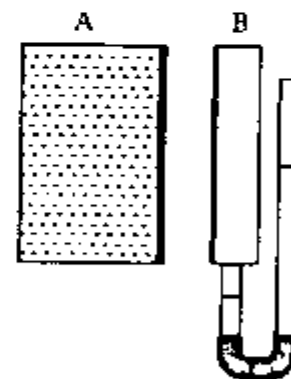
Như vậy, ta sẽ được : $\frac{r_{1\lambda}}{a_{1\lambda}} = \frac{r_{2\lambda}}{a_{2\lambda}} = \frac{r_{3\lambda}}{a_{3\lambda}} = \dots = f(\lambda, T)$

Ta có định luật Kiéc-sốp về bức xạ nhiệt sau :

Tỉ số giữa năng suất phát xạ đơn sắc và năng suất hấp thụ đơn sắc của cùng một vật ở vùng bước sóng λ và ở nhiệt độ T không phụ thuộc bản chất của vật mà chỉ phụ thuộc bước sóng λ và nhiệt độ T của nó.

Theo định luật này, vật nào phát xạ mạnh thì cũng hấp thụ mạnh bức xạ ; vật nào phát xạ yếu thì cũng hấp thụ yếu bức xạ.

Ta có thể dùng thiết bị sau đây để nghiệm lại định luật này. Thiết bị gồm một hộp rỗng bằng kim loại B, một mặt sơn đen, một mặt sơn trắng. Hộp B được nối với một áp kế nước (Hình 10.2) Ở nhiệt độ và áp suất của phòng thì mực nước trong hai nhánh của áp kế ngang nhau.



Hình 10.2

Hộp B được đặt đối diện và gần với một bình bằng kim loại đựng nước nóng A. Bình A cũng có một mặt sơn đen, một mặt sơn trắng.

Bạn hãy xây dựng phương án nghiệm lại một cách định tính định luật Kiéc-sốp về bức xạ nhiệt bằng thiết bị mô tả ở trên.

4. Vật đen tuyệt đối

Các vật có màu nào thì tán xạ tốt ánh sáng màu đó. Vật màu đen thì tán xạ kém tất cả các ánh sáng màu. Điều đó có nghĩa là vật màu đen hấp thụ tốt tất cả các ánh sáng màu.

Vật đen tuyệt đối là vật có khả năng hấp thụ hoàn toàn tất cả mọi ánh sáng. Năng suất hấp thụ đơn sắc a_λ của vật đen tuyệt đối hằng đơn vị ($a_\lambda = 1$) đối với mọi ánh sáng có bước sóng khác nhau và ở mọi nhiệt độ.

Cần chú ý rằng, vật đen tuyệt đối không chỉ hấp thụ bức xạ mà nó còn có thể phát ra bức xạ.

Những hốc kín có một lỗ thủng nhỏ, thành trong nhám và phủ bột hồng là những vật đen tuyệt đối lí tưởng (Hình 10.3)

Đó là vì những tia sáng đi qua lỗ nhỏ vào trong hốc sẽ bị phản xạ nhiều lần ở thành trong và bị hấp thụ hết. Thực ra chỉ có phần hở của hốc đó mới là vật đen tuyệt đối.



Hình 10.3

Các vật rắn nóng sáng, các khối chất lỏng nóng sáng, các khối khí có khối lượng riêng lớn nóng sáng... có thể coi như những vật đen tuyệt đối đang phát sáng. Mặt Trời, các vì sao cũng là những vật đen tuyệt đối đang phát sáng.

Đặc biệt, các hốc (lỗ) đen là các vật đen tuyệt đối hấp thụ rất mạnh tất cả các bức xạ chiếu đến chúng. Chúng là những thiên thể có khối lượng riêng cực kì lớn, đến nỗi các photon (hạt ánh sáng) mà chúng có thể phát ra đều bị hút trở lại.

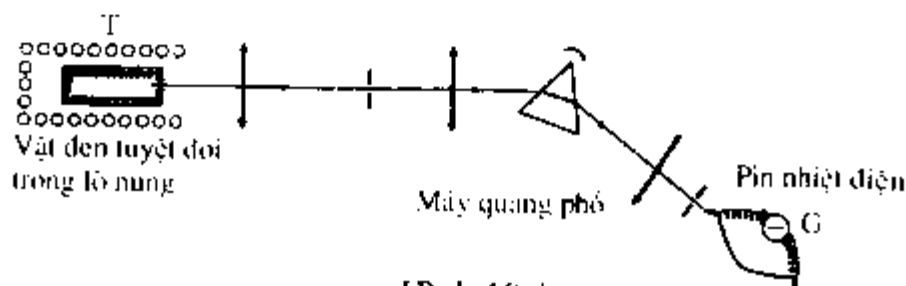
Một điều rất đặc biệt là : tất cả các vật đen tuyệt đối đều có cùng một năng suất phát xạ đơn sắc. Năng suất phát xạ đơn sắc của chúng là một hàm số chỉ của bước sóng và nhiệt độ.

$$r_{1\lambda} = r_{2\lambda} = r_{3\lambda} = \dots = f(\lambda, T) = \rho(\lambda, T)$$

Vì vậy, ta chỉ cần nghiên cứu trên một vật đen tuyệt đối cụ thể. Kết quả thu được có thể đem áp dụng cho tất cả các vật đen tuyệt đối khác.

5. Quang phổ liên tục của vật đen tuyệt đối

Đặt một vật đen tuyệt đối trong một lò nung, giữ ở một nhiệt độ T xác định. Cho chùm sáng do vật đen tuyệt đối đó phát ra chiếu vào khe của một máy quang phổ (Hình 10.4)



Hình 10.4

Ta sẽ thu được một quang phổ liên tục. Đó là một dải có màu sắc biến thiên liên tục từ đỏ đến tím, màu nọ sát màu kia. Quang phổ này còn kéo dài cả ở vùng tử ngoại và vùng hồng ngoại. Quang phổ này không phụ thuộc vào bản chất của vật phát xạ mà chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ.

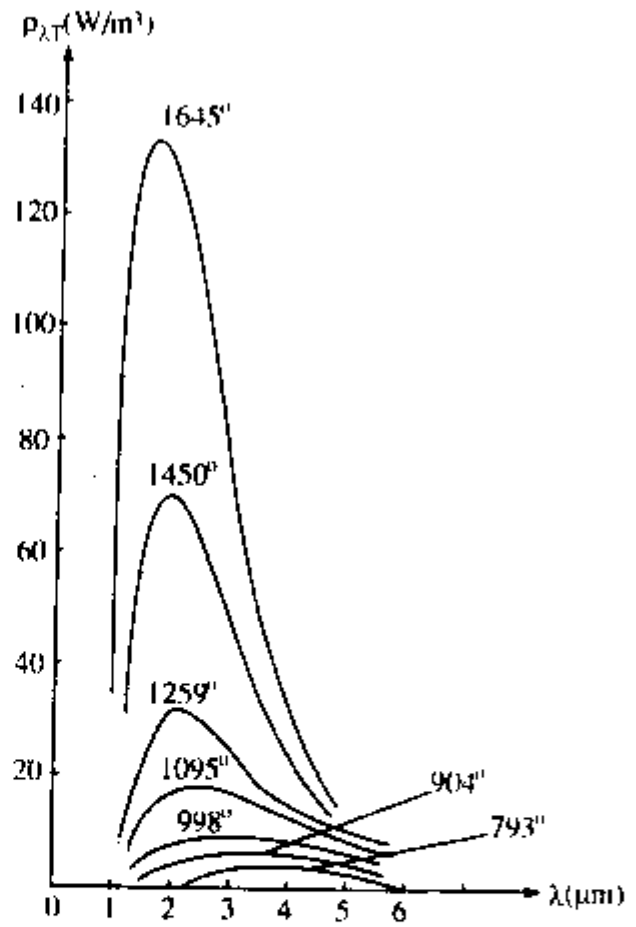
Dùng một pin nhiệt điện nhạy để đo độ rơi ở những phần khác nhau của quang phổ liên tục, đồ thị của hàm số $\rho(\lambda, T)$ biểu diễn sự phụ thuộc của năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối vào bước sóng λ ở nhiệt độ T . Thay đổi nhiệt độ T , ta sẽ thu được những đồ thị $\rho(\lambda, T)$ ở những nhiệt độ khác nhau (Hình 10.5)

Từ kết quả thực nghiệm trên, ta rút ra những kết luận sau :

a) Nhiệt độ T càng cao, vật bức xạ càng mạnh.

Ta gọi độ trung năng lượng toàn phần R_T của vật ở nhiệt độ T là tổng các độ trung đơn sắc R_λ của vật ở nhiệt độ T :

$$R_T = \sum R_\lambda = \int r_\lambda d\lambda = \int \rho(\lambda, T) d\lambda$$



Hình 10.5

Biểu thức của R_T cho thấy độ trung năng lượng toàn phần của vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ T được biểu diễn bằng độ lớn của diện tích của phần nằm giữa đường cong $\rho(\lambda, T)$ và trục hoành.

Ta thấy R_T tăng rất nhanh theo nhiệt độ.

b) Ở nhiệt độ thấp, cực đại của năng suất phát xạ đơn sắc nằm trong vùng hồng ngoại. Vật chủ yếu phát ra tia hồng ngoại. Phần công suất của các tia sáng nhìn thấy được nhỏ không đáng kể.

Đến khoảng 900°C công suất của các tia đỏ đã đủ lớn để gây ra cảm giác sáng. Ta thấy vật có màu đỏ tối.

Nhiệt độ càng cao thì cực đại của năng suất phát xạ đơn sắc càng dịch dần về phía bước sóng ngắn. Do đó, màu của ánh sáng mà vật phát ra càng trắng.

Tất cả các nhận xét trên ta đều có thể thấy được một cách đơn giản trực tiếp từ việc quan sát một mẫu sắt nung đỏ trong một lò rèn.

6. Các định luật thực nghiệm về sự bức xạ nhiệt của vật đen tuyệt đối

Xuất phát từ việc nghiên cứu các đồ thị thực nghiệm về năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối, các nhà vật lí đã rút ra một số định luật sau :

a) Định luật Stê-fan – Bôn-xơ-man (Stefan – Boltzmann)

Độ trung năng lượng toàn phần R_T của vật đen tuyệt đối tỉ lệ thuận với lũy thừa bốn của nhiệt độ tuyệt đối T của vật :

$$R_T = \sigma T^4$$

σ là một hằng số : $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$.

Theo định luật này, ở nhiệt độ càng cao thì vật càng phát xạ mạnh.

b) Định luật dịch chuyển của Viên (Wien)

Bước sóng ứng với cực đại của năng suất phát xạ đơn sắc (kí hiệu là λ_{max}) của vật đen tuyệt đối tỉ lệ nghịch với nhiệt độ tuyệt đối T của vật.

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2896}{T}$$

Trong công thức này, λ_{max} phải tính theo đơn vị μm . Hệ số 2896 có đơn vị $\mu\text{m.K}$. Ở nhiệt độ càng cao thì cực đại của năng suất phát xạ đơn sắc càng dịch về phía bước sóng ngắn. Do đó, màu sắc của vật ngả dần sang trắng rồi sang xanh.

7. Sự khủng hoảng tử ngoại

Vào cuối thế kỉ thứ XIX, các nhà vật lí gặp khó khăn lớn trong việc giải thích hình dạng của đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối vào bước sóng ánh sáng.

Dựa vào lí thuyết phát xạ cổ điển, người ta thấy rằng năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối phải tỉ lệ với lũy thừa hai của tần số (tức là tỉ lệ nghịch với lũy thừa hai của bước sóng). Như vậy, khi $\lambda \rightarrow 0$ thì $p(\lambda, T) \rightarrow \infty$. Điều này hoàn toàn mâu thuẫn với kết quả thực nghiệm. Người ta gọi sự bất lực của lí thuyết cổ điển trong trường hợp này là "sự khủng hoảng tử ngoại".

8. Thuyết lượng tử và công thức Planck (Planck) về sự bức xạ nhiệt

Planck cho rằng nguyên nhân cơ bản dẫn đến sự thất bại của lí thuyết phát xạ cổ điển trong việc giải thích các kết quả thực nghiệm về sự bức xạ của vật đen tuyệt đối, là quan niệm sai lầm về độ lớn của năng lượng mà một nguyên tử hay phân tử có thể trao đổi với bên ngoài, mỗi lần phát xạ hay hấp thụ bức xạ.

Theo Planck, lượng năng lượng mà một nguyên tử hay phân tử trao đổi mỗi lần phát xạ hay hấp thụ bức xạ có giá trị hoàn toàn xác định, bằng :

$$\epsilon = hf$$

ϵ gọi là lượng tử năng lượng : f là tần số của bức xạ được phát ra hay bị hấp thụ ; h là một hằng số.

Sau này người ta đặt tên hằng số đó là hằng số Planck và đã xác định được chính xác giá trị của nó :

$$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

Planck đã tìm được công thức biểu diễn sự phụ thuộc của năng suất phát xạ đơn sắc $\rho(f, T)$ vào tần số f và nhiệt độ T :

$$\rho(f, T) = \left(\frac{2\pi f^2}{c^2} \right) \left(\frac{1}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1} \right) (hf) \quad (1)$$

Công thức Planck có ba thừa số :

- Thừa số thứ nhất là số nguyên tử hay phân tử (khi đó, người ta gọi là dao động tử) có khả năng phát ra bức xạ có tần số f . Các nhà vật lí cổ điển cũng đã tìm được thừa số này.

- Thừa số thứ hai là xác suất để một dao động tử nói trên có thể phát ra bức xạ. Đây cũng là một sáng tạo mới của Planck.

- Thừa số thứ ba là lượng tử năng lượng của bức xạ.

Công thức Planck phù hợp khá tốt với thực nghiệm. Từ công thức này, người ta có thể suy ra biểu thức của hằng số σ trong định luật Ste-fan - Bôn-xơ-man :

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2}$$

Giá trị của hằng số σ tính theo công thức này phù hợp tốt với giá trị đo trong thực nghiệm.

Từ công thức (1) người ta suy ra công thức biểu diễn sự phụ thuộc của năng suất phát xạ đơn sắc $\rho(\lambda, T)$ vào bước sóng λ và nhiệt độ T :

$$\rho(\lambda, T) = 2\pi hc^2 \frac{\lambda^{-5}}{e^{kT} - 1}$$

9. Phương pháp hoá kế quang học

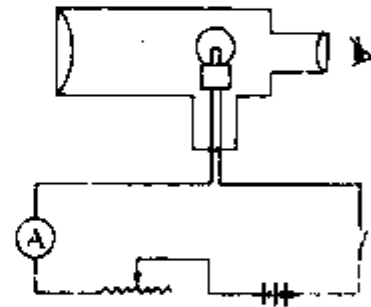
Vì quang phổ liên tục của bức xạ mà vật đen tuyệt đối phát ra không phụ thuộc bản chất của vật phát sáng mà chỉ phụ thuộc nhiệt độ của vật, nên ta có thể căn cứ vào quang phổ liên tục để xác định nhiệt độ của vật.

a) Người thợ rèn có kinh nghiệm có thể dựa vào màu của ánh sáng do miếng thép nung trong lò rèn phát ra để xác định một cách định tính xem miếng thép đã được nung đến mức độ nào.

b) Trong thiên văn, người ta dựa vào màu của ánh sáng do ngôi sao phát ra để xác định nhiệt độ của ngôi sao. Những sao kênh đỏ có nhiệt độ cỡ 3000 K ; Những ngôi sao vàng như Mặt Trời có nhiệt độ khoảng 6000 K ; những sao màu trắng xanh có nhiệt độ hàng vạn độ.

c) Phương pháp xác định nhiệt độ của các vật nóng sáng dựa vào các đặc điểm của chùm sáng do vật đó phát ra gọi là *phương pháp hoá kế quang học*.

Để xác định nhiệt độ của các lò cao, người ta thường dùng *hoá kế có đèn sợi đốt* (Hình 10.6) Hoá kế này có cấu tạo gồm :



Hình 10.6

- Một ống ngắm :

- Một đèn sợi đốt có dây tóc được bố trí trong mặt phẳng gần tiêu diện của vật kính ống ngắm ;

- Bộ phận dùng để điều chỉnh và đo cường độ dòng điện chạy qua dây tóc đèn.

Hướng ống ngắm vào miệng của lò cao. Điều chỉnh vật kính để ảnh của miệng lò hiện lên đúng mặt phẳng của dây tóc bóng đèn. Điều chỉnh thị kính để ngắm ảnh này. Lúc đó dây tóc hiện lên như một sợi dây màu đen trên một nền sáng. Đóng công tắc, cho dòng điện chạy qua đèn. Tăng dần cường độ dòng điện, cho dây tóc sáng dần lên. Khi độ chói của dây tóc bằng độ chói của ảnh thì dây tóc hình như biến mất trên nền sáng.

Có mối liên hệ nhất định giữa nhiệt độ của miệng lò với độ chói của ảnh và cường độ dòng điện qua dây tóc bóng đèn. Vì vậy, máy đo trong hoá kế được chia độ theo ngay nhiệt độ.

II. Bài tập

1. Một diện tích 1 m^2 trên bề mặt của lớp khí quyển Trái Đất, nhận được một dòng quang năng $1,35 \text{ kW}$ từ ánh sáng Mặt Trời, khi các tia sáng vuông góc với diện tích đó.

Tính độ trung năng lượng của bề mặt Mặt Trời. Cho rằng bề mặt Mặt Trời phát sáng theo đúng định luật Lambert.

Đường kính góc của Mặt Trời, nhìn từ Trái Đất là $32'$.

2. Xác định nhiệt độ của lớp vỏ Mặt Trời (quang cầu). Coi Mặt Trời bức xạ như một vật đen tuyệt đối.

3. Xác định nhiệt độ trung bình trên mặt Trái Đất; cho rằng Trái Đất bức xạ như một vật đen tuyệt đối và năng lượng mà nó toả ra đúng bằng năng lượng mà nó nhận được từ ánh sáng Mặt Trời.

Bỏ qua nhiệt lượng nhận được từ các nguồn nhiệt ở trong lòng Trái Đất.

Chuyên đề 11 : Hiệu ứng Compton . Áp suất ánh sáng

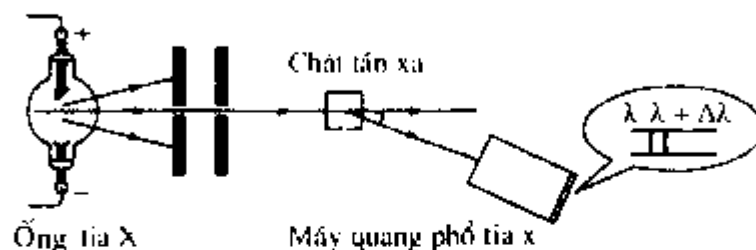
Mục tiêu kiến thức của chuyên đề này là

- Nêu được khái niệm về hiệu ứng Compton và áp suất ánh sáng .
- Trình bày được cách xây dựng công thức tính bước sóng của photon tán xạ và góc tán xạ của electron trong hiệu ứng Compton và công thức tính áp suất ánh sáng .

Mục tiêu kĩ năng của chuyên đề này là giải được các bài tập về hiệu ứng Compton và áp suất ánh sáng .

I. Hiệu ứng Compton

1. Thí nghiệm Compton



Hình 11.1 .

Hiệu ứng Compton là một minh chứng rõ ràng cho tính chất hạt của ánh sáng.

Dùng một hệ thống màn chắn và màn lọc để tách một chùm tia X hẹp, đơn sắc, từ chùm tia do một ống tia X phát ra. Cho chùm tia X này chiếu vào một khối chất tán xạ (graphit, parafin...). Tia X bị tán xạ theo mọi phương. Hứng tia X tán xạ theo phương θ (so với phương của tia tới) vào khe của một máy quang phổ tia X Hình 11.1 . Ta sẽ thu được phổ của tia X gồm hai vạch : một vạch ứng với bước sóng λ của tia X ban đầu ; vạch kia ứng với tia có bước sóng λ' dài hơn một chút ($\lambda' = \lambda + \Delta\lambda$).

Điều đặc biệt là độ tăng $\Delta\lambda$ của bước sóng không phụ thuộc vào bước sóng λ mà chỉ phụ thuộc góc tán xạ θ .

Như vậy, nếu chùm tia tới chứa một số tia X đơn sắc thì theo phương θ ta sẽ chụp được một quang phổ có nhiều vạch mà mỗi vạch lại bị tách ra làm hai với độ dịch $\Delta\lambda$ như nhau.

Tia X có bước sóng λ là các tia tán xạ bình thường. Sự xuất hiện của tia X có bước sóng $\lambda' > \lambda$ là đặc điểm của hiệu ứng Compton

2. Bước sóng Compton của electron

Hiệu ứng Com-pton chỉ có thể giải thích được nếu thừa nhận chùm tia X là chùm hạt (photon) đến va chạm đàn hồi với các electron tự do trong khối chất tán xạ.

Ta sẽ áp dụng định luật bảo toàn năng lượng và định luật bảo toàn động lượng để giải bài toán va chạm này.

Cho rằng, trước lúc va chạm, electron đứng yên. Năng lượng nghỉ của electron là m_0c^2 ; với m_0 là khối lượng nghỉ của electron ($m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg); c là tốc độ ánh sáng. Năng lượng của photon tia X trước va chạm là hf . Sau va chạm, photon tán xạ có năng lượng hf' ; còn electron có năng lượng toàn phần mc^2 .

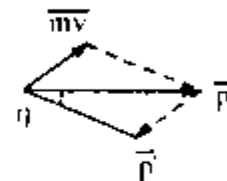
Theo định luật bảo toàn năng lượng, ta có: $hf + m_0c^2 = hf' + mc^2$

Động lượng của photon trước va chạm là \vec{p} , của photon tán xạ là \vec{p}' , của electron là \vec{mv} . Theo định luật bảo toàn động lượng, ta có: $\vec{p} = \vec{p}' + \vec{mv}$ (1)

Phương trình vectơ (1) được biểu diễn bằng Hình 11.2

Động lượng của photon liên hệ với năng lượng của

nó bằng hệ thức: $p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c}$ 1)



Hình 11.2

1) Tương tự như hệ thức giữa động lượng và động năng của một vật: $p = 2 \frac{W_d}{v}$

Cần cứ vào hình 3.8, ta có: $m^2v^2 = p^2 + p'^2 - 2pp' \cos \theta$.

$$m^2v^2 = \left(\frac{hf}{c}\right)^2 + \left(\frac{hf'}{c}\right)^2 - 2\left(\frac{h}{c}\right)^2 ff' \cos \theta$$

Phương trình (3.12) cho ta:

$$m^2c^2 - m_0^2c^2 = \left(\frac{hf}{c}\right)^2 + \left(\frac{hf'}{c}\right)^2 - \frac{2h^2}{c^2} ff' + 2m_0h(f - f')$$

Trừ vế với vế của hai phương trình (3.16) và (3.15), ta được:

$$m^2(c^2 - v^2) - m_0^2c^2 = -\frac{2h^2}{c^2} ff' (1 - \cos \theta) + 2m_0h(f - f')$$

Chú ý rằng theo thuyết tương đối thì $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.

Do đó: $m^2(c^2 - v^2) = m_0^2c^2$

Phương trình (3.17) thành ra : $\frac{c}{f'} - \frac{c}{f} = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta) = \lambda' - \lambda$

Cuối cùng, ta được : $\Delta\lambda = \frac{2h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$

$\Delta\lambda$ chỉ phụ thuộc góc tán xạ θ mà không phụ thuộc bước sóng λ .

Đại lượng $\lambda_0 = \frac{h}{m_0c} = 0,02426 \text{ \AA} = 2,426 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ gọi là *bước sóng Com-pton*

của electron.

3. Hiệu ứng Compton và hiệu ứng quang điện

Hiệu ứng quang điện và hiệu ứng Compton đều là kết quả của sự tương tác của photon ánh sáng tới với các electron của nguyên tử. Tuy nhiên, giữa hai hiệu ứng đó có những sự khác biệt sau đây :

- Trong hiệu ứng quang điện, có sự truyền hoàn toàn năng lượng của photon tới cho electron. Photon bị hấp thụ và biến mất. Trong hiệu ứng Compton, chỉ có một phần năng lượng của photon tới truyền cho electron, phần còn lại chuyển hoá thành năng lượng của photon tán xạ. Chú ý rằng, trong hiệu ứng Com-pton, photon tới vừa bị đổi hướng, vừa bị biến thành photon khác.

- Trong hiệu ứng quang điện, năng lượng của photon tới vào cỡ năng lượng liên kết của electron với mạng tinh thể, còn trong hiệu ứng Compton, năng lượng của photon tới rất lớn so với năng lượng liên kết của electron. Có thể diễn đạt kết quả trên theo cách khác : hiệu ứng quang điện xảy ra khi có tương tác của photon với electron liên kết, còn hiệu ứng Compton xảy ra khi có sự tương tác của photon với electron tự do.

II. Áp suất ánh sáng

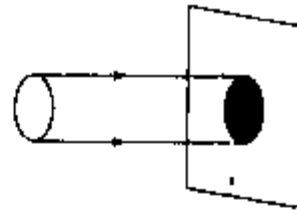
Một chùm sáng là một dòng hạt (photon). Mỗi hạt (photon) có một động lượng $p = \frac{hf}{c}$. Do đó, khi chùm sáng chiếu vào một vật thì các photon trong chùm sẽ truyền động lượng cho vật đó, tức là chùm sáng đã tác dụng lên vật một áp suất. Đó là *áp suất ánh sáng*. Giả sử có một chùm sáng song song, đơn sắc, chiếu vuông

góc vào một vật phẳng (Hình 11.3)

Gọi P là áp suất mà chùm sáng tác dụng lên vật ;

S là tiết diện của chùm sáng. Ta có :

$$P = \frac{F}{S} = \frac{ma}{S} = \frac{m\Delta v}{S \cdot \Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{S \cdot \Delta t} = \frac{\Delta p}{S \cdot \Delta t}$$



Hình 11.3

Vậy, áp suất có độ lớn bằng động lượng mà chùm sáng truyền cho một đơn vị diện tích của vật, trong một đơn vị thời gian.

Gọi E là dòng quang năng và I là cường độ của chùm sáng, ta có : $I = \frac{E}{S}$.

Cường độ của chùm sáng I (đơn vị W/m^2) là lượng năng lượng mà chùm sáng truyền cho một đơn vị diện tích của vật trong một đơn vị thời gian. Số photon đến đập vào một đơn vị diện tích của vật trong một đơn vị thời gian là $N = \frac{I}{hf}$.

Gọi k là hệ số phản xạ ($k < 1$). Số photon phản xạ trên một đơn vị diện tích, trong một đơn vị thời gian là Nk ; số photon bị hấp thụ là $N(1 - k)$. Mỗi photon phản xạ truyền cho vật một động lượng là $2 \frac{hf}{c}$; mỗi photon bị hấp thụ truyền cho

vật một động lượng là $\frac{hf}{c}$. Như vậy, áp suất ánh sáng tác dụng lên vật là

$$P = 2Nk \frac{hf}{c} + N(1 - k) \frac{hf}{c} = N \frac{hf}{c} (1 + k).$$

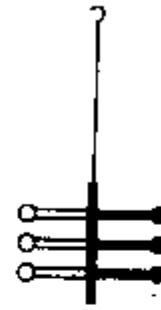
$$\text{Do đó : } P = \frac{I}{c} (1 + k) \quad (2)$$

Một chùm sáng có cường độ $5 W/m^2$, chiếu vào một vật phản xạ lí tưởng ($k = 1$), sẽ tác dụng lên vật đó một áp suất $6,7 \cdot 10^{-8} Pa$, đó là một áp suất rất nhỏ. Dựa vào thuyết sóng điện từ ánh sáng, người ta cũng đã tìm được công thức (2) về áp suất ánh sáng, trước khi thuyết lượng tử ra đời.

Người ta giải thích sự tạo thành đuôi sao chổi dựa vào tác dụng của áp suất ánh sáng. Khi bay đến gần Mặt Trời, các chất trong sao chổi bị bốc hơi. Đám hơi này vừa chịu tác dụng của lực hấp dẫn của Mặt Trời, vừa chịu tác dụng của áp suất ánh sáng Mặt Trời đẩy ra. Vì lực đẩy do áp suất ánh sáng lớn hơn lực hấp dẫn, nên

đám khí này bị đẩy ra xa Mặt Trời, tạo thành đuôi sao chổi.

Sự nở ra và co lại của lớp vỏ các sao cũng được giải thích bằng hai tác dụng ngược chiều nhau của lực hấp dẫn và áp suất ánh sáng. Lê-bê-đép là người đầu tiên thực hiện được thí nghiệm đo áp suất ánh sáng. Ông làm một thiết bị gồm hai hệ thống cánh nhẹ : một hệ thống được mạ bóng, phản xạ tốt ánh sáng ; một hệ thống được bôi đen, hấp thụ tốt ánh sáng. Hai hệ thống này được gắn trên một trục thẳng đứng và được treo bằng một sợi dây thạch anh mảnh trong một bình chân không (Hình 11.4)



Hình 11.4

Khi chiếu một chùm sáng vào hai hệ thống cánh này thì các cánh trắng sẽ bị đẩy mạnh hơn làm cho hệ thống bị quay. Dựa vào góc quay và vào các đặc điểm cấu tạo của hệ thống, có thể tính được áp suất ánh sáng.

III. Bài tập

Một chùm sáng song song có cường độ $I = 2000 \text{ W/m}^2$ chiếu vào một gương phẳng có hệ số phản xạ $k = 0,8$, dưới góc tới $\alpha = 45^\circ$. Tính áp suất mà chùm sáng tác dụng lên mặt gương.

có nghĩa là : Máy khuếch đại ánh sáng bằng sự phát xạ cảm ứng.

Có thể nói *laze* là một nguồn sáng phát ra một chùm sáng có tính đơn sắc, tính định hướng, tính kết hợp rất cao và cường độ lớn.

Chuyên đề 12 : Đo hằng số Planck bằng tế bào quang điện chân không

Mục tiêu kiến thức của chuyên đề này là :

- Mô tả được cấu tạo và hoạt động của tế bào quang điện chân không .
- Trình bày được các khái niệm giới hạn quang điện , hiệu điện thế hãm .
- Xây dựng được công thức tính hằng số Planck dựa vào phép đo giới hạn quang điện và hiệu điện thế hãm .

Mục tiêu kĩ năng của chuyên đề này là : sử dụng được tế bào quang điện chân không ; xác định được giới hạn quang điện của chất làm catốt ; đo được hiệu điện thế hãm .

Đây là một chuyên đề thực hành .

Để xác định giới hạn quang điện của chất làm catốt của tế bào quang điện chân không , đáng lí ta phải dùng một máy đơn sắc ; nó cho ta ánh sáng đơn sắc có bất kì bước sóng nào . Tuy nhiên , ta chỉ có một bộ vài kính lọc màu . Chúng cho ta vài ánh sáng tạm coi là đơn sắc , có bước sóng $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \lambda_4$. Do đó , ta phải vẽ đồ thị và ngoại suy ra giá trị của giới hạn quang điện λ_0 .

Biết được giới hạn quang điện λ_0 , bước sóng của ánh sáng kích thích λ , vận tốc ánh sáng , điện tích của electron và đo được hiệu điện thế hãm U_h , ta sẽ tính được hằng số Planck theo công thức sau :

$$eU_h = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0}$$

CHUYÊN ĐỀ VẬT RẮN VÀ BÁN DẪN

Chuyên đề: Lí thuyết dải năng lượng của vật rắn

1. Nguyên tử

a. Nguyên tử hydro

i. Trạng thái electron

Phương trình Schrödinger cho nguyên tử hydro là :

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right] \psi(r, \theta, \varphi) = E \psi(r, \theta, \varphi) \quad (1.1)$$

Phương trình này có thể được giải chính xác. Nghiệm tổng quát là hàm sóng mô tả trạng thái electron trong nguyên tử, được gọi là *orbital nguyên tử* (AO-atomic orbital). Nó có dạng:

$$\Psi_{nlm}(r, \theta, \varphi) = R_{nl}(r) Y_{lm}(\theta, \varphi) \quad (1.2)$$

với n : số lượng tử chính ($n=1,2,3,\dots$)

l : số lượng tử quỹ đạo ($l=0,1,\dots, n-1$)

m : số lượng tử từ ($m=0,\pm 1,\dots,\pm l$)

$R_{nl}(r)$ là hàm phụ thuộc bán kính, $Y_{lm}(\theta, \varphi)$ là hàm phụ thuộc góc, là những hàm cầu.

Số lượng tử chính n xác định năng lượng của trạng thái nguyên tử hydro:

$$E_n = -\frac{me^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -\frac{R}{n^2} \quad (1.3)$$

Năng lượng có giá trị âm vì là năng lượng liên kết giữa electron và hạt nhân. Thế Coulomb của hạt nhân khiến cho năng lượng chỉ phụ thuộc n . Điều này chỉ xảy ra với nguyên tử hydro.

Số lượng tử quỹ đạo xác định độ lớn của mô men động lượng quỹ đạo $L = \hbar\sqrt{l(l+1)}$. Các trạng thái có $l=0, 1, 2, 3$ được kí hiệu tương ứng là s, p, d, f theo cách gọi các vạch phổ tương ứng sharp, principal, diffuse, fine.

Số lượng tử từ xác định hình chiếu của mô men động lượng quỹ đạo lên trục lượng tử hoá (trục z). Trong nguyên tử tự do, do tính đối xứng cầu, $(2l+1)$ giá trị của m ứng với cùng năng lượng, tức là có suy biến. Sự suy biến bị khử khi có từ trường.

Bán kính Bohr thứ nhất $a = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2} = 0,529 \text{ \AA}$ là độ dài đặc trưng cho nguyên tử hydro, đôi

khi được dùng làm đơn vị độ dài trong hệ đơn vị nguyên tử (atomic units-au).

Các hàm sóng dạng (1.2) nói chung là các hàm phức. Tuy nhiên ta cũng có thể xây dựng các hàm sóng thực bằng cách tổ hợp các hàm phức một cách thích hợp.

Thí dụ, với $n = 2, l = 1$, ta có các hàm sóng phức :

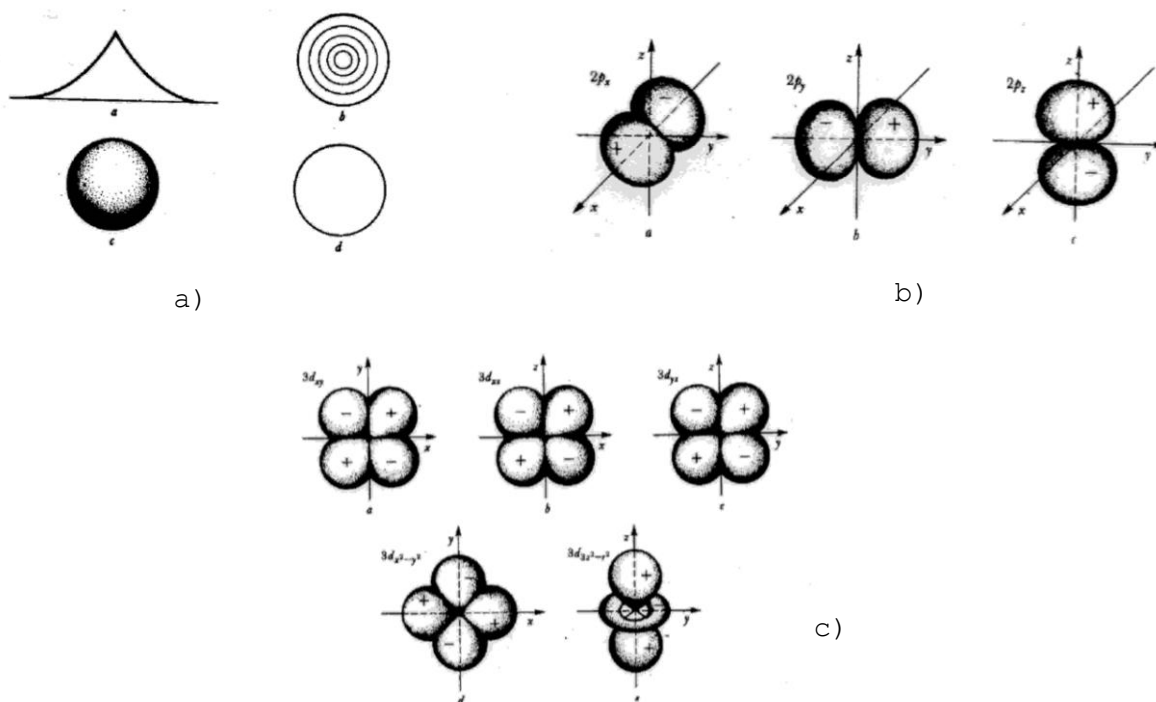
$$\begin{aligned} P_{21+1} &= \frac{1}{8\sqrt{2\pi a^3}} \frac{r}{a} e^{-\frac{r}{2a}} \sin \vartheta e^{i\varphi}; & P_{210} &= \frac{1}{4\sqrt{2\pi a^3}} \frac{r}{a} e^{-\frac{r}{2a}} \cos \vartheta; \\ P_{21-1} &= \frac{1}{8\sqrt{2\pi a^3}} \frac{r}{a} e^{-\frac{r}{2a}} \sin \vartheta e^{-i\varphi} \end{aligned} \quad (1.4)$$

Các hàm sóng thực thu được từ tổ hợp tuyến tính của các hàm sóng phức đó là:

$$X_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(P_{21+1} + P_{21-1}) = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi a^3} \frac{x}{a} e^{-\frac{r}{2a}}; \quad Y_2 = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi a^3} \frac{y}{a} e^{-\frac{r}{2a}};$$

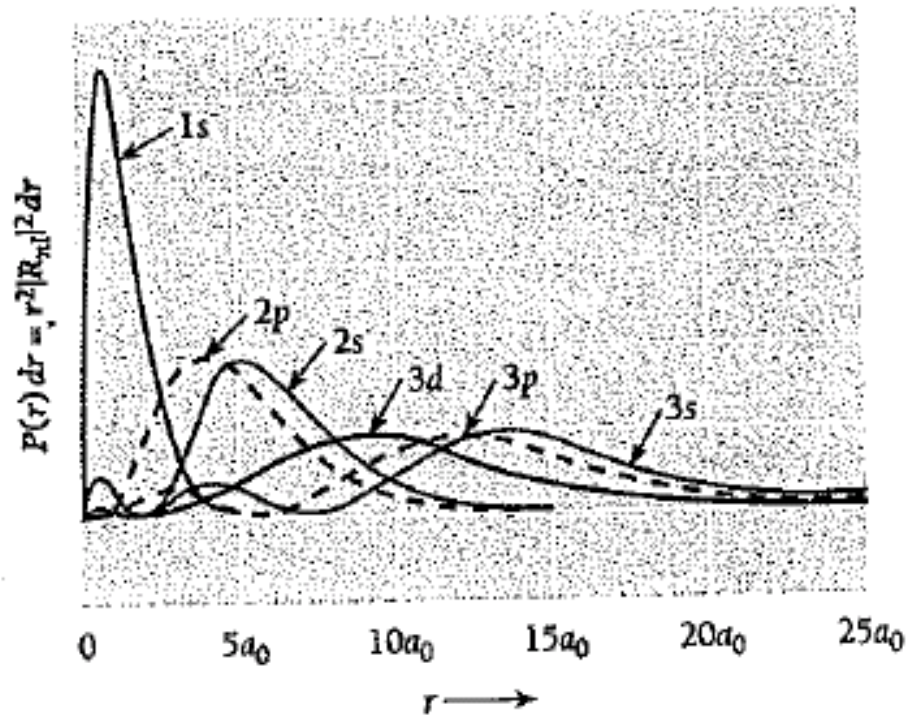
$$Z_2 = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi a^3} \frac{z}{a} e^{-\frac{r}{2a}}. \quad (1.5)$$

Các hàm (1.4) và (1.5) đều biểu diễn các trạng thái 2p của nguyên tử hydro. Tất nhiên các hàm sóng phức cũng có thể được biểu diễn qua tổ hợp tuyến tính của các hàm sóng thực.



Hình 1.1 Các orbital nguyên tử:
a) orbital s; b) orbital p; c) orbital d

Sự phân bố theo phương bán kính được xác định bởi $R_{nl}(r)$. Xác suất tìm thấy electron trong lớp cầu có bán kính r và $r+dr$ là $P_{nl}(r)dr = R_{nl}^2 r^2 dr$. Do đó mật độ xác suất hướng kính là $P_{nl}(r) = r^2 \cdot R_{nl}^2$.



Mật độ xác suất P_{nl} phụ thuộc khoảng cách r đến tâm nguyên tử, cho các trạng thái 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 3d.

Sự phụ thuộc góc của các orbital là cơ sở của tính định hướng của các liên kết mà ta sẽ xét sau này. Hình trên đây cho ta xác suất tìm thấy electron trong không gian ứng với các orbital s, p, d.

Các trạng thái, tức là các nghiệm của phương trình Schrödinger là *trực giao* với nhau, nghĩa là

$\int \Psi_{nlm}^* \Psi_{n'l'm'} d\mathbf{r} = 0$. Nếu các trạng thái có mô men góc khác nhau, thì tích phân theo góc trên các hàm cầu bảo đảm sự trực giao. Nếu các trạng thái có cùng mômen góc, thì sự trực giao đòi hỏi

$\int_0^\infty R_{nl}(r)R_{n'l'}(r)r^2 dr = 0$. Vì vậy, muốn cho hàm bán kính của trạng thái 2s trực giao với hàm bán

kính 1s, thì nó phải đổi dấu. Do đó, trong hình dưới, có nút ở $r=2$ a.u.. Tương tự, 3s trực giao với 2s nên có 2 nút v.v... Tất cả các trạng thái có năng lượng thấp nhất đều không có nút.

Việc xét đến hiệu ứng tương đối tính dẫn đến số lượng tử thứ tư là spin m_s với $m_s = \pm \frac{1}{2}$. Mô

men từ spin là $\mu = 2,00\sqrt{s(s+1)}\mu_B$, trong đó $s=1/2$ và $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m}$ là manhêton Bohr. Do đó, một

trạng thái riêng nlm có thể bị chiếm bởi 2 electron có spin 1/2 và -1/2. Kết quả là trạng thái nguyên tử có l xác định thì suy biến bội $2(2l+1)$, tức là lớp s có thể có 2 electron, lớp p-6, lớp d-10, lớp f-14 electron. Chính cấu trúc của các lớp electron theo quy tắc này được phản ánh trong bảng tuần hoàn.

Các lớp electron ngoài cùng của nguyên tử được gọi là các *lớp electron hoá trị* vì chúng quyết định các tính chất của nguyên tử cũng như liên kết của các nguyên tử với nhau. Các lớp đầy bên trong cùng với hạt nhân tạo thành *lõi nguyên tử* và hầu như không ảnh hưởng tới liên kết với các nguyên tử khác.

Theo cơ học lượng tử, nguyên tử không có giới hạn rõ ràng, vì xác suất tìm thấy electron giảm theo hàm mũ theo khoảng cách đến tâm nguyên tử. Tuy nhiên một cách xác định thuận lợi cho kích thước của lõi là vị trí của nút ngoài của hàm bán kính của electron hoá trị. Đó là vì các nút tồn tại do đòi

hỏi là trạng thái hoá trị phải trực giao với các trạng thái lõi, các trạng thái này liên kết chặt hơn với hạt nhân. Điều đó phản ánh nguyên lý loại trừ Pauli nói rằng hai electron không thể chiếm cùng một trạng thái.

ii. Sự chuyển dời

Năng lượng photon phát xạ hoặc hấp thụ khi có chuyển dời giữa hai mức năng lượng:

$$\hbar\omega = E_m - E_n$$

Ta có thể giải thích và tính toán các vạch phát xạ và hấp thụ của nguyên tử hydro

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = \frac{R}{hc} \left| \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right|$$

Các quy tắc lựa chọn cho chuyển dời quang học

$$\begin{aligned} \Delta l &= \pm 1 \\ \Delta m &= 0, \pm 1 \end{aligned}$$

b. Nguyên tử phức tạp

i. Trạng thái electron

Mức năng lượng của nguyên tử hydro được xác định duy nhất bởi số lượng tử chính n. Trong trường hợp các nguyên tử khác, các trạng thái ứng với cùng n nhưng có l khác nhau thì có năng lượng khác nhau. Đó là vì khi xung quanh hạt nhân có nhiều hơn 1 electron, thì sự suy biến theo l bị khử, do thế V(r) không còn là thế Coulomb (tỉ lệ nghịch với bán kính) nữa mà là thế Coulomb bị che chắn. Có thể thấy một thí dụ về điều này trên hình 2.16, trong đó mức hoá trị 2s của các nguyên tố từ B đến Ne nằm dưới mức năng lượng ứng với mức 2p tương ứng, trong khi ở nguyên tử hydro, hai trạng thái s và p có cùng năng lượng. Các mức năng lượng nguyên tử của các electron hoá trị thu được bằng cách giải phương trình Schrödinger bằng phương pháp số.

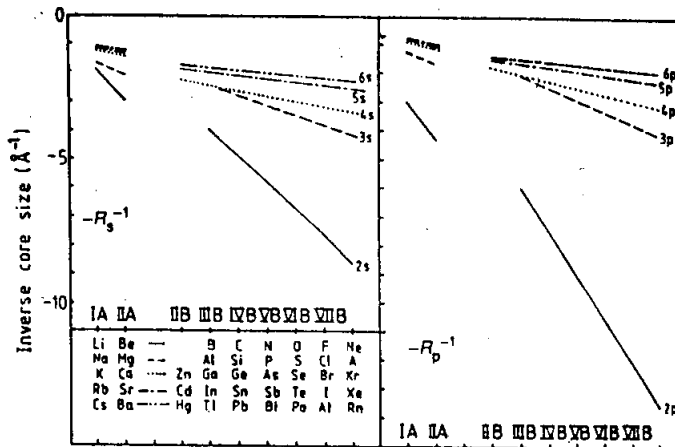


Fig. 2.13 The negative of the inverse s and p pseudopotential radii of Zunger (1980).

Hình 2.13 trên đây cho ta sự biến thiên của $-R_s^{-1}$ và $-R_p^{-1}$ theo vị trí của nguyên tố trong bảng tuần hoàn. Ta thấy trong mỗi chu kì, bán kính của các điện tử hoá trị s và p co lại khi số thứ tự tăng do điện tích hạt nhân tăng. Các bán kính đó mở rộng ra khi đi theo một cột từ trên xuống dưới vì có

thêm lớp electron đầy tham gia vào lõi nguyên tử. Một ngoại lệ đáng lưu ý là sự cắt nhau giữa đồ thị của bán kính 3s và 4s cũng như 3p và 4p của nhóm IIIB.

Trong Hình 2.16 dưới đây, mô tả sự biến thiên của các mức năng lượng của trạng thái s và p trong các dãy nguyên tố, ta nhận xét một số điểm như sau:

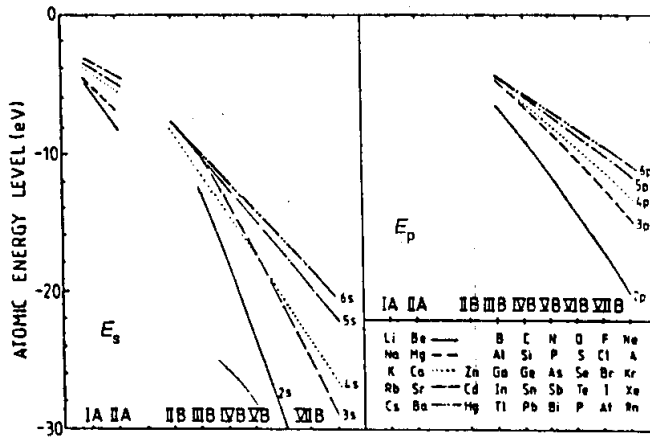


Fig. 2.16 The valence s and p energy levels (after Herman and Skillman (1963)).

1. Các mức năng lượng hoá trị biến thiên tuyến tính trong một hàng giống như nghịch đảo của bán kính (đã thấy ở trên). Khi điện tích hạt nhân Z_e tăng lên, electron liên kết chặt hơn với hạt nhân. Tuy nhiên do sự có mặt của các electron hoá trị khác, mà năng lượng biến thiên tuyến tính chứ không theo quy luật Z^2 như ở nguyên tử hydro.
2. Các mức năng lượng hoá trị s và p trở nên liên kết yếu hơn khi ta đi trong một nhóm từ trên xuống dưới. Điều đó có thể giải thích từ sự phụ thuộc dạng $1/n^2$ giống như ở nguyên tử hydro. Có ngoại lệ là mức 4s đi xuống và cắt mức 3s ở phía trái của nhóm VB. Đó là do có lớp 3d, trong đó các electron không chắn hoàn toàn lõi đối với electron hoá trị 4s. Các electron 4s do đó chịu thế hút mạnh hơn các electron 3s ở hàng trước đó.
3. Hiệu năng lượng $E_p - E_s$ giảm khi đi từ trái sang phải theo một nhóm. Điều này ảnh hưởng mạnh đến bản chất của các dải năng lượng và sự liên kết trong tinh thể, vì rằng khi hiệu năng lượng này nhỏ, thì electron s và p bị lai để tạo thành các dải chung sp.

Hình sau đây cho ta thấy các mức hoá trị s và d ở hai dãy kim loại chuyển tiếp 3d và 4d. Các mức năng lượng ứng với cấu hình nguyên tử $d^{N-1}s$, với N là tổng số electron hoá trị. Đó là cấu hình gần với của các kim loại. Có thể thấy một số điểm như sau.

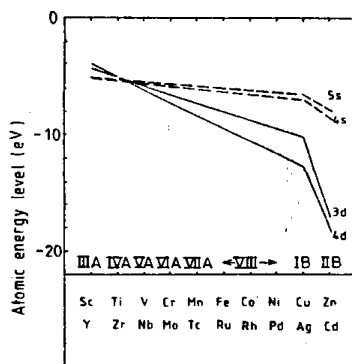


Fig. 2.17 The valence s and d energy levels across the 3d and 4d transition metal series (after Herman and Skillman (1963)).

1. Năng lượng biến thiên tuyến tính trong dãy kim loại chuyển tiếp, khi các lớp dần dần bị lấp đầy electron. Tuy nhiên khi đến nhóm kim loại quý IB, lớp d được lấp đầy bởi 10 electron. Nếu ta tăng thêm Z, thì khi tăng thêm một electron nữa, electron này nằm ở lớp sp ngoài, và đẩy nhanh mức d xuống dưới như thấy trên hình qua sự tăng độ dốc.

2. Mức năng lượng hoá trị s trở nên hơi kém liên kết khi ta đi xuống trong một nhóm. Càng về cuối dãy kim loại chuyển tiếp, mức năng lượng hoá trị 4d trở nên liên kết chặt hơn mức hoá trị 3d. Điều này có liên quan đến lực đẩy Coulomb giữa các electron hoá trị. Orbital 3d định xứ mạnh hơn orbital 4d. Vì vậy, thêm electron vào lớp 3d làm tăng năng lượng đẩy nhanh hơn là vào lớp 4d. Kết quả là khoảng cách giữa các mức s và d tăng lên khi đi xuống dọc theo một cột khi chuyển từ 3d sang 4d. Thí dụ $E_s - E_d$ là 3 eV ở Cu, 6 eV ở Ag, làm cho màu sắc của hai kim loại khác nhau.

Hiệu ứng tương đối tính (không thể hiện trong phương trình Schrödinger) làm đảo ngược xu hướng này khi xét đến 5d. Trạng thái s cảm nhận thấy thế hạt nhân không bị chắn. Với khối lượng nguyên tử lớn như ở KL CT 5d, thế hạt nhân lớn làm tăng tốc electron đến vận tốc tương đối tính và hạ thấp năng lượng của lớp 6s xuống vài eV, làm giảm khoảng cách s-d. Sự thay đổi độ bền vững tương đối giữa s và d khi đi xuống theo một cột được minh hoạ bởi Ni, Pd và Pt mà trạng thái nguyên tử bền vững nhất có các cấu hình theo thứ tự là $3d^8 4s^2$, $4d^{10}$, $5d^9 6s$.

3. Từ khoảng cách năng lượng s-d, ta trông đợi là ảnh hưởng của liên kết và cấu trúc của trạng thái d thể hiện rõ hơn ở các kiềm thổ hoá trị 2 Ca và Sr ở đầu dãy KL CT so với các nguyên tố Zn và Cd ở cuối dãy. Đó là vì ở đầu dãy, lớp d ở sát với lớp s hơn ở cuối dãy.

ii. Bảng tuần hoàn Mendeleev

Khi điện tích hạt nhân tăng dần, ta sẽ thu được bảng tuần hoàn các nguyên tố mà ta có thể trình bày như ở Bảng 1.1.

Bảng 1.1 Sự hình thành bảng tuần hoàn bằng cách lấp đầy dần các lớp electron. Phía trái mỗi cột là mức electron ngoài cùng đang được lấp đầy dần dần. Trong dấu ngoặc là số electron tối đa được phép.

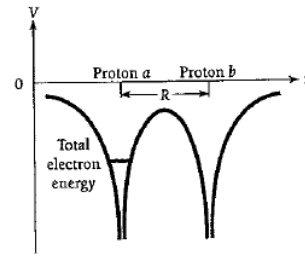
1s (2) H,He	4s (2) K,Ca	5p (6) In→Xe
2s (2) Li,Be	3d (10) KLCT Sc→Ni, Cu,Zn	6s (2) Cs, Ba
2p (6) B→Ne	4p (6) Ga→Kr	4f (14) ĐH Ce→Lu
3s (2) Na, Mg	5s (2) Rb, Sr	5d (10) KLCT La→Pt, Au, Hg
3p (6) Al→Ar	4d (10) KLCT Y→Pd, Ag, Cd	6p (6) Tl→Rn

Nếu căn cứ vào thứ tự sắp xếp các mức năng lượng ở nguyên tử hydro, thì ta có thể chờ đợi rằng sau khi lấp đầy các trạng thái 3p, thì sẽ đến các trạng thái 3d. Nhưng trên thực tế, như thấy ở Bảng 1.1, tiếp sau 3p là 4s. Sự lấp đầy dần dần các trạng thái 3d tạo nên dãy kim loại chuyển tiếp đầu tiên (dãy 3d). Tương tự, ta có các kim loại chuyển tiếp 4d và 5d. Hiện tượng tương tự với các trạng thái 4f dẫn đến dãy các nguyên tố đất hiếm. Lí do dẫn đến sự dị thường này là do các trạng thái s có xác suất tìm thấy khác không ở vị trí của hạt nhân. Do vậy tác dụng che chắn của các electron khác đối với chúng là yếu hơn, tương tác của hạt nhân với các electron này mạnh hơn, và vì thế năng lượng của các electron s thấp hơn.

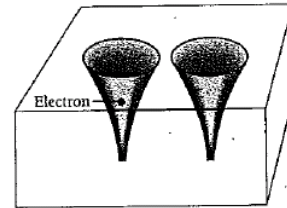
2. Phân tử

a. Liên kết cộng hoá trị

i. Cơ chế của liên kết cộng hoá trị



(a)



(b)

ii. Ion hidro H_2^+

Figure 8.4 (a) Potential energy of an electron in the electric field of two nearby protons. The total energy of a ground-state electron in the hydrogen atom is indicated. (b) Two nearby protons correspond quantum-mechanically to a pair of boxes separated by a barrier.

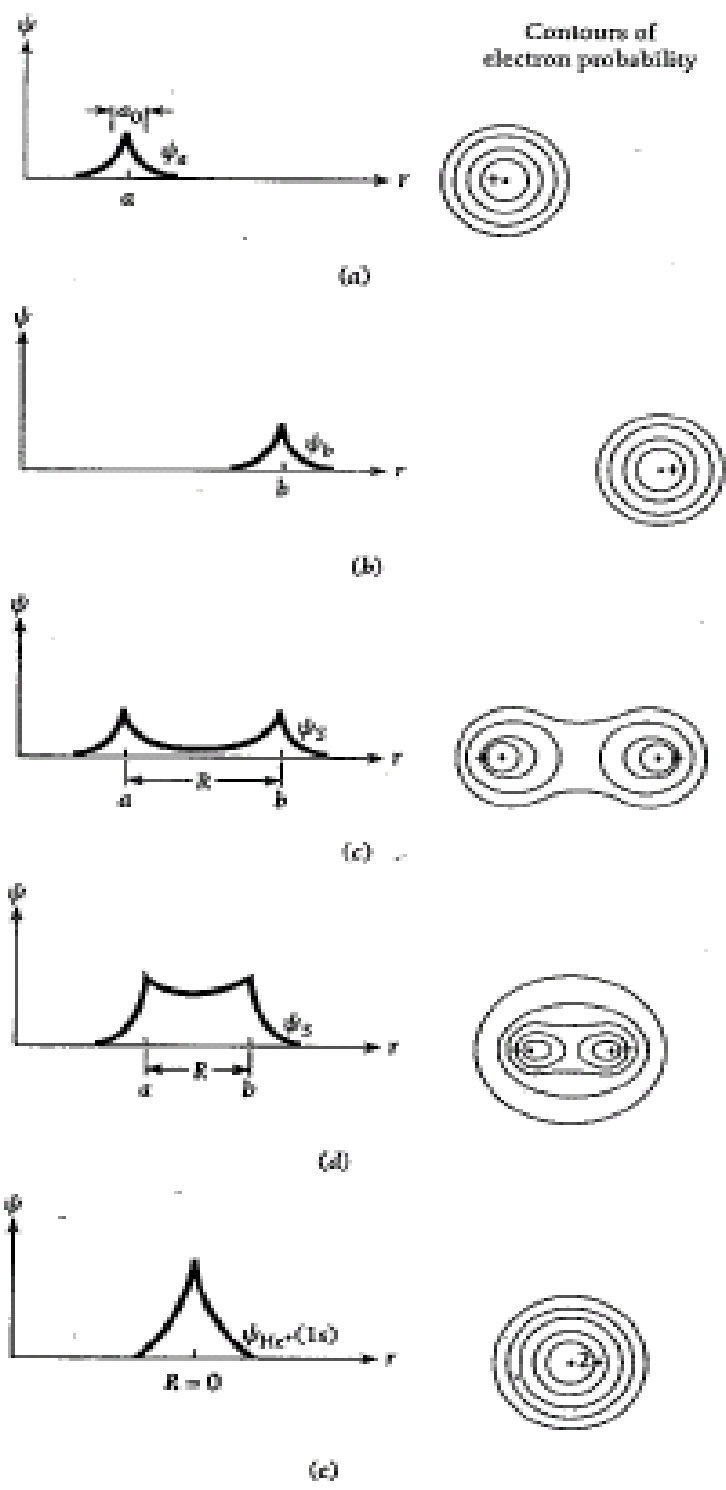


Figure 8.5 (a)–(d) The combination of two hydrogen-atom 1s wave functions to form the symmetric H_2^+ wave function ψ_2 . The result is a stable H_2^+ molecular ion because the electron has a greater probability of being between the protons than outside them. (e) If the protons could join together, the resulting wave function would be the same as the 1s wave function of a He^+ ion.

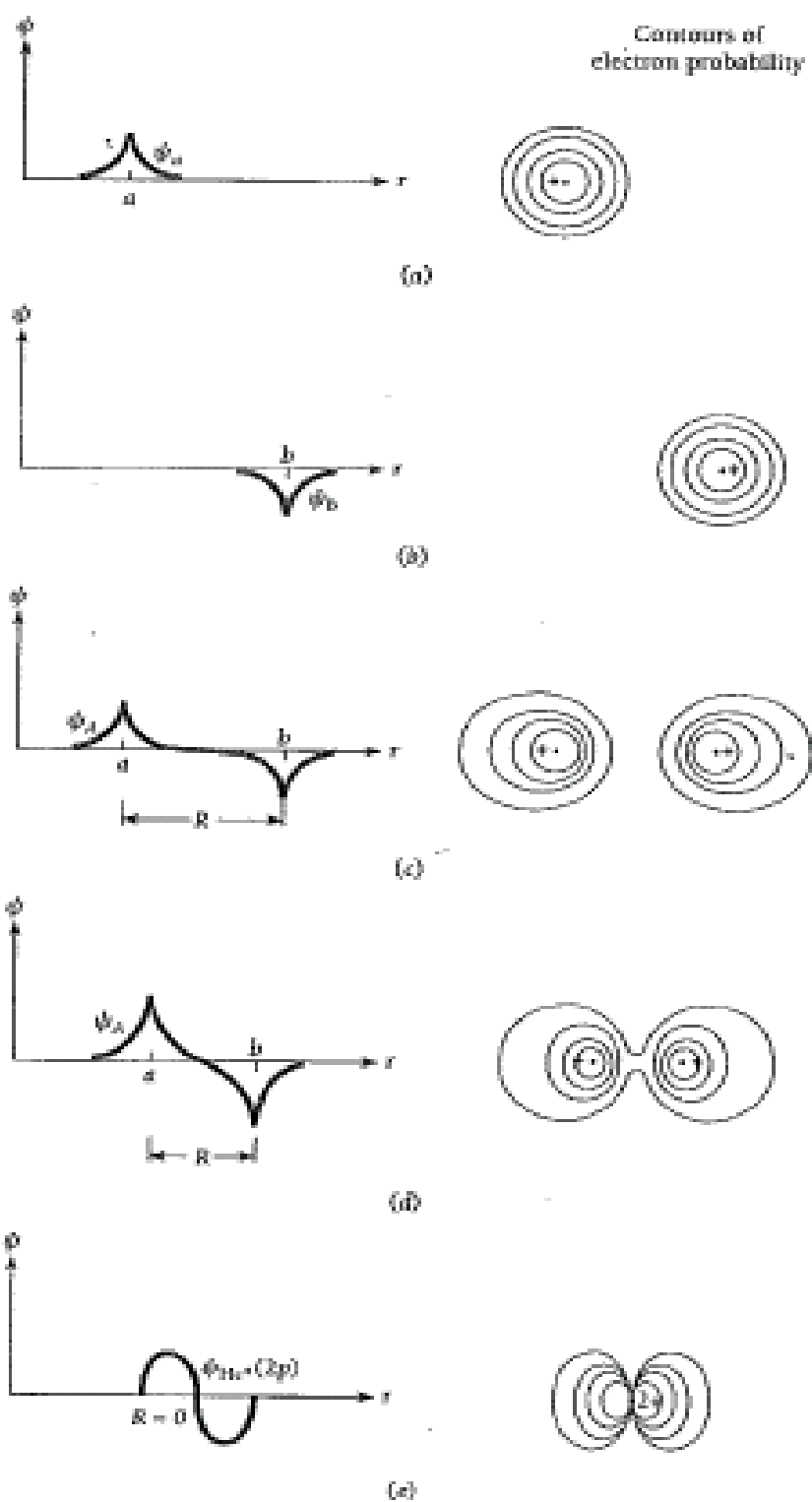


Figure 8.8 (a)–(d) The combination of two hydrogen-atom 1s wave functions to form the antisymmetric H_2^+ wave function ψ_a . A stable H_2^+ molecular ion is not formed because now the electron has a smaller probability of being between the protons than outside them. (c) If the protons could join together, the resulting wave function would be the same as the 2p wave function of a He^+ ion. In the 2p state a He^+ ion has more energy than in the 2s state.

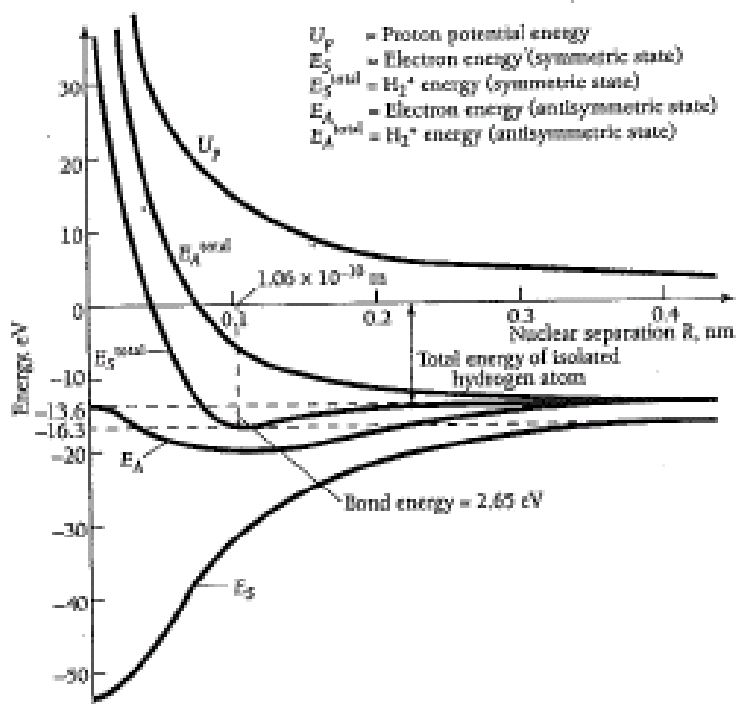


Figure 8.7 Electron, proton repulsion, and total energies in H_2^+ as a function of nuclear separation R for the symmetric and antisymmetric states. The antisymmetric state has no minimum in its total energy

iii. Phân tử hidro H_2

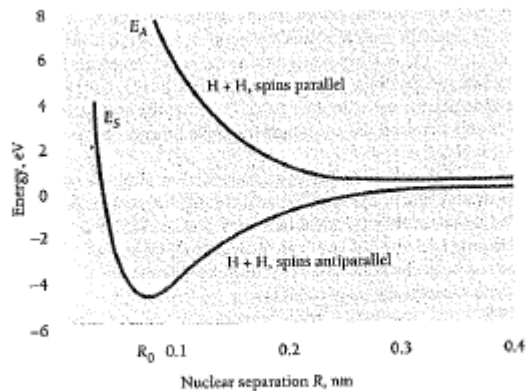


Figure 8.8 The variation of the energy of the system $H + H$ with their distances apart when the electron spins are parallel and antiparallel.

iv. Liên kết cộng hoá trị trong phân tử

- Liên kết σ và liên kết π

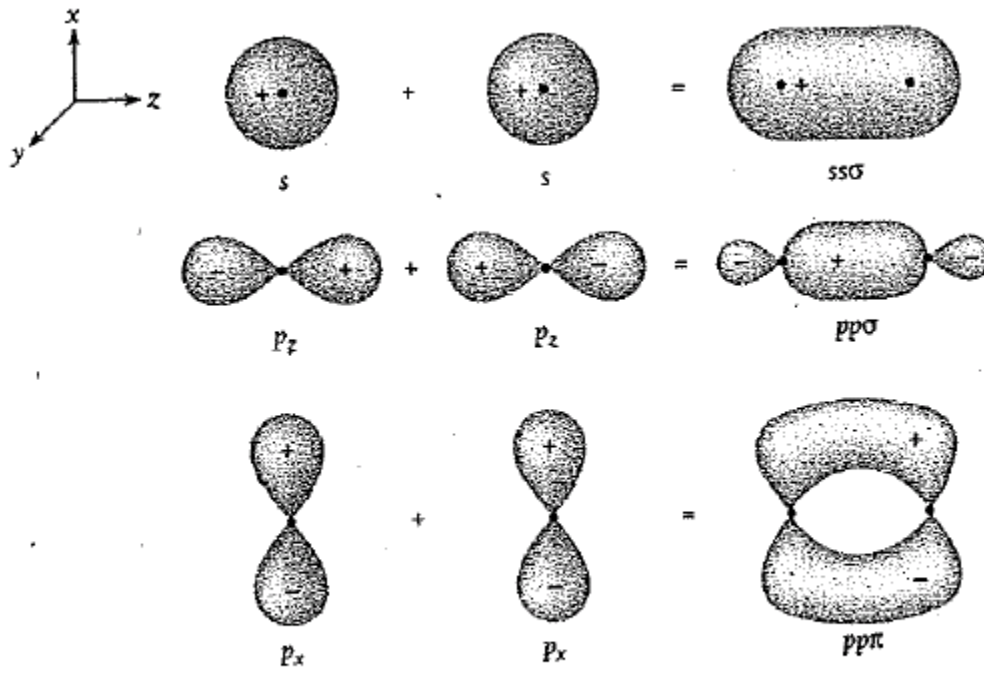


Figure 8.10 The formation of $ss\sigma$, $pp\sigma$, and $pp\pi$ bonding molecular orbitals. Two p_y atomic orbitals can combine to form a $pp\sigma$ molecular orbital in the same way as shown for two p_x atomic orbitals but with a different orientation.

•Liên kết trong phân tử nước H_2O

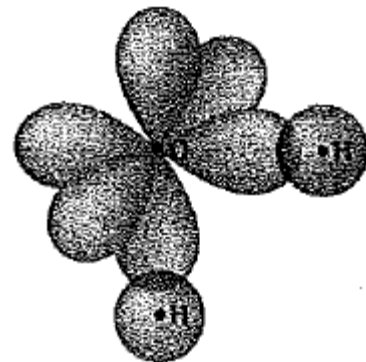


Figure 8.11 Formation of an H_2O molecule. Overlaps represent $sp^3\sigma$ covalent bonds. The angle between the bonds is 104.5° .

v. Các orbital lai

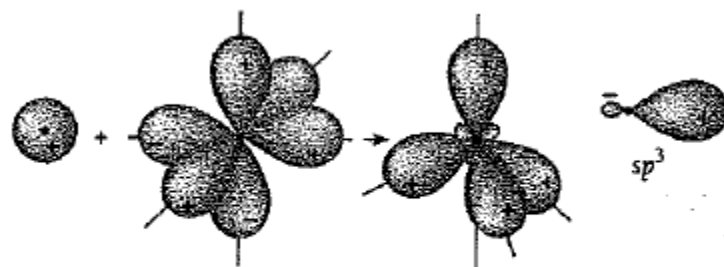


Figure 8.12 In sp^3 hybridization, an s orbital and three p orbitals in the same atom combine to form four sp^3 hybrid orbitals.

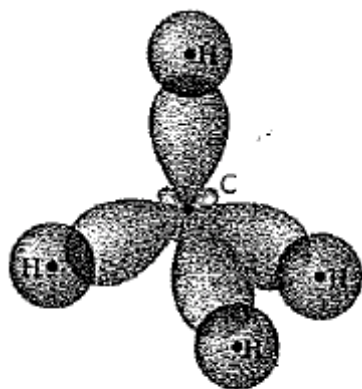
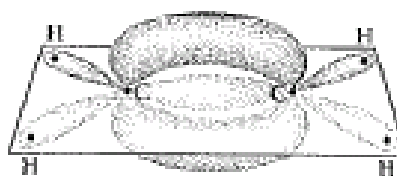
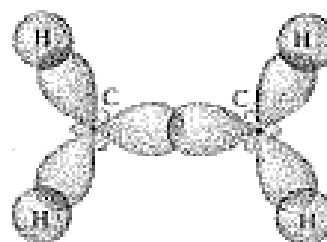


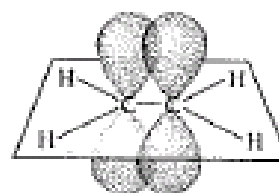
Figure 8.13 The bonds in the CH_4 (methane) molecule involve sp^3 hybrid orbitals.



(a)



(b)



(c)

Figure 8.14 (a) The ethylene (C_2H_4) molecule. All the atoms lie in a plane perpendicular to the plane of the paper. (b) Top view, showing the sp^2 hybrid orbitals that form σ bonds between the C atoms and between each C atoms. (c) Side view, showing the pure p_z orbitals that form a π bond between the C atoms.

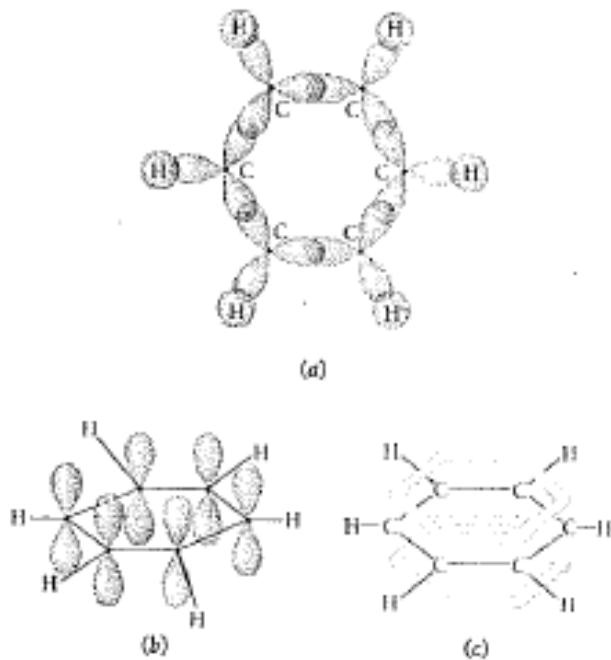
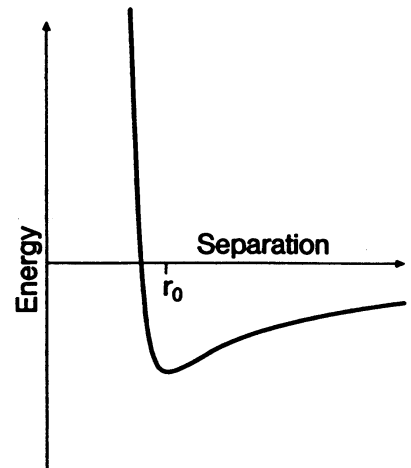


Figure 8.15 The benzene molecule. (a) The overlaps between the sp^2 hybrid orbitals in the C atoms with each other and with the s orbitals of the H atoms lead to σ bonds. (b) Each C atom has a pure p_z orbital occupied by one electron. (c) The bonding π molecular orbitals formed by the six p_z atomic orbitals constitute a continuous electron probability distribution around the molecule that contains six delocalized electrons.

b. Liên kết ion

Để hiểu được liên kết ion, ta cần xét khái niệm năng lượng ion hoá và ái lực hoá học của các nguyên tử. *Năng lượng ion hoá I* được định nghĩa như là năng lượng cần cung cấp để tách một electron ra khỏi nguyên tử trung hoà. *Ái lực electron A* là năng lượng thu được khi một electron được thêm vào nguyên tử trung hoà.

Liên kết ion hình thành khi một nguyên tố có năng lượng ion hoá tương đối thấp kết hợp với một nguyên tố có ái lực electron cao. Ta xét thí dụ natri clorua. Năng lượng ion hoá của Na là 5,14 eV, và ái lực electron của Cl là 3,71 eV. Như vậy, muốn chuyển một electron từ nguyên tử Na sang nguyên tử Cl, cần năng lượng $5,14 - 3,71 = 1,43$ eV. Lực hút tĩnh điện giữa hai ion dẫn đến sự lợi về năng lượng càng lớn khi hai ion càng lại gần nhau. Khoảng cách ngắn nhất giữa hai ion bằng tổng các bán kính của chúng. Lực hút tĩnh điện đóng góp phần lợi về năng lượng là 4,51 eV, tức là sự lợi tổng cộng về năng lượng cho một phân tử NaCl là $4,51 - 1,43 = 3,08$ eV. Chính vì vậy, Na và Cl kết hợp với nhau tạo thành phân tử có hai nguyên tử với tính ion cao.



Hình 1.8 Thế năng phụ thuộc khoảng cách giữa hai ion

3. Vật rắn

a. Liên kết trong vật rắn

Ngoài liên kết cộng hoá trị và liên kết ion như đã nêu ở trên cho trường hợp phân tử, trong vật rắn còn có một số loại liên kết khác nữa, như liên kết kim loại, liên kết van der Waals.

i. Tinh thể ion

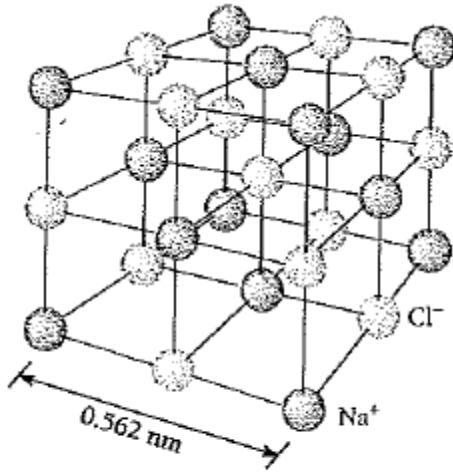


Figure 10.5 The face-centered cubic structure of NaCl. The coordination number (the number of nearest neighbors about each ion) is 6.

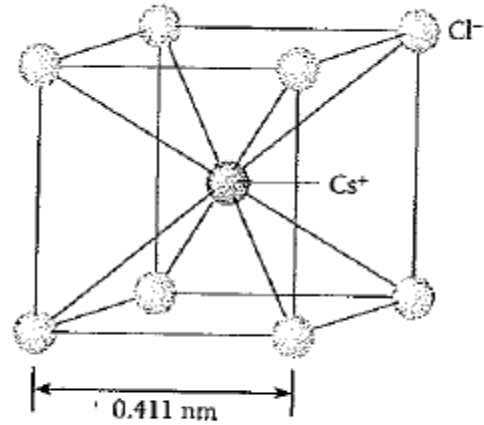


Figure 10.6 The body-centered cubic structure of CsCl. The coordination number is 8.

Trong các tinh thể ion, các ion liên kết với nhau thành một cấu trúc cân bằng, bền vững, trong đó lực hút giữa các ion trái dấu cân bằng với lực đẩy giữa các ion. Các nguyên tử không chạm vào nhau do kết quả của nguyên lý loại trừ, theo đó hai đám mây electron đầy không phủ nhau được.

Nói chung, trong tinh thể ion, mỗi ion được bao quanh bởi số ion trái dấu với nó nhiều nhất có thể được, làm cho năng lượng của hệ là thấp nhất, dẫn đến sự ổn định cao nhất. Kích thước tương đối của các ion quyết định cấu trúc tinh thể. hai loại cấu trúc phổ biến của tinh thể ion được thấy ở các hình sau.

Đóng góp của sự hút tĩnh điện vào liên kết ion có thể tính toán đơn giản bằng cách lấy tổng các thế Coulomb ở các ion. Thế năng giữa hai ion i và j mang một điện tích nguyên tố đặt cách nhau r_{ij} là:

$$U_{ij} = \pm \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} + \frac{B}{r_{ij}^n} \quad (1.15)$$

Hình 1.8 trình bày đường cong thế năng điển hình cho tương tác giữa hai ion. Thế năng tổng cộng do các ion j gây ra tại điểm đặt ion i là:

$$U_i = \sum_{j \neq i} U_{ij} \quad (1.12)$$

Nếu R là khoảng cách giữa các ion lân cận gần nhất, thì:

$$r_{ij} = R p_{ij} \quad (1.13)$$

trong đó p_{ij} tùy thuộc vào cấu trúc tinh thể. Nếu tinh thể có N ion, thì thế năng toàn phần của tinh thể được cho bởi:

$$\Phi = NU_i = N \left(-\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R} \sum_{j \neq i} \frac{\pm 1}{p_{ij}} + \frac{B}{R^n} \sum_{j \neq i} \frac{1}{p_{ij}^n} \right) \quad (1.14)$$

Mỗi cấu trúc tinh thể ứng với một giá trị

$$\alpha = \sum_{j \neq i} \frac{\pm 1}{P_{ij}} \quad (1.15)$$

gọi là *hằng số Madelung*. Với cấu trúc tinh thể của NaCl, thì $\alpha = 1,748$, còn với cấu trúc CsCl thì $\alpha = 1,763$.

Thế năng đẩy có dạng $U_{\text{rep}} = \frac{B}{r^n}$ với số mũ n lớn ($n=10$ hoặc 12). Vì vật thể năng đẩy tăng nhanh khi khoảng cách nguyên tử giảm đến giá trị nhỏ.

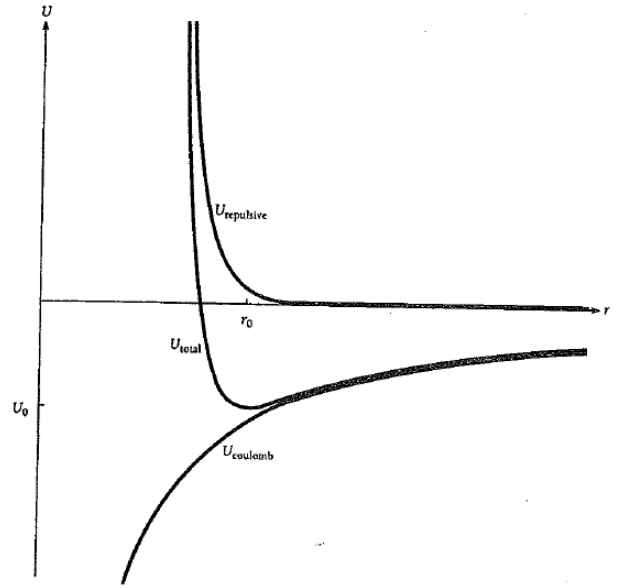


Figure 10.7 How the ionic potential energies in an ionic crystal vary with ionic separation r . The minimum value U_0 of U_{total} occurs at an equilibrium separation of r_0 .

ii. Tinh thể cộng hoá trị

Liên kết trong tinh thể cộng hoá trị có nguồn gốc từ sự phủ nhau của các đám mây electron của các nguyên tử cạnh nhau. Mỗi nguyên tử tham gia vào liên kết cộng hoá trị đóng góp một electron.

Hình 10.8 cho thấy tinh thể kim cương, trong đó mỗi nguyên tử carbon liên kết với bốn nguyên tử carbon khác thông qua các hàm lai (liên kết sp^3).

Hình 10.9 cho thấy một lớp graphit, trong đó mỗi nguyên tử carbon liên kết với ba nguyên tử carbon khác thông qua các hàm lai (liên kết sp^2). Liên kết giữa các nguyên tử trong một lớp là khá mạnh, nhưng liên kết van der Waals giữa các lớp là yếu, nên các lớp có thể dễ dàng trượt lên nhau và tách ra khỏi nhau. Vì vậy graphit được dùng để bôi trơn và làm ruột bút chì.

Kim cương trong suốt, cứng và không dẫn điện. Graphit màu đen, mềm và dẫn điện.

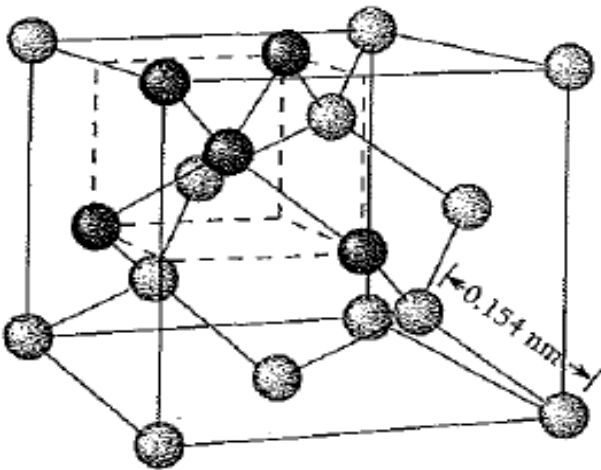


Figure 10.8 The tetrahedral structure of diamond. The coordination number is 4.

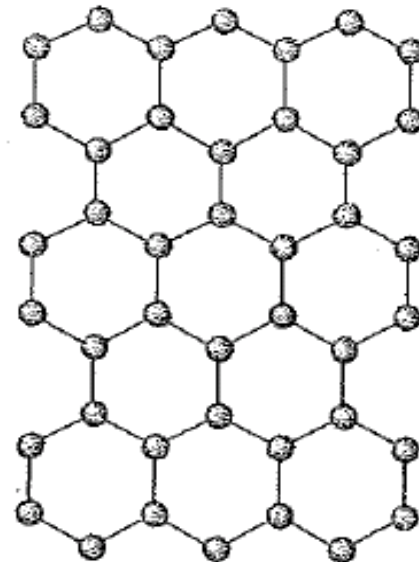
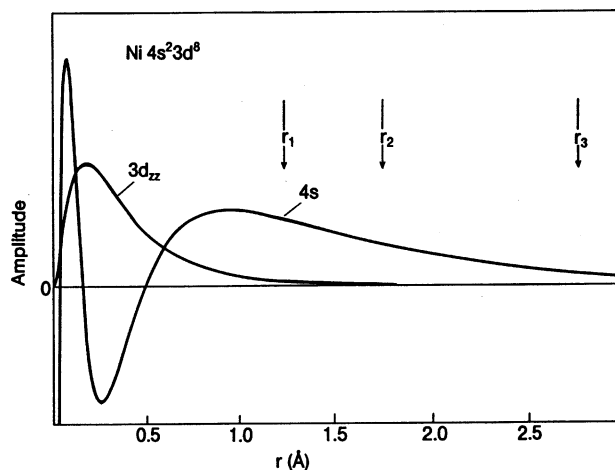


Figure 10.9 Graphite consists of layers of carbon atoms in hexagonal arrays, with each atom bonded to three others. The layers are held together by weak van der Waals forces.

iii. Liên kết kim loại

Có thể coi liên kết kim loại như trường hợp giới hạn trong đó electron tập trung ở dải giữa các lõi nguyên tử. Tuy nhiên, trái với liên kết cộng hoá trị, electron có hàm sóng trải rất rộng so với khoảng cách giữa các nguyên tử. Hình 1.10 cho ta thí dụ về thành phần hướng kính của các hàm sóng 3d và 4s của Ni ở trạng thái kim loại. Hàm sóng 4s có biên độ đáng kể ngay cả ở nửa khoảng cách đến lân cận thứ 3. Điều này có nghĩa là có nhiều nguyên tử tham gia vào một liên kết. Cũng chính vì thế mà các lõi nguyên tử bị che chắn mạnh và liên kết kim loại có một số nét giống như liên kết cộng hoá trị. Tuy nhiên do sự trải rộng của hàm sóng hoá trị ra toàn bộ tinh thể, nên liên kết không có tính định hướng. Cấu trúc của tinh thể được xác định chủ yếu từ điều kiện lấp đầy tối ưu khoảng không gian trong tinh thể. Sự tương tác giữa đám mây electron mang điện âm với các ion dương trong mạng tinh thể tạo nên lực liên kết các nguyên tử.



Hình 1.10 Biên độ các hàm sóng s và d

Khác với electron s, các electron d của kim loại chuyển tiếp (KLCT) là định xứ và do đó, sự phủ là yếu. Các electron d tạo ra một loại khung cộng hoá trị trong KLCT và đóng góp phần chủ yếu vào năng lượng liên kết.

Dải hoá trị của kim loại, bao gồm các electron s, p, và đôi khi cả d nữa, không bị chiếm đầy (xem Bảng 1.1). Do sự phân bố gần như liên tục của các mức năng lượng trong dải, nên chỉ cần cung cấp một lượng năng lượng rất nhỏ là có thể làm cho electron biến đổi trạng thái. Nói riêng, có thể cung cấp năng lượng cho electron bằng cách đặt vào kim loại một điện trường. Như vậy, kim loại có tính dẫn điện tốt (và dẫn nhiệt tốt). Ngoài ra kim loại có độ dẻo cao.

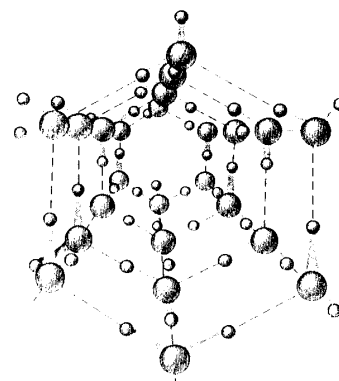
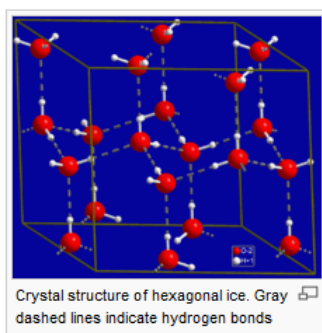
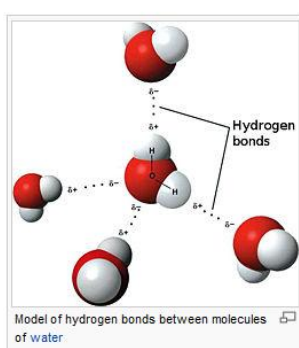
Nhìn vào Bảng 1.1, ta có thể thấy dải hoá trị chưa đầy của các kim loại xuất hiện theo những cách khác nhau. Các kim loại *kiềm* (Li, Na, K, Rb, Cs) có trạng thái nguyên tử s ở lớp ngoài cùng bị chiếm bởi một electron. Với các kim loại *kiềm thổ* (Be, Mg, Ca, Sr, Ba), ta nghĩ rằng sẽ hình thành dải hoá trị bị lấp đầy bởi các trạng thái nguyên tử s bị chiếm bởi 2 electron. Tuy nhiên, do sự phủ về năng lượng của dải trống xuất phát từ trạng thái nguyên tử p ở cùng một lớp với dải hoá trị, nên xuất hiện dải hỗn hợp s-p bị chiếm một phần. Kim loại chuyển tiếp là trường hợp đặc biệt. Ở đó, các trạng thái s và p cũng tạo thành một dải chung rộng. Như đã nêu ở trên, các electron d có hàm sóng trải rộng ít (Hình 1.10), và cũng do sự phủ ít với hàm sóng của nguyên tử lân cận, nên dải d của KLCT có bề rộng nhỏ hơn của dải sp.

Do hàm sóng electron hoá trị trong kim loại trải rộng, nên khó dự đoán bằng lý thuyết năng lượng liên kết. Mặt khác, do electron hoá trị có thể chuyển động tự do giữa các nguyên tử, nên có thể mô tả sự dẫn điện và dẫn nhiệt của kim loại một cách đơn giản.

iv. Liên kết hydro

Liên kết hydro tồn tại trong phân tử gồm một nguyên tử hydro kết hợp với hai nguyên tử khác. Ta có thể ngạc nhiên về điều này khi nghĩ rằng hydro chỉ có một electron. Tuy vậy, có thể hình dung

liên kết đó như sau: khi hydro tham gia vào liên kết cộng hoá trị với một nguyên tử âm điện mạnh như oxy chẳng hạn, thì electron của nó gần như bị chuyển hết sang nguyên tử oxy. Proton trong nguyên tử hydro có thể tác dụng lực hút lên một nguyên tử thứ hai tích điện âm. Vì nguyên tử âm điện có lớp mây electron trải rộng và vì proton có kích thước rất bé, nên không thể tạo thành liên kết với nguyên tử thứ ba. Tóm lại là nguyên tử hydro liên kết với hai nguyên tử khác thông qua liên kết hydro. Thông thường hydro liên kết với hai nguyên tử âm điện mạnh, nhưng không phải chỉ có những trường hợp như vậy. Liên kết có thể đối xứng loại A-H-A hoặc không đối xứng loại A-H-B... Tiêu chuẩn để đánh giá sự tồn tại của liên kết hydro là khi khoảng cách giữa hai nguyên tử A và B nhỏ hơn so với trường hợp khi giữa chúng chỉ có liên kết van der Waals. Dùng phổ hồng ngoại có thể khảo sát sự tồn tại của liên kết hydro, vì khi đó trên phổ ta quan sát thấy sự dịch chuyển và mở rộng của vạch phổ dao động của hydro. Nhìn chung, có nhiều hiện tượng liên quan đến liên kết hydro, và liên kết hydro khó xác định hơn các liên kết khác. Năng lượng liên kết hydro có giá trị vào khoảng 0,1 eV/liên kết.



Hình 1.11 Liên kết hydro giữa các phân tử H₂O trong nước đá

Liên kết hydro đóng vai trò quan trọng trong các hợp chất có chứa hydro cùng với các nguyên tố phi kim như F, O, N, C, Cl và S. Nó gây nên sự kết hợp các phân tử, sự polime hoá. Nó tồn tại và đóng vai trò quan trọng trong các tinh thể hữu cơ, các chất albumin, trong các cơ thể sống. Liên kết hydro làm nhiệm vụ ghép hai chuỗi xoắn kép trong phân tử ADN, và vì thế đóng vai trò chủ chốt trong cơ chế di truyền. Thí dụ điển hình về liên kết trong lĩnh vực hoá vô cơ là nước, đặc biệt khi nước ở trong trạng thái rắn. Mỗi nguyên tử oxy trong nước đá bị bao quanh bởi 4 nguyên tử oxy khác theo cấu hình tứ diện và mỗi liên kết được bảo đảm bởi các nguyên tử hydro. Liên kết hydro có mặt trong nước ở thể lỏng và đưa đến tính dị thường của hệ số giãn nở nhiệt ở 4 °C.

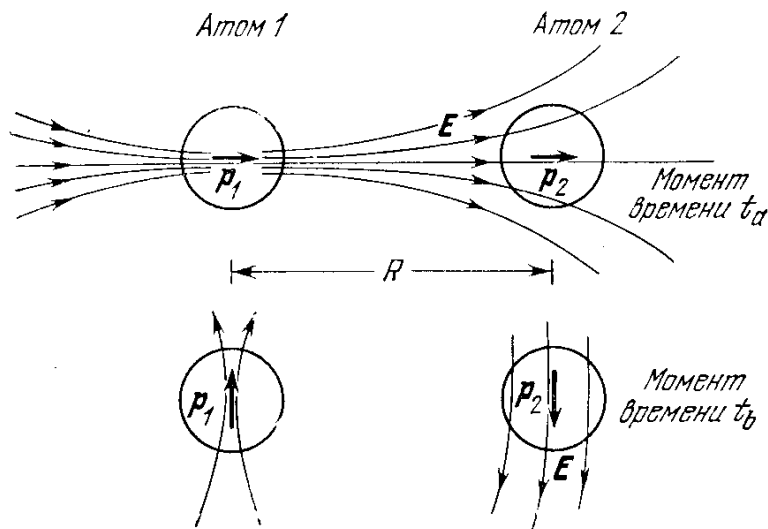
v. Liên kết van der Waals

Loại liên kết này có mặt ở mọi nơi. Tuy vậy liên kết van der Waals rất yếu nên chỉ thể hiện ra khi các loại liên kết khác không xảy ra, chẳng hạn khi có sự liên kết giữa các nguyên tử có lớp electron đầy, hoặc giữa các phân tử bão hoà. Nguồn gốc của liên kết van der Waals là những thăng giáng điện tích trong nguyên tử do những dao động bậc không (là những dao động ứng với số lượng tử $n = 0$) gây nên. Như vậy, xuất hiện mô men lưỡng cực và lực hút.

Năng lượng liên kết phụ thuộc vào độ phân cực của các nguyên tử và thường vào cỡ 0,1 eV. Bán kính liên kết nguyên tử trong liên kết van der Waals lớn hơn nhiều so với liên kết hoá học. Phần hấp dẫn của thế tương tác giữa các nguyên tử trong liên kết van der Waals biến thiên theo hàm số R^{-6} trong đó R là khoảng cách giữa các nguyên tử (hay phân tử). Có thể hiểu điều này từ tương tác giữa các lưỡng cực điện. Lưỡng cực có mô men p_1 gây ra cách nó một khoảng R một điện trường có cường độ $E \sim p_1 / R^3$. Nguyên tử thứ hai, có hệ số phân cực α , dưới tác dụng của điện trường E này sẽ có mô

men lưỡng cực $p_2 \sim \alpha p_1 / R^3$. Vì thế năng của lưỡng cực p_2 trong điện trường tỉ lệ với E và với p_2 , nên thế năng tương tác van der Waals tỉ lệ với R^{-6} .

Lực tương tác van der Waals là lực liên kết chủ yếu trong các tinh thể phân tử, tức là các tinh thể mà ở các nút mạng có các phân tử trung hoà. Hyđrô, clo, CO₂, nhiều hợp chất hữu cơ, các khí trơ hoá rắn thì tạo thành tinh thể phân tử. Các tinh thể phân tử và khí trơ có nhiệt độ nóng chảy thấp và dễ bị nén.



Hình 1-11 Giải thích cổ điển về nguồn gốc của lực van der Waals

b. Dải năng lượng của electron trong tinh thể.

Trong nguyên tử cô lập, electron nằm trên các mức năng lượng rời rạc.

Trong phân tử gồm hai nguyên tử, mỗi mức năng lượng tách thành hai mức. Nếu phân tử có N nguyên tử, thì mỗi mức năng lượng nguyên tử tách ra thành N mức.

Trong tinh thể gồm N nguyên tử, với N là số rất lớn, cỡ 10^{23} , mỗi mức nguyên tử tách ra thành N mức. Độ tách của mức năng lượng vào khoảng vài eV, tùy theo mức năng lượng nguyên tử thấp hay cao (trên thang năng lượng) và tùy theo trạng thái electron của nguyên tử (s, p hay d...). Vì vậy, hai mức kế tiếp cách nhau một khoảng năng lượng rất nhỏ, cỡ 10^{-23} eV. Vì vậy, tuy các mức năng lượng là rời rạc, nhưng do chúng rất gần nhau, nên trong nhiều trường hợp, có thể coi là chuẩn liên tục. các mức này nằm trong một *dải năng lượng*; dải năng lượng có độ rộng bằng độ tách mức. Dải này được gọi là *dải được phép*.

Giữa các dải được phép có những khoảng năng lượng mà electron trong tinh thể không có năng lượng ứng với khoảng đó; đó là những *dải cấm*.

Electron lớp ngoài cùng của nguyên tử được gọi là electron hoá trị. Mức năng lượng tương ứng gọi là mức hoá trị. Trong tinh thể, mức năng lượng này tách thành một dải năng lượng gọi là *dải hoá trị*.

Tính chất điện, và nhiều tính chất vật lí khác của tinh thể, phụ thuộc vào hai yếu tố chủ yếu sau đây:

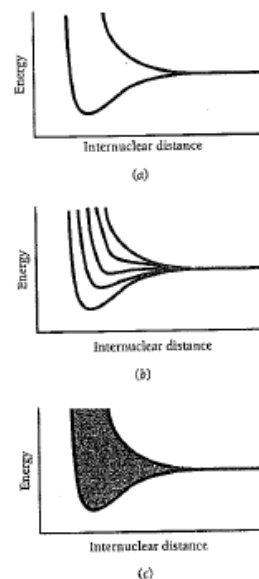


Figure 10.19 The 3s level is the highest occupied level in a ground-state sodium atom. (a) When two sodium atoms come close together, their 3s levels, initially equal, become two separate levels because of the overlap of the corresponding electron wave functions. (b) The number of new levels equals the number of interacting atoms, here 5. (c) When the number of interacting atoms is very large, as in solid sodium, the result is an energy band of very closely spaced levels.

1. Sự bố trí các dải năng lượng, độ rộng của các dải, vị trí tương đối của các dải
2. Số electron tổng cộng trong tinh thể

Khi hai yếu tố đó đã được xác định, thì ta có thể biết được sự phân bố của electron trên các dải năng lượng bằng cách áp dụng nguyên lý *năng lượng tối thiểu* và nguyên lý *loại trừ Pauli*. Theo nguyên lý năng lượng tối thiểu, các electron trong tinh thể được bố trí trên các dải năng lượng sao cho năng lượng tổng cộng của các electron là thấp nhất có thể được. Theo nguyên lý này, thì electron sẽ lần lượt chiếm các trạng thái trong các dải từ thấp lên cao, cho đến khi hết electron. Nguyên lý loại trừ Pauli nói rằng trên mỗi mức năng lượng không thể có nhiều hơn hai electron, và hai electron đó phải có spin đối song.

Biết được sự phân bố electron trên các dải năng lượng, ta có thể suy ra tính chất điện và nhiều tính chất vật lý khác của tinh thể.

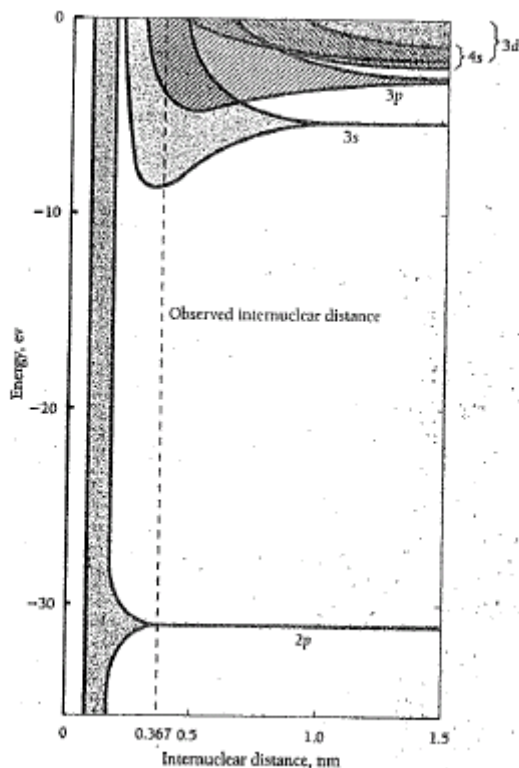


Figure 10.20 The energy levels of sodium atoms become bands as their internuclear distance decreases. The observed internuclear distance in solid sodium is 0.367 nm.

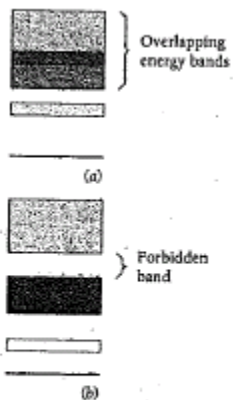


Figure 10.21 (a) The energy bands in some solids may overlap to give a continuous band. (b) A forbidden band separate nonoverlapping energy bands in other solids.

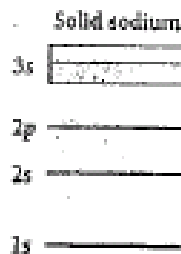


Figure 10.22 The 3s energy band in solid sodium is half filled with electrons. The Fermi energy e_F is in the middle of the band.

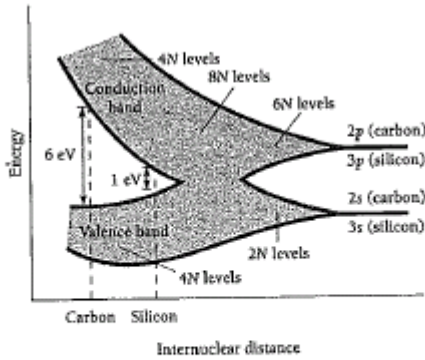


Figure 10.23 Origin of the energy bands of carbon and silicon. The 2s and 2p levels of carbon atoms and the 3s and 3p levels of silicon atoms spread into bands that first overlap with decreasing atomic separation and then split into two diverging bands. The lower band is occupied by valence electrons and the upper conduction band is empty. The energy gap between the bands depends on the internuclear separation and is greater for carbon than for silicon.

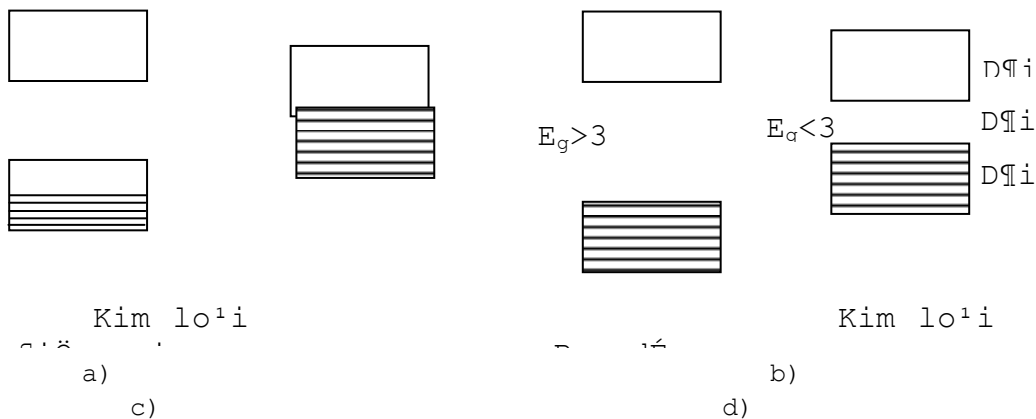
c. Phân loại vật liệu dựa trên lý thuyết dải năng lượng.

Trong vùng Brillouin thứ nhất, có N vectơ sóng khác nhau, với N là số ô sơ cấp trong tinh thể. Ứng với mỗi vectơ sóng, có thể có hai electron với hình chiếu spin trái dấu, nên trong mỗi dải năng lượng có $2N$ trạng thái. Do đó theo nguyên lý Pauli, mỗi dải năng lượng có thể chứa $2N$ electron.

Electron trong dải năng lượng bị chiếm đầy (trên mỗi mức đều có 2 electron có spin đối song) không tham gia vào quá trình dẫn điện trong tinh thể. Đó là vì trong dải đầy, không còn trạng thái tự do. Khi có điện trường ngoài đặt vào tinh thể, muốn có sự dẫn điện, phải có sự chuyển động có hướng của electron tức là vectơ sóng của các electron phải định hướng ưu tiên theo một phương. Vì mỗi mức năng lượng, ứng với một vectơ sóng, đều có 2 electron, nên không còn mức năng lượng trống, nghĩa là electron không thay đổi được giá trị của năng lượng, nghĩa là không thể tham gia vào quá trình dẫn điện.

Nếu dải năng lượng có nhiều mức năng lượng còn trống, mà electron trong dải có thể chuyển lên được dưới tác dụng của điện trường ngoài, thì dải đó được gọi là *dải dẫn*.

Tính chất dẫn điện của tinh thể được quyết định bởi sự chiếm các dải năng lượng và sự xếp đặt tương đối của các dải.



Đi năng lượng của các loⁱ vật rắn

Ta xét tinh thể mà ở mỗi nút của nó có một ion của nguyên tố hóa trị một (chẳng hạn liti, natri, kali, cesi...). Vì mỗi nguyên tử ở nút mạng đóng góp một electron vào dải dẫn, nên dải dẫn chỉ bị chiếm một nửa (Hình a). Tinh thể như vậy dẫn điện tốt. Đó là trường hợp của các *kim loại*.

Nếu ở nút mạng có các nguyên tử hóa trị hai (như beri, manhê, canxi, strônti, bari) và mỗi nguyên tử đóng góp hai electron vào dải năng lượng (dải s), thì số electron trong dải là $2N$. Trong trường hợp đó, dải năng lượng bị chiếm đầy và lẽ ra, tinh thể không dẫn điện. Tuy nhiên, trong thực tế, các nguyên tử hóa trị hai đều là kim loại. Đó là vì trong các kim loại này, dải năng lượng ứng với mức năng lượng nguyên tử cao hơn (dải p) là một dải trống, và dải này phủ một phần lên dải năng lượng bị chiếm đầy, ứng với mức năng lượng nguyên tử thấp hơn (Hình b). Như vậy, electron ở dải đầy có thể dễ dàng chuyển lên các mức năng lượng còn trống ở dải trên và tham gia vào quá trình dẫn điện giống như trong các kim loại kiềm vừa nói ở trên.

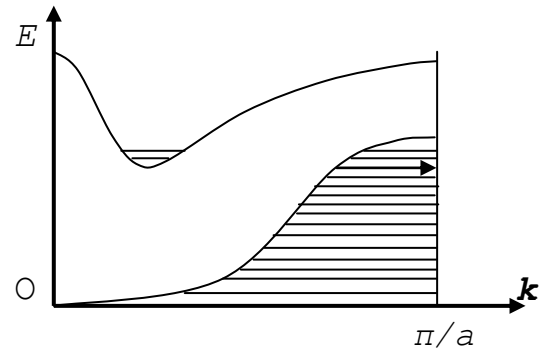
Nếu dải đầy và dải trống bên trên nó không phủ nhau, thì có thể có hai trường hợp. Trong trường hợp bề rộng dải cấm $E_g < 3 \text{ eV}$, thì ở nhiệt độ $T > 0 \text{ K}$, chuyển động nhiệt có thể chuyển một số electron từ dải hóa trị lên dải dẫn. Những electron này, khi đã nằm trên dải dẫn, có thể dễ dàng chuyển lên các mức năng lượng cao hơn trong dải và tham gia dẫn điện. Chúng được gọi là các electron tự do hay electron dẫn. Các trạng thái bị trống ở dải hóa trị bị trống trở thành các lỗ trống mang điện dương, cũng tham gia dẫn điện. Vật liệu như vậy là *bán dẫn* (Hình d). Nhiệt độ càng cao, nồng độ electron và lỗ trống càng cao, và bán dẫn dẫn điện càng tốt.

Trong trường hợp $E_g > 3 \text{ eV}$, chuyển động nhiệt, ngay cả ở nhiệt độ phòng, cũng không tạo nên một lượng đáng kể các hạt mang điện, cho nên vật rắn không dẫn điện. Đó là trường hợp của các *điện môi* (Hình c).

Trong một số tinh thể có thể xảy ra trường hợp là đáy của dải dẫn nằm hơi thấp hơn đỉnh của dải hóa trị, như ở hình bên. Khi đó, ở dải dẫn có một số electron tự do, ở dải hóa trị có một số lỗ trống. Nếu số lượng các hạt tải này tương đối nhỏ, thì vật rắn là một *bán kim*. Khi với kim loại, ở bán kim có cả electron tự do và lỗ trống với số lượng bằng nhau. Vì dải hóa trị và dải dẫn phủ nhau rất ít nên số hạt tải điện tính cho một nguyên tử ở bán kim rất nhỏ so với trong kim loại. Chẳng hạn, ở bismut (Bi), cứ 105 nguyên tử mới có một electron dẫn.

Trong kim loại, số electron dẫn hầu như không phụ thuộc nhiệt độ. Còn trong bán kim, số electron dẫn và lỗ trống tăng lên chậm theo nhiệt độ.

Nếu dải hóa trị và dải dẫn không phủ nhau, nhưng đỉnh của dải hóa trị tiếp xúc với đáy của dải dẫn, thì ta có *bán dẫn không có dải cấm* (thí dụ graphit).



Bán kim

Chuyên đề: Bán dẫn

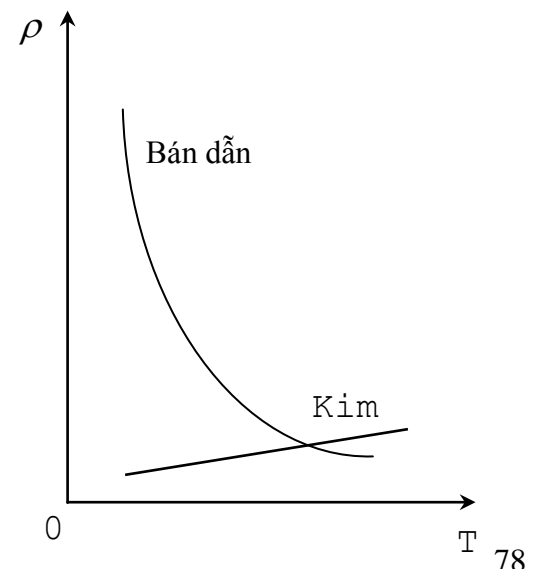
1. Tính chất vật lí của vật liệu bán dẫn

a. Đại cương về vật liệu bán dẫn

i. Sơ lược tính của b, n đến

Nhiều vật rắn kết tinh là những bán dẫn. Bán dẫn điển hình và được dùng phổ biến nhất là silic. Ngoài ra còn có các bán dẫn đơn chất khác như Ge, Se ... và các bán dẫn hợp chất như GaAs, CdTe, ZnS.... Nhiều oxit, sunfua, selenua, telurua của một số kim loại cũng là bán dẫn.

Bán dẫn có những tính chất điện khác biệt so với kim loại.



Hình 1. Điện trở suất của kim loại và bán dẫn phụ thuộc nhiệt độ

- Điện trở suất của bán dẫn nằm trong khoảng 10^{-5} đến 10^{10} Ωm , nghĩa là có giá trị *trung gian* giữa điện trở suất kim loại (10^{-8} đến 10^{-6} $\Omega\text{.m}$) và điện môi (đến 10^{18} Ωm).

- Điện trở suất của bán dẫn *giảm mạnh khi nhiệt độ tăng*, trong khi điện trở suất của kim loại tăng khi nhiệt độ tăng (xem Hình 1). Do đó ở nhiệt độ thấp, bán dẫn dẫn điện rất kém, giống như điện môi, còn ở nhiệt độ cao, bán dẫn dẫn điện khá tốt.

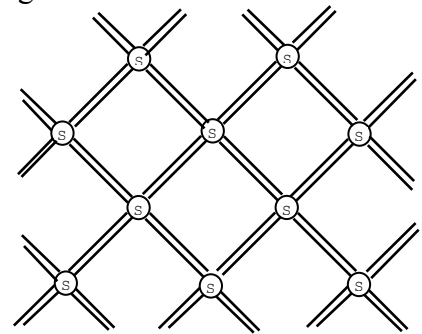
- Tính chất điện của bán dẫn phụ thuộc rất mạnh vào các tạp chất có mặt trong tinh thể.

ii. Sự dẫn điện của bán dẫn tinh khiết (bán dẫn thuần)

Ta hãy xét trường hợp bán dẫn điển hình là Si. Si là nguyên tố có hoá trị bốn, tức là lớp electron ngoài cùng của nguyên tử Si có 4 electron. Trong mạng tinh thể *bán dẫn tinh khiết*, chỉ có các nguyên tử Si. Các nguyên tử này được bố trí đều đặn, mỗi nguyên tử nằm ở tâm của một hình tứ diện mà ở các đỉnh có những nguyên tử Si khác. Để đơn giản, người ta thường biểu diễn sự sắp xếp các nguyên tử Si trong mặt phẳng như trên Hình 2. Mỗi nguyên tử Si liên kết với bốn nguyên tử lân cận thông qua các liên kết cộng hoá trị. Như vậy, xung quanh mỗi nguyên tử Si có 8 electron, tạo thành một lớp electron lấp đầy. Do đó liên kết giữa các nguyên tử trong tinh thể Si rất bền vững.

Ở nhiệt độ thấp, gần 0 K, các electron hoá trị gắn bó chặt chẽ với các nguyên tử ở nút mạng. Do đó, trong tinh thể không có hạt mang điện tự do, và bán dẫn silic không dẫn điện.

Ở nhiệt độ $T > 0$ K, nhờ dao động nhiệt của các nguyên tử, một số electron hoá trị thu thêm năng lượng và được giải phóng khỏi các liên kết. Chúng trở thành các *electron tự do*, có thể tham gia vào sự dẫn điện giống như electron dẫn trong kim loại nên được gọi là *electron dẫn*. Ngoài ra, khi một electron bứt khỏi liên kết, thì xuất hiện một liên kết bị trống. Người ta gọi nó là *lỗ trống*. Vì mỗi liên kết trống thiếu một electron, nên lỗ trống mang điện tích nguyên tố dương. Một electron từ một liên kết gần lỗ trống có thể chuyển đến để lấp đầy liên kết bị trống này và như vậy, làm xuất hiện một lỗ trống ở một vị trí khác trong tinh thể. Điều đó có nghĩa là lỗ trống cũng có thể dịch chuyển trong tinh thể, do đó nó cũng tham gia vào sự dẫn điện. Như vậy có sự phát sinh đồng thời của một electron dẫn và một lỗ trống.



Hình 2. Sơ đồ vị trí các nguyên tử trong tinh thể Si

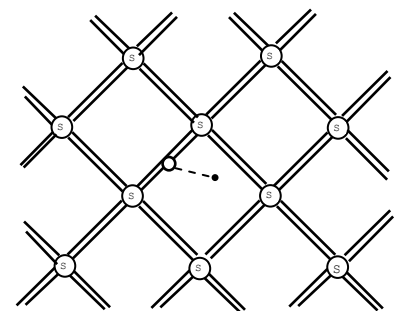
Ta còn cần nói đến quá trình ngược lại, trong đó một electron tự do chiếm một mối liên kết bị trống và trở lại thành electron liên kết. Quá trình này làm mất đi đồng thời một electron tự do và một lỗ trống, và được gọi là quá trình *tái hợp electron-lỗ trống*. Ở một nhiệt độ xác định, có sự cân bằng giữa quá trình phát sinh và quá trình tái hợp.

Như vậy, *trong bán dẫn có hai loại hạt mang điện tự do là electron và lỗ trống*. Ở bán dẫn tinh khiết, số electron và số lỗ trống bằng nhau. Sự dẫn điện trong trường hợp này gọi là *sự dẫn điện riêng* của bán dẫn. Bán dẫn tinh khiết còn được gọi là *bán dẫn loại i*.

Nhiệt độ càng cao, thì số electron và lỗ trống càng lớn. Do đó, **độ dẫn điện của bán dẫn tăng khi nhiệt độ tăng**. Tính chất này của bán dẫn được ứng dụng để chế tạo ra *nhiệt điện trở*. Ở nhiệt độ phòng, bán dẫn Si tinh khiết dẫn điện kém, vì có rất ít electron tự do và lỗ trống.

Khi không có điện trường ngoài đặt vào tinh thể bán dẫn, các electron và lỗ trống chuyển động nhiệt hỗn loạn, không ưu tiên theo chiều nào, do đó không có dòng điện.

Khi có điện trường đặt vào, các hạt mang điện tự do có thêm chuyển động có hướng dưới tác dụng của lực điện trường: electron chuyển động ngược chiều điện trường, lỗ trống chuyển động thuận



Hình 3. Sự tạo thành cặp electron-lỗ trống trong bán dẫn tinh khiết.

Electron hoá trị bứt khỏi liên kết, tạo nên một electron tự do và một lỗ trống.

chiều. Do đó, xuất hiện dòng điện. Vậy, **dòng điện trong bán dẫn tinh khiết là dòng chuyển dời có hướng của các electron và lỗ trống.**

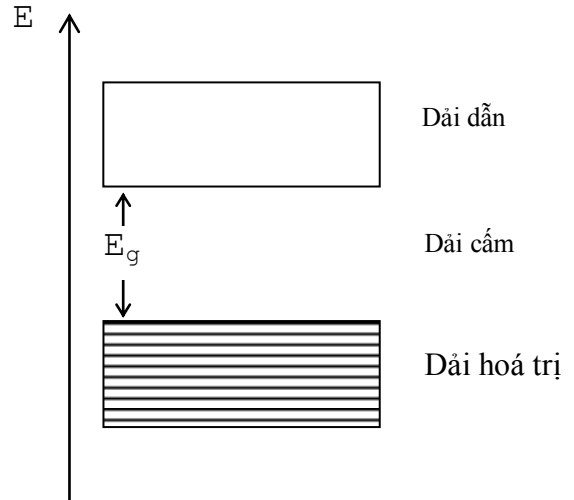
Theo lí thuyết dải năng lượng của vật rắn, ở nhiệt độ 0K, các electron hoá trị liên kết với các nguyên tử Si thì chiếm đầy dải năng lượng bị chiếm cao nhất, gọi là **dải hoá trị** (Hình 4). Do ở dải hoá trị không còn mức năng lượng trống (hay trạng thái trống), nên electron liên kết không thể thay đổi được năng lượng bằng cách chuyển sang mức năng lượng khác trong dải đó. Điều đó có nghĩa là khi có điện trường đặt vào bán dẫn, thì các electron liên kết không thay đổi được chuyển động của chúng, hay nói khác đi, điện trường không gây nên dòng electron trong bán dẫn. Trong trường hợp này, bán dẫn không dẫn điện.

Bên trên dải hoá trị, các dải năng lượng hoàn toàn trống. Dải trống thấp nhất gọi là **dải dẫn**. Đáy dải dẫn cách đỉnh dải hoá trị một khoảng có bề rộng E_g gọi là **dải cấm**. Trong bán dẫn Si, $E_g=1,1$ eV. Khi nhiệt độ cao hơn 0 K, một số electron liên kết ở dải hoá trị có thể thu được năng lượng đủ để vượt qua dải cấm và nhảy lên dải dẫn (Hình 5) Những electron này chiếm các mức năng lượng ở đáy dải dẫn; bên trên còn rất nhiều mức năng lượng trống nằm rất sát nhau. Electron khi thu được năng lượng đủ rất nhỏ, đã có thể chuyển lên mức năng lượng cao hơn còn trống; electron cũng có thể chuyển từ mức cao xuống mức trống thấp hơn. Như vậy, electron ở dải dẫn có thể chuyển động tự do trong bán dẫn. Ta gọi chúng là các **electron dẫn**. Khi có điện trường ngoài đặt vào, các electron dẫn chuyển động ngược chiều điện trường, gây nên dòng điện trong bán dẫn. Trong trường hợp này, bán dẫn dẫn điện.

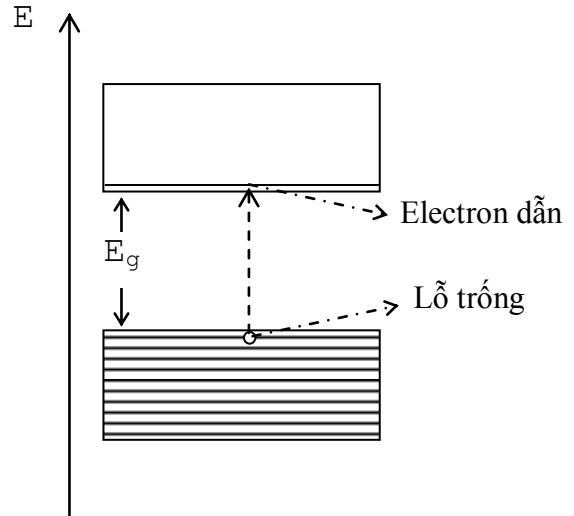
Khi một electron từ dải hoá trị thu được đủ năng lượng và chuyển lên dải dẫn, thì nó để lại trong dải hoá trị một trạng thái trống. Electron ở trạng thái khác, có năng lượng thấp hơn, chỉ cần thu được năng lượng rất nhỏ là có thể chuyển lên trạng thái này và lại để lại một trạng thái trống ở mức năng lượng của electron lúc đầu. Như vậy, trạng thái trống có thể thay đổi mức năng lượng của nó, nghĩa là có thể chuyển động tự do. Khi có điện trường đặt vào bán dẫn, trạng thái trống chuyển động thuận chiều điện trường giống như **hạt mang điện dương**. Ta gọi chúng là các **lỗ trống**. Từ lí luận trên, ta còn thấy là khi năng lượng của lỗ trống tăng, thì nó chiếm các năng lượng ở phía dưới trong dải hoá trị. Năng lượng lỗ trống là thấp nhất khi nó ở đỉnh dải hoá trị.

Hai cách xét trên đây, trong mạng tinh thể và trong sơ đồ dải năng lượng của bán dẫn, đều được sử dụng để giải thích các tính chất điện của bán dẫn. Sơ đồ dải năng lượng thuận tiện hơn trong những trường hợp mà người ta chú ý đến giá trị của năng lượng trong các quá trình.

Theo sơ đồ dải năng lượng, mỗi khi electron liên kết thu được năng lượng đủ để vượt qua dải cấm, thì một cặp electron - lỗ trống được tạo ra. Khi ta chiếu ánh sáng có năng lượng photon $\hbar\omega \geq E_g$ thì những cặp electron - lỗ trống được tạo thêm, làm tăng độ dẫn



Hình 4. Sơ đồ dải năng lượng của bán dẫn ở $T = 0$ K, dải hoá trị bị chiếm đầy bởi các electron liên kết, dải dẫn trống hoàn toàn. Những đường nằm ngang tượng trưng cho các trạng thái bị chiếm bởi electron.



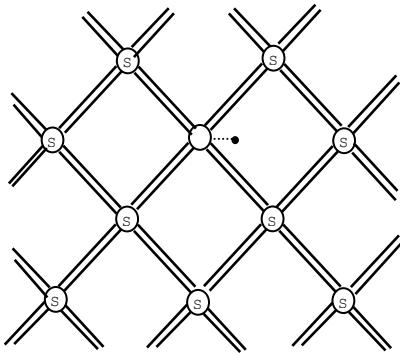
Hình 5. Sự tạo thành cặp electron-lỗ trống ở $T > 0$ K, electron có thể thu được đủ năng lượng và chuyển lên dải dẫn. Một lỗ trống xuất hiện trong dải hoá trị.

điện của bán dẫn. Đó là *hiện tượng quang dẫn*. Nó được ứng dụng trong các *quang điện trở*, là những linh kiện có điện trở giảm đi khi cường độ ánh sáng chiếu vào nó tăng lên.

iii. Sự dẫn điện của bán dẫn có tạp chất

Nếu bán dẫn Si có pha tạp chất, tức là ngoài các nguyên tử Si, còn có các nguyên tử khác, thì tính dẫn điện của bán dẫn thay đổi rất nhiều. Chỉ cần một lượng rất nhỏ tạp chất (với tỉ lệ vài phần triệu), độ dẫn điện của bán dẫn có thể tăng hàng vạn, hàng triệu lần. Khi đó, cùng với sự dẫn điện riêng còn có sự *dẫn điện do tạp chất*.

• Bán dẫn loại n



Hình 6. Tạp chất P tạo thêm electron tự do
 Khi một nguyên tử P thay thế nguyên tử Si, một electron thoát khỏi nguyên tử P và trở thành electron tự do, mà không có lỗ trống được tạo thành.

Giả sử tạp chất là photpho (P). Mỗi nguyên tử P có năm electron ở lớp ngoài. Khi P thay thế cho Si ở một nút mạng tinh thể, nó đóng góp bốn electron để tạo thành liên kết với các nguyên tử Si. Electron còn lại liên kết yếu, ngay cả ở nhiệt độ thấp, nó có thể dễ dàng bứt khỏi nguyên tử P và trở thành electron tự do. Nguyên tử P trở thành một ion dương, nằm tại nút mạng. Vậy tạp chất P đã tạo nên thêm các electron dẫn, mà không làm tăng thêm số lỗ trống. Do đó, bán dẫn Si pha P có số electron dẫn nhiều hơn số lỗ trống; ta gọi electron là *hạt mang điện cơ bản* (hay *đa số*), lỗ trống là *hạt mang điện không cơ bản* (hay *thiểu số*). Bán dẫn như vậy được gọi là bán dẫn electron hay *bán dẫn loại n*.

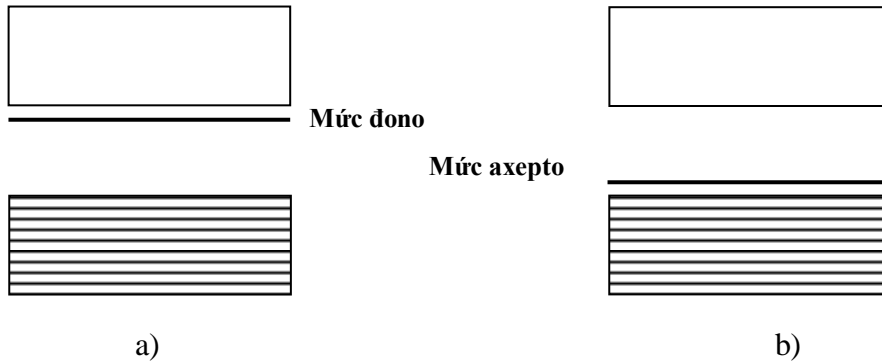
• Bán dẫn loại p

Nếu tạp chất là nguyên tố hoá trị 3 như bo (B), thì còn thiếu một electron để tạo thành liên kết giữa nguyên tử B với bốn nguyên tử Si lân cận. Một electron ở liên kết gần đó có thể chuyển đến lấp đầy liên kết này và tạo thành lỗ trống. Còn nguyên tử B thì trở thành một ion âm nằm ở nút mạng. Như vậy, tạp chất B đã tạo thêm lỗ trống. Trong bán dẫn Si pha B, số lỗ trống nhiều hơn số electron dẫn. Lỗ trống là hạt mang điện cơ bản, electron là hạt mang điện không cơ bản. Đó là bán dẫn lỗ trống hay *bán dẫn loại p*.

• Sơ đồ dải năng lượng của bán dẫn tạp chất

Theo sơ đồ dải năng lượng, trong bán dẫn loại n, tạp chất tạo thành một mức năng lượng tạp chất, gọi là *mức dono*. Mức dono nằm trong dải cấm, phía dưới đáy dải dẫn, cách đáy dải dẫn một khoảng E_d rất nhỏ, cỡ 0,01 eV (Hình 7a). Do đó, chỉ cần thu được năng lượng E_d , là electron của nguyên tử tạp chất đã nhảy lên được dải dẫn trở thành electron dẫn, còn nguyên tử tạp chất trở thành ion dương. Ta cũng thấy ngay là sự tạo thành electron dẫn như vậy không làm xuất hiện lỗ trống trong dải hoá trị.

Trong bán dẫn loại p, tạp chất tạo thành *mức axepo* trong dải cấm, nằm phía trên, cách đỉnh dải hoá trị một khoảng E_a . Electron ở dải hoá trị chỉ cần thu năng lượng E_a là có thể nhảy lên mức axepo. Kết quả là một lỗ trống được sinh ra trong dải hoá trị, không kèm theo sự tạo thành electron trong dải dẫn.



Hình 7. Sơ đồ dải năng lượng của bán dẫn pha tạp
 a) Bán dẫn loại n. Mức dono nằm gần đáy dải dẫn.
 b) Bán dẫn loại p. Mức axepto nằm gần đỉnh dải hoá trị.

• **Nhận xét chung về các tính chất của bán dẫn tạp chất**

+Khoảng cách giữa các mức tạp chất và các dải tương ứng thường là rất nhỏ, cỡ phần trăm eV. Do đó, ngay cả ở những nhiệt độ rất thấp, khoảng vài chục kenvin, thì các hạt tải do tạp chất tạo nên đã tồn tại trong bán dẫn và các nguyên tử tạp chất đã bị ion hoá, trong khi mà số các hạt tải điện do sự dẫn điện riêng gây ra còn rất ít. Ở khu vực nhiệt độ cao hơn, như ở nhiệt độ phòng, thì trong những bán dẫn thông dụng (như Si, có bề rộng dải cấm 1,1 eV) sự dẫn điện riêng còn yếu, vì vậy sự dẫn điện do tạp chất vẫn quyết định. Ở nhiệt độ cao hơn nữa (chẳng hạn, trên 150⁰C với bán dẫn Si), thì sự dẫn điện riêng chiếm ưu thế. Khi đó các linh kiện dựa trên lớp chuyển tiếp p-n không làm việc được nữa (vì sự khác nhau giữa bán dẫn loại p và loại n hầu như không còn nữa).

+Trong khoảng nhiệt độ tương đối thấp, mà ở đó các tạp chất đã ion hoá hết nhưng sự dẫn điện riêng còn rất yếu, thì có thể xảy ra tình huống là khi nhiệt độ tăng, điện trở suất của bán dẫn tăng. Đó là vì trong những trường hợp này, khi nhiệt độ tăng, số lượng hạt tải (do sự tạo thành các cặp electron-lỗ trống gây nên) hầu như không tăng, nhưng cản trở do dao động mạng gây nên đối với chuyển động của các hạt tải lại tăng lên mạnh.

+ Tạp chất được pha vào bán dẫn làm tăng số hạt tải điện. Tùy thuộc tạp chất mà những hạt tải điện tăng thêm đó là electron hay lỗ trống. Chẳng hạn, nếu ta pha photpho vào bán dẫn silic, thì tạp chất này làm tăng số electron, nhưng không làm tăng số lỗ trống.

Như vậy, việc pha tạp chất vào bán dẫn tinh khiết không những làm tăng mạnh số lượng các hạt tải điện mà còn làm thay đổi số lượng tương đối của hai loại hạt tải: electron và lỗ trống, và do đó làm thay đổi loại bán dẫn, chuyển từ bán dẫn tinh khiết, hay bán dẫn riêng, còn gọi là *bán dẫn loại i* (từ tiếng Anh intrinsic có nghĩa là riêng) sang loại p hoặc n.

Có những trường hợp bán dẫn chứa vài ba loại tạp chất, trong đó có tạp chất tạo ra electron, có tạp chất tạo ra lỗ trống. Khi đó loại của bán dẫn (loại p hoặc loại n) và nồng độ hạt tải điện tùy thuộc vào tương quan nồng độ giữa các loại tạp chất. Người ta lợi dụng tính chất này để thay đổi loại của bán dẫn và nồng độ hạt tải điện, thông qua việc pha các tạp chất một cách thích hợp.

2. Lớp chuyển tiếp p-n

a. Sự hình thành lớp chuyển tiếp p-n

•Lớp chuyển tiếp p-n được hình thành khi ta cho hai mẫu bán dẫn khác loại, loại p và loại n, tiếp xúc với nhau (xem Hình 8). Khi có sự tiếp xúc, các hạt mang điện tự do, gồm lỗ trống và electron, sẽ khuếch tán từ mẫu p sang mẫu n và ngược lại. Tuy nhiên, do ở bán dẫn p, hạt mang điện đa số là lỗ trống, nên dòng khuếch tán từ bán dẫn p sang n chủ yếu là dòng lỗ trống. Lỗ trống từ p sang n tái hợp

với electron tự do. Do đó, ở phía bán dẫn n gần mặt phân cách hai mẫu bán dẫn không còn hạt mang điện tự do nữa. Ở đó chỉ có các ion tạp chất mang điện dương. Tương tự, từ phía n sang phía p, dòng khuếch tán chủ yếu là electron. Phía p gần mặt phân cách hai mẫu, có các ion tạp chất mang điện âm.

Kết quả của sự khuếch tán là ở mặt phân cách giữa hai mẫu bán dẫn, bên phía bán dẫn n có một lớp điện tích dương, bên phía bán dẫn p có một lớp điện tích âm. Tại đó xuất hiện một *điện trường trong* \vec{E} hướng từ phía n sang p. Điện trường này ngăn cản sự khuếch tán các hạt mang điện đa số (và thúc đẩy sự khuếch tán các hạt thiểu số). Cường độ của điện trường tăng dần, làm cho dòng khuếch tán các hạt mang điện đa số giảm dần. Sự khuếch tán dừng lại khi cường độ điện trường này đạt giá trị ổn định. Ta nói rằng ở chỗ tiếp xúc hai loại bán dẫn đã hình thành *lớp chuyển tiếp p-n*. Lớp chuyển tiếp có điện trở lớn, vì ở đó hầu như không có hạt mang điện tự do.

Trong thực tế, lớp chuyển tiếp p-n được tạo thành khi người ta pha các tạp chất một cách thích hợp vào các phần khác nhau của một mẫu bán dẫn.

- Khi hình thành lớp chuyển tiếp p-n, thì các dải năng lượng bị cong đi ở hai bên của lớp chuyển tiếp như ở Hình 10. Trên hình ta chỉ vẽ đáy của dải dẫn (kí hiệu là E_C) và đỉnh của dải hoá trị (kí hiệu là E_V). Giữa hai phía của lớp chuyển tiếp có một hiệu điện thế, ứng với điện thế cao ở phía bán dẫn n, điện thế thấp ở phía p. Hiệu điện thế này liên hệ với điện trường trong \vec{E} ở lớp chuyển tiếp có chiều từ p sang n. Do hiệu điện thế này mà xuất hiện hiệu năng lượng của electron và lỗ trống giữa hai phía như thấy trên hình.

Trên sơ đồ, E_F là mức năng lượng Fermi, là mức năng lượng chung cho hệ gồm hai mẫu bán dẫn. Nó xác định sự phân bố của các hạt tải điện theo năng lượng. Trong những bán dẫn thông thường, có thể coi gần đúng mức Fermi trùng với các mức tạp chất (đono ở n và axepo ở p). Đây cũng là lí do để các dải năng lượng bị cong đi ở lớp chuyển tiếp.

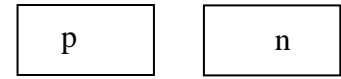
b. Dòng điện thuận và dòng điện ngược qua lớp chuyển tiếp p-n

- Ta mắc hai đầu của mẫu bán dẫn vào một nguồn điện có hiệu điện thế V, sao cho cực dương của nguồn nối với bán dẫn p, cực âm nối với bán dẫn n, như trên Hình 11. Điện trường ngoài \vec{E}_n do nguồn điện gây ra tại lớp chuyển tiếp p-

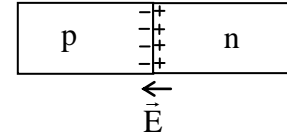
n ngược chiều với điện trường trong \vec{E} của lớp chuyển tiếp, do đó làm yếu điện trường trong. Kết quả là dòng chuyển dời của các hạt mang điện đa số được tăng cường. Dòng các hạt đa số gây nên dòng điện I có cường độ lớn chạy theo chiều từ bán dẫn p sang bán dẫn n.

Đó là *dòng điện thuận*. Dòng điện này do *hiệu điện thế thuận* của nguồn điện gây nên và tăng nhanh khi hiệu điện thế tăng. Đây là trường hợp lớp chuyển tiếp p-n mắc theo chiều thuận (còn gọi là lớp chuyển tiếp p-n được *phân cực thuận*).

- Ta đổi cực của nguồn điện mắc vào mẫu bán dẫn, tức là mắc cực dương vào bán dẫn n, cực âm vào bán dẫn p. Điện trường ngoài \vec{E}_n cùng chiều với điện trường trong \vec{E} , làm tăng cường điện trường trong. Chuyển dời của các hạt thiểu số được tăng cường, ngược lại, chuyển dời của các hạt đa số hoàn toàn bị ngăn cản. Qua lớp chuyển tiếp có dòng các hạt mang điện thiểu số, gây nên dòng điện I chạy từ

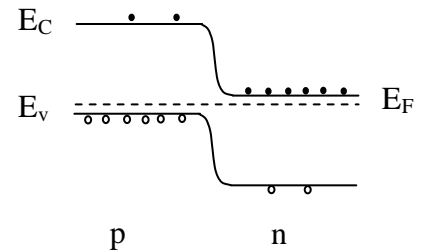


a)

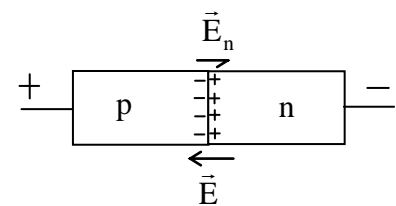


b)

Hình 9. Sự hình thành lớp chuyển tiếp p-n



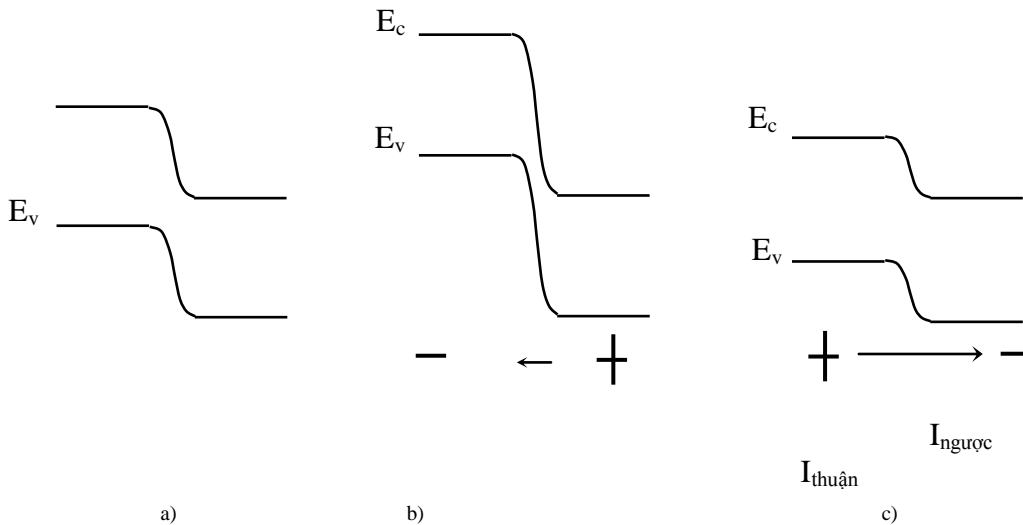
Hình 10. Sơ đồ dải năng lượng của lớp chuyển tiếp p-n. Các hình tròn đen biểu thị electron dẫn. Các vòng tròn biểu thị lỗ trống.



Hình 11. Lớp chuyển tiếp p-n mắc vào nguồn điện theo chiều thuận

Điện trường ngoài \vec{E}_n ngược chiều với điện trường trong \vec{E} . Dòng điện thuận chạy từ p sang

phía n sang phía p. Dòng điện này có cường độ rất nhỏ và hầu như không thay đổi khi ta tăng hiệu điện thế V. Đó là *dòng điện ngược*, do *hiệu điện thế ngược* của nguồn gây nên. Đây là trường hợp lớp chuyển tiếp p-n mắc theo chiều ngược (hay *phân cực ngược*).



Hình 12. Sơ đồ dải năng lượng ở lớp chuyển tiếp p-n

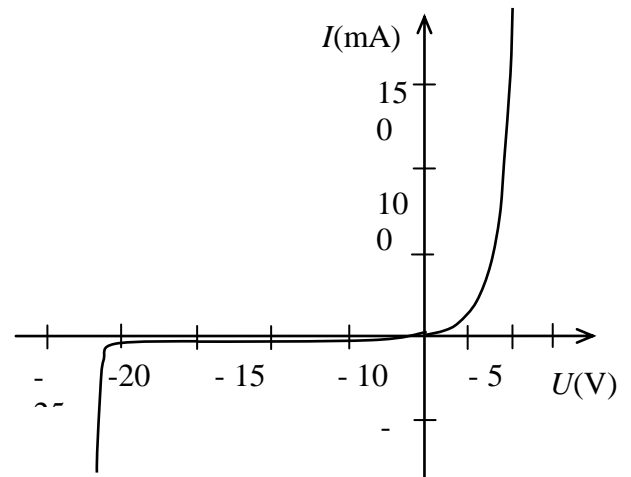
a) khi chưa phân cực, không có dòng điện;

b) khi phân cực ngược, hàng rào thế cao hơn, dòng điện ngược rất nhỏ;

c) khi phân cực thuận, hàng rào thế thấp đi, dòng điện thuận lớn.

Như vậy, dòng điện qua lớp chuyển tiếp p-n mắc theo chiều thuận (từ p sang n) có cường độ lớn, dòng điện qua lớp chuyển tiếp p-n mắc theo chiều ngược có cường độ rất nhỏ. **Lớp chuyển tiếp p-n dẫn điện tốt theo một chiều, từ p sang n.** Lớp chuyển tiếp p-n có tính chất chỉnh lưu.

- Theo sơ đồ dải năng lượng, thì khi lớp chuyển tiếp mắc theo chiều thuận, điện trường ngoài làm giảm hiệu điện thế giữa hai bên lớp p-n, do đó làm cho độ chênh năng lượng của cả electron và lỗ trống giữa hai bên lớp chuyển tiếp giảm đi. Ta xét xem điều đó dẫn đến kết quả gì. Nếu xét electron dẫn, chẳng hạn, thì khi độ chênh năng lượng giảm đi, electron ở phía n (phía phải của Hình 12c) dễ dàng vượt qua hàng rào năng lượng để sang phía p hơn, vì hàng rào năng lượng đã thấp đi. Mà phía n thì nhiều electron (hạt mang điện đa số), nên dòng điện chạy qua lớp chuyển tiếp có giá trị lớn. Với lỗ



Hình 12 Đường đặc trưng vôn-ampe của lớp chuyển tiếp p-n.

Khi hiệu điện thế ngược khá lớn, sẽ xảy ra hiện tượng đánh thủng và dòng ngược tăng mạnh.

trông cũng có hiện tượng tương tự.

Khi lớp chuyển tiếp mắc theo chiều ngược, hàng rào năng lượng cao lên (Hình 12 b). Chuyển động của các hạt đa số bị cản trở nhiều hơn. Còn chuyển động của hạt thiểu số lại được tăng cường, nhưng chúng chỉ gây nên dòng điện rất nhỏ.

c. Đặc trưng vôn-ampe của lớp chuyển tiếp p-n

Sự phụ thuộc của cường độ dòng điện I qua lớp chuyển tiếp p-n vào hiệu điện thế U đặt vào lớp chuyển tiếp, gọi là *đặc trưng vôn-ampe* của lớp chuyển tiếp, có dạng:

$$I = I_0(e^{U/kT} - 1)$$

ở đây I và U được quy ước là các đại lượng đại số. I có dấu dương nếu là dòng điện thuận. U có dấu dương nếu là hiệu điện thế thuận.

Đồ thị biểu diễn quan hệ I, U của lớp chuyển tiếp p-n, gọi là *đường đặc trưng vôn-ampe*, được thấy trên Hình 12.

Trong thực tế, người ta chỉ sử dụng diot phân cực thuận đến giá trị hiệu điện thế thuận cỡ một vài von. Đó là vì, với điện thế thuận cao hơn, dòng điện thuận có giá trị rất lớn, làm hỏng lớp chuyển tiếp.

Khi diot phân cực ngược, dòng ngược rất nhỏ và hầu như không tăng theo hiệu điện thế. Tuy nhiên, nếu hiệu điện thế ngược quá lớn, điện trường trong \bar{E}_t ở lớp chuyển tiếp quá lớn, thì sẽ xảy ra hiện tượng "đánh thủng" lớp chuyển tiếp và dòng ngược tăng lên mạnh (xem Hình 12). Nói chung, khi đó lớp chuyển tiếp bị hỏng.

3. Linh kiện bán dẫn

Các dụng cụ bán dẫn đều hoạt động trên cơ sở tính chất điện đặc biệt của bán dẫn mà chúng ta đã khảo sát tương đối chi tiết ở Bài 23. Có thể phân chia các dụng cụ bán dẫn thành hai loại:

- loại dụng cụ hoạt động dựa trên sự dẫn điện của bán dẫn, trong đó số hạt tải điện trong bán dẫn phụ thuộc vào nhiệt độ của bán dẫn hoặc vào ánh sáng (nói chung là các loại bức xạ) chiếu vào bán dẫn. Nhiệt điện trở và quang điện trở là những dụng cụ thuộc loại này.

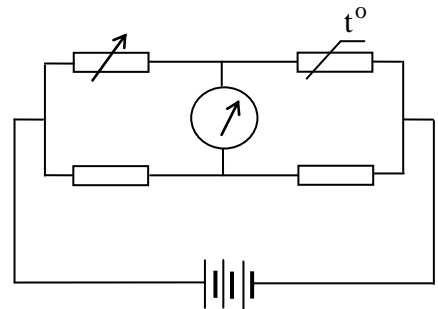
- loại dụng cụ hoạt động dựa trên lớp chuyển tiếp p-n. Thuộc loại này, có các diot, tranzito hai lớp chuyển tiếp p-n, tranzito trường. Các mạch vi điện tử có chứa rất nhiều dụng cụ loại này. Ngoài ra, ở những vi mạch, các lớp chuyển tiếp p-n còn được sử dụng làm vùng ngăn cách giữa các linh kiện.

a. Nhiệt điện trở và quang điện trở

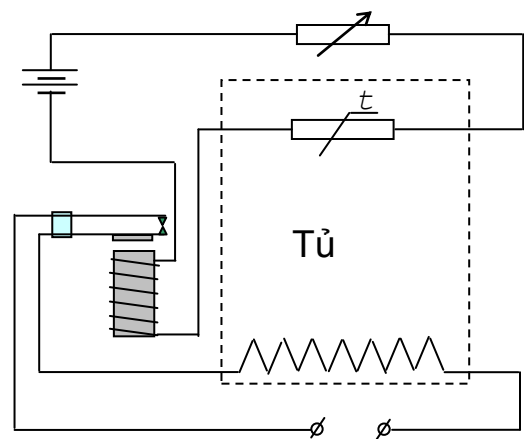
i. Nhiệt điện trở

Sự phụ thuộc mạnh của điện trở bán dẫn vào nhiệt độ được ứng dụng để làm *nhiệt điện trở* bán dẫn. Đó là một dụng cụ gồm một mẫu bán dẫn nối với hai dây dẫn. Khi nhiệt độ tăng, điện trở mẫu bán dẫn giảm. Nhiệt điện trở được dùng để đo nhiệt độ, để điều chỉnh và khống chế nhiệt độ. Nhiệt điện trở thường được làm từ bán dẫn là oxit kim loại chuyển tiếp, hoặc Ge, Si.

Nhiệt điện trở được dùng để đo nhiệt độ, để điều chỉnh và khống chế nhiệt độ.



Hình 24.1 Sơ đồ dụng cụ đo nhiệt độ dùng dòng nhiệt điện trở



Hình 24.2 Sơ đồ mạch tự động đơn giản dùng nhiệt điện trở để duy trì nhiệt độ trong tủ sấy.

Người ta mắc nhiệt điện trở vào một nhánh của cầu Wheastone (Hình 24.1). Ở một nhiệt độ nào đó, người ta điều chỉnh cho cầu cân bằng, điện kế mắc trên cầu không có dòng điện chạy qua. Khi nhiệt độ thay đổi, kim điện kế lệch khỏi vị trí cân bằng. Người ta thường chia thang đo của điện kế theo nhiệt độ để tiện sử dụng.

• Sơ đồ nguyên tắc của một mạch khống chế nhiệt độ được vẽ trên Hình 24.2. Giả sử người ta muốn giữ nhiệt độ t trong một tủ sấy. Bình thường, tiếp điểm của rơle đóng, dây đốt có dòng điện chạy qua, làm nóng tủ sấy. Khi nhiệt độ đạt đến t , điện trở của nhiệt điện trở giảm đi, khiến dòng điện qua rơle tăng đến giá trị làm cho tiếp điểm mở ra, thì dòng điện qua dây đốt bị ngắt. Khi nhiệt độ hạ xuống, dòng điện qua rơle giảm, làm tiếp điểm đóng lại và dây đốt có dòng điện chạy qua. Dùng biến trở R , ta có thể thay đổi giá trị của nhiệt độ t cần giữ cố định trong tủ sấy.

ii. Quang điện trở

Quang điện trở được dùng để đo cường độ ánh sáng, trong các mạch tự động đóng ngắt, trong các mạch đếm. Ta có thể thiết kế một mạch tự động bật đèn chiếu sáng khi đêm xuống và tắt đèn chiếu sáng khi trời sáng, dựa trên sơ đồ tương tự như ở Hình 24.2, chỉ khác là thay vào chỗ của nhiệt điện trở là quang điện trở, và thay vào chỗ dây đốt nóng là đèn chiếu sáng. Trong thực tế, người ta các sơ đồ phức tạp hơn, có thêm mạch khuếch đại để tăng độ chính xác và ổn định của hệ tự động.

b. Các loại điôt

Điôt bán dẫn là các dụng cụ bán dẫn có hai cực, trong đó có một lớp chuyển tiếp p-n.

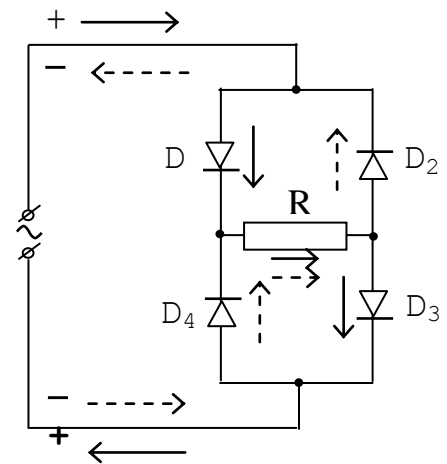
i. Điôt chỉnh lưu

• Điôt chỉnh lưu sử dụng tính chất dẫn điện (chủ yếu) theo một chiều để biến đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều. Hình 24.2 SGK trình bày sơ đồ mạch chỉnh lưu đơn giản, gọi là mạch chỉnh lưu một nửa chu kì. Ở nửa chu kì của hiệu điện thế xoay chiều đặt vào mạch, khi điện thế cực trên cao hơn cực dưới (cực trên có điện thế dương so với cực dưới), thì điôt được phân cực thuận và có dòng điện chạy qua điôt từ trái sang phải. Ở nửa chu kì sau, cực trên có điện thế âm, điôt không cho dòng điện qua. Kết quả là qua điện trở tải R chỉ có dòng điện chạy theo một chiều từ trên xuống dưới (trong một nửa chu kì). Dòng điện này có cường độ thay đổi theo thời gian.

Trên Hình 24.3 là mạch cầu chỉnh lưu, có tác dụng chỉnh lưu hai nửa chu kì. Ở nửa chu kì của dòng điện xoay chiều, khi điện thế ở cực trên của nguồn cao hơn ở cực dưới, dòng điện đi theo các mũi tên liền nét. Ở nửa chu kì sau, dòng điện đi theo các mũi tên đứt nét. Trong cả hai nửa chu kì, dòng điện đi qua điện trở tải theo một chiều, từ trái sang phải, có cường độ thay đổi theo thời gian. Nếu sử dụng thêm các mạch lọc gồm tụ điện, điện trở và cuộn cảm, có thể biến đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều có cường độ không đổi theo thời gian.

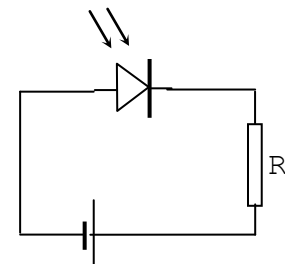
ii. Photodiôt

Ánh sáng chiếu vào lớp chuyển tiếp p-n làm xuất hiện các



Hình 24.3 Mạch chỉnh lưu hai nửa chu kì dùng điôt bán dẫn.

Trong cả hai nửa chu kì của dòng điện xoay chiều, dòng điện đều chạy qua điện trở tải R theo chiều từ trái sang phải



Hình 38.2 Ph<tt> @i<t m³c trong m¹ch.

Ph<tt> @i<t @-íc ký hiệu b>>ng @i<t cả hai môi t^{^n} (t--ng tr-ng cho tia s,ng) h-íng vao. Khi ,nh s,ng cả c-êng @é bi&on thi^{^n} chi&ou vao @i<t, th^x c-êng @é d&ng @i&on ng-íc qua @i<t c&ng bi&on

cặp electron-lỗ trống. Điện trường trong ở lớp chuyển tiếp đẩy các electron về phía bán dẫn loại n và đẩy các lỗ trống về phía bán dẫn loại p. Nếu hai đầu lớp chuyển tiếp p-n, phía bán dẫn loại p và loại n được mắc với một điện trở tải, thì có dòng điện qua điện trở tải. Lớp chuyển tiếp p-n trở thành nguồn điện. Đó là nguyên tắc của pin ánh sáng hay pin mặt trời.

Photodiode là những diode đặt trong vỏ trong suốt với ánh sáng. Nếu diode được phân cực ngược, thì dòng điện (ngược) tăng lên rất nhiều lần khi có ánh sáng thích hợp chiếu vào. Dòng ngược càng lớn khi ánh sáng càng mạnh. Photodiode có thể được sử dụng để thu tín hiệu ánh sáng, biến nó thành tín hiệu điện, giống như một quang điện trở, nhưng có độ nhạy cao hơn.

Pin mặt trời thực chất là photodiode, nhưng được sử dụng làm nguồn điện. Nó biến đổi năng lượng ánh sáng Mặt Trời thành điện năng. Để có công suất điện lớn, người ta làm các pin mặt trời có diện tích lớn để thu được nhiều ánh sáng. Các pin mặt trời được ghép một cách thích hợp để tạo thành nguồn điện có thể cung cấp hiệu điện thế và dòng điện theo yêu cầu sử dụng. Pin Mặt Trời được sử dụng rộng rãi ở những nơi xa các nhà máy điện (hải đảo, miền núi...) và trên các con tàu vũ trụ. Ở một số nơi, người ta lợp mái nhà bằng những tấm pin mặt trời có diện tích lớn, có thể cung cấp đủ năng lượng cho nhu cầu, không cần dùng điện lưới. Nhiều cánh đồng pin mặt trời đã được xây dựng ở những vùng sa mạc hoang vu, nhiều nắng, là những nguồn cung cấp điện năng sạch, bền vững.

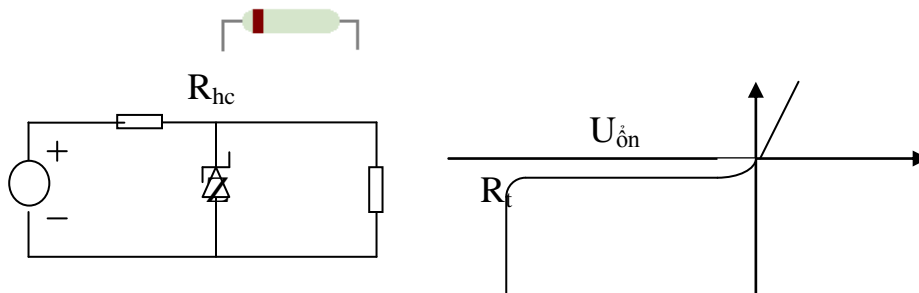
iii. Diode phát quang

Diode phát quang là một ứng dụng của lớp chuyển tiếp p-n để biến đổi điện năng thành ánh sáng. Khi ta cho dòng điện thuận đi qua diode, thì ở khu vực lớp chuyển tiếp xảy ra sự tái hợp electron và lỗ trống, và năng lượng được giải phóng. Trong một số điều kiện (cấu trúc của lớp chuyển tiếp, bản chất của bán dẫn làm diode), thì năng lượng được giải phóng dưới dạng ánh sáng: có ánh sáng phát ra từ lớp chuyển tiếp. Màu sắc của ánh sáng phụ thuộc vào bề rộng của dải cấm và vào các tạp chất được pha vào bán dẫn. Diode phát quang ngày càng được sử dụng trong nhiều lĩnh vực như làm các bộ hiển thị, đèn chiếu sáng ... do có ưu điểm là hiệu suất phát quang cao, kích thước nhỏ, sử dụng hiệu điện thế thấp, tuổi thọ lớn.

Laze bán dẫn hoạt động giống như diode phát quang, nhưng có thêm hộp cộng hưởng. Do đó ánh sáng do laze bán dẫn phát ra là khá đơn sắc, với độ rộng phổ hẹp.

iv. Diode Zener

Diode Zener cũng là loại linh kiện bán dẫn dùng một lớp chuyển tiếp p-n, nó cũng có đặc tuyến vôn-ampe giống như diode thông thường. Tuy nhiên, khu vực làm việc là ở đoạn đánh thủng, nhưng không làm hỏng lớp chuyển tiếp p-n. Đó là do công nghệ chế tạo đặc biệt với nồng độ tạp chất pha vào bán dẫn rất thấp. Ta đã biết tại đoạn đặc tuyến đánh thủng, dòng tăng rất nhanh nhưng điện áp hầu như không thay đổi. Người ta lợi dụng tính chất này để ổn định điện áp một chiều và gọi là mạch ổn áp kiểu tham số (hình 8)

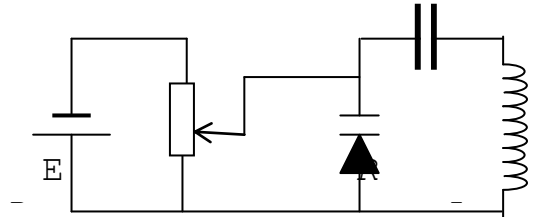


Hình 8: Hình dạng một kiểu Zener và mạch điện nguyên lý

Điốt Zener được phân cực ngược. U_z là điện áp ở hai đầu Z và là điện áp ổn định, lấy ra sử dụng. I_z là dòng qua điốt, R_{hc} là điện trở hạn chế dòng điện bảo đảm an toàn cho điốt. U_z của mỗi loại điốt là khác nhau, vì vậy khi ổn áp ở mức nào thì cần lựa chọn đúng điốt Zener của mức đó. Về mặt lý thuyết, thì điện áp ổn định tốt nhất là từ 5V đến 8V. Như vậy khi cần ổn áp 12V, thì dùng hai điốt Zener loại 6V mắc nối tiếp sẽ tốt hơn dùng một điốt Zener 12V. Mạch ổn áp kiểu tham số đơn giản, nhưng phạm vi ổn áp hẹp. Nó chỉ là cơ sở để thiết kế các bộ ổn áp có tính năng tốt hơn

v.Điốt biến dung (varicap)

Điốt biến dung là loại điốt có cấu tạo đặc biệt để có điện dung lớp chuyển tiếp p-n lớn, có thể thay thế cho tụ điện. Giá trị điện dung của điốt thay đổi nhờ sự thay đổi điện áp đặt vào hai đầu của nó. Hiện nay điốt biến dung được dùng khá phổ biến trong lĩnh vực cao tần, vì kích thước nhỏ nên điện dung ký sinh nhỏ và độ tin cậy cao rất thích hợp cho công nghệ điện tử hiện đại. Ví dụ về mạch chọn sóng cộng hưởng dùng varicap được nêu ở hình bên.

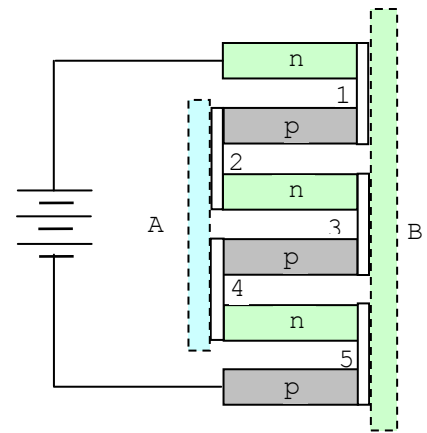


Điốt biến dung mắc trong mạch cộng hưởng

vi. Pin nhiệt điện và thiết bị làm lạnh nhờ

hiệu ứng Peltier

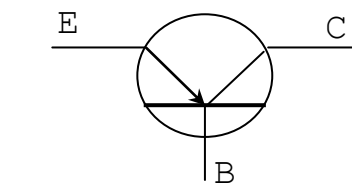
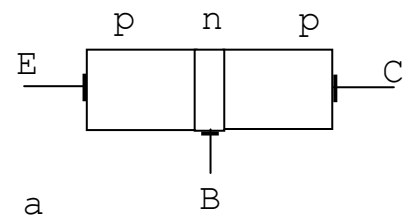
Pin nhiệt điện bán dẫn là một chuỗi các thanh bán dẫn loại n và loại p mắc (hàn với nhau) nối tiếp, xen kẽ nhau. Như đã nói ở Bài 23, giữa hai phía của mỗi lớp chuyển tiếp p-n có một hiệu điện thế tiếp xúc. Hiệu điện thế này phụ thuộc vào bản chất các bán dẫn, vào tạp chất và vào nhiệt độ. Ngoài ra, khi nhiệt độ ở hai đầu của một thanh bán dẫn khác nhau, thì có một dòng hạt tải điện chạy từ đầu nóng sang đầu lạnh, làm xuất hiện một hiệu điện thế giữa hai đầu thanh. Nếu ta giữ các mối hàn ở nhiệt độ khác với các mối hàn chẵn, thì trong mạch có một suất nhiệt điện động bằng tổng đại số các hiệu điện thế trên các mối hàn và trên các thanh bán dẫn. Chênh lệch nhiệt độ càng cao thì suất nhiệt điện động càng lớn. Hiện tượng này gọi là *hiệu ứng Zêbec* (Seebeck).



Hình 24.4 Thiết bị làm lạnh nhờ hiệu ứng Penchiê.

Các mối hàn lẻ lạnh đi. Các mối hàn chẵn nóng lên. B là bộ phận cần làm lạnh. A là bộ phận tản nhiệt.

Hiện tượng ngược lại gọi là *hiệu ứng Penchiê* (Peltier). Khi cho dòng điện chạy qua chuỗi các thanh bán dẫn loại p và loại n mắc xen kẽ nhau, thì có những mối hàn (chẵn, chẵn hạn) nóng lên, còn những mối hàn khác (lẻ) lạnh đi, như trên Hình 24.4. Ở những mối hàn mà các hạt tải chuyển động từ nơi chúng có năng lượng thấp đến nơi chúng có năng lượng cao, thì các hạt tải nhận thêm năng lượng từ môi trường; ở đó nhiệt độ của mối hàn thấp xuống. Ngược lại, nếu các hạt tải chuyển đến nơi có năng lượng thấp hơn, thì chúng giải phóng năng lượng, làm cho mối hàn nóng lên. Ngoài ra, trong một thanh bán dẫn, nếu chiều chuyển động của các hạt tải điện gây nên dòng điện mà cùng chiều với dòng hạt tải điện do chênh lệch nhiệt độ giữa hai đầu thanh bán dẫn, thì có sự tỏa nhiệt phụ. Nếu hai chiều này ngược nhau thì có sự hấp thụ nhiệt. Đó là hiệu ứng Thompson. Kết quả của hai hiện tượng trên đây là có những mối hàn nóng lên, có những mối hàn lạnh đi. Người ta ứng dụng hiệu ứng này để chế tạo các thiết bị làm lạnh có kích thước nhỏ, tiêu thụ ít năng lượng, không gây tiếng ồn. Những bộ làm lạnh hiện đại có thể tạo nên chênh lệch nhiệt độ đến 50 °C giữa các mối hàn nóng và các mối hàn lạnh. Nếu ghép các bộ làm lạnh thành nhiều tầng, thì có thể đạt được những



Hình 38.3 Tranzito p-n-p
a) cấu tạo ; b) kí hiệu

nhiệt độ rất thấp.

c. Tranzito

i. Tranzito lưỡng cực

Tranzito p-n-p (gọi là tranzito hai lớp chuyển tiếp hay tranzito lưỡng cực, để phân biệt với tranzito trường) có sơ đồ dải năng lượng được vẽ trên Hình 24.5. Ta chú ý rằng khu vực bán dẫn n (của cực gốc) có chiều dày rất nhỏ và có nồng độ hạt tải thấp.

Tranzito là một dụng cụ bán dẫn có hai lớp chuyển tiếp p-n. Tranzito được tạo thành từ một mẫu bán dẫn, trên đó bằng cách khuếch tán các tạp chất, người ta tạo thành ba khu vực bán dẫn, theo thứ tự là p-n-p hoặc n-p-n. Khu vực ở giữa có chiều dày rất nhỏ (vài micromet) và có nồng độ hạt mang điện nhỏ. Hình 5.8a mô tả cấu tạo của một tranzito p-n-p. Ba cực của tranzito được nối với ba khu vực, và được gọi là *cực phát* (hay emitor, E), *cực gốc* (hay bazơ, B) và *cực góp* (hay colector, C). Trong các sơ đồ mạch điện tử, tranzito được kí hiệu như trên Hình 38.3b.

Để tranzito làm việc được, người ta mắc nó vào mạch như trên Hình 38.4. Nguồn điện E_1 làm cho qua lớp chuyển tiếp E-B có dòng điện theo chiều thuận. Nguồn điện E_2 , với E_2 thường lớn hơn E_1 từ 5 đến 10 lần, đặt vào lớp chuyển tiếp B-C một hiệu điện thế ngược.

Dòng I_E chủ yếu là dòng lỗ trống từ E sang B, còn phần do dòng electron từ B sang E là không đáng kể, vì lớp bán dẫn n của cực B có nồng độ hạt mang điện rất thấp. Mặt khác, do lớp bán dẫn n của cực B có chiều dày rất nhỏ, nên phần lớn số lỗ trống này vượt qua lớp B chạy sang lớp chuyển tiếp B-C, chỉ một phần rất nhỏ chạy ra cực B gây nên dòng I_B (xem thêm Hình 38.3a). Vì vậy $I_B \ll I_E$ và $I_C \cong I_E$. Tỉ số

$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$ thường nhỏ hơn 1 và rất gần bằng 1. Tỉ số

$\beta = \frac{I_C}{I_B}$ gọi là *hệ số khuếch đại dòng điện*. Nó thể hiện

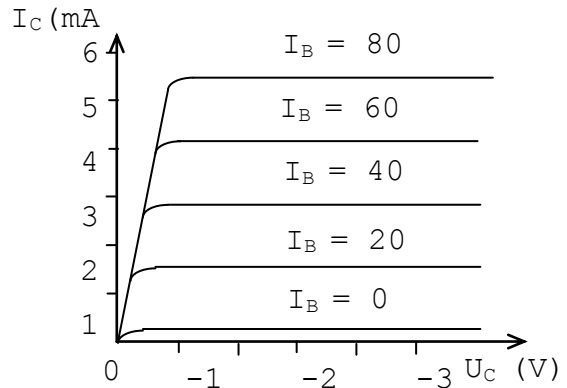
tác dụng điều khiển của dòng I_B đối với dòng I_C . Giá trị của β thường từ hàng chục đến hàng trăm. Theo Hình 38.4, ta có:

$$I_E = I_C + I_B. \quad (1)$$

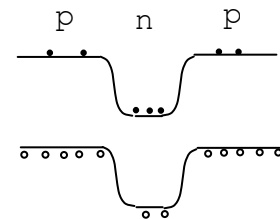
Nếu hiệu điện thế giữa cực E và cực B biến thiên một lượng ΔU_{E-B} , thì dòng I_E và I_B cũng biến thiên, làm cho dòng I_C cũng biến thiên theo. Điện trở R mắc trong mạch của cực C có giá trị khá lớn. Vì vậy, sự biến thiên ΔI_C gây nên giữa hai đầu của R một biến thiên hiệu điện thế $\Delta U_R = \Delta I_C \cdot R = \beta \cdot \Delta I_B \cdot R$ lớn hơn ΔU_{E-B} nhiều lần.

Ta nói rằng biến thiên hiệu điện thế ΔU_{E-B} được **khuếch đại trong mạch tranzito**. Do tranzito có tác dụng khuếch đại, nên người ta xếp nó vào loại linh kiện điện tử tích cực (để phân biệt với các linh kiện thụ động như điện trở, tụ điện...)

Mối quan hệ giữa các giá trị cường độ dòng điện và các hiệu điện thế trong mạch được thể hiện qua các đường đặc trưng, mô tả sự phụ thuộc lẫn nhau giữa hai đại lượng khi các đại lượng còn lại có giá trị xác định. Các đường đặc trưng của mỗi loại tranzito giúp cho người ta lựa chọn cách mắc mạch và các thông số của mạch để đạt được tác dụng khuếch đại mong muốn. Trên Hình 38.5 là họ đường đặc trưng ra, biểu diễn quan hệ phụ thuộc của cường độ dòng I_C vào hiệu điện thế U_{B-C} với các giá trị khác nhau của I_B . Khi $I_B = 0$, thì I_C chính là dòng ngược đi qua lớp chuyển tiếp B-C bị phân cực ngược, và có giá trị rất nhỏ. Đường đặc trưng ứng với $I_B = 0$ có



Hình 38.7 Họ đường đặc trưng ra của tranzito



Hình 24.5 Sơ đồ dải năng lượng của tranzito p-n-p khi chưa mắc vào mạch

dạng đúng như nhánh ngược của đặc trưng vôn-ampe của điốt trên Hình 36.7. Khi I_B có giá trị khác không, thì I_C cũng khác không. Như thấy trên Hình 36.6, I_E chủ yếu là dòng các lỗ trống từ cực E chạy sang lớp bán dẫn n của cực B, ở đó lỗ trống là các hạt mang điện không cơ bản. Các lỗ trống này chạy qua lớp chuyển tiếp B-C bị phân cực ngược, tạo nên dòng I_C . Chỉ cần I_B có giá trị nhỏ ($20 \mu A$), thì dòng I_C cũng đã có giá trị đáng kể (1,5 mA). I_C tăng nhanh khi I_B tăng.

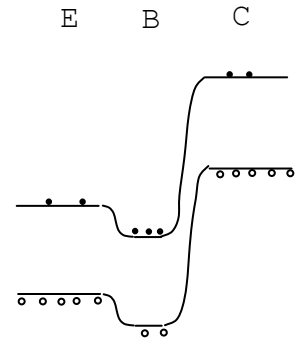
Khi dòng $I_B = 0$, tranzito ở chế độ ngắt.

Khi dòng I_B có giá trị lớn và I_C đạt giá trị cực đại, tranzito ở chế độ bão hòa.

Mỗi loại tranzito có những tính chất khác nhau. Dựa vào hệ các đường đặc trưng của tranzito, người ta biết cách lựa chọn các thông số trong mạch để thu được tác dụng mong muốn, thí dụ như cho tranzito hoạt động ở chế độ khuếch đại hoặc chế độ đóng ngắt... Họ đặc tuyến ra hay được sử dụng nhất.

- Tranzito p-n-p có sơ đồ dải năng lượng được vẽ trên Hình 24.5. Ta chú ý rằng khu vực bán dẫn n (của cực gốc) có chiều dày rất nhỏ và có nồng độ hạt tải thấp.

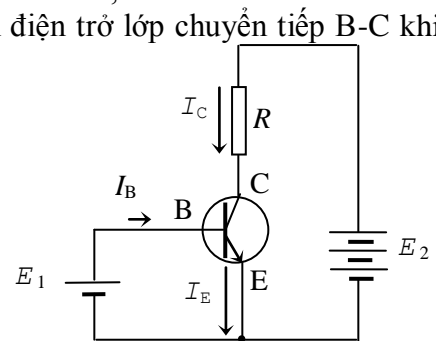
Khi ta mắc tranzito vào mạch điện để cho nó hoạt động, thì lớp chuyển tiếp p-n giữa cực E và cực B được phân cực thuận, độ chênh lệch điện thế giảm đi. Lớp chuyển tiếp n-p giữa cực B và cực C được phân cực ngược, độ chênh lệch điện thế tăng lên (Hình 24.6). Như vậy dòng các hạt tải cơ bản đi qua lớp chuyển tiếp E-B được tăng cường. Nhưng do nồng độ electron tự do trong khu vực B rất thấp, nên dòng thuận qua lớp chuyển tiếp này chủ yếu là dòng lỗ trống từ E (bán dẫn loại p) sang B (bán dẫn loại n). Đây là sự phun lỗ trống từ E sang B. Các lỗ trống đi vào khu vực B hầu như không tái hợp với electron vì ở đó rất ít electron. Các lỗ trống này dễ dàng vượt qua khu vực B rất mỏng để đến lớp chuyển tiếp n-p phân cực ngược. Do hiệu điện thế U_{BC} lớn hơn U_{EB} nhiều, nên các lỗ trống chuyển động qua lớp chuyển tiếp B-C và bị cuốn sang khu vực C. Mặt khác, do $I_C \approx I_E$ nên công suất của dòng lỗ trống phía cực C lớn hơn ở phía cực E nhiều lần: $I_C \cdot U_{BC} \gg I_E \cdot U_{EB}$. Đó chính là tác dụng khuếch đại của tranzito. Vì lý do đó, người ta còn gọi tranzito là dụng cụ bán dẫn tích cực.



Hình 24.6 Sơ đồ dải năng lượng của tranzito p-n-p khi mắc vào mạch khuếch đại

Đề ý rằng, lớp chuyển tiếp B-C được phân cực ngược, nên thông thường thì nó có điện trở lớn. Tuy nhiên, khi có lỗ trống được phun từ E qua B đến, thì điện trở lớp chuyển tiếp B-C giảm đáng kể. Người ta gọi sự giảm điện trở lớp chuyển tiếp B-C khi có dòng phun hạt tải từ E-B sang gọi là hiệu ứng tranzito.

- Mỗi loại tranzito có những tính chất khác nhau. Dựa vào hệ các đường đặc trưng của tranzito, người ta biết cách lựa chọn các thông số trong mạch để thu được tác dụng mong muốn, thí dụ như cho tranzito hoạt động ở chế độ khuếch đại hoặc chế độ đóng ngắt... Họ đặc tuyến ra (xem Hình 24.6 SGK) hay được sử dụng nhất.



Hình 24.6 Sơ đồ mạch khuếch đại dùng tranzito n-p-n.

- Trong thực tế, người ta sử dụng cả hai loại tranzito: loại p-n-p và loại n-p-n.

Tranzito p-n-p (gọi là tranzito hai lớp chuyển tiếp hay tranzito lưỡng cực, để phân biệt với tranzito trường) có sơ đồ dải năng lượng được vẽ trên Hình 24.5. Ta chú ý rằng khu vực bán dẫn n (của cực gốc) có chiều dày rất nhỏ và có nồng độ hạt tải thấp.

- Mỗi loại tranzito có những tính chất khác nhau. Dựa vào hệ các đường đặc trưng của tranzito, người ta biết cách lựa chọn các thông số trong mạch để thu được tác dụng mong muốn, thí dụ như cho tranzito hoạt động ở chế độ khuếch đại hoặc chế độ đóng ngắt... Họ đặc tuyến ra (xem Hình 24.6 SGK) hay được sử dụng nhất.

- Trong thực tế, người ta sử dụng cả hai loại tranzito: loại p-n-p và loại n-p-n.

Ngày nay, tranzito có mặt với số lượng lớn trong hầu như tất cả mọi thiết bị điện tử. Chúng có ưu điểm là tiêu thụ ít năng lượng, hiệu suất cao, dùng nguồn điện có hiệu điện thế thấp (khoảng vài vôn đến chục vôn), bền vững về cơ học, thời gian sử dụng dài. Đặc điểm quan trọng của tranzito là có thể chế tạo chúng với kích thước rất bé.

Hiện nay, công nghệ bán dẫn cho phép chế tạo trên cùng một phiến bán dẫn nhiều tranzito, cùng với nhiều linh kiện khác như điôt, điện trở, tụ điện... tạo nên các *mạch điện tử tích hợp*, có kích thước rất nhỏ, thường gọi là *mạch vi điện tử* hay *vi mạch*.

ii. Tranzito trường (FET- Field Effect Transistor)

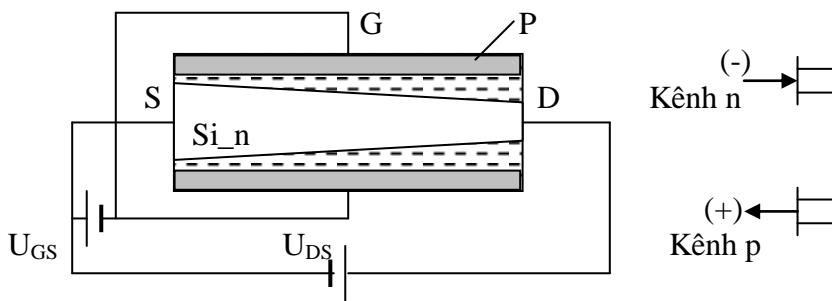
FET hoạt động dựa trên nguyên lý hiệu ứng trường, Độ dẫn điện của bán dẫn được điều khiển bởi tác dụng của một điện trường ngoài. Dòng điện trong FET chỉ do một loại hạt tải tạo ra.

Có hai loại: JFET - Junction Field Effect Transistor (cực cửa dùng lớp chuyển tiếp p-n) và MOSFET – Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor (cực cửa được cách li bởi lớp oxit kim loại).

•JFET

Cấu trúc JFET kiểu kênh n được nêu trên Hình 23:

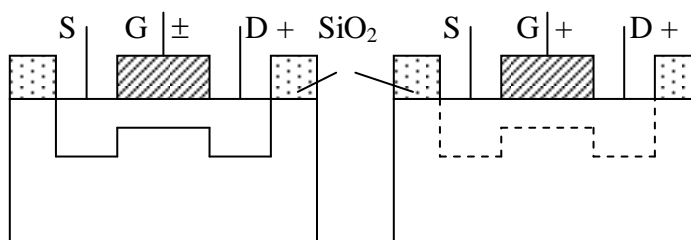
Trên đế tinh thể bán dẫn Si loại n, người ta tạo ra xung quanh nó một lớp bán dẫn loại p (có nồng độ tạp chất cao hơn so với đế) và đưa ra ba điện cực: cực nguồn S (source) , cực máng D (drain) và cực cửa G (gate). Như vậy hình thành một kênh dẫn loại n nối giữa hai cực D và S, cách li với cực cửa G bởi lớp chuyển tiếp p-n phân cực ngược. Hoàn toàn tương tự, nếu đế là loại p, ta có JFET kênh p.



Hình 23

•MOSFET

Có hai loại MOSFET, loại có kênh đặt sẵn và loại có kênh cảm ứng như trình bày trên hình.



Hình 25. Sơ đồ cấu tạo MOSFET

Trên nền đế là đơn tinh thể bán dẫn Si loại p người ta tạo ra hai vùng bán dẫn loại n+ (nồng độ cao hơn so với đế) và lấy ra hai điện cực S và D. Hai vùng này được nối thông với nhau nhờ kênh dẫn điện loại n có thể hình thành ngay trong quá trình chế tạo (đặt sẵn) hay chỉ hình thành khi có điện trường

ngoài tác động (cảm ứng). Tại phần đối diện kênh dẫn, người ta tạo ra điện cực G sau khi phủ lên bề mặt một lớp cách điện mỏng SiO₂. Từ đó, MOSFET còn có tên là FET có cực cửa cách ly.

Để phân cực cho MOSFET người ta đặt một điện áp $U_{DS} > 0$. Với loại kênh đặt sẵn, dòng điện tử trên kênh dẫn tồn tại, và ở mạch ngoài có dòng I_D (chiều đi vào D) ngay cả khi $U_{GS} = 0$.

Khi $U_{GS} > 0$, ta có chế độ làm giàu hạt tải. Khi đó, điện trở kênh dẫn giảm đi, dẫn tới dòng I_D tăng.

Khi $U_{GS} < 0$, ta có chế độ làm nghèo hạt tải, điện trở kênh dẫn tăng, dòng I_D giảm.

d. Mạch khuếch đại thuật toán

Một loại mạch vi điện tử thông dụng gọi là mạch khuếch đại thuật toán (KĐTT). Mạch này gồm nhiều tầng khuếch đại dùng tranzito mắc liên tiếp nhau, vì thế hệ số khuếch đại của mạch rất lớn, có thể có giá trị đến hàng trăm nghìn. Vì mạch được đặt trong vỏ nhựa và nối ra ngoài qua các chân dẫn điện bằng kim loại. Trên Hình 38.8 là kí hiệu của mạch khuếch đại thuật toán với các chân chủ yếu. Ngoài ra, KĐTT còn có thêm một số lối ra khác.

Tín hiệu được đưa vào một trong hai lối vào, và lấy ra ở lối ra. Hoạt động của KĐTT phụ thuộc vào các thông số đặc trưng của bản thân KĐTT và cả của mạch điện bên ngoài mắc với nó.

Nếu không có phần tử nào nối lối ra với lối vào đảo (-), thì chỉ cần tín hiệu ở lối vào có điện thế rất nhỏ, mạch đã bão hoà, nghĩa là điện thế ở lối ra có giá trị bằng điện thế của nguồn điện (U_{cc}^+ hoặc U_{cc}^-). Trong trường hợp này, KĐTT được sử dụng làm *mạch so sánh*.

Muốn cho mạch có tác dụng *khuếch đại tuyến tính*, nghĩa là tín hiệu ở lối ra tỉ lệ với tín hiệu ở lối vào, người ta nối lối ra với lối vào đảo (-) bằng các điện trở, như trên Hình 38.9. Mạch gồm R_1 và R_2 mắc như vậy gọi là *mạch hồi tiếp*. Nếu một tín hiệu biến thiên được đưa vào lối vào đảo (-), thì tín hiệu ra ngược pha với tín hiệu vào.

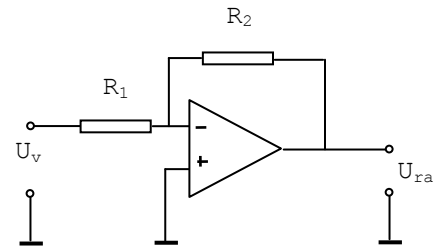
Khi tín hiệu được đưa vào qua lối vào không đảo (+) thì tín hiệu ra cùng pha với tín hiệu vào.

Bằng cách lựa chọn các phần tử mắc trong mạch hồi tiếp, người ta có thể sử dụng KĐTT với các chức năng khác như khuếch đại lọc lựa, phát tín hiệu tuần hoàn, sửa dạng tín hiệu, lọc tín hiệu, thực hiện các phép tính toán đại số trên các tín hiệu (từ đó mạch có tên là khuếch đại thuật toán).

d. Vi mạch logic

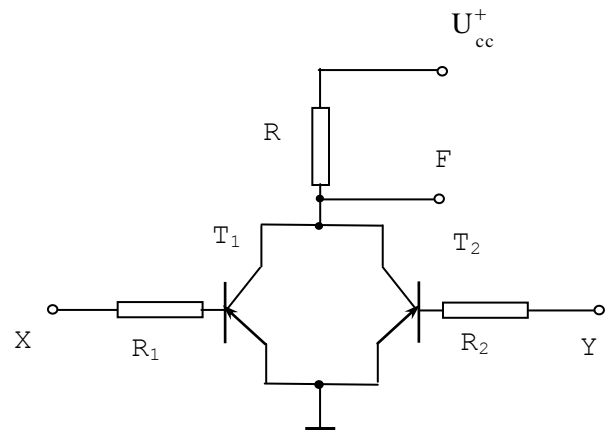
Vi mạch logic gồm những tranzito được mắc sao cho chúng chỉ ở một trong hai trạng thái: ngắt hoặc bão hoà.

Trên hình là sơ đồ mạch logic dùng các tranzito và điện trở (RTL, Resistor Transistor Logic). Hai



Hình 38.9 Sơ đồ khuếch đại dùng KĐTT. Các điện trở R_1 và R_2 lập thành mạch hồi tiếp. Hệ số khuếch đại của mạch

này là $K = \frac{U_{ra}}{U_v} = -\frac{R_2}{R_1}$. Dấu trừ cho thấy tín hiệu ở lối ra ngược pha với tín hiệu ở lối vào. Các hiệu điện thế được xác định so với đất (kí hiệu là \perp).



Hình 38.10 Sơ đồ vi mạch logic Bảng giá trị logic của mạch NOR (logic dương)

X	Y	F
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

tranzito mắc chung cực phát (E) và cực góp (C). Mạch hoạt động với nguồn điện khoảng 5 V.

Các lối vào X và Y và lối ra F có thể có điện thế cao, gần bằng điện thế nguồn (U_{cc}^+), hoặc điện thế thấp, gần bằng điện thế đất (0). Nếu ta quy ước điện thế cao ứng với *trạng thái 1 (mức logic 1)*, điện thế thấp ứng với *trạng thái 0 (mức logic 0)*, thì sơ đồ này được dùng để thực hiện các phép tính logic. Ta gọi quy ước này là *logic dương*.

Giả sử điện thế ở X và Y cùng thấp (mức logic 0), thì T_1 và T_2 đều ngắt, dòng điện qua R rất nhỏ, nên cực C của cả hai tranzito và lối ra F đều có điện thế cao (mức logic 1). Chỉ cần một trong hai lối vào có điện thế cao (mức logic 1), thì tranzito ứng với lối vào đó ở chế độ bão hoà, dòng điện qua R cực đại, độ giảm điện thế trên R cực đại, nên cực C của cả hai tranzito (mắc chung nhau) có điện thế thấp, và lối ra F có điện thế thấp (mức logic 0). Như vậy, mạch này thực hiện phép tính logic *hoặc-phủ định* (NOR, No-Or).

Nếu ta quy ước điện thế cao ứng với mức logic 0, điện thế thấp ứng với mức logic 1, tức là sử dụng logic âm, thì sơ đồ này thực hiện phép tính logic *và-phủ định* (NAND, No-And). Sử dụng tranzito, người ta còn xây dựng các mạch thực hiện những phép tính logic khác,

Trong thực tế người ta còn chế tạo các sơ đồ logic dùng tranzito và điôt (DTL), hoặc dùng tranzito có nhiều cực phát.

Các mạch logic còn có thể được sử dụng với chức năng tạo dao động tuần hoàn, tạo xung điện, sửa dạng tín hiệu vv...

Các mạch logic thực hiện được các phép tính trong *hệ đếm nhị phân* (chỉ có hai chữ số 0 và 1) và vì thế chúng được sử dụng nhiều trong kỹ thuật tính toán số và trong máy tính.