

## VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG A3

**Câu 1:** Cơ sở của quang học sóng. Hiện tượng giao thoa ánh sáng. Khảo sát hiện tượng giao thoa của hai sóng kết hợp.

▲ *Cơ sở của quang học sóng.*

Quang học sóng nghiên cứu các hiện tượng giao thoa, nhiễu xạ, phân cực,... dựa trên bản chất sóng điện từ của ánh sáng.

• Một số khái niệm về sóng:

Trường sóng là không gian có sóng truyền qua.

Mặt sóng là quỹ tích những điểm dao động cùng pha trong trường sóng.

Mặt đầu sóng là phần giới hạn giữa môi trường mà sóng đã truyền qua và chưa truyền tới.

• Thuyết điện từ về ánh sáng của Maxwell:

Ánh sáng là sóng điện từ, nghĩa là trường điện từ biến thiên theo thời gian truyền đi trong không gian. Sóng ánh sáng là sóng ngang, bởi vì trong sóng điện từ vectơ cường độ điện trường  $\vec{E}$  và vectơ cảm ứng từ  $\vec{B}$  luôn dao động vuông góc với phương truyền sóng. Khi ánh sáng truyền đến mắt, vectơ cường độ điện trường  $\vec{E}$  tác dụng lên võng mạc gây nên cảm giác sáng. Do đó vectơ cường độ điện trường trong sóng ánh sáng gọi là vectơ sáng.

• Quang lộ:

Quang lộ giữa hai điểm A, B là đoạn đường ánh sáng truyền được trong chân không với cùng khoảng thời gian t cần thiết để sóng ánh sáng đi được đoạn đường d trong môi trường chiết suất n.

• Định lí Maluyt về quang lộ:

Quang lộ của các tia sáng giữa hai mặt trực giao của một chùm sáng thì bằng nhau.

- Hàm sóng ánh sáng:

$$x = A \cos\left(\omega t - \frac{2\pi L}{\lambda}\right)$$

Trong đó:

$A$  là biên độ dao động,

$L = c\tau$  là quang lộ trên đoạn đường OM,

$\lambda = cT$  là bước sóng ánh sáng trong chân không,

$\varphi = -\frac{2\pi L}{\lambda}$  là pha ban đầu của dao động sáng.

- Cường độ ánh sáng:

Cường độ sáng tại một điểm là đại lượng có trị số bằng năng lượng trung bình của sóng ánh sáng truyền qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền sáng trong một đơn vị thời gian.

- Nguyên lí chồng chất các sóng:

Khi hai hay nhiều sóng ánh sáng gặp nhau thì từng sóng riêng biệt không bị các sóng khác làm cho nhiễu loạn. Sau khi gặp nhau, các sóng ánh sáng vẫn truyền đi như cũ, còn tại những điểm gặp nhau dao động sáng bằng tổng các dao động sáng thành phần.

- Nguyên lí Huygens:

Mỗi điểm trong không gian nhận được sóng sáng từ nguồn sáng thực S truyền đến đều trở thành nguồn sáng thứ cấp phát sóng sáng về phía trước nó.

#### ▲ Hiện tượng giao thoa ánh sáng.

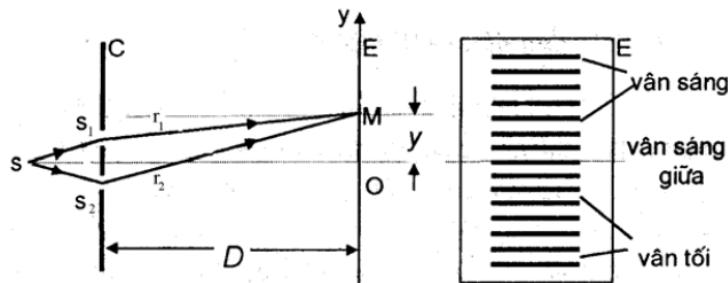
- Định nghĩa: Hiện tượng giao thoa ánh sáng là hiện tượng gặp nhau của hai hay nhiều sóng ánh sáng, kết quả là trong trường giao thoa sẽ xuất hiện những vân sáng và những vân tối xen kẽ nhau.

- Điều kiện giao thoa: Hiện tượng giao thoa chỉ xảy ra đối với sóng ánh sáng kết hợp, là những sóng có cùng tần số và hiệu pha không thay đổi theo thời gian, đây chính là điều kiện để có giao thoa.

▲ Khảo sát hiện tượng giao thoa của hai sóng kết hợp.

- Nguyên tắc tạo ra hai sóng ánh sáng kết hợp là từ một sóng duy nhất tách ra thành hai sóng riêng biệt.

- Thí nghiệm giao thoa Young:



+ Tại M ta nhận được hai dao động sáng:

$$\begin{cases} x_1 = A \cos\left(\omega t - \frac{2\pi L_1}{\lambda}\right) \\ x_2 = A \cos\left(\omega t - \frac{2\pi L_2}{\lambda}\right) \end{cases}$$

+ Hiệu pha của hai dao động:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(L_1 - L_2)$$

+ Hiệu quang lộ:

$$L_1 - L_2 = r_1 - r_2 = \frac{S_1 S_2 y}{D} = \frac{ly}{D}$$

+ Vân sáng:

$$y_s = k \frac{\lambda D}{l}; \quad (k = 0; \pm 1; \pm 2; \dots)$$

+ Vân tối:

$$y_s = \left( k + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda D}{l}; \quad (k = 0; \pm 1; \pm 2; \dots)$$

+ Khoảng vân:

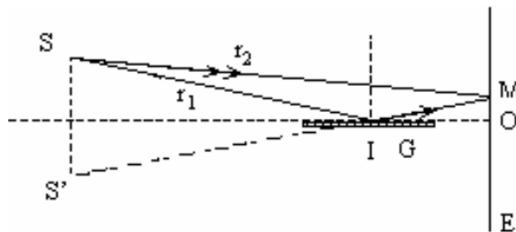
$$i = \frac{\lambda D}{l}$$

**Câu 2:** Hiện tượng giao thoa do phản xạ: thí nghiệm Lloyd và sóng đứng ánh sáng.

▲ *Hiện tượng giao thoa do phản xạ.*

Trong thiên nhiên, ánh sáng có thể giao thoa mà không cần bố trí các nguồn sáng điểm hay khe hẹp. Đó là trường hợp giao thoa trên các bản mỏng được chiếu sáng bởi ánh sáng mặt trời hoặc đèn kích thước lớn (các nguồn sáng rộng). Khi nhìn vào màng xà phòng, váng dầu trên mặt nước, ta thấy màu sắc sắc sỡ. Màu sắc này không phải là do khúc xạ ánh sáng mà được tạo nên bởi sự giao thoa của các tia phản xạ trên hai mặt của bản mỏng. Các sóng giao thoa có thể tăng cường hoặc triệt tiêu một số màu sắc nào đó của ánh sáng mặt trời rơi tới, tạo ra màu sắc của bản mỏng.

▲ *Thí nghiệm Lloyd.*



- Gương G được bôi đen đằng sau, chiết suất của thủy tinh lớn hơn chiết suất của không khí  $n_{tt} > n_{kk}$ . Nguồn sáng S rộng và cách xa. Màn E được đặt vuông góc với gương. Một điểm M trên màn E sẽ nhận được hai tia sáng từ S gửi đến. Tia truyền trực tiếp SM và tia SIM phản xạ trên gương, sau đó đến M. Hai tia này giao thoa với nhau.

- Theo lí thuyết: nếu  $L_1 - L_2 = r_1 - r_2 = k\lambda$  thì điểm M sáng, nếu

$L_1 - L_2 = r_1 - r_2 = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$  thì điểm M sẽ tối. Tuy nhiên thực nghiệm lại thấy rằng:

những điểm lí thuyết dự đoán là sáng thì kết quả lại là tối và ngược lại, những điểm lí thuyết dự đoán là tối thì lại là sáng.

- Vậy hiệu pha dao động của hai tia sáng trong trường hợp này không phải là

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(L_1 - L_2) \text{ mà phải là } \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(L_1 - L_2) + \pi.$$

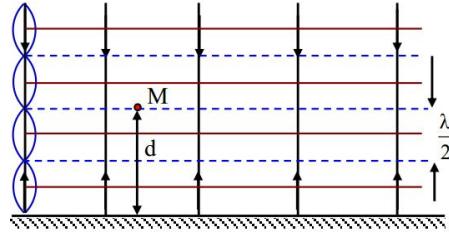
- Để  $\Delta\varphi$  thêm một lượng  $\pi$  thì pha dao động của một trong hai tia phải thay đổi một lượng  $\pi$ . Vì tia SM truyền trực tiếp từ nguồn đến điểm M, nên chỉ có tia phản xạ trên gương mới thay đổi, cụ thể là pha dao động của nó sau khi phản xạ sẽ thay đổi một lượng  $\pi$ . Tương đương với việc pha thay đổi một lượng là  $\pi$  thì quang lộ của nó sẽ thay đổi một lượng là:

$$\varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda}L_1 \Rightarrow \varphi'_1 = \frac{2\pi}{\lambda}L_1 + \pi = \frac{2\pi}{\lambda}L'_1 \Rightarrow L'_1 = L_1 + \frac{\lambda}{2}$$

- Kết luận: Khi phản xạ trên môi trường chiết quang hơn môi trường ánh sáng tới, pha dao động của ánh sáng thay đổi một lượng  $\pi$ , điều đó cũng tương đương với việc coi quang lộ của tia phản xạ dài thêm một đoạn  $\frac{\lambda}{2}$ .

### ▲ Sóng đứng ánh sáng.

- Chiếu một chùm ánh sáng song song đơn sắc vuông góc với một gương phẳng thì chùm tia phản xạ sẽ giao thoa với chùm tia tới. Kết quả, ngay tại bì mặt gương và những điểm cách mặt gương một khoảng d bằng số nguyên lần nửa bước sóng, cường độ sáng sẽ cực tiểu, đó là những điểm tối. Những điểm cách mặt gương một khoảng d bằng số bán nguyên lần nửa bước sóng, cường độ sáng sẽ cực đại, đó là những điểm sáng.



- Vị trí các điểm có cường độ sáng cực tiêu, hay điểm nút:

$$d = k \frac{\lambda}{2}; \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

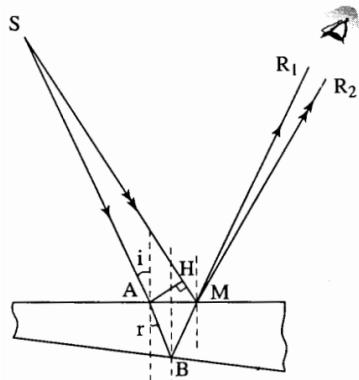
- Vị trí các điểm có cường độ sáng cực đại, hay điểm bụng:

$$d = \left( k + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2}; \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

- Khoảng cách giữa hai nút sóng liên tiếp hoặc giữa hai điểm bụng liên tiếp chính là  $\lambda / 2$ .

**Câu 3:** Giao thoa gây bởi bản mỏng có bề dày thay đổi: nêm không khí và vân tròn Newton.

▲ *Giao thoa gây bởi bản mỏng có bề dày thay đổi.*



- Xét một bản mỏng có bề dày thay đổi, chiết suất của bản là  $n$ , đặt trong không khí được chiếu sáng bởi nguồn sáng rộng đơn sắc bước sóng  $\lambda$  đặt khá xa bản mỏng. Một điểm S của nguồn sáng gửi đến điểm M hai tia: tia SM gửi trực tiếp và

tia gửi sau khi khúc xạ ở A và phản xạ ở B. Từ M hai tia đó sẽ đến mắt người quan sát.

- Hiệu quang lô:

$$L_1 - L_2 = r_1 - r_2 = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2}$$

- Vị trí của các vân sáng:

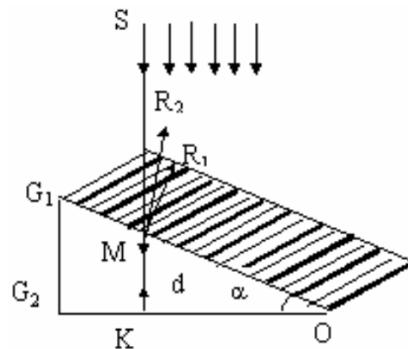
$$L_1 - L_2 = k\lambda$$

- Vị trí của các vân tối:

$$L_1 - L_2 = \left( k + \frac{1}{2} \right) \lambda$$

- Mỗi vân ứng với một giá trị xác định của bề dày d, vì vậy các vân này được gọi là vân cùng độ dày.

▲ *Nêm không khí*.



- Nêm không khí là một lớp không khí hình nêm giới hạn bởi hai bản thuỷ tinh phẳng  $G_1$ ,  $G_2$  có độ dày không đáng kể, đặt nghiêng với nhau một góc nhỏ  $\alpha$ .
- Chiếu chùm tia sáng đơn sắc song song, vuông góc với mặt  $G_2$ . Tia sáng từ nguồn S đi vào bản thuỷ tinh  $G_1$  tới M chia làm hai: Một tia phản xạ đi ra ngoài (tia  $R_1$ ), một tia đi tiếp vào nêm không khí, đến K trên  $G_2$  và phản xạ tại đó rồi đi

ra ngoài (tia  $R_2$ ). Tại M có sự gập nhau của hai tia phản xạ nói trên và chúng giao thoa với nhau. Trên mặt  $G_1$  ta nhận được vân giao thoa.

- Hiệu quang lộ:

$$L_2 - L_1 = 2d + \frac{\lambda}{2}$$

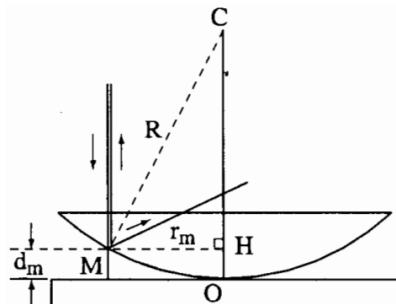
- Vị trí của các vân sáng:

$$L_1 - L_2 = 2d + \frac{\lambda}{2} = k\lambda \Rightarrow d_s = (2k-1)\frac{\lambda}{4}; \quad (k=1,2,3,\dots)$$

- Vị trí của các vân tối:

$$L_1 - L_2 = 2d + \frac{\lambda}{2} = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \Rightarrow d_t = k\frac{\lambda}{2}; \quad (k=0,1,2,\dots)$$

#### ▲ Vân tròn Newton.



- Hệ cho vân tròn Newton gồm một thấu kính phẳng - lồi đặt tiếp xúc với một bản thủy tinh phẳng. Lớp không khí giữa thấu kính và bản thủy tinh là bản mỏng có bề dày thay đổi. Chiếu một chùm tia sáng đơn sắc song song vuông góc với bản thủy tinh. Các tia sáng phản xạ ở mặt trên và mặt dưới của bản mỏng này sẽ giao thoa với nhau, tạo thành các vân giao thoa có cùng độ dày, định xứ ở mặt cong của thấu kính phẳng- lồi.

- Hiệu quang lộ:

$$L_2 - L_1 = 2d + \frac{\lambda}{2}$$

- Vị trí của các vân sáng:

$$L_1 - L_2 = 2d + \frac{\lambda}{2} = k\lambda \Rightarrow d_s = (2k-1)\frac{\lambda}{4}; \quad (k=1,2,3,\dots)$$

- Vị trí của các vân tối:

$$L_1 - L_2 = 2d + \frac{\lambda}{2} = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \Rightarrow d_t = k\frac{\lambda}{2}; \quad (k=0,1,2,\dots)$$

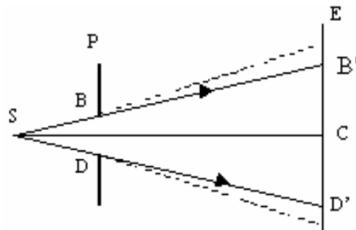
Do tính chất đối xứng của bản mỏng nên các vân giao thoa là những vòng tròn đồng tâm gọi là vân tròn Newton.

- Bán kính của vân tối thứ k:

$$r_k = \sqrt{R\lambda} \sqrt{k}$$

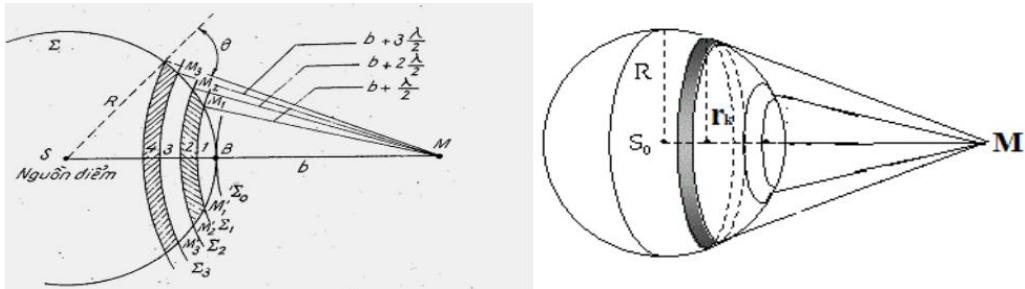
**Câu 4:** Hiện tượng nhiễu xạ gây bởi sóng cầu: phương pháp đói cầu Fresnel và ứng dụng để khảo sát sự nhiễu xạ qua một lỗ tròn và một đĩa tròn.

▲ *Hiện tượng nhiễu xạ gây bởi sóng cầu.*



Theo nguyên lý Huygens – Fresnel, mỗi nguồn sáng thứ cấp trên mặt lỗ tròn BD có biên độ và pha dao động đúng bằng biên độ và pha dao động do nguồn sáng S gây ra tại điểm đó. Dao động sáng tại mỗi điểm trên màn ảnh E sẽ bằng tổng các dao động sáng do những nguồn sáng thứ cấp trên lỗ tròn BD gây ra tại điểm đó. Từ biểu thức của hàm sóng, dựa vào nguyên lý Huygens-Fresnel người ta có thể tìm được biểu thức định lượng của dao động sáng tại một điểm M trên màn hình E, nhưng việc tính toán khá phức tạp vì phải tính tích phân. Fresnel đã đưa ra một phương pháp tính đơn giản gọi là phương pháp đói cầu Fresnel.

▲ Phương pháp đói cầu Fresnel.



- Xét nguồn sáng điểm S phát ánh sáng đơn sắc và điểm đợt chiếu sáng M. Lấy S làm tâm dựng mặt cầu  $\Sigma$  bao quanh S, bán kính  $R < SM$ . Đặt  $MB=b$ . Lấy M làm tâm vẽ các mặt cầu  $\Sigma_0, \Sigma_1, \Sigma_2, \dots$  có bán kính lần lượt là  $b, b + \frac{\lambda}{2}, b + 2\frac{\lambda}{2}, \dots$ , trong đó  $\lambda$  là bước sóng do nguồn S phát ra. Các mặt cầu  $\Sigma_0, \Sigma_1, \Sigma_2, \dots$  chia mặt cầu  $\Sigma$  thành các đói gọi là đói cầu Fresnel.

- Diện tích các đói cầu bằng nhau và bằng:

$$\Delta S = \frac{\pi R b}{R + b} \lambda$$

- Bán kính  $r_k$  của đói cầu thứ k bằng:

$$r_k = \sqrt{\frac{Rb\lambda}{R+b}} \sqrt{k}; \quad (k=1, 2, 3, \dots)$$

- $a_k$  là biên độ dao động sáng do đói cầu thứ k gây ra tại M:

$$a_1 > a_2 > \dots > a_{k-1} > a_k > \dots$$

$$a_k = \frac{a_{k-1} + a_{k+1}}{2}$$

- Hiệu pha của hai dao động sáng do hai đói cầu kế tiếp gây ra tại M là:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (L_1 - L_2) = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{2} = \pi$$

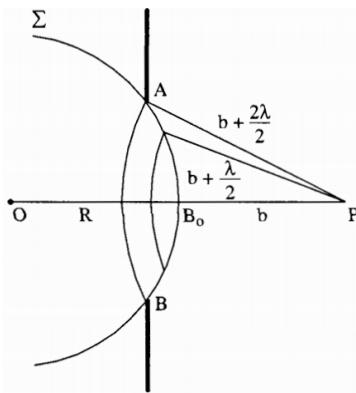
- $a$  là biên độ sáng tổng hợp do các đói cầu gây ra tại M:

$$a = a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + a_5 - a_6 + \dots$$

$$= \frac{a_1}{2} \pm \frac{a_n}{2}$$

Lấy dấu "+ " nếu đới n là lẻ và dấu "- " nếu đới n là chẵn.

▲ *Nhiều xạ qua một lỗ tròn.*



$a$  là biên độ sáng tổng hợp do các đới cầu gây ra tại P:

$$a = \frac{a_1}{2} \pm \frac{a_n}{2}$$

lấy dấu "+ " nếu đới n là lẻ và dấu "- " nếu đới n là chẵn.

- Khi không có màn chắn hoặc kích thước lỗ tròn rất lớn:  $n \rightarrow \infty, a_n \approx 0$  nên cường độ sáng tại P:

$$I_0 = a^2 = \frac{a_1^2}{4}$$

- Nếu lỗ chứa số lẻ đới cầu :

$$a = \frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2} \Rightarrow I = a^2 = \left( \frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2} \right)^2 > I_0$$

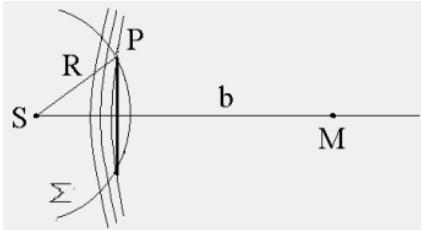
- Nếu lỗ chứa một đới cầu:

$$a = \frac{a_1}{2} + \frac{a_1}{2} \Rightarrow I = a^2 = a_1^2 = 4I_0$$

- Nếu lỗ chứa số chẵn đới cầu:

$$a = \frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2} \Rightarrow I = a^2 = \left( \frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2} \right)^2 < I_0$$

▲ Nhiều xạ qua một đĩa tròn.



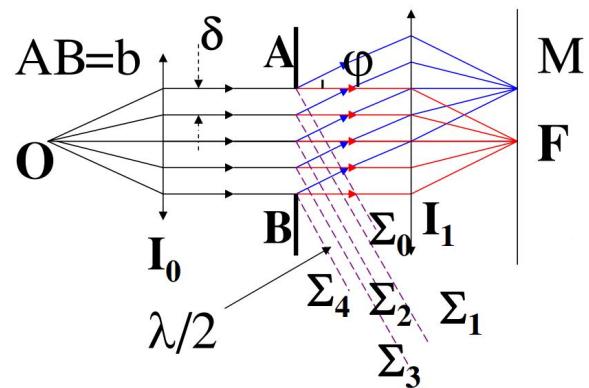
- Giữa nguồn sáng S và điểm M có một đĩa tròn chắn sáng bán kính  $r_0$ . Giả sử đĩa che khuất m đói cầu Fresnel đầu tiên. Biên độ dao động tại M là:

$$a = a_{m+1} - a_{m+2} + a_{m+3} - \dots = \frac{a_{m+1}}{2}$$

- Nếu đĩa chỉ che ít đói cầu thì  $a_{m+1}$  không khác  $a_1$  là mấy, do đó cường độ sáng tại M cũng giống như trường hợp không có chướng ngại vật giữa S và M. Trong trường hợp đĩa che nhiều đói cầu thì  $a_{m+1} \approx 0$  do đó cường độ sáng tại M bằng không.

**Câu 5:** Trình bày sự nhiễu xạ gây bởi sóng phẳng qua một khe hẹp.

▲ Trình bày sự nhiễu xạ gây bởi sóng phẳng qua một khe hẹp.



- Để tạo ra chùm sáng song song, người ta đặt nguồn sáng S tại tiêu điểm của thấu kính hội tụ  $I_0$ . Chiếu chùm sáng đơn sắc song song bước sóng  $\lambda$  vào khe hẹp có bề rộng b. Sau khi đi qua khe hẹp, tia sáng sẽ bị nhiễu xạ theo nhiều phương.
  - Tách các tia nhiễu xạ theo một phương  $\varphi$  nào đó chúng sẽ gặp nhau ở vô cùng. Muốn quan sát ảnh nhiễu xạ chúng ta sử dụng thấu kính hội tụ  $I_1$ , chùm tia nhiễu xạ sẽ hội tụ tại điểm M trên mặt phẳng tiêu của thấu kính hội tụ  $I_1$ .
  - Với các giá trị  $\varphi$  khác nhau chùm nhiễu xạ sẽ hội tụ tại các điểm khác nhau. Tùy theo giá trị của  $\varphi$  điểm M có thể sáng hoặc tối. Những điểm sáng tối này nằm dọc trên đường thẳng vuông góc với chiều dài khe hẹp và được gọi là các cực đại và cực tiểu nhiễu xạ.
  - Xét các tia nhiễu xạ theo phương  $\varphi = 0$ , chúng hội tụ tại điểm F. Vì các tia sáng gửi từ mặt phẳng khe tới điểm F có quang lộ bằng nhau và dao động cùng pha nên điểm F rất sáng và được gọi là cực đại giữa.
  - Xét trường hợp  $\varphi \neq 0$ . Áp dụng ý tưởng của phương pháp đói cầu Fresnel ta vẽ các mặt phẳng  $\Sigma_0, \Sigma_1, \Sigma_2, \dots$  vuông góc với chùm tia nhiễu xạ và cách đều nhau một khoảng  $\lambda / 2$ , chúng sẽ chia mặt khe thành các dải sáng nằm song song với bề rộng của khe hẹp.
- + Bề rộng của mỗi dải:

$$\delta = \frac{\lambda}{2 \sin \varphi}$$

+ Số dải trên khe:

$$n = \frac{b}{\delta} = \frac{2b \sin \varphi}{\lambda}$$

+ Hiệu quang lô giữa hai tia từ hai dải liên tiếp:

$$L_1 - L_2 = \frac{\lambda}{2}$$

+ Điều kiện điểm M tối là:

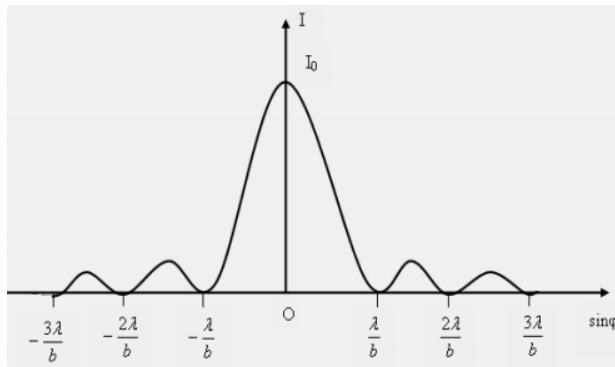
$$n = \frac{2b \sin \varphi}{\lambda} = 2k \Rightarrow \sin \varphi = k \frac{\lambda}{b}; \quad (k = \pm 1, \pm 2, \dots)$$

+ Điều kiện điểm M sáng là:

$$n = \frac{2b \sin \varphi}{\lambda} = 2k + 1 \Rightarrow \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2b}; \quad (k = 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

Tóm lại ta có các điều kiện cực đại, cực tiểu nhiễu xạ qua một khe hẹp như sau:

- Cực đại giữa ( $k=0$ ):  $\sin \varphi = 0$
- Cực tiểu nhiễu xạ:  $\sin \varphi = k \frac{\lambda}{b} = \pm \frac{\lambda}{b}, \pm 2 \frac{\lambda}{b}, \pm 3 \frac{\lambda}{b}, \dots$
- Cực đại nhiễu xạ:  $\sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2b} = \pm 3 \frac{\lambda}{2b}, \pm 5 \frac{\lambda}{b}, \pm 7 \frac{\lambda}{b}, \dots$



**Câu 6:** Trình bày sự phân cực ánh sáng, định luật Maluyt.

▲ *Trình bày sự phân cực ánh sáng.*

• Ánh sáng tự nhiên:

+ Ánh sáng mang tính chất sóng và tuân theo các phương trình Maxwell cho sóng điện từ.

- + Vận tốc ánh sáng:  $c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$ .
- + Nguồn sáng: tổng hợp vô số các đoàn sóng tạo bởi các nguyên tử phát sáng.
- + Mỗi đoàn sóng có vector cường độ điện trường luôn dao động theo một phương nhất định và vuông góc với tia sáng.
- + Các nguyên tử chuyển động hỗn loạn cho nên các vector cường độ điện trường của ánh sáng có phương khác nhau.

Ánh sáng tự nhiên có vector cường độ điện trường dao động đều đặn theo mọi phương vuông góc với tia sáng.

• Ánh sáng phân cực:

- + Phân cực ánh sáng: ánh sáng đi qua các môi trường bất đồng hướng về mặt quang học.
- + Phân cực thẳng (phân cực toàn phần): các vector cường độ điện trường dao động cùng phương tại mọi điểm.
- + Mặt phẳng tạo bởi  $\vec{E}$  và phương truyền được gọi là mặt phẳng phân cực của sóng.
- + Ánh sáng tự nhiên được xem là một tập hợp của vô số ánh sáng phân cực thẳng.
- + Ánh sáng phân cực một phần: là ánh sáng có vector cường độ điện trường dao động theo nhiều phương, nhưng độ mạnh yếu của dao động giữa các phương là khác nhau.

▲ *Định luật Maluyt.*

Khi một chùm tia sáng tự nhiên rọi qua hai bản tuamalin (bản mặt phân cực) có quang trực hợp với nhau một góc  $\alpha$  thì cường độ sáng nhận được tỉ lệ với  $\cos^2 \alpha$ .

$$I_2 = a_2^2 = I_1 \cos^2 \alpha$$

## Câu 7: Hiện tượng bức xạ nhiệt và định luật Kirchhoff.

### ▲ Hiện tượng bức xạ nhiệt.

- Định nghĩa: Bức xạ nhiệt là hiện tượng sóng điện từ phát ra từ những vật bị kích thích bởi tác dụng nhiệt.

- Đặc điểm:

- Bức xạ nhiệt là bức xạ có thể đạt trạng thái cân bằng. Khi đó năng lượng do vật bức xạ phát ra đúng bằng năng lượng dưới dạng nhiệt mà vật thu vào.
- Bức xạ nhiệt xảy ra ở mọi nhiệt độ ngoại trừ 0 K.
- Khi vật phát bức xạ nhiệt nó không phát ra một bức xạ có tần số (hay bước sóng) duy nhất, mà phát một dải các bức xạ có nhiều tần số (hay bước sóng) khác nhau gọi là phổ bức xạ của vật:  $\lambda = 0 \rightarrow \infty$ .

- Các đại lượng đặc trưng:

- Năng suất bức xạ đơn sắc ( $r(\lambda, T)$ ): là năng lượng phát ra trong một đơn vị thời gian (năng thông,  $d\Phi_{em}(\lambda, T)$ ) từ một diện tích  $dS$  trên bề mặt của vật ứng với khoảng bước sóng từ  $\lambda \rightarrow \lambda + d\lambda$ ,

$$r(\lambda, T) = \frac{d\Phi_{em}(\lambda, T)}{dS d\lambda}; \quad [r(\lambda, T)] = W / m^3$$

- Năng suất bức xạ toàn phần ( $R(\lambda, T)$ ): là năng lượng phát ra trong một đơn vị thời gian từ một diện tích  $dS$  trên bề mặt của vật ứng với mọi bước sóng bức xạ,

$$R(T) = \int_0^{\infty} r(\lambda, T) d\lambda; \quad [R(T)] = W / m^2$$

- Hệ số hấp thụ đơn sắc ( $a(\lambda, T)$ ): Giả sử một bức xạ đơn sắc có bước sóng nằm trong khoảng  $\lambda$  đến  $\lambda + d\lambda$  gửi tới một đơn vị diện tích của vật một

năng thông  $d\Phi(\lambda, T)$  nhưng vật chỉ hấp thụ được năng thông  $d\Phi_{abs}(\lambda, T)$  thì tỷ số sau được gọi là hệ số hấp thụ đơn sắc,

$$a(\lambda, T) = \frac{d\Phi_{abs}(\lambda, T)}{d\Phi(\lambda, T)}$$

▲ Định luật Kirchhoff.

- Định luật: Tỉ số giữa hệ số phát xạ đơn sắc  $r(\lambda, T)$  và hệ số hấp thụ đơn sắc  $a(\lambda, T)$  của cùng một vật ở nhiệt độ nhất định là một hàm chỉ phụ thuộc vào bước sóng bức xạ  $\lambda$  và nhiệt độ  $T$  mà không phụ thuộc vào bản chất của vật đó.

$$\frac{r(\lambda, T)}{a(\lambda, T)} = f(\lambda, T)$$

Hàm  $f(\lambda, T)$  gọi là hàm phổ biến, chỉ phụ thuộc  $\lambda$  và nhiệt độ  $T$  mà không phụ thuộc vào bản chất của các vật.

- Đặc điểm:

- Vật chỉ phát ra bức xạ nằm trong miền mà nó hấp thụ, vì:

$$r(\lambda, T) = f(\lambda, T)a(\lambda, T) \Rightarrow r(\lambda, T) \neq 0 \text{ khi } a(\lambda, T) \neq 0$$

- Vật đen tuyệt đối là vật hấp thụ mạnh nhất nhưng nó cũng là vật phát xạ mạnh nhất:

$$a(\lambda, T) = 1 \Rightarrow r(\lambda, T) = f(\lambda, T)$$

- Năng suất bức xạ của các vật luôn nhỏ hơn năng suất bức xạ của vật đen tuyệt đối ở cùng nhiệt độ và bước sóng.

**Câu 8:** Sự khủng hoảng vùng tử ngoại và thuyết lượng tử Planck; các định luật bức xạ của vật đen tuyệt đối.

▲ *Sự khủng hoảng vùng tử ngoại.*

- Xuất phát từ quan niệm của vật lí cổ điển coi các nguyên tử và phân tử phát xạ hoặc hấp thụ năng lượng một cách liên tục, Rayleigh-Jeans đã tìm được một công thức xác định hệ số phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối như sau:

$$f(v, T) = \frac{2\pi v^2}{c^2} k_B T$$

$k_B = 1,38 \times 10^{-23} J / K$  là hằng số Boltzmann.

- Công thức này chỉ phù hợp với thực nghiệm ở vùng tần số nhỏ (bước sóng lớn), còn ở vùng tần số lớn (bước sóng nhỏ), tức là vùng sóng tử ngoại, nó sai lệch rất nhiều. Bé tắc này tồn tại suốt trong khoảng thời gian dài cuối thế kỷ 19 và được gọi là sự khủng hoảng ở vùng tử ngoại.
- Năng suất phát xạ toàn phần của một vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ T:

$$R(T) = \int_0^\infty f(v, T) dv = \frac{2\pi k_B T}{c^2} \int_0^\infty v^2 dv = \infty$$

Năng lượng phát xạ toàn phần của vật ở một nhiệt độ T nhất định lại bằng vô cùng. Điều này là sai. Sở dĩ có kết quả vô lý đó là do quan niệm vật lí cổ điển về sự phát xạ và hấp thụ năng lượng bức xạ một cách liên tục.

▲ *Thuyết lượng tử Planck.*

- Các nguyên tử và phân tử phát xạ hay hấp thụ năng lượng của bức xạ điện từ một cách gián đoạn, nghĩa là phần năng lượng phát xạ hay hấp thụ luôn là bội số nguyên của một lượng năng lượng nhỏ xác định gọi là lượng tử năng lượng hay quantum năng lượng.
- Một lượng tử năng lượng của bức xạ điện từ đơn sắc tần số  $v$ , bước sóng  $\lambda$ ,

$$\varepsilon = hv = h \frac{c}{\lambda}$$

trong đó  $h = 6,625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  là hằng số Planck,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  là vận tốc ánh sáng trong chân không.

- Công thức Planck: Từ giả thuyết, Planck đã tìm được công thức xác định năng suất phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối,

$$f(v, T) = \frac{2\pi v^2}{c^2} \frac{hv}{e^{\frac{hv}{k_B T}} - 1}$$

▲ Các định luật bức xạ của vật đen tuyệt đối.

- Định luật Stephan-Boltzmann: Năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối tỉ lệ thuận với lũy thừa bậc bốn của nhiệt độ tuyệt đối của vật đó,

$$R(T) = \sigma T^4$$

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W / (m}^2 \text{ K}^4\text{)}$  được gọi là hằng số Stephan-Boltzmann.

- Định luật Wien: Đối với vật đen tuyệt đối, bước sóng  $\lambda_m$  của chùm bức xạ đơn sắc mang nhiều năng lượng nhất tỷ lệ nghịch với nhiệt độ tuyệt đối của vật đó.

$$\lambda_m = \frac{b}{T}$$

$b = 2,898 \times 10^{-3} \text{ mK}$  được gọi là hằng số Wien.

**Câu 9:** Thuyết photon của Einstein, phát biểu và giải thích các định luật quang điện, hiệu ứng Compton.

▲ Thuyết photon của Einstein.

- Bức xạ điện từ gồm vô số những hạt rất nhỏ gọi là lượng tử ánh sáng hay photon.
- Với mỗi bức xạ điện từ đơn sắc nhất định, các photon đều giống nhau và mang một năng lượng xác định bằng,

$$\varepsilon = hv = h \frac{c}{\lambda}$$

- Trong mọi môi trường (và cả trong chân không) các photon được truyền đi với cùng vận tốc  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- Khi một vật phát xạ hay hấp thụ bức xạ điện từ có nghĩa là vật đó phát xạ hay hấp thụ các photon.
- Cường độ của chùm bức xạ tỉ lệ với số photon phát ra từ nguồn trong một đơn vị thời gian.

▲ *Phát biểu và giải thích các định luật quang điện.*

- Định nghĩa hiệu ứng quang điện: Hiệu ứng bắn ra các electron từ một tấm kim loại khi rơi vào tấm kim loại đó một bức xạ điện từ thích hợp được gọi là hiện tượng quang điện. Các electron bắn ra được gọi là các quang electron.
- Phương trình Einstein:

$$h\nu = h\frac{c}{\lambda} = A_{th} + \frac{1}{2}mv_{0\max}^2$$

trong đó,

- +  $h = 6,625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  là hằng số Planck,
- +  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  là vận tốc ánh sáng trong chân không,
- +  $A_{th}$  công thoát để electron thoát ra khỏi kim loại,  $[A_{th}] = \text{J}$ ,
- +  $(1/2)mv_{0\max}^2$  động năng ban đầu cực đại của quang electron, đơn vị J.

- Định luật về giới hạn quang điện: Đối với mỗi kim loại xác định, hiện tượng quang điện chỉ xảy ra khi bước sóng  $\lambda$  (hay tần số  $\nu$ ) của chùm bức xạ điện từ rơi tới nhỏ hơn (lớn hơn) một giá trị xác định  $\lambda_0(\nu_0)$ , và  $\lambda_0$  gọi là giới hạn quang điện của kim loại đó.

Giải thích: Theo phương trình Einstein, ta có

$$\frac{1}{2}mv_{0\max}^2 > 0 \Rightarrow h\frac{c}{\lambda} > A_{th} \Rightarrow \lambda < \frac{hc}{A_{th}} = \lambda_0$$

- Định luật về dòng quang điện bão hòa: Cường độ dòng quang điện bão hòa tỉ lệ với cường độ của chùm bức xạ rời tới.

Giải thích: Cường độ dòng quang điện tỉ lệ với số quang electron thoát ra khỏi catốt đến anôt trong một đơn vị thời gian. Dòng quang điện trở nên bão hòa khi số quang electron thoát khỏi catốt đến anôt trong đơn vị thời gian là không đổi. Số quang electron thoát ra khỏi catốt tỉ lệ với số phôtôん bị hấp thụ. Số phôtôん bị hấp thụ lại tỉ lệ với cường độ của chùm bức xạ. Do đó cường độ dòng quang điện bão hòa tỉ lệ thuận với cường độ chùm bức xạ rời tới.

- Định luật về động năng ban đầu cực đại của quang electron: Động năng ban đầu cực đại của quang electron không phụ thuộc vào cường độ chùm bức xạ rời tới mà chỉ phụ thuộc vào tần số của chùm bức xạ đó.

Giải thích: Theo phương trình Einstein, ta có

$$\begin{aligned} h\nu &= A_{th} + \frac{1}{2}mv_{0\max}^2 = h\nu_0 + \frac{1}{2}mv_{0\max}^2 \\ &\Rightarrow \frac{1}{2}mv_{0\max}^2 = h(\nu - \nu_0) \end{aligned}$$

#### ▲ Hiệu ứng Compton.

- Thí nghiệm Compton: Cho một chùm tia X bước sóng  $\lambda$  chiếu vào graphit hay parafin,... Khi đi qua các chất này tia X bị tán xạ theo nhiều phương. Trong phổ tán xạ, ngoài vạch có bước sóng bằng bước sóng  $\lambda$  của chùm tia X chiếu tới còn có những vạch ứng với bước sóng  $\lambda' > \lambda$ .
- Giải thích hiệu ứng Compton:

- Coi hiện tượng tán xạ tia X như một va chạm hoàn toàn đàn hồi giữa một photon và một electron trong chất mà tia X chiếu tới.
- Những vạch có bước sóng bằng bước sóng  $\lambda$  của tia X chiếu tới tương ứng với sự tán xạ của tia X lên các electron ở sâu trong nguyên tử.

- Đối với các vạch có bước sóng  $\lambda' > \lambda$  tương ứng với sự tán xạ tia X lên các electron lớp ngoài cùng liên kết yếu với hạt nhân và coi gần đúng là electron tự do.
- Phương trình hiệu ứng Compton: từ định luật bảo toàn năng lượng và động lượng cùng và thuyết photon của Einstein,

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta) = 2\Lambda_c \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

trong đó,

- $\Lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 2,426 \times 10^{-12} m$  là một hằng số chung cho mọi chất, được gọi là bước sóng Compton,
- $\lambda$  là bước sóng của bức xạ tới (photon tới),
- $\lambda'$  là bước sóng của bức xạ bị tán xạ (photon bị tán xạ),
- $\theta$  là góc tán xạ.

**Câu 10:** Tính sóng hạt của vật chất trong thế giới vi mô và hệ thức bất định Heisenberg.

▲ *Tính sóng-hạt của vật chất trong thế giới vi mô.*

- Tính sóng-hạt của ánh sáng: Một photon có năng lượng  $\varepsilon = \hbar\omega$ , xung lượng  $\vec{p} = \hbar\vec{k}$  ứng với một sóng ánh sáng đơn sắc có tần số góc  $\omega$  và vector số sóng  $\vec{k}$  hoàn toàn xác định,

$$x = A \cos(\omega t - \vec{k}\vec{r})$$

- Giả thiết de Broglie.

Một vi hạt tự do có năng lượng xác định, động lượng xác định tương ứng với một sóng phẳng đơn sắc xác định:

- Năng lượng của vi hạt liên hệ với tần số dao động của sóng tương ứng thông qua hệ thức:

$$E = h\nu \text{ hay } E = \hbar\omega$$

- Động lượng  $\vec{p}$  của vi hạt liên hệ với bước sóng  $\lambda$  của sóng tương ứng theo hệ thức:

$$p = \frac{h}{\lambda} \text{ hay } \vec{p} = \hbar\vec{k}$$

▲ *Hệ thức bất định Heisenberg.*

Do có lưỡng tính sóng hạt nên qui luật vận động của vi hạt trong thế giới vi mô khác với qui luật vận động của hạt trong thế giới vĩ mô. Một trong những điểm khác biệt đó là hệ thức bất định Heisenberg.

- Theo Heisenberg, trong cơ học lượng tử có những cặp đại lượng không thể xác định đồng thời một cách chính xác:

$$\begin{cases} \Delta x \Delta p_x \approx h \\ \Delta y \Delta p_y \approx h \\ \Delta z \Delta p_z \approx h \\ \Delta E \Delta t \approx h \end{cases}$$

Trong đó,

- $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  là độ bất định về tọa độ,
- $\Delta p_x, \Delta p_y, \Delta p_z$  là độ bất định về xung lượng,
- $\Delta E$  là độ bất định về năng lượng,
- $\Delta t$  là độ bất định về thời gian.

- Ý nghĩa của hệ thức bất định:

+ Không thể xác định đồng thời cả tọa độ lẫn xung lượng. Cụ thể: Khi  $\Delta x$  càng nhỏ (tức là khi xác định chính xác tọa độ của vi hạt) thì  $\Delta p_x$  càng lớn (tức là vận tốc càng không xác định)  $\rightarrow$  Không có khái niệm quỹ đạo chuyển động của hạt vi

mô vì vị trí và vận tốc của hạt không thể xác định một cách chính xác đồng thời, mà chỉ có thể đoán nhận vị trí của hạt với một xác suất nào đó.

- + Hệ thức Heisenberg còn cho thấy: Cơ học cổ điển có giới hạn áp dụng nhất định. Quá giới hạn đó cơ học cổ điển mất chính xác và ta phải áp dụng cơ học lượng tử.
- + Năng lượng của hệ ở trạng thái nào đó càng bất định thì thời gian hệ tồn tại ở trạng thái đó càng ngắn và ngược lại.

**Câu 11:** Hàm sóng và các điều kiện của hàm sóng, ý nghĩa của hàm sóng.

▲ *Hàm sóng.*

- Sự vận động của hạt trong thế giới vi mô tuân theo quy luật thống kê. Hàm sóng được sử dụng để mô tả trạng thái của vi hạt.
- Hàm sóng là hàm phức của tọa độ và thời gian:

$$\Psi = \Psi(\vec{r}, t) = \Psi(x, y, z, t) = A e^{-i(\omega t - \vec{k}\vec{r})} = A e^{-\frac{i}{\hbar}(Et - \vec{p}\vec{r})}$$

- Bình phương biên độ sóng:

$$|\Psi|^2 = \Psi\Psi^* = A^2$$

$\Psi^*$  là liên hợp phức của  $\Psi$ .

▲ *Các điều kiện của hàm sóng.*

- + Điều kiện chuẩn hóa hàm sóng: Nếu ta tìm vi hạt trong toàn không gian thì chắc chắn sẽ tìm thấy hạt. Khi đó xác suất tìm thấy hạt = 1.

$$\iiint |\Psi|^2 dV = 1$$

- + Hàm sóng phải hữu hạn: Điều này được suy ra từ điều kiện chuẩn hóa, hàm sóng phải hữu hạn thì tích phân mới hữu hạn.

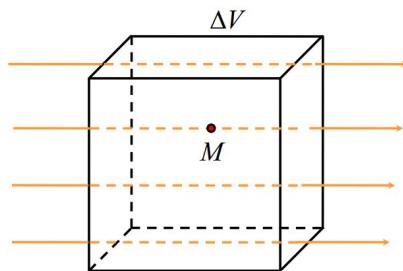
- + Hàm sóng phải đơn trị, vì theo lí thuyết xác suất: mỗi trạng thái chỉ có một giá trị xác suất tìm hạt.

+ Hàm sóng phải liên tục vì mật độ xác suất biến thiên liên tục mà không thể thay đổi một cách nhảy vọt.

+ Đạo hàm bậc nhất của hàm sóng phải liên tục. Điều này được rút ra từ điều kiện của phương trình Schrödinger mà hàm sóng thỏa mãn.

▲ *Ý nghĩa của hàm sóng.*

Xét chùm hạt photon truyền trong không gian. Giả sử  $\Delta V$  là yếu tố thể tích bất kỳ trong không gian xung quanh điểm M.



- Theo quan điểm sóng: Cường độ sáng tại điểm M tỷ lệ với bình phương biên độ dao động sáng tại M,

$$I_M \sim A^2 = |\Psi|^2$$

Như vậy,  $|\Psi|^2$  càng lớn thì tại M càng sáng.

- Theo quan điểm hạt (Lượng tử): Cường độ sáng tại điểm M tỷ lệ với số hạt photon có trong 1 đơn vị thể tích (mật độ hạt) tại điểm đó. Như vậy, mật độ hạt tại M tỷ lệ với bình phương hàm sóng  $|\Psi|^2$ . Mà ta đã biết thì nếu mật độ hạt càng cao thì khả năng tìm thấy hạt càng lớn. Như vậy,  $|\Psi|^2$  đặc trưng cho khả năng tìm thấy hạt trong 1 đơn vị thể tích bao quanh điểm đó (gọi là mật độ xác suất tìm thấy hạt tại điểm đó).

Kết luận: Hàm sóng của vi hạt mang tính thống kê và xác suất tìm thấy vi hạt trong thể tích  $dV$  bao quanh một điểm M nào đó có hàm sóng  $\Psi$  là  $|\Psi|^2 dV$ .

**Câu 12:** Phương trình cơ bản của cơ học lượng tử, ứng dụng để khảo sát hạt trong giếng thế năng.

▲ *Phương trình cơ bản của cơ học lượng tử.*

- Hàm sóng de Broglie mô tả chuyển động của vi hạt tự do có năng lượng và động lượng xác định:

$$\Psi(\vec{r}, t) = A e^{-\frac{i}{\hbar}(Et - \vec{p}\vec{r})} = \psi(\vec{r}) e^{-\frac{i}{\hbar}Et}$$

Trong đó  $\psi(\vec{r})$  là phần phụ thuộc vào tọa độ của hàm sóng:

$$\psi(\vec{r}) = A e^{\frac{i}{\hbar}\vec{p}\vec{r}} = A e^{\frac{i}{\hbar}(xp_x + yp_y + zp_z)}$$

- Đạo hàm của hàm sóng  $\psi(\vec{r})$ :

+ Đạo hàm cấp 1 theo x:

$$\frac{\partial \psi(\vec{r})}{\partial x} = \left( \frac{i}{\hbar} p_x \right) \psi(\vec{r})$$

+ Đạo hàm cấp 2 theo x:

$$\frac{\partial^2 \psi(\vec{r})}{\partial x^2} = \left( \frac{i}{\hbar} p_x \right)^2 \psi(\vec{r}) = -\frac{p_x^2}{\hbar^2} \psi(\vec{r})$$

+ Tương tự cho y và z:

$$\frac{\partial^2 \psi(\vec{r})}{\partial y^2} = -\frac{p_y^2}{\hbar^2} \psi(\vec{r}); \quad \frac{\partial^2 \psi(\vec{r})}{\partial z^2} = -\frac{p_z^2}{\hbar^2} \psi(\vec{r})$$

- Toán tử Laplace  $\Delta$  trong hệ toạ độ Descartes:

$$\Delta \psi(\vec{r}) = \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \psi(\vec{r}) = -\frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}{\hbar^2} \psi(\vec{r}) = -\frac{p^2}{\hbar^2} \psi(\vec{r}) \quad (1)$$

- Gọi  $T$  là động năng của hạt:

$$T = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} \Rightarrow p^2 = 2mT \quad (2)$$

Thay (2) vào (1), ta có:

$$\Delta\psi(\vec{r}) + \frac{2m}{\hbar^2} T\psi(\vec{r}) = 0 \quad (3)$$

- Nếu hạt chuyển động trong trường lực có thế năng  $U$  không phụ thuộc vào thời gian:

$$T = E - U \quad (4)$$

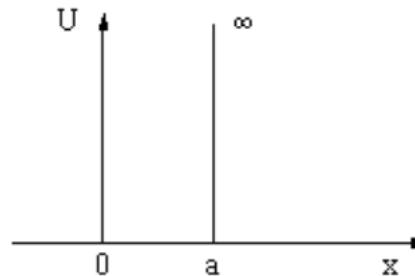
- Phương trình Schrödinger cho hạt ở trạng thái dừng: thay (4) vào (3) ta có,

$$\Delta\psi(\vec{r}) + \frac{2m}{\hbar^2} [E - U(\vec{r})] \psi(\vec{r}) = 0$$

▲ *Ứng dụng để khảo sát hạt trong giếng thế năng.*

- Xét hạt nằm trong giếng thế một chiều cao vô hạn:

$$U = \begin{cases} 0, & 0 < x < a \\ \infty, & x \leq 0 \vee x \geq a \end{cases}$$



- Phương trình Schrödinger của hạt bên trong giếng thế ( $U = 0$ ) một chiều (chiều x) có dạng:

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + \frac{2mE}{\hbar^2} \psi(x) = 0 \quad (1)$$

+ Đặt:

$$k^2 = \frac{2mE}{\hbar^2} \quad (2)$$

+ Thay (2) vào (1), ta có:

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + k^2\psi(x) = 0 \quad (3)$$

+ Nghiệm của phương trình (3) có dạng như sau:

$$\psi(x) = A \sin(kx) + B \cos(kx) \quad (4)$$

+ Từ điều kiện liên tục của hàm sóng:

Tại  $x = 0 \rightarrow \psi(0) = 0$ :

$$0 = A \sin(0) + B \cos(0) \Rightarrow B = 0 \quad (5)$$

Tại  $x = a \rightarrow \psi(a) = 0$ :

$$0 = A \sin(ka) \Rightarrow k = \frac{n\pi}{a}; \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (6)$$

+ Hàm sóng (4) được viết lại như sau:

$$\psi_n(x) = A \sin\left(\frac{n\pi}{a}x\right) \quad (7)$$

+ Điều kiện chuẩn hóa hàm sóng:

$$\int_0^a A^2 \sin^2\left(\frac{n\pi}{a}x\right) dx = \frac{A^2}{2} \int_0^a \left[1 - \cos\left(\frac{2n\pi}{a}x\right)\right] dx = \frac{A^2 a}{2} = 1 \Rightarrow A = \sqrt{\frac{2}{a}} \quad (8)$$

- Hàm sóng của hạt bên trong giếng thế: thay (8) vào (7), ta có

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin\left(\frac{n\pi}{a}x\right)$$

- Năng lượng tương ứng của hạt bên trong giếng thế: thay (6) vào (2), ta có

$$E_n = n^2 \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$$

**Câu 13:** Biểu thức năng lượng của điện tử trong nguyên tử hydro, từ đó rút ra các kết luận quan trọng về năng lượng, trạng thái và giải thích quang phổ vạch của hydro.

▲ *Biểu thức năng lượng của điện tử trong nguyên tử hydro.*

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{m_e e^4}{2(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2} = -\frac{R\hbar}{n^2}$$

Trong đó,  $R = m_e e^4 / [4\pi (4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^3] = 3,27 \times 10^{15} s^{-1}$  gọi là hằng số Ritbe.

▲ *Các kết luận quan trọng về năng lượng, trạng thái và giải thích quang phổ vạch của hydro.*

• Năng lượng của electron trong nguyên tử hidrô:

- Năng lượng của electron trong nguyên tử hidrô chỉ phụ thuộc vào số nguyên  $n$ . Ứng với mỗi số nguyên  $n$  có một mức năng lượng, như vậy năng lượng biến thiên gián đoạn, ta nói năng lượng bị lượng tử hoá.  $E_n$  luôn âm, khi  $n \rightarrow \infty \Rightarrow E \rightarrow 0$ . Năng lượng tăng theo  $n$ .
- Mức năng lượng thấp nhất  $E_1$  ứng với  $n = 1$  được gọi là mức năng lượng cơ bản. Các mức năng lượng lần lượt tăng theo thứ tự  $E_2 < E_3 < E_4 < \dots$  Càng lên cao, các mức năng lượng càng gần nhau và khi  $n \rightarrow \infty$  năng lượng biến thiên liên tục. Trong vật lí nguyên tử người ta kí hiệu  $E_1$ : mức K,  $E_2$ : mức L,  $E_3$ : mức M...

• Năng lượng ion hoá của nguyên tử hydro: là năng lượng cần thiết để electron bứt ra khỏi nguyên tử, có nghĩa là electron sẽ chuyển từ mức năng lượng cơ bản  $E_1$  sang mức năng lượng  $E_\infty$ ,

$$E = E_\infty - E_1 = 0 - (-R\hbar) = 13,5 eV$$

• Trạng thái lượng tử của electron:

- Trạng thái của electron được mô tả bởi hàm sóng:

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

Trong đó,

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

$l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$ : số lượng tử orbital,

$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$ : số lượng tử từ

- Hàm sóng phụ thuộc vào các số lượng tử  $n, l, m$ . Do đó, nếu ít nhất một trong ba chỉ số  $n, l, m$  khác nhau ta đã có một trạng thái lượng tử khác. Ta thấy ứng với mỗi giá trị của  $n$  thì  $l$  có  $n$  giá trị khác nhau và ứng với mỗi giá trị của  $l$  thì  $m$  có  $2l+1$  giá trị khác nhau, do đó với mỗi giá trị của  $n$  ta có số trạng thái lượng tử bằng:

$$\sum_{l=0}^{n-1} (2l+1) = \frac{[1 + (2n-1)]n}{2} = n^2$$

- Như vậy ứng với một số lượng tử  $n$ , tức là với mỗi mức năng lượng  $E_n$ , ta có  $n^2$  trạng thái lượng tử  $\psi_{nlm}$  khác nhau.
- Năng lượng  $E_1$  (mức năng lượng thấp nhất) có một trạng thái lượng tử. Trạng thái lượng tử ở mức  $E_1$  được gọi là trạng thái cơ bản.  $E_n$  có  $n^2$  trạng thái lượng tử, ta nói  $E_n$  suy biến bậc  $n^2$ . Các trạng thái lượng tử ở các mức năng lượng lớn hơn  $E_1$  được gọi là trạng thái kích thích.
- Xác suất tìm electron trong thể tích  $dV$  ở một trạng thái nào đó: Vì  $|\psi_{nlm}|^2$  là mật độ xác suất, nên xác suất tồn tại của electron trong thể tích  $dV$  ở tọa độ cầu,

$$|\psi_{nlm}|^2 dV = |R_{nl} Y_{lm}|^2 r^2 dr \sin \theta d\theta d\varphi$$

trong đó phần  $R_{nl}^2 r^2 dr$  chỉ phụ thuộc khoảng cách  $r$ , biểu diễn xác suất tìm electron tại một điểm cách hạt nhân một khoảng  $r$ , còn  $|Y_{lm}|^2 \sin \theta d\theta d\varphi$  biểu diễn xác suất tìm electron theo các góc  $(\theta, \varphi)$ .

- Giải thích cấu tạo vạch của quang phổ hydro:

- Khi không có kích thích bên ngoài electron bao giờ cũng ở trạng thái cơ bản (ứng với mức  $E_1$ ). Dưới tác dụng của kích thích, electron nhận năng lượng chuyển lên trạng thái kích thích ứng với mức năng lượng  $E_n$  cao hơn. Electron chỉ ở trạng thái này trong thời gian rất ngắn ( $\sim 10^{-8} s$ ), sau đó trở về mức năng lượng  $E_{n'}$  thấp hơn. Trong quá trình chuyển mức từ  $E_n \rightarrow E_{n'}$  electron bức xạ năng lượng dưới dạng sóng điện từ, nghĩa là phát ra photon năng lượng  $h\nu$ . Theo định luật bảo toàn năng lượng:

$$h\nu_{nn'} = E_n - E_{n'} = -\frac{R\hbar}{n^2} + \frac{R\hbar}{n'^2}$$

hay

$$\nu_{nn'} = R \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

- Khi  $n' = 1$  ta được các vạch phổ trong dãy Lyman:

$$\nu_{n1} = R \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{n^2} \right); \quad (n = 2, 3, 4, \dots)$$

- Khi  $n' = 2$  ta được các vạch phổ trong dãy Balmer:

$$\nu_{n2} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad (n = 3, 4, 5, \dots)$$

- Khi  $n' = 3$  ta được các vạch phổ trong dãy Paschen:

$$\nu_{n3} = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad (n = 4, 5, 6, \dots)$$

- Khi  $n' = 4$  ta được các vạch phổ trong dãy Brackett:

$$\nu_{n4} = R \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad (n = 5, 6, 7, \dots)$$

**Câu 14:** Khái niệm spin của điện tử. Giải thích cấu tạo bội của vạch quang phổ trong các dãy KLM.

▲ *Khái niệm spin của điện tử.*

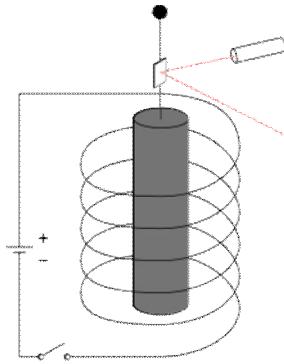
Lí thuyết cơ học lượng tử đã giải quyết khá trọn vẹn bài toán cấu trúc nguyên tử hiđrô như đã trình bày ở trên. Trạng thái lượng tử của electron được mô tả bởi ba số lượng tử  $n, l, m$ . Tuy nhiên có nhiều sự kiện thực nghiệm khác chứng tỏ việc mô tả trạng thái lượng tử như trên là chưa đủ. Ở đây chúng ta xét hai hiện tượng: sự tách vạch quang phổ của kim loại kiềm và thí nghiệm Einstein – de Haas.

• **Sự tách vạch quang phổ kim loại kiềm:**

- Nhờ có những máy quang phổ có năng suất phân giải cao, người ta phát hiện thấy các vạch quang phổ không phải là vạch đơn mà là vạch gồm rất nhiều vạch nhòe nét hợp thành ngay cả khi không có từ trường ngoài.
- Sự tách vạch như vậy chứng tỏ rằng mức năng lượng của nguyên tử kim loại kiềm không chỉ phụ thuộc vào hai số lượng tử  $n$  và  $l$ , mà còn phụ thuộc vào một đại lượng nào đó nữa đã làm thay đổi chút ít năng lượng của mức.
- Electron phải có thêm một bậc tự do nữa ảnh hưởng đến quá trình bức xạ và bậc tự do này là  $s$  được gọi là spin.

• **Thí nghiệm Einstein-de Haas:**

- Treo một thanh sắt từ vào một sợi dây thạch anh. Thanh sắt sẽ được từ hóa nhờ dòng điện chạy qua cuộn dây bao quanh thanh.



- Khi chưa có dòng điện chạy trong cuộn dây, các vectơ mômen từ của các nguyên tử sắt từ đã được định hướng một cách ngẫu nhiên, do đó tác dụng từ của chúng bị triệt tiêu ở tất cả mọi điểm bên ngoài thanh sắt.
- Khi có dòng điện chạy qua cuộn dây, các vectơ mômen từ nguyên tử sẽ sắp xếp thẳng hàng theo hướng của từ trường ngoài làm cho các mômen động lượng nguyên tử cũng xếp thẳng hàng nhưng theo hướng ngược lại.
- Vì thanh sắt được cô lập với bên ngoài (hệ kín) nên mômen động lượng được bảo toàn và cả thanh sắt phải quay đi. Nếu dòng điện thay đổi, mômen từ cũng thay đổi, do đó mômen động lượng  $\vec{L}$  cũng thay đổi. Dây treo sẽ bị xoắn lại. Đo góc xoắn này ta có thể xác định được  $\vec{L}$  và kiểm nghiệm tỉ số  $\mu / L$ .
- Tỉ số đo được từ thí nghiệm là:

$$\frac{\mu}{L} = -\frac{e}{m_e}$$

khác với hệ số từ cơ lý thuyết,

$$\frac{\mu}{L} = -\frac{e}{2m_e}$$

- Từ các kết quả thực nghiệm trên, người ta đi đến kết luận là ngoài chuyển động quanh hạt nhân, electron còn tham gia chuyển động riêng liên quan tới sự vận động nội tại của electron, chuyển động này được đặc trưng bởi

mômen cơ riêng, gọi là spin, kí hiệu  $\vec{S}$ . Cơ học lượng tử đã chứng minh rằng, tương tự như mômen động lượng orbital  $\vec{L}$ , mômen spin  $\vec{S}$  cũng lấy những giá trị gián đoạn:

$$S\sqrt{s(s+1)}\hbar$$

trong đó  $s = 1/2$ , gọi là số lượng tử spin, do đó  $S = \sqrt{3}\hbar/2$ .

- Hình chiếu của mômen spin  $\vec{S}$  theo phương z bất kì bằng:

$$S_z = m_s \hbar = \pm \frac{\hbar}{2}$$

- Theo thí nghiệm Einstein-de Haas: electron có mômen từ riêng  $\vec{\mu}_s$

$$\vec{\mu}_s = -\frac{e}{m_e} \vec{S}$$

và hình chiếu của mômen từ riêng trên trục z:

$$\mu_{Sz} = -\frac{e}{m_e} S_z = \mp \frac{e\hbar}{2m_e} = \mp \mu_B$$

▲ Giải thích cấu tạo bởi của vạch quang phổ.

- Trên cơ sở cấu trúc tế vi của mức năng lượng ta có thể giải thích được cấu tạo bởi của vạch quang phổ. Do năng lượng của electron trong nguyên tử phụ thuộc vào ba số lượng tử  $n, l, j$ , nên khi electron chuyển từ mức năng lượng cao sang mức năng lượng thấp hơn, ngoài qui tắc lựa chọn đối với  $l$ , electron còn phải tuân theo qui tắc lựa chọn đối với  $j$ :

$$\Delta j = 0, \pm 1$$

- Cụ thể, ta xét sự tách vạch của quang phổ kim loại kiềm. Khi chưa xét đến spin, vạch đơn có tần số ứng với chuyển mức:

$$h\nu = 2S - 3P$$

- Khi xét đến spin, ta có vạch kép:

$$h\nu_1 = 2^2 S_{1/2} - 3^2 P_{1/2} \quad (\Delta l = 1, \Delta j = 0)$$

$$h\nu_2 = 2^2 S_{1/2} - 3^2 P_{3/2} \quad (\Delta l = 1, \Delta j = 1)$$

**Câu 15:** Các tính chất cơ bản của hạt nhân nguyên tử.

▲ Các tính chất cơ bản của hạt nhân nguyên tử.

• Cấu tạo hạt nhân:

+ Hạt nhân được cấu tạo từ hai hạt: proton và neutron.

- Proton (p): có điện tích  $q_p = +1,602 \times 10^{-19} C$ , có khối lượng

$$m_p = 1,6725 \times 10^{-27} kg = 1,00728u$$

- Neutron (n): không có điện tích, có khối lượng

$$m_n = 1,6748 \times 10^{-27} kg = 1,00867u$$

+ Ký hiệu hạt nhân nguyên tử:  $X_Z^A$

- X là ký hiệu nguyên tố hoá học,

- Z là số nguyên tử = số electron = số proton,

- A là số khối nguyên tử,

- N=A-Z là số nơtron.

• Kích thước hạt nhân: bán kính hạt nhân tỉ lệ với số khối,

$$R = r_0 A^{1/3}$$

với  $r_0 \approx (1,2 \div 1,5) \times 10^{-15} m$  được gọi là bán kính điện vì nó xác định kích thước của miền chiếm bởi các hạt tích điện trong hạt nhân.

• Spin hạt nhân:

- Mỗi nucleon (proton hay neutron) có spin 1/2, và mômen orbital do chuyển động của nucleon bên trong hạt nhân, nên mỗi nucleon có mômen động lượng toàn phần là:

$$\vec{j}_i = \vec{I}_i + \vec{s}_i$$

trong đó,  $\vec{I}_i$  là mômen orbital và  $\vec{s}_i$  là mômen spin của nucleon thứ i.

- Mômen động lượng toàn phần của hạt nhân:

$$\vec{j} = \sum_{i=1}^A \vec{j}_i \Rightarrow |\vec{j}| = \sqrt{J(J+1)}\hbar$$

với J là spin hạt nhân có giá trị nguyên (0,1,2,...) nếu A chẵn, và bán nguyên ( $1/2, 3/2, 5/2, \dots$ ) nếu A lẻ.

- Mômen từ hạt nhân:

- Vì có mômen spin, nên các proton và neutron đều có mômen từ spin. Riêng proton vì mang điện tích nên còn có mômen từ orbital. Do đó, hạt nhân có mômen từ:

$$\vec{\mu} = \sum_{i=1}^Z \vec{\mu}_{I_i}^{(p)} + \sum_{i=1}^Z \vec{\mu}_{S_i}^{(p)} + \sum_{i=1}^{A-Z} \vec{\mu}_{S_i}^{(n)}$$

Trong đó,

$\vec{\mu}_{I_i}^{(p)}$  là mômen từ orbital của proton thứ i,

$\vec{\mu}_{S_i}^{(p)}$  là mômen từ spin của proton thứ i,

$\vec{\mu}_{S_i}^{(n)}$  là mômen từ spin của neutron thứ i.

- Đơn vị mômen từ hạt nhân là manheton hạt nhân và có giá trị:

$$\mu_n = \frac{e\hbar}{2m_p} = 5,050 \times 10^{-27} J/T$$

- Lực hạt nhân:

- Lực hạt nhân là lực tác dụng ngắn: trong phạm vi  $10^{-15} m$  lực rất mạnh. Ngoài khoảng đó, lực hạt nhân giảm nhanh xuống đến giá trị không.

- Lực hạt nhân không phụ thuộc điện tích: tương tác giữa các proton-proton, proton-nutron, neutron-neutron đều giống nhau nếu các nucleon ở trong cùng trạng thái như nhau.
- Lực hạt nhân có tính chất bão hòa: nghĩa là mỗi nucleon chỉ tương tác với một số nucleon lân cận quanh nó.
- Lực hạt nhân là lực trao đổi: tương tác giữa hai nucleon được thực hiện bằng cách trao đổi một loại hạt gọi là meson  $\pi$ .
- Lực hạt nhân phụ thuộc vào spin của các nucleon.

• Khối lượng và năng lượng liên kết hạt nhân:

- Độ hụt khối của hạt nhân,

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - M$$

với  $M$  là khối lượng của hạt nhân.

- Năng lượng liên kết giữa các nucleon trong hạt nhân,

$$E_{lk} = \Delta mc^2 = [Zm_p + (A - Z)m_n - M]c^2$$

- Năng lượng liên kết riêng của hạt nhân,

$$\varepsilon = \frac{E_{lk}}{A}$$

**Câu 16:** Định luật phân rã và các đại lượng đặc trưng.

▲ *Định luật phân rã.*

- Hiện tượng phóng xạ: là hiện tượng một hạt nhân không bền tự phát phân rã, phát ra các tia phóng xạ và biến đổi thành hạt nhân khác.
- Các tia phóng xạ:

- Tia alpha ( $\alpha$ ): là dòng các hạt nhân của nguyên tử  ${}^4_2He$  mang điện tích dương.

- Tia beta ( $\beta$ ):
  - +  $\beta^-$  là dòng các electron,  ${}_{-1}^0 e$ .
  - +  $\beta^+$  là dòng các pozitron (phản electron),  ${}_{+1}^0 e$ .
- Tia gamma ( ${}_{_0}^0 \gamma$ ): là sóng điện từ có bước sóng cực ngắn  $\lambda < 10^{-11} m$ .

- Định luật phân rã: Trong quá trình phân rã, số hạt nhân phân rã giảm theo thời gian theo định luật hàm số mũ.

- ▲ Các đại lượng đặc trưng.
  - Thời gian bán rã  $T$ : là thời gian để số hạt nhân phóng xạ còn lại một nửa, và có thứ nguyên là  $s$ .
  - Hằng số phân rã  $\lambda$ : là đại lượng đặc trưng cho tốc độ phân rã hạt nhân (có nghĩa là xác suất chuyển trạng thái của hạt nhân để cho ra hạt nhân mới).
    - $\lambda$  càng lớn thì tốc độ phân rã càng nhanh,
    - các hạt nhân khác nhau thì  $\lambda$  có giá trị khác nhau,
    - $\lambda$  có giá trị:  $\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0.693}{T}$ , và có thứ nguyên là  $\frac{1}{s} = s^{-1}$ .
  - Thời gian sống trung bình của một loại hạt nhân  $\tau$ : là thời gian tồn tại trung bình của hạt nhân không bền cho tới lúc phân rã (chính bằng nghịch đảo xác suất chuyển trạng thái của hạt nhân để cho ra hạt nhân mới),  $\tau = \frac{1}{\lambda}$ , có thứ nguyên là  $s$ .
- Các công thức phân rã hạt nhân:
  - Số hạt nhân,

$$N(t) = \frac{N_0}{2^{t/T}} = N_0 e^{-\lambda t}$$

$N(t)$  là số hạt nhân còn lại của chất phóng xạ ở thời điểm  $t$ ,

$N_0$  là số hạt nhân ban đầu của chất phóng xạ ở thời điểm  $t = 0$ .

- Khối lượng hạt nhân,

$$m(t) = \frac{m_0}{2^{t/T}} = m_0 e^{-\lambda t}$$

$m(t)$  là khối lượng hạt nhân còn lại của chất phóng xạ ở thời điểm  $t$ ,

$m_0$  là khối lượng hạt nhân ban đầu của chất phóng xạ ở thời điểm  $t = 0$ .

- Độ phóng xạ (Hoạt độ phóng xạ)  $H$ : là đại lượng đặc trưng cho tính phóng xạ mạnh hay yếu của một lượng chất phóng xạ, kí hiệu  $H$ , được xác định bằng số phân rã trong một giây.

$$H(t) = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = H_0 e^{-\lambda t} = H_0 2^{-t/T}$$

Đơn vị độ phóng xạ:

+ 1 phân rã/giây=1 Bq (Becoren),

+ 1 Ci (Curi)= $3,7 \times 10^{10}$  Bq.