

LÝ THUYẾT VẬT LÝ NGUYÊN TỬ VÀ HẠT NHÂN.

PHẦN I. CƠ SỞ CỦA LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ

I. THUYẾT LƯỢNG TỬ:

1. Ánh sáng được tạo bởi các hạt được gọi là photon

2. Với mỗi ánh sáng đơn sắc có tần số f các photon đều giống nhau, mỗi photon mang năng

lượng bằng hf , động lượng $p = \frac{h}{\lambda}$

3. Trong chân không, photon bay với tốc độ $c = 3.10^8 \text{ m/s}$ dọc theo các tia sáng.

4. Mỗi lần nguyên tử hay phân tử phát xạ hay hấp thụ ánh sáng thì chúng phát ra hay hấp thụ 1 photon. Photon chỉ tồn tại trong trạng thái chuyển động. Không có photon đứng yên.

5. Lưu ý: Mỗi photon sẽ tương tác hoàn toàn hoặc không tương tác với vật chất, nghĩa là nó hoặc có thể truyền toàn bộ năng lượng của mình hoặc không truyền một tý năng lượng nào cả.

Vì các photon chuyển động với vận tốc ánh sáng nên theo thuyết tương đối Einstein, khối lượng nghỉ của chúng bằng không, do đó năng lượng của các photon chỉ có thể có nguồn gốc động học. Nếu một photon tồn tại thì nó sẽ chuyển động với vận tốc ánh sáng, nếu photon không chuyển động với vận tốc như thế nữa thì nó cũng không còn tồn tại.

Đối với photon khối lượng nghỉ $m_0=0$, hệ thức năng – xung lượng tương đối tính có dạng: $E = pc$

Theo quan niệm lượng tử thì cường độ của bức xạ điện từ (trong đó có cường độ ánh sáng) tỷ lệ với số photon đập lên một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền của bức xạ: $I = N \cdot hf$

Trong đó:

- hf là năng lượng của một photon.
- N là thông lượng photon (số photon tới trên một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian) đập đến điểm đang xét.

II. HIỆN TƯỢNG QUANG ĐIỆN

1. Các định luật quang điện.

a) Với mỗi kim loại làm Catot, hiện tượng quang điện chỉ xảy ra khi bước sóng ánh sáng kích thích λ phải nhỏ hơn bước sóng giới hạn λ_0

b) Cường độ dòng quang điện bão hòa tỉ lệ với cường độ chùm sáng kích thích (dòng quang điện đạt bão hòa khi có bao nhiêu electron bị đánh bật ra khỏi Catot trong một giây đều về được đến Anot)

c) Động năng ban đầu cực đại của các electron quang điện không phụ thuộc vào cường độ của chùm sáng kích thích, chỉ phụ thuộc vào bước sóng của ánh sáng kích thích và bản chất của kim loại được dùng làm Catot.

2. Các kiến thức cần nắm

+ Năng lượng của photon ánh sáng: $\varepsilon = hf$ Trong chân không: $\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$.

+ Công thức Anhtan: $hf = \frac{hc}{\lambda} = A + \frac{1}{2}mv_{0\max}^2 = \frac{hc}{\lambda_0} + W_{d\max}$

+ Giới hạn quang điện: $\lambda_0 = \frac{hc}{A}$;

+ Công thoát của e ra khỏi kim loại: $A = \frac{h.c}{\lambda_0}$

$v_{0\max}$ là vận tốc ban đầu của electron quang điện khi thoát khỏi catốt

f, λ là tần số, bước sóng của ánh sáng kích thích

+ Để dòng quang điện triệt tiêu thì $U_{AK} \leq U_h$ ($U_h < 0$): $|eU_h| = \frac{mv_{0\max}^2}{2}$ U_h gọi là hiệu điện

thế hãm

Lưu ý: Trong một số bài toán người ta lấy $U_h > 0$ thì đó là độ lớn.

Triệu Đức Ngọc 1/20 Lý thuyết vật lý nguyên tử và hạt nhân

+ Xét vật cô lập về điện, có điện thế cực đại V_{Max} và khoảng cách cực đại d_{Max} mà electron chuyển động trong điện trường cần có cường độ E được tính theo công thức:

$$|e|V_{Max} = \frac{1}{2}mv_{0Max}^2 = |e|Ed_{Max}$$

+ Với U là hiệu điện thế giữa anốt và catốt, v_A là vận tốc cực đại của electron khi đập vào anốt, $v_K = v_{0Max}$ là vận tốc ban đầu cực đại của electron khi rời catốt thì:

$$|e|U = \frac{1}{2}mv_A^2 - \frac{1}{2}mv_K^2$$

+ Số hạt photon đập vào: $N_\lambda = \frac{pt}{\varepsilon} = \frac{pt\lambda}{hc}$

+ Công suất của nguồn sáng: $P = n_\lambda \varepsilon$

n_λ là số photon phát ra trong mỗi giây. ε là lượng tử ánh sáng.

+ Cường độ dòng quang điện bão hòa: $I_{bh} = n_e e$ (Giả sử $n = n_e$, với n là số electron đến được Anốt)

n_e là số quang electron bức ra khỏi catốt mỗi giây = n số electron tới anốt mỗi giây

e là điện tích nguyên tố.

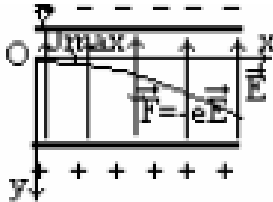
+ Hiệu điện thế hãm: $|eU_h| = \frac{1}{2}m_e v_0^2$

+ Hiệu suất lượng tử: $H = \frac{n_e}{n_\lambda}$ Hay: $H = \frac{I_{bh} hc}{p\lambda |e|}$

n_e là số electron bức ra khỏi catốt kim loại mỗi giây. n_λ là số photon đập vào catốt trong mỗi giây.

3. Độ lệch của electron khi bay trong điện trường

Khi electron quang điện bay ra theo phương vuông góc với điện trường \vec{E} , chọn hệ trục tọa độ như hình vẽ:



Áp dụng định luật II Newton ta có: $\vec{F} = -e \vec{E} = m \vec{a}$

Hay $\vec{a} = \frac{-e\vec{E}}{m}$ (*)

Chiếu (*) lên ox ta được: $a_x = 0$ do đó electron chuyển động thẳng đều với phương trình $x = v_{0max}t$

$\Rightarrow t = \frac{x}{v_{0max}}$ (1)

Chiếu (*) lên oy ta được: $a_y = \frac{eE}{m} = \frac{eU}{md}$ do đó trên oy electron chuyển động thẳng nhanh dần đều

với phương trình: $y = \frac{1}{2}a_y t^2 = \frac{eU}{2md} t^2$ (2)

Thay (1) vào (2) ta được: $y = \frac{1}{2} \frac{eU}{md} \frac{x^2}{v_{0max}^2}$ (**) Có dạng $y = ax^2$

Vây quỹ đạo của electron trong điện trường là 1 parabol.

4. Nâng cao về tia X

a) Bước sóng nhỏ nhất của tia Ronghen: $hf_{Max} = \frac{hc}{\lambda_{Min}} = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow \lambda_{Min} = \frac{hc}{E_d}$

b) Động năng của electron khi đập vào đối catốt (đối âm cực) : $E_d = \frac{mv^2}{2} = |e|U + \frac{mv_0^2}{2}$

U là hiệu điện thế giữa anốt và catốt; v là vận tốc electron khi đập vào đối catốt

v_0 là vận tốc của electron khi rời catốt (thường $v_0 = 0$);

$m = 9,1.10^{-31}$ kg là khối lượng electron

c) Công của lực điện : $|e|U = \frac{1}{2}m(v_0^2 - v^2)$

d) Điều kiện để có hiện tượng nhiễu xạ tia X theo phương phản xạ: $2d \sin \theta = k\lambda$

với θ là góc trượt, d là hằng số mạng tinh thể (khoảng cách giữa các lớp nguyên tử hoặc ion)

III. VÀI NÉT VỀ THUYẾT TƯƠNG ĐỐI - HỆ THỨC EINSTEIN

1. Hệ thức giữa năng lượng và khối lượng $E = mc^2$

2. Năng lượng nghỉ: một vật khối lượng m_0 đang đứng yên dự trữ năng lượng nghỉ là:

$$E_0 = m_0.c^2.$$

3. Các hệ thức tương đối;

a) Hệ thức Lozent: $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

b) Khối lượng động, năng lượng tương đối tính: Một vật khối lượng m_0 chuyển động với vận tốc v thì nó có khối lượng m và năng lượng động E với: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; E = mc^2$

c) Động năng của hạt chuyển động với vận tốc v:

Động năng = Năng lượng động - năng lượng nghỉ; hay:

$$W_d = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2 = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) = e.U_h$$

4. Hệ thức giữa năng lượng và xung lượng:

Từ công thức: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ bình phương hai vế ta có $m^2.c^2 - m^2.v^2 = m_0^2.c^2$. Nhân cả hai vế với c^2

ta có: $m^2.c^4 - m^2.v^2.c^2 = m_0^2.c^4 \rightarrow E^2 - (p.c)^2 = E_0^2 \rightarrow E^2 = E_0^2 + (p.c)^2$

5. Điều kiện áp dụng các hệ thức tương đối:

Theo vận tốc: Hạt chuyển động có vận tốc lớn vào cỡ bằng hoặc lớn hơn 30% vận tốc ánh sáng.

Theo năng lượng: Năng lượng xấp xỉ bằng hoặc lớn hơn năng lượng nghỉ của Eletron ($E_0 = m_e.c^2 \approx 511875eV \approx 0,51MeV$)

IV. TÁN XẠ COMPTON

Năm 1922 Compton làm thí nghiệm cho một chùm tia X với bước sóng λ xác định dội vào các chất liệu: paraffin, graphít, v.v... , và nhận thấy khi truyền qua các chất liệu này, chùm tia X bị tán xạ (truyền lệch phương so với phương ban đầu). Trong phổ tia X thông thường, ngoài vạch phổ ứng với giá trị bước sóng tới λ còn xuất hiện vạch phổ ứng với bước sóng có giá trị λ' lớn hơn λ . Các kết quả thực nghiệm cho thấy bước sóng λ' không phụ thuộc vào cấu tạo của chất bị dội bởi tia X mà chỉ phụ thuộc vào góc tán xạ θ

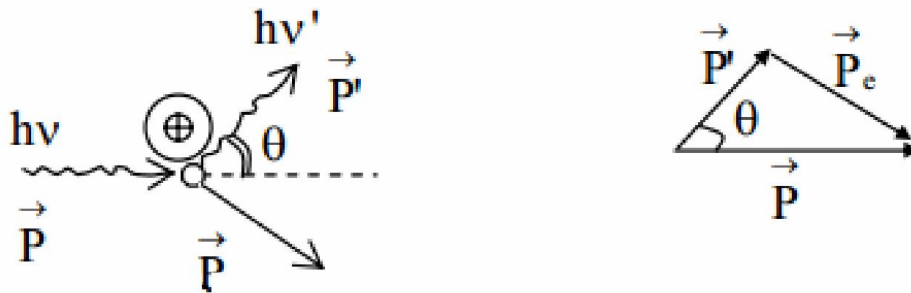
1. Độ tăng của bước sóng do kết quả tán xạ được xác định:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 \cdot c} (1 - \cos\theta) = \frac{2h}{m_0 \cdot c} \cdot \sin^2 \frac{\theta}{2} = 2\lambda_C \cdot \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

2. Giải thích

Hiệu ứng tán xạ Compton có thể xem là kết quả của quá trình tán xạ đàn hồi của chùm photon tia X đối tới các điện tử trong nguyên tử chất gây tán xạ. Trong phổ tia X, vạch ứng với bước sóng λ có thể xem như tia X bị tán xạ trên các electron nằm ở các lớp điện tử bên trong nguyên tử bố trí gần sát với hạt nhân, những electron này liên kết mạnh với hạt nhân như không thể nào đánh bật chúng ra được, còn vạch ứng với bước sóng $\lambda' > \lambda$ tương ứng với sự tán xạ của chùm tia X với electron ở lớp ngoài liên kết yếu với hạt nhân nguyên tử (có thể xem như electron tự do) nên chùm tia X đánh bật electron liên kết ra khỏi phạm vi nguyên tử. Kết quả của quá trình tán xạ này chùm photon tia X nhường một phần năng lượng để đánh bật electron, phần còn lại mang theo khi bị tán xạ cho nên năng lượng của nó giảm đi làm cho bước sóng tăng lên, kết quả ta nhận được $\lambda' > \lambda$. Trong thực nghiệm Compton đã sử dụng tia X với bước sóng $\lambda = 0,7\text{\AA}$ tán xạ trên Graphit. Vì năng lượng tia X tương ứng với giá trị cỡ $1,8 \cdot 10^4 \text{ eV}$, giá trị này lớn hơn rất nhiều so với năng lượng liên kết của electron ở các lớp bên ngoài của nguyên tử Carbon là thành phần chính của Graphit. Chính vì vậy mà có thể xem các electron ở lớp ngoài của nguyên tử là tự do so với năng lượng chùm tia X đối tới Graphit. Dựa vào định luật bảo toàn năng lượng và bảo toàn động lượng trong quá trình tán xạ chùm tia X lên electron trong nguyên tử, để thu nhận công thức tán xạ Compton.

Photon va chạm vào Electron đánh bật nó ra khỏi nguyên tử sau đó Photon bị tán xạ dưới góc θ .



Theo định luật bảo toàn năng lượng:

$$\frac{hc}{\lambda} + m_0 \cdot c^2 = \frac{hc}{\lambda'} + m \cdot c^2 \Rightarrow m \cdot c^2 = \frac{hc}{\lambda} + m_0 \cdot c^2 - \frac{hc}{\lambda'} = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right) + m_0 \cdot c^2$$

Hay: $m \cdot c^2 = \frac{hc(\lambda' - \lambda)}{\lambda' \cdot \lambda} + m_0 \cdot c^2$ bình phương hai vế ta có:

$$(m \cdot c^2)^2 = \frac{(hc)^2}{(\lambda' \cdot \lambda)^2} (\lambda^2 + \lambda'^2) - \frac{2(hc)^2}{\lambda' \cdot \lambda} + \frac{2hm_0 c^3}{\lambda' \cdot \lambda} (\lambda' - \lambda) + (m_0 \cdot c^2)^2$$

Từ hình vẽ ta có vector động lượng của Electron bằng :

$$\vec{p} = \vec{p'} + \vec{p_e} \Rightarrow \vec{p_e} = \vec{p} - \vec{p'} \Rightarrow p_e^2 = p^2 + p'^2 - 2p \cdot p' \cdot \cos\theta = \frac{h^2}{\lambda \cdot \lambda'} (\lambda'^2 + \lambda^2 - 2\lambda \cdot \lambda' \cos\theta)$$

Muốn khẳng định tính chất sóng của một đối tượng nào đó, điều cần thiết là phải đo được bước sóng của nó. Công việc này đã được Iăng thực hiện vào năm 1801 để khẳng định tính chất sóng của ánh sáng và Laue tiến hành vào năm 1912 để xác nhận bản chất sóng của tia X.

Để khẳng định bản chất sóng của electron người ta khảo sát hiện tượng nhiễu xạ của nó qua đơn tinh thể, tương tự như khảo sát hiện tượng nhiễu xạ tia X. Nếu quả thật electron có bản chất sóng thì nó phải cho hình nhiễu xạ.

Chúng ta sơ bộ đánh giá bước sóng DeBroi của electron chuyển động trong điện trường với hiệu điện thế u có giá trị bằng: $\lambda = \frac{h}{m.v} = \frac{h}{\sqrt{2m.E}}; E = \frac{p^2}{2m}$

Động năng của electron do năng lượng điện trường cung cấp và bằng $\frac{mv^2}{2} = e.u$

nếu thay các trị số khối lượng m , điện tích e và hiệu điện thế tính bằng Von và bước sóng tính bằng \AA , ta có bước sóng: $\lambda = \frac{12,25}{\sqrt{u(V)}} (\text{\AA})$

Năm 1927 C.J. Davinxon đã tiến hành thí nghiệm cho electron nhiễu xạ trên đơn tinh thể Ni (Niken). Khi Davinxon điều chỉnh chùm electron được tăng tốc bởi hiệu điện thế u nhờ biến trở R xuyên qua khe lọc L hợp với bề mặt tinh thể Niken một góc θ thỏa mãn điều kiện nhiễu xạ Vunphơ – Brắc: $\Delta d = d_2 - d_1 = 2d \sin \theta = n \lambda$ với $n = 1, 2, 3, 4 \dots$

Hiệu đường đi giữa hai tia kế tiếp nhau (hiệu quang trình) bằng $2d \sin \theta$ phải bằng một số nguyên lần bước sóng $n \lambda$ sẽ cho cực đại giao thoa nhiễu xạ. θ là góc trượt; d – là hằng số mạng tinh thể; n là bậc nhiễu xạ và λ là bước sóng tới.

d là hằng số mạng tinh thể Niken đóng vai trò là cách tử nhiễu xạ ($d=0,91 \text{\AA}$ cùng bậc với bước sóng DeBroi của electron). Quả nhiên hai chùm tia phản xạ của electron từ bề mặt mạng tinh thể cho các cực đại nhiễu xạ đan xen vào nhau. Kết quả này khẳng định tính chất sóng của electron.

Cũng trong năm 1927, độc lập với Davinxon; P. Tomxon tiến hành khảo sát nhiễu xạ chùm electron xuyên qua lá kim loại mỏng. Bản chất vật lý của chùm electron đơn năng nhiễu xạ trên lá kim loại mỏng được P. Tomxon lý giải như sau: trong lá kim loại chứa nhiều tinh thể định hướng ngẫu nhiên, trong số đó có những đơn tinh thể sắp xếp theo một trật tự xác định, cho nên khi điều chỉnh các thông số thích hợp P. Tomxon đã thu được hình nhiễu xạ có dạng những vân tròn tối sáng đan xen vào nhau.

Sau đó Tomxon tiếp tục thí nghiệm với bột nhôm ép thành lá mỏng rồi cho chùm tia electron đơn năng xuyên qua với bước sóng thích hợp cùng bậc với bước sóng tia X, P. Tomxon cũng thu được các cực đại nhiễu xạ đối với chùm tia electron. Cũng trên mẫu nhôm ấy P. Tomxon cho chùm tia X xuyên qua thì cũng thu được các cực đại nhiễu xạ, hoàn toàn giống như các cực đại nhiễu xạ của sóng DeBroi của electron. Đây là một kết quả bất ngờ hết sức thú vị. Điều này một lần nữa khẳng định tính chất sóng DeBroi của electron.

VI. HỆ THỨC BẤT ĐỊNH HASENBÉC (HEISENBERG)

Đối với electron khi chuyển động về nguyên tắc thì chúng ta có thể đo được cả vị trí (tọa độ) lẫn xung lượng ($p = mv$) của nó tại bất cứ thời điểm nào với tọa độ chính xác không hạn chế. Nhưng điều đó không thể làm được. Đó không phải là do những khó khăn nào đó trong khi tiến hành đo mà do một nguyên nhân gì đó? Điều mà chúng ta gặp phải, đó là một hạn chế có tính chất cơ bản đối với khái niệm hạt vi mô. Hệ thức bất định Haisenbéc tạo cho chúng ta một độ đo định lượng của sự hạn chế đó. Giả sử chúng ta đo cả vị trí lẫn xung lượng của một electron bị giới hạn khi chuyển động qua khe có bề rộng là d hướng theo trục x . Giả sử Δx là độ bất định trong phép đo vị trí và Δp_x là độ bất định trong phép đo xung lượng của electron. Haisenbéc đã phát biểu hệ thức bất định (còn gọi là nguyên lý bất định):

(Hệ thức bất định về tọa độ và xung lượng: $\Delta x \Delta p_x \geq h$ tương tự với hai trục y và z)

Điều đó có nghĩa là, nếu ta dàn dựng một thí nghiệm để xác định vị trí tọa độ của electron một cách chính xác nhất (có thể được) bằng cách làm cho Δx nhỏ tùy ý, thì sẽ không đo được thật chính xác xung lượng của nó (vì Δp_x sẽ trở nên lớn hơn). Ngược lại nếu dàn dựng một thí nghiệm để làm tăng độ chính xác của phép đo xung lượng thì độ chính xác của phép đo tọa độ sẽ kém đi.

Tích của hai độ bất định luôn lớn hơn hoặc bằng hằng số Planck (h). Tọa độ và xung lượng là hai véc tơ, nên hệ thức trên cũng đúng cho hai tọa độ và xung lượng theo y và z .

Giả sử một electron được biểu diễn bằng một sóng DeBroie đập vào một khe có độ rộng Δx trên màn chắn L . Ta sẽ thử xác định chính xác vị trí theo phương thẳng đứng x và các thành phần xung lượng của electron tại thời điểm đi qua khe. Nếu electron đi qua khe, thì ta sẽ biết vị trí của nó đúng thời điểm đó với độ bất định Δx . Bằng cách thu nhỏ độ rộng d của khe, chúng ta có thể xác định vị trí theo phương thẳng đứng của electron với bất kỳ độ chính xác nào mà ta mong muốn.

Tuy nhiên, các sóng DeBroie của hạt vật chất, cũng giống như các sóng khác sẽ bị lóe ra do nhiễu xạ khi chúng đi qua khe. Hơn thế nữa, khe càng hẹp thì chúng bị lóe càng nhiều. Theo quan điểm hạt, sự lóe đó có nghĩa là electron sẽ có cả thành phần thẳng đứng của xung lượng khi nó đi qua khe.

Có một giá trị đặc biệt của thành phần thẳng đứng của xung lượng sẽ đưa electron đến cực tiểu đầu tiên của bức tranh nhiễu xạ, điểm N trên màn hứng ảnh nhiễu xạ electron qua khe (Màn M). Chúng ta lấy giá trị này làm số đo độ bất định Δp_x của xung lượng chiếu lên phương trục x .

Cực tiểu đầu tiên của bức tranh nhiễu xạ được xác định theo biểu thức:

$$d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda \quad \text{với } n=1, 2, 3, \dots$$

đây là quy luật xác định các vị trí các vân tối của sóng nhiễu xạ qua khe hẹp. Cực tiểu đầu tiên ứng với $n = 1$ nên ta có: $d \cdot \sin \theta = \lambda$. bề rộng của khe d được xác định chính xác đến Δx nên có thể xem như $\Delta x = d$, vậy ta có: $\sin \theta = \frac{\lambda}{\Delta x}$. Nếu góc θ đủ nhỏ ta có thể thay thế $\sin \theta = \theta$ và $\lambda = \frac{h}{p}$

, do đó ta có:

$$\theta = \frac{h}{p \cdot \Delta x} \quad \text{Trong đó: } p \text{ là thành phần xung lượng theo phương nằm ngang. Để đạt tới cực}$$

tiểu đầu tiên thì góc θ cũng cần phải thỏa mãn điều kiện: $\theta = \frac{\Delta p_x}{p}$

$$\text{Từ đó ta suy ra: } \Delta x \cdot \Delta p_x \geq h$$

Một phát biểu khác của hệ thức bất định Haisenbéc là phát biểu qua năng lượng và thời gian, cả hai đều là những đại lượng vô hướng: $\Delta E \cdot \Delta t \approx h$

Như vậy, nếu chúng ta thử đo năng lượng của hạt trong một khoảng thời gian nào đó. Phép đo này sẽ chịu một lượng bất định là ΔE liên hệ bởi $\Delta E \cdot \Delta t \approx h$. Để hoàn thiện độ chính xác ΔE ta phải tiến hành phép đo năng lượng kéo dài trong thời gian lâu hơn. Điều này áp dụng cho nguyên tử thì bề rộng mức năng lượng kích thích ΔE càng lớn thì thời gian tồn tại của nó càng ngắn. Đối với mức năng lượng cơ bản tồn tại lâu bền, có thể xem như $\Delta t \rightarrow \infty$, do vậy độ bất định về năng lượng của nó xem như $\Delta E \rightarrow 0$.

Ví dụ: Xét electron chuyển động trong nguyên tử có kích thước xấp xỉ bằng 10^{-10} m . Vận tốc chuyển động trung bình của electron trong nguyên tử là 10^6 m/s . Theo hệ thức bất định:

$$\Delta v_x = \frac{h}{m \cdot \Delta x} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{-10}} = 7,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

có nghĩa là sai số về vận tốc Δv_x có giá trị tương đương với giá trị vận tốc của electron. Sở dĩ có nghịch lý này là do chúng ta đã bắt electron chuyển động theo quỹ đạo tròn quanh hạt nhân. Khi vận dụng hệ thức bất định cho thấy sự ép buộc đó là vô lý. Vậy không thể xem electron giống như vật vĩ mô. Như vậy hệ thức bất định Haisenbéc được xem như một giới hạn cho biết khi nào vật lý cổ điển còn hiệu lực. Để không xuất hiện nghịch lý trên chỉ có cách là không xem electron chuyển động theo quỹ đạo khép kín quanh hạt nhân trong nguyên tử mà mang đặc tính sóng, không chuyển động theo quỹ đạo nào hết.

Ví dụ: Cũng là electron nhưng chuyển động trong buồng bọt Winson thì lại có quỹ đạo rõ rệt.

Đối với electron chuyển động trong buồng bọt Winxon có quỹ đạo rõ rệt vì quỹ đạo là một chuỗi của những giọt nước nhỏ đánh dấu vị trí của electron trên đường đi. Kích thước của các giọt nước khoảng chừng 10^{-6} m cho nên có thể lấy $\Delta x = 10^{-6} \text{ m}$. Khối lượng của mỗi giọt nước ước chừng $m =$

$$10^{-3} \text{ g} \text{ do vậy sai số về vận tốc theo hệ thức bất định: } \Delta v_x = \frac{h}{m \cdot \Delta x} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-6}} = 6,6 \cdot 10^{-22} \text{ m/s}$$

Sai số này vô cùng nhỏ do vậy trong trường hợp này có thể áp dụng vật lý cổ điển cho electron chuyển động trong buồng bọt Winxơn.

VII HÀM SÓNG VÀ PHƯƠNG TRÌNH SRODINGƠ.

1. Phương trình Srôđingơ.

Năm 1926 Srôđingơ đã đề xuất phương trình vi phân mà những tính chất của nó đáp ứng các qui luật vận động của các hạt trong thế giới vi mô. Phương trình Srôđingơ được xem là một trong những cơ sở quan trọng của lý thuyết lượng tử. Chúng ta quan tâm đến phương trình dừng là phương trình đề cập đến các hiện tượng và các quá trình không phụ thuộc vào thời gian, có dạng:

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

Trong đó:

- $U = U(x, y, z)$ là hàm thế tương tác của hạt vi mô trong trường thế.
- E là năng lượng toàn phần của hạt.
- m là khối lượng của hạt vi mô.
- ψ là hàm sóng mô tả trạng thái của hạt vi mô.

- Δ là toán tử Laplace có dạng: $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$

Khi giải phương trình Srôđingơ đối với hàm thế U và các điều kiện biên cho trước, ta sẽ xác định được nghiệm $\psi(x, y, z)$. Tuy nhiên không phải mọi nghiệm $\psi(x, y, z)$ đều là nghiệm vật lý. Trong những nghiệm $\psi(x, y, z)$ chỉ có những giá trị nào thỏa mãn các điều kiện: Đơn trị, hữu hạn và liên tục thì mới được xem là nghiệm vật lý. Ngoài ba điều kiện trên để hàm sóng $\psi(x, y, z)$ được xem là nghiệm vật lý, cần đòi hỏi thêm điều kiện đạo hàm bậc nhất của nó cũng phải đơn trị, hữu hạn và liên tục.

Vấn đề ý nghĩa của hàm sóng được tranh luận trong một thời gian khá dài và cuối cùng đi đến sự thừa nhận rộng rãi là: Hàm sóng mô tả trạng thái của hạt vi mô và nó mang ý nghĩa xác suất đối với thế giới các hạt vi mô.

Theo giả thuyết DeBroi, chuyển động của hạt tự do được mô tả bởi hàm sóng tương tự như sóng phẳng đơn sắc: $\psi = \psi_0 \cdot e^{-\frac{i}{\hbar}(Et - \vec{p} \cdot \vec{r})}$ hoặc có dạng: $\psi = \psi_0 \cdot e^{-i(\frac{Et}{\hbar} - \vec{k} \cdot \vec{r})}$

Trong đó:

- \vec{k} là véc tơ sóng có trị số bằng $\frac{p}{\hbar} = \frac{2\pi}{\lambda}$
- ψ_0 gọi là biên độ của hàm sóng được xác định bởi biểu thức: $\psi_0^2 = |\psi|^2 = \psi \cdot \psi^*$

Biểu thức trên gọi là hàm sóng DeBroi. Nói chung, đối với các hạt vi mô chuyển động trong trường thế, hàm sóng của nó là một hàm phức tạp của tọa độ và thời gian:

$$\psi(\vec{r}, t) = \psi(x, y, z, t)$$

2. Ý nghĩa của hàm sóng.

Để hiểu rõ ý nghĩa của hàm sóng ta đối chiếu với ý nghĩa sóng – hạt của photon ánh sáng truyền trong không gian.

Giả sử tại điểm M trong không gian có một chùm sáng dội vào. Ta vây quanh điểm M bởi một yếu tố thể tích (V). Theo quan điểm sóng thì cường độ sóng tại M sẽ tỷ lệ với bình phương biên độ dao động sáng tại M: $I = \epsilon_0 \cdot c \cdot E^2$

Trong đó:

- Cường độ sáng I là năng lượng trên một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian
- ϵ_0 là hằng số điện.
- c là vận tốc ánh sáng.
- E là cường độ điện trường.

Trong trường hợp này nếu bình phương biên độ dao động sáng tại M càng lớn thì điểm M càng sáng. Theo quan điểm hạt thì cường độ sáng tại M bằng: $I = N \cdot hf$

Trong đó:

- hf là năng lượng của một photon.
- N là thông lượng photon (số photon tới trên một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian) tới điểm M . Như vậy, theo quan điểm hạt, độ sáng tại M tỷ lệ với năng lượng của các hạt trong đơn vị thể tích bao quanh M , nghĩa là tỷ lệ với số hạt có mặt trong đơn vị thể tích đó. Do đó số hạt trong đơn vị thể tích bao quanh M tỷ lệ với bình phương biên độ dao động sáng tại M .

Nếu số hạt trong đơn vị thể tích càng nhiều thì khả năng tìm thấy hạt trong đó càng lớn. Vì thế người ta nói rằng bình phương biên độ sóng $|\psi|^2$ tại M đặc trưng cho khả năng tìm thấy hạt trong đơn vị thể tích bao quanh M . Vì vậy, người ta gọi $|\psi|^2$ là mật độ xác suất tìm thấy hạt tại M (xác suất tìm thấy hạt trong một đơn vị thể tích). Từ đó cho thấy xác suất tìm thấy hạt trong thể tích bất kỳ dV là: $|\psi|^2 \cdot dV$. Nếu đi tìm trong toàn bộ không gian chắc chắn phải thấy hạt, tức là:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi|^2 dV = 1$$

Điều kiện này được áp dụng để chuẩn hóa hàm sóng gọi là điều kiện chuẩn hóa. Hàm sóng ψ không mô tả một sóng thực nào trong không gian như sóng cơ hay sóng điện từ mà chỉ cho phép ta tính xác suất tìm thấy hạt tại một trạng thái nào đó. Hay nói cách khác hàm sóng ψ mang tính xác suất.

VIII. HẠT TRONG HỘP THỀ NĂNG.

Vận dụng phương trình Schrödinger cho trường hợp một hạt vi mô ở trong hộp thế năng. Ta xét trường hợp đơn giản là hạt chuyển động theo phương x trong vùng có thế năng được xác định theo điều kiện sau:

$$U = \begin{cases} 0 & \text{trong vùng } 0 < x < a \\ \infty & \text{trong vùng } x \leq 0 \text{ và } x \geq a \end{cases}$$

Miền như vậy, được gọi là hộp thế năng hay hố thế năng có bề rộng là a . Như vậy ta chỉ xét trường hợp hạt vi mô chỉ chuyển động trong phạm vi trong lòng hộp thế và không thể vượt ra ngoài giới hạn của hộp thế. (Trường hợp này có thể tương ứng với electron ở trong kim loại chứ không thể tự thoát ra ngoài được).

Giải phương trình Schrödinger cho hạt trong hộp thế có khối lượng m :

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

Bên trong hộp thế, thế năng tương tác $U = 0$, nên phương trình có dạng: $\Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2}E\psi = 0$

Vì chỉ xét hộp thế một chiều, nên hàm ψ chỉ phụ thuộc vào một tọa độ x :

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}E\psi(x) = 0 \text{ đặt } k^2 = \frac{2m}{\hbar^2}E \text{ phương trình có dạng: } \frac{d^2\psi}{dx^2} + k^2\psi(x) = 0$$

Phương trình này thuộc loại chính tắc, có nghiệm được xác định dưới dạng:

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

A, B là những hằng số được xác định dựa vào các điều kiện cụ thể ban đầu của bài toán vật lý.

Vì hạt chỉ tồn tại bên trong lòng hộp thế, nên ở trên thành trở ra ngoài hộp thế hạt không có mặt, do đó ta có: $\psi(0) = \psi(a) = 0$

Thế vào:

Vậy ta có

Thế điều kiện

Vì $A \neq 0$ nên:

$$a.k = n\pi \text{ với } n = 1, 2, 3, 4 \dots$$

$$\text{Suy ra: } k = \frac{n\pi}{a} \text{ Vậy:}$$

Để xác định A ta dựa vào điều kiện chuẩn hóa hàm sóng: $\int_0^a |\psi|^2 dx = 1$

thế vào:

Lấy tích phân ta được:

Vậy hàm sóng được xác định hoàn toàn: $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin^2\left(\frac{n\pi}{a}x\right)$ với $n = 1, 2, 3, \dots$

Kết quả năng lượng:

Suy ra: $E_n = n^2 \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$ với $n = 1, 2, 3, \dots$

Kết luận chung:

1) Mỗi trạng thái của hạt ứng với một hàm sóng $\psi_n(x)$.

2) Năng lượng của hạt trong hộp thế năng phụ thuộc vào số nguyên $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ tức là nhận những giá trị gián đoạn, không liên tục gọi là bị lượng tử hóa.

3) Mật độ xác suất tìm thấy hạt trong hộp thế bằng: $|\psi_n(x)|^2 = \frac{2}{a} \sin^2\left(\frac{n\pi}{a}x\right)$

PHẦN II. HẠT NHÂN NGUYÊN TỬ

1. CẤU TRÚC HẠT NHÂN :

Hạt nhân được cấu tạo từ proton và neutron, gọi chung là nuclon.

Bên trong có lực hạt nhân- đây là lực tương tác mạnh, bán kính tác dụng cỡ 1fm

Tổng số nuclon bằng số khối A ; số proton bằng số thứ tự Z ; số neutron bằng $A - Z$

Ký hiệu hạt nhân: ${}_Z^AX$; ${}_Z^AX$

Đồng vị: Là những hạt nhân có số proton (Z) như nhau nhưng số neutron khác nhau, vậy nên một nguyên tố hóa học có thể có những đồng vị khác nhau, ứng với những khối lượng khác nhau. Ví dụ:- Nguyên tử H có 3 đồng vị:

+ Hidro thường - ${}_1^1H$

+ Đơteri - ${}_1^2H({}_1^2D)$

+ Triti - ${}_1^3H({}_1^3T)$. Trong đó T và D là thành phần của nước nặng là nguyên liệu của công nghệ nguyên tử.

- Nguyên tử Cacbon có 4 đồng vị: C11 đến C14. Trong đó C12 có nhiều trong tự nhiên – chiếm 99%

Kích thước hạt nhân: $R = R_0 A^{\frac{1}{3}}$

R_0 : Hằng số phụ thuộc phương pháp đo $R_0 = (t\ddot{u} 1,2 \text{ đ\ddot{e}n } 1,4).10^{-13}\text{cm}$

2. NĂNG LƯỢNG LIÊN KẾT HẠT NHÂN :

a. Độ hụt khối :

$$\Delta m = Z.m_p + (A - Z).m_n - m_{\text{hạt nhân}}$$

với $m_{\text{hạt nhân}} = m_{\text{nguyên tử}} - Z.m_e$

với m_p : Khối lượng hạt proton

m_n : Khối lượng hạt neutron

$m_{\text{hạt nhân}}$: Khối lượng hạt nhân

Có thể tính độ hụt khối theo công thức khác : $\Delta m = Z.m_H + (A - Z).m_n - m_{\text{nguyên tử}}$

Với m_H : Khối lượng nguyên tử Hydro

m_n : Khối lượng hạt neutron

m_{nt} : Khối lượng của nguyên tử ứng với hạt nhân đang xét.

Triệu Đức Ngọc 10/20 Lí thuyết vật lí nguyên tử và hạt nhân