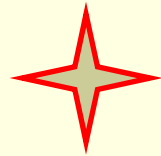


ĐẠI HỌC QUỐC GIA HCM
TRƯỜNG ĐH KHOA HỌC TỰ NHIÊN



LƯỢNG TỬ - NGUYÊN TỬ



cuu duong than cong. com

HUỲNH TRÚC PHƯƠNG

Email: htphuong.oarai@gmail.com

cuu duong than cong. com

NỘI DUNG

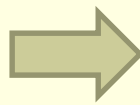
- ❑ TÍNH CHẤT HẠT CỦA ÁNH SÁNG
- ❑ TÍNH CHẤT SÓNG CỦA VẬT CHẤT
- ❑ PHƯƠNG TRÌNH SCHRODINGER
- ❑ NGUYÊN TỬ

KHỞI ĐẦU CHO SỰ KHÁM PHÁ

CHƯƠNG 1

TÍNH CHẤT HẠT CỦA ÁNH SÁNG

- Giao thoa ánh sáng
- Nhiễu xạ ánh sáng



Ánh sáng có tính chất sóng

Tồn tại một số bài toán mà dùng các định luật vật lý cổ điển không thể giải thích được



1. Bức xạ nhiệt của vật đen

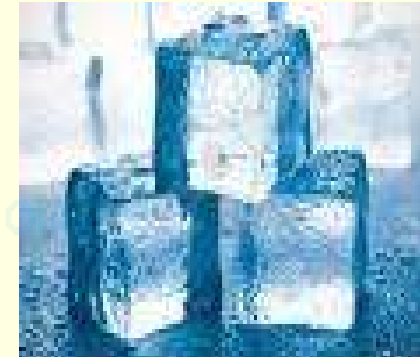
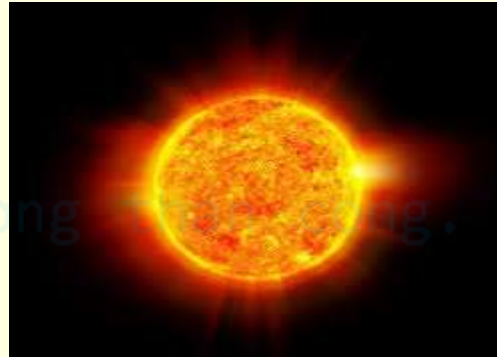
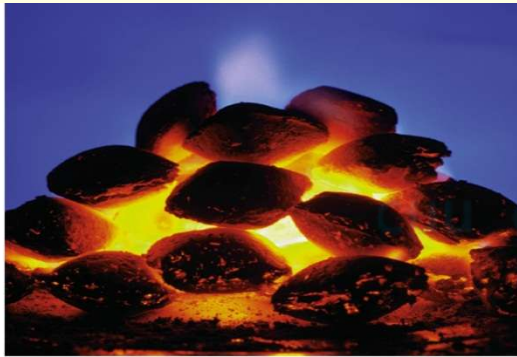
Bức xạ điện từ phát ra khi vật bị nung nóng

2. Hiệu ứng quang điện

Electron phát ra khi vật bị chiếu sáng

I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

1. Bức xạ nhiệt là gì?

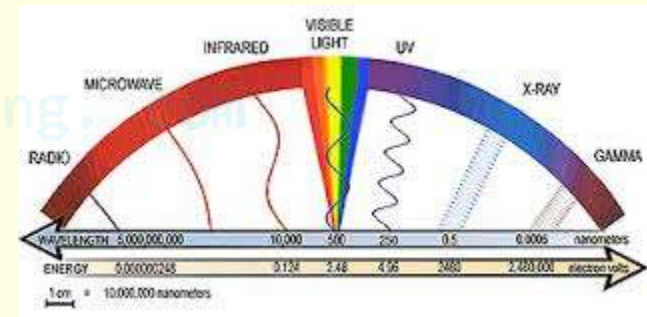
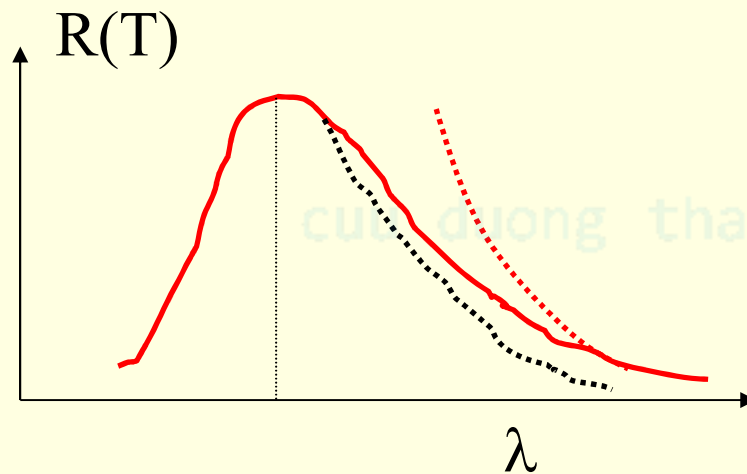


Hiện tượng các vật thể phát ra các sóng điện từ do chuyển động nhiệt được gọi là hiện tượng bức xạ nhiệt. Các sóng điện từ phát ra từ vật được gọi là các bức xạ.

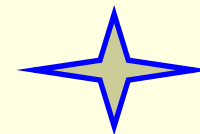
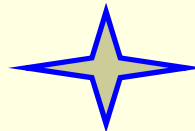
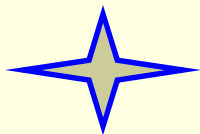
- Phụ thuộc vào tính chất bề mặt và nhiệt độ của vật.
- Bước sóng phân bố liên tục trong phổ điện từ
- Ở nhiệt độ phòng, bước sóng của bức xạ nhiệt nằm trong vùng hồng ngoại.
- Khi tăng nhiệt độ, bước sóng chuyển sang màu đỏ và thậm chí là màu trắng.

I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

2. Phổ bức xạ nhiệt

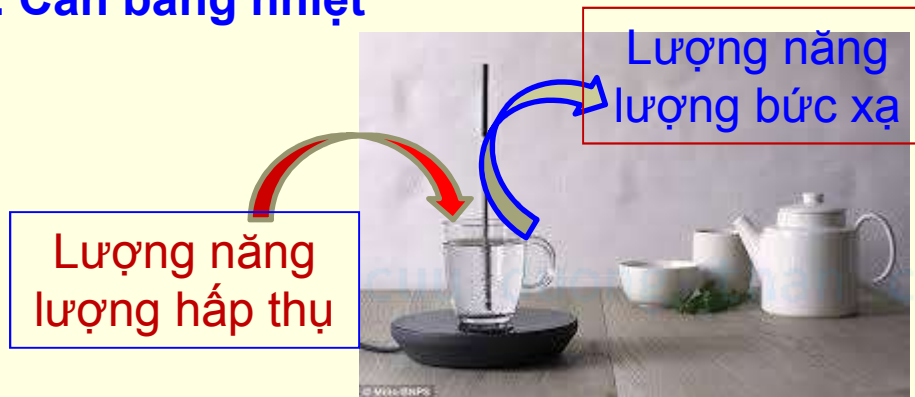


Là sự phân bố cường độ của bức xạ theo bước sóng tương ứng.



I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

3. Cân bằng nhiệt

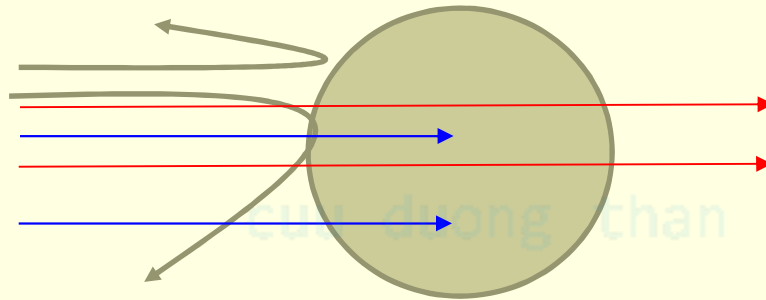


Trong trạng thái cân bằng nhiệt, lượng năng lượng mà vật hấp thụ và phát ra dưới dạng bức xạ nhiệt trong một đơn vị thời gian là bằng nhau.

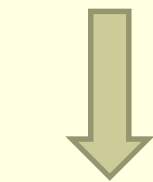
vật nào có khả năng hấp thụ càng mạnh thì khả năng phát ra bức xạ cũng mạnh.

I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

4. Hệ số hấp thụ đơn sắc



$$a(\lambda) = \frac{\text{phần năng lượng mà vật hấp thụ được}}{\text{Tổng lượng năng lượng đến vật}}$$



Phụ thuộc

- Bước sóng
- Nhiệt độ
- Vật liệu
- Tính chất bề mặt của vật

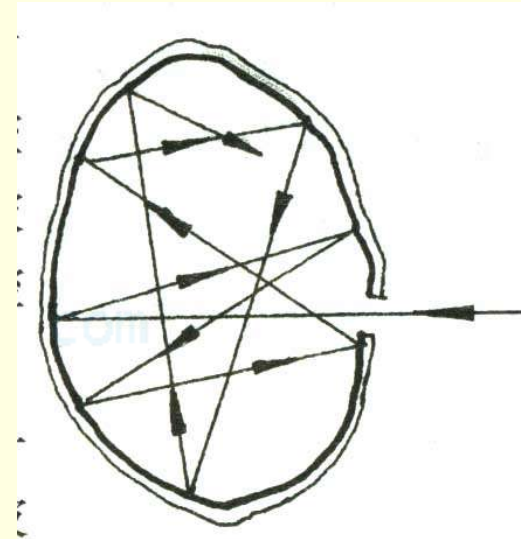


Vật màu đen hấp thụ và phát xạ mạnh hơn vật màu trắng

I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

5. Vật đen tuyệt đối

Vật đen tuyệt đối là một vật lý tưởng, có khả năng hấp thụ mọi bức xạ điện từ chiếu vào nó, nghĩa là nó có hệ số hấp thụ đơn sắc $a(\lambda) = 1$ đối với mọi bước sóng λ .



➡ Bức xạ phát ra từ vật đen gọi là **bức xạ nhiệt của vật đen**

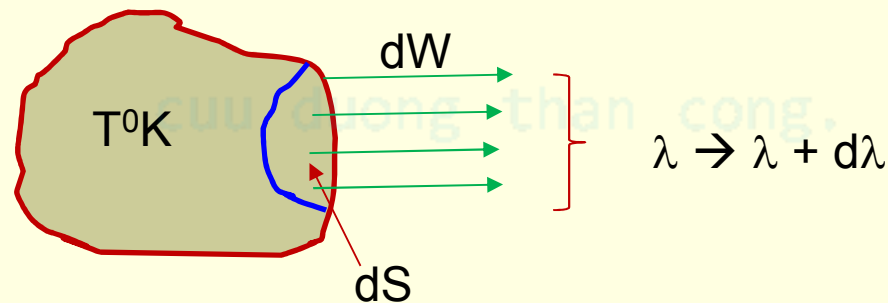
➡ **Vật đen tuyệt đối có khả năng hấp thụ mạnh nhất nên nó cũng bức xạ mạnh nhất.**



I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

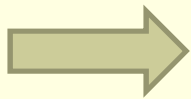
6. Năng suất bức xạ nhiệt của VẬT ĐEN

Là đại lượng đặc trưng cho khả năng bức xạ của VẬT ĐEN.



Năng suất bức xạ được định nghĩa:

$$R_T(\lambda) = \frac{dW}{dS \cdot d\lambda} \quad (W \cdot m^{-2} \cdot m^{-1})$$



$R_T(\lambda) \cdot d\lambda$ là lượng năng lượng mà bức xạ phát ra trên một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian

I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

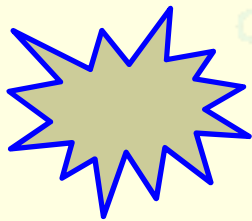
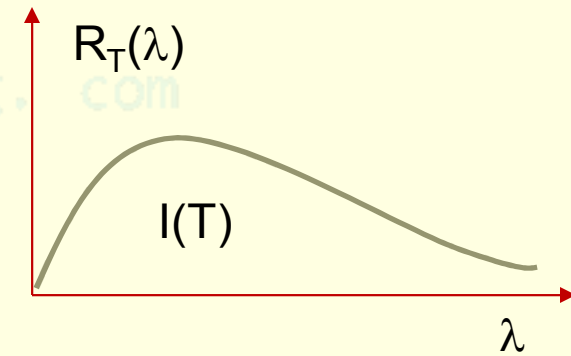
6. Năng suất bức xạ nhiệt của VẬT ĐEN

Năng suất bức xạ toàn phần (cường độ bức xạ của VẬT ĐEN)

$$I(T) = \int_0^{\infty} R_T(\lambda) d\lambda \quad (\text{W/m}^2)$$

Công suất bức xạ

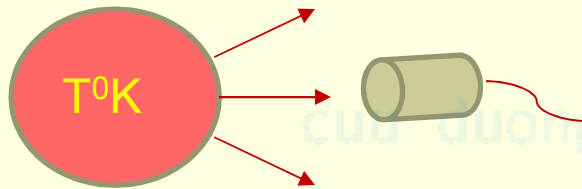
$$P = I.S \quad (\text{W})$$



I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

6. Năng suất bức xạ nhiệt của VẬT ĐEN

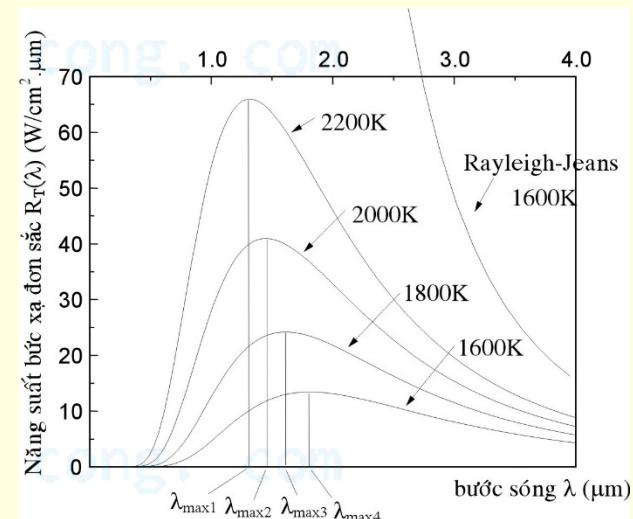
THÍ NGHIỆM



NHẬN XÉT

- Khi T càng cao, diện tích của miền nằm dưới đường cong $R_T(\lambda)$ càng lớn, nghĩa là $I(T)$ càng lớn
- Ứng với mỗi nhiệt độ, có một bước sóng λ_{\max} mà ứng với bước sóng này năng suất bức xạ $R_T(\lambda)$ của vật đạt cực đại, nhiệt độ càng cao, λ_{\max} càng dịch về phía sóng ngắn.

KẾT QUẢ



I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

6. Năng suất bức xạ nhiệt của VẬT ĐEN

Định luật Stefan-Boltzmann (S-B)

« Năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối ở trạng thái cân bằng nhiệt ứng với nhiệt độ tuyệt đối T tỉ lệ với lũy thừa bậc bốn của nhiệt độ »

$$I(T) = \sigma \cdot T^4$$

$\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ (W.m}^{-2}\text{.K}^{-4}\text{)}$ được gọi là hằng số Stefan-Boltzmann.

Định luật Wien

« Khi nhiệt độ thay đổi, bước sóng λ_{\max} ứng với sự phát xạ cực đại cũng thay đổi, nhưng tích số của nhiệt độ tuyệt đối T và bước sóng λ_{\max} tương ứng là không đổi »

$$\lambda_{\max} \cdot T = b$$

$b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ (m.K)}$ được gọi là hằng số Wien

I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

MỘT SỐ VÍ DỤ ÁP DỤNG

Ví dụ 1.1: Một vật đen tuyệt đối có năng suất bức xạ toàn phần $I = 100 \text{ W.m}^{-2}$ tại nhiệt độ $T = 3000 \text{ }^{\circ}\text{K}$. Khi tăng nhiệt độ lên 2 lần thì năng suất bức xạ tăng hay giảm bao nhiêu lần?

Ví dụ 1.2: Một vật đen tuyệt đối có công suất bức xạ P phát ra từ một cửa lò diện tích S . Hỏi,

- Để tăng công suất bức xạ nhiệt lên gấp 16 lần thì cần tăng hay giảm nhiệt độ bao nhiêu?
- Bước sóng ứng với năng suất bức xạ cực đại lúc này tăng hay giảm?

Ví dụ 1.3: Hãy tính nhiệt độ bề mặt của Mặt Trời nếu biết các thông tin như sau: bán kính Mặt Trời $R_s = 7.10^8\text{m}$, khoảng cách trung bình từ Mặt Trời đến Trái Đất $R = 1,5.10^{11}\text{m}$. Năng suất bức xạ toàn phần phát ra từ Mặt Trời được đo tại bề mặt Trái Đất là 1400W/m^2 . Giả sử Mặt Trời là vật đen tuyệt đối.

I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

7. Giải thích kết quả thí nghiệm

Để giải thích đúng kết quả thí nghiệm về sự phân bố phổ bức xạ nhiệt, người ta cố gắng tìm một biểu thức toán học đúng cho $R_T(\lambda)$, tức là:

$$R_T(\lambda) = (\text{Số lượng bức xạ ra từ lỗ}) \times (\text{Năng lượng trung bình của bức xạ})$$

A. CÔNG THỨC RAYLEIGH - JEANS

Bằng lý thuyết sóng điện từ của Maxwell, Rayleigh và Jeans tìm được

$$\text{Số lượng bức xạ phát ra từ lỗ} = \frac{2\pi c}{\lambda^4}$$



I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

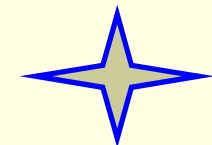
7. Giải thích kết quả thí nghiệm

A. CÔNG THỨC RAYLEIGH - JEANS

Bằng lý thuyết cổ điển về năng lượng, cho rằng năng lượng do vật bức ra là liên tục có giá trị từ 0 đến ∞

Năng lượng trung bình được tính:

$$\begin{aligned}\bar{E} &= \frac{\int_0^{\infty} E \cdot \exp(-E / k_B T) dE}{\int_0^{\infty} \exp(-E / k_B T) dE} = \frac{\int_0^{\infty} E \cdot \exp(-\beta E) dE}{\int_0^{\infty} \exp(-\beta E) dE}, \\ &= -\frac{d}{d\beta} \ln\left(\int_0^{\infty} \exp(-\beta E) dE\right) = -\frac{d}{d\beta} \ln\left(\frac{1}{\beta}\right) = \frac{1}{\beta} = k_B T\end{aligned}$$



I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

7. Giải thích kết quả thí nghiệm

A. CÔNG THỨC RAYLEIGH - JEANS



Cuối cùng, năng suất bức xạ tính được:

$$R_T(\lambda) = \frac{2\pi c}{\lambda^4} k_B T$$

← Công thức Rayleigh - Jeans

$k_B = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$ là hằng số Boltzmann.

- Đúng trong vùng bước sóng dài của vùng hồng ngoại.
- Không đúng cho vùng bước sóng ánh sáng nhìn thấy và tử ngoại



Lý thuyết sóng điện từ của Maxwell và thuyết động học là ĐÚNG



TẠI SAO không giải thích được trong vùng sóng ngắn?

I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

7. Giải thích kết quả thí nghiệm

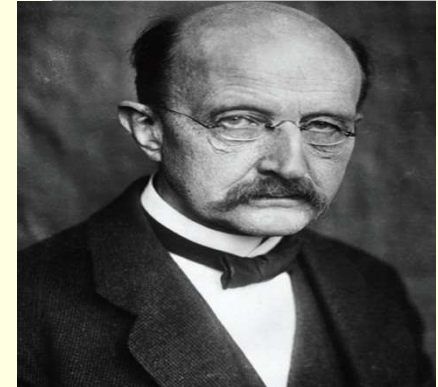
B. CÔNG THỨC PLANCK

Sau khi nghiên cứu kỹ công thức và luận điểm của Rayleigh – Jeans, Planck cho rằng:

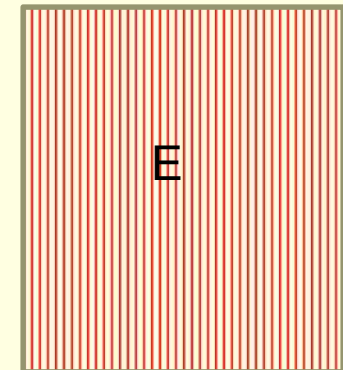
“Các nguyên tử, phân tử phát xạ (hoặc hấp thụ) năng lượng dưới dạng bức xạ một cách gián đoạn. Phần năng lượng phát xạ (hay hấp thụ) dưới dạng bức xạ có tần số ν là một số nguyên lần của tích số $h\nu$.”

$$E = nh\nu \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

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



1858 – 1847



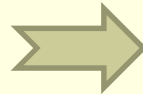
I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

7. Giải thích kết quả thí nghiệm

B. CÔNG THỨC PLANCK

Năng lượng trung bình được tính:

$$\bar{E} = \frac{\sum_n E_n \exp(-E_n / k_B T)}{\sum_n \exp(-E_n / k_B T)}$$



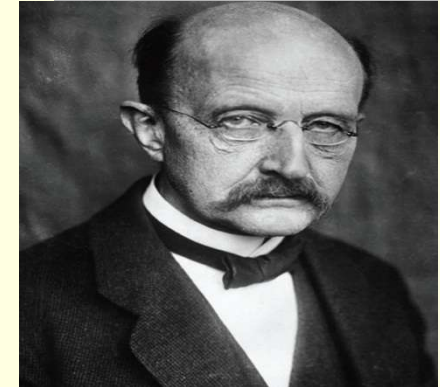
$$\bar{E} = \frac{hc / \lambda}{e^{hc / \lambda k_B T} - 1}$$

Năng suất bức xạ tìm được:

$$R_T(\lambda) = \frac{2\pi c}{\lambda^4} \left(\frac{hc / \lambda}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \right)$$



Công thức Planck



1858 – 1947



Thật ngạc nhiên, công thức Planck mô tả đúng cho đường cong thực nghiệm đối với mọi bước sóng



Planck nhận giải Nobel vào năm 1918 cho khám phá này.

I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

8. Một số kết quả không thể tin khác từ công thức Planck

(1) Đối với bước sóng rất dài: $\Rightarrow \frac{hc}{k\lambda T} \ll 1$

$$\Rightarrow e^{\frac{hc}{k\lambda T}} = 1 + \frac{hc}{k\lambda T} + \frac{1}{2} \left(\frac{hc}{k\lambda T} \right)^2 + \dots$$

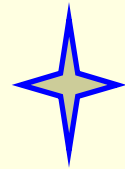
← Loại bỏ

Thu được công thức Rayleigh - Jeans

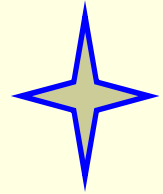
(2) Lấy tích phân công thức Planck:

$$I(T) = \int_0^{\infty} R_{\lambda}(T) d\lambda = \sigma T^4$$

Thu được định luật Stefan-Boltzmann.



I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN



8. Một số kết quả không thể tin khác từ công thức Planck

(3) Đạo hàm công thức Planck theo bước sóng để tìm bước sóng ứng với năng suất bức xạ cực đại:

$$\frac{dR_{\lambda}(T)}{d\lambda} = 0 \Rightarrow \lambda_{\max} T = b \quad \leftarrow \text{Định luật Wien}$$

Chính bản thân Planck cũng không tin nổi giả thuyết tuyệt vời của mình có được kết quả như vậy, và ông phải mất 10 năm để giải bài toán dựa trên vật lý cổ điển, dĩ nhiên là vô vọng.

Cũng giống như Newton, Planck đã tiêu tốn phần đời còn lại của mình để chứng minh rằng **Chúa Trời tồn tại trên thế giới này.**



Lý thuyết lượng tử và vật lý hiện đại khởi đầu từ giả thuyết này.

I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

BÀI TẬP

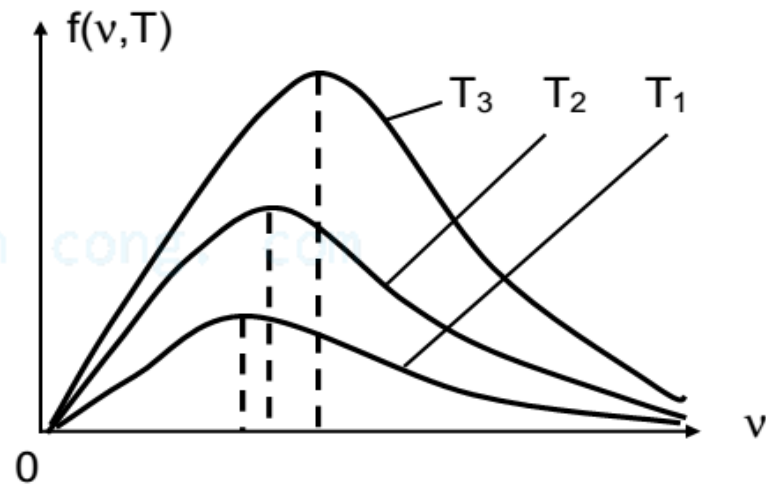
- 4.1** Nhiệt độ của vật đen tuyệt đối tăng từ 500^0K đến 2000^0K thì năng suất phát xạ toàn phần của nó tăng lên bao nhiêu lần ?
a) 4 lần b) 16 lần c) 64 lần d) 256 lần
- 4.3** Năng suất phát xạ đơn sắc của một vật:
a) Chỉ phụ thuộc vào bước sóng mà vật phát xạ.
b) Chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của vật.
c) Chỉ phụ thuộc vào bước sóng phát xạ và nhiệt độ của vật.
d) Phụ thuộc vào bước sóng phát xạ, nhiệt độ và bản chất của vật.
- 4.4** So sánh khả năng hấp thu, khả năng phát xạ các bức xạ điện từ có cùng bước sóng λ ở cùng một nhiệt độ T giữa vật A – là vật đen tuyệt đối và vật B – là vật thông thường, kết luận nào sau đây là đúng?
a) A phát xạ mạnh hơn B, hấp thu yếu hơn B.
b) A hấp phát xạ mạnh hơn B, đồng thời cũng thu mạnh hơn B.
c) A hấp thu yếu và phát xạ yếu hơn B.
d) A hấp thu và phát xạ giống hệt B.

I.1. BỨC XẠ NHIỆT CỦA VẬT ĐEN

BÀI TẬP

4.6 Gọi f_A , f_B , f_C lần lượt là tỉ số giữa năng suất phát xạ đơn sắc và hệ số hấp thụ đơn sắc của A – vật đen tuyệt đối, B – vật kim loại, C – vật bằng gỗ ở cùng một nhiệt độ T . Quan hệ nào sau đây là đúng?

- a) $f_A > f_B > f_C$
- b) $f_A < f_B > f_C$
- c) $f_A = f_B = f_C$
- d) $f_A > f_B = f_C$



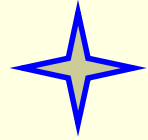
4.9 Một vật bức xạ nhiệt coi là vật đen tuyệt đối, phát ra các bức xạ điện từ có bước sóng λ . Nếu nhiệt độ của vật là 300°C thì vật phát xạ mạnh bước sóng nào? Cho hằng số Wien $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m/K}$.

- a) $9,67 \mu\text{m}$
- b) $5,06 \mu\text{m}$
- c) $6,13 \mu\text{m}$
- d) $1,03 \mu\text{m}$

4.10 Khi nhiệt độ của vật đen tuyệt đối tăng lên hai lần thì bước sóng ứng với cực đại của năng suất phát xạ của vật đó sẽ:

- a) tăng lên hai lần.
- b) tăng lên 16 lần.
- b) giảm đi hai lần.
- c) giảm đi 16 lần.

I.2. HIỆU ỨNG QUANG ĐIỆN

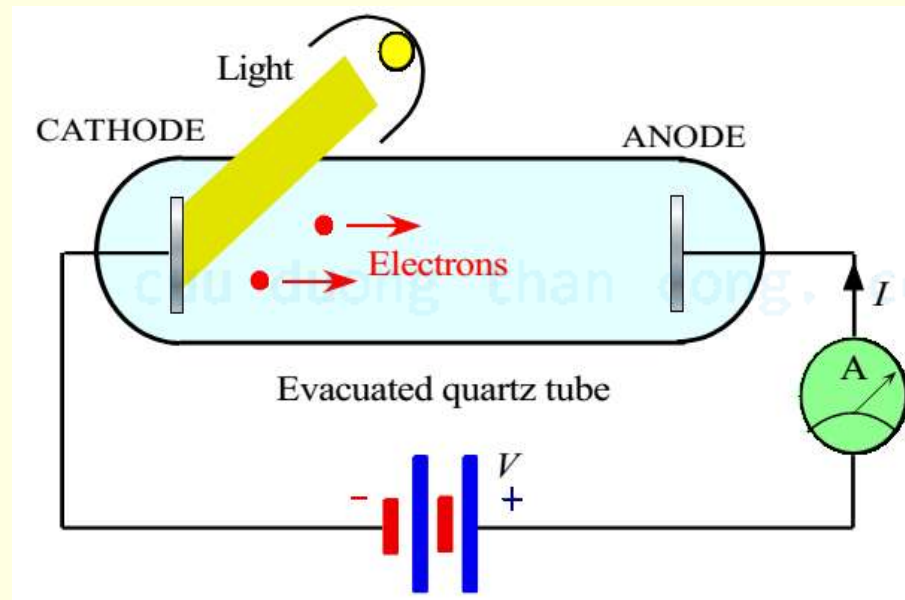


1. Khái niệm

Khi chiếu ánh sáng có bước sóng (tần số) thích hợp vào một kim loại thì có electron bật ra gọi là hiệu ứng quang điện. Các electron bật ra gọi là các quang electron.

2. Thí nghiệm và kết quả

THÍ NGHIỆM

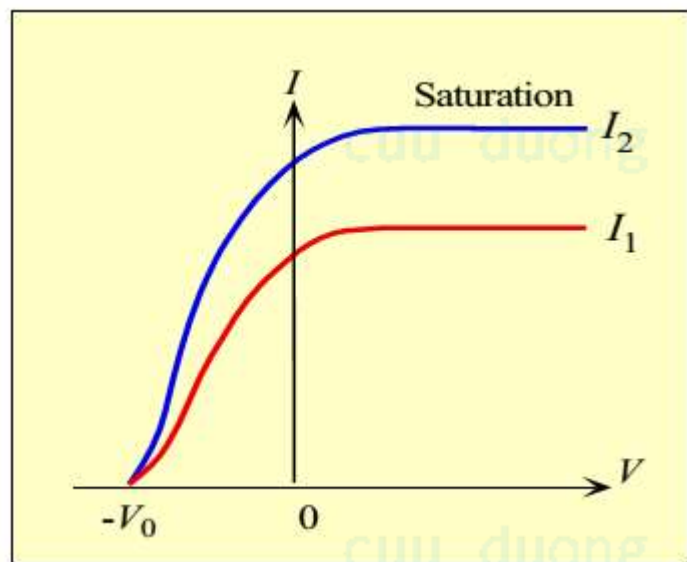


I.2. HIỆU ỨNG QUANG ĐIỆN



2. Thí nghiệm và kết quả

KẾT QUẢ



- Khi V tăng thì I_e tăng, khi V tiếp tục tăng thì $I_e = I_{bh}$.
- Khi I_{as} tăng gấp đôi thì I_{bh} cũng tăng gấp đôi.
- Khi $V < 0$ thì I_e giảm.
- Khi $V = -V_0 = -U_h$ thì $I_e = 0$.

$$K_{0max} = eU_h$$

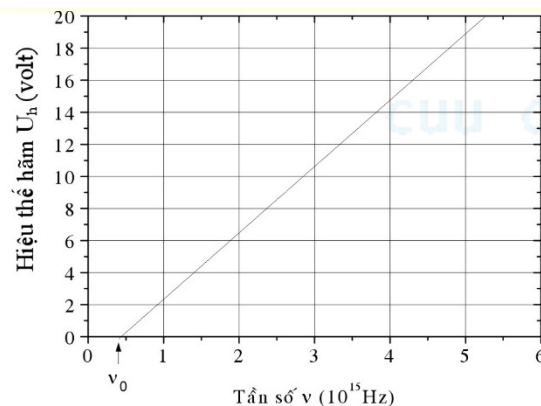
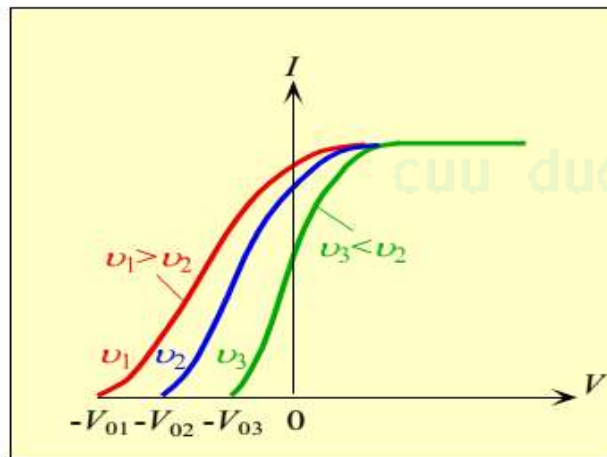
Đo được U_h sẽ biết được động năng của e^- .

- $I_e \sim I_{as}$
- U_h không phụ thuộc vào I_{as} .

I.2. HIỆU ỨNG QUANG ĐIỆN

2. Thí nghiệm và kết quả

KẾT QUẢ



- Khi tăng tần số ánh sáng thì U_h tăng

$$U_h \sim \nu$$

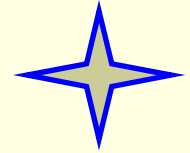
- K_{\max} phụ thuộc vào ν
- K_{\max} không phụ thuộc vào I_{as}

Khi $\nu < \nu_0$ ($\lambda > \lambda_0$) thì không có e^- bật ra


Hiệu ứng quang điện xảy ra khi $\nu \geq \nu_0$ hay $\lambda \leq \lambda_0$.


ν_0 : ngưỡng quang điện; λ_0 : giới hạn quang điện

I.2. HIỆU ỨNG QUANG ĐIỆN



3. Các định luật về hiệu ứng quang điện

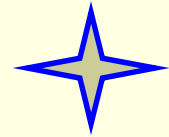
 **Định luật thứ nhất** (định luật về giới hạn quang điện): *Hiệu ứng quang điện chỉ xảy ra khi ánh sáng kích thích có bước sóng nhỏ hơn hay bằng giới hạn quang điện ($\lambda \leq \lambda_0$)*

 **Định luật thứ hai** (định luật về cường độ dòng quang điện bão hòa): *Khi xảy ra hiệu ứng quang điện, cường độ dòng quang điện bão hòa tỉ lệ thuận với cường độ chùm sáng kích thích ($I_0 \sim I_{as}$)*

Định luật thứ ba (định luật về động năng ban đầu cực đại): *Khi xảy ra hiệu ứng quang điện, động năng ban đầu cực đại của các quang electron không phụ thuộc vào cường độ của chùm sáng kích thích mà chỉ phụ thuộc vào bước sóng của ánh sáng kích thích và bản chất kim loại dùng làm catod.*



I.2. HIỆU ỨNG QUANG ĐIỆN

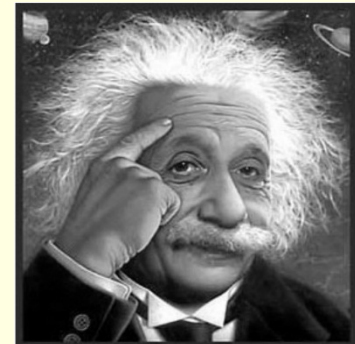


4. Thuyết lượng tử ánh sáng của Einstein

Năng lượng của ánh sáng tập trung thành những bó có kích thước rất nhỏ và lan truyền với vận tốc bằng vận tốc ánh sáng trong chân không c , những bó này được gọi là photon (hay lượng tử ánh sáng), năng lượng của mỗi photon của ánh sáng đơn sắc tần số ν tỉ lệ với tần số này qua hằng số Planck.

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

$$\text{Cường độ ánh sáng} = Nh\nu$$



(1879 – 1955)

Khi e^- nhận năng lượng $h\nu$ từ photon thì e^- bật ra có động năng:

$$K_0 = h\nu - W$$

Công cần thiết để bứt e^- ra khỏi bề mặt kim loại



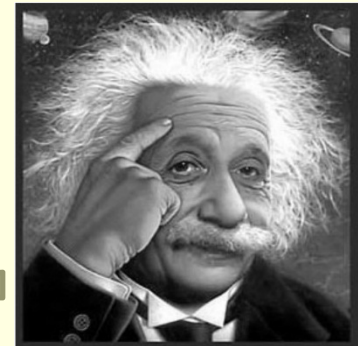
I.2. HIỆU ỨNG QUANG ĐIỆN

4. Thuyết lượng tử ánh sáng của Einstein

Các electron ở mức ngoài cùng của các nguyên tử trên bề mặt kim loại có W bé nhất là W_0 , W_0 được gọi là công thoát.

$$\Rightarrow K_{0\max} = h\nu - W_0$$

hay
$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = W_0 + K_{0\max} \quad \leftarrow \text{Công thức Einstein}$$



(1879 – 1955)

**Nhận giải Nobel
cho phát minh
này vào 1905**

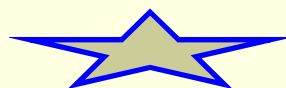
- Giải thích được định luật 3: $K_{0\max} \in \nu (\lambda)$ và W_0 ; $K_{0\max} \notin I_{as}$
- Để e^- bật ra thì $h\nu \geq W_0$ hay $\nu \geq \nu_0$ ($\nu_0 = W_0/h$)
$$\left. \begin{array}{l} \lambda \leq \lambda_0 \\ \lambda_0 = hc/W_0 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Thỏa định luật 1}$$
- Tăng cường độ ánh sáng tức là tăng số photon trong chùm \rightarrow dòng quang điện tăng \Rightarrow Thỏa định luật 2

I.2. HIỆU ỨNG QUANG ĐIỆN



Ví dụ : Chiếu ánh sáng có cường độ $1,0 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ vào mẫu sắt (Fe) diện tích $1,0\text{cm}^2$. Giả sử mẫu sắt phản xạ 96% ánh sáng và chỉ có 3% năng lượng bị hấp thụ nằm trong vùng tím của phổ có tần số lớn hơn tần số ngưỡng.

- (a) Tính cường độ khả dụng để hiệu ứng quang điện xảy ra?
- (b) Giả sử tất cả photon trong vùng tím có bước sóng 250nm , có bao nhiêu electron thoát ra mỗi giây? Hiệu suất quang điện là 100%
- (c) Tính cường độ dòng điện qua điện kế G theo đơn vị Ampe?
- (d) Nếu tần số ngưỡng là $\nu_0 = 1,1 \cdot 10^{15}\text{Hz}$, hãy tìm công thoát của electron đối với sắt?
- (e) Hãy tìm hiệu điện thế hãm của sắt nếu các quang electron được tạo ra với ánh sáng có $\lambda = 250\text{nm}$?



I.2. HIỆU ỨNG QUANG ĐIỆN

5. Khối lượng và động lượng của photon

Theo Einstein, PHOTON là HẠT và ÁNH SÁNG là CHÙM HẠT

Ánh sáng vừa có tính chất sóng, vừa có tính chất hạt

Vậy, khối lượng? Động lượng của photon?

Theo thuyết tương đối của Einstein:

Năng lượng toàn phần của hạt:

$$E^2 = c^2 p^2 + (m_0 c^2)^2$$

Động năng

Năng lượng nghỉ

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Đối với photon: $v = c$

Khối lượng nghỉ:

$$m_0 = 0$$

Động lượng:

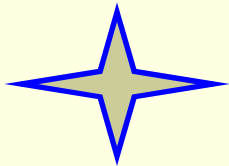
$$p = E/c = h/\lambda$$

I.2. HIỆU ỨNG QUANG ĐIỆN

5. Khối lượng và động lượng của photon

Ví dụ: Một bóng đèn phát ra công suất 100 W. Biết hiệu suất của bóng đèn phát ra trong vùng ánh sáng nhìn thấy là 3%.

- (a) Có bao nhiêu photon thuộc ánh sáng nhìn thấy phát ra mỗi giây? Giả sử bước sóng trung bình của ánh sáng nhìn thấy là 500 nm.
- (b) Toàn bộ số photon này hội tụ tại một tờ giấy đen và bị hấp thụ hết. Tính động lượng của một photon. Tính lực do tất cả photon tác dụng lên tờ giấy.



I.3. HIỆU ỨNG COMPTON (Tán xạ Compton)

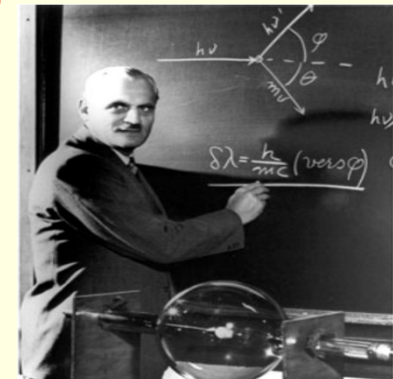
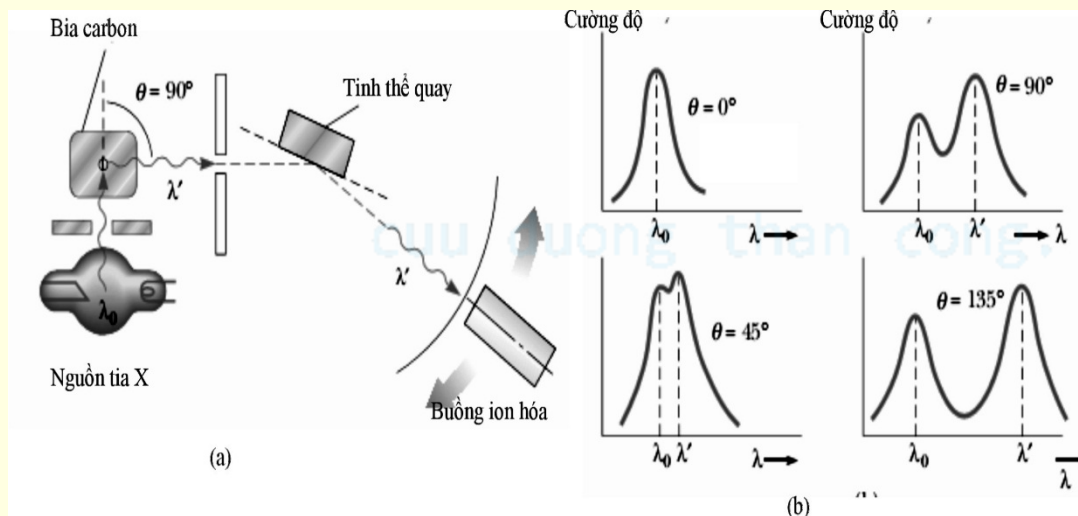
1. Thực nghiệm

Hiệu ứng quang điện cho thấy ánh sáng là dòng hạt photon có năng lượng và động lượng xác định.

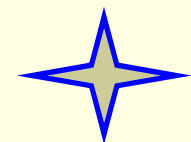
Nếu là hạt, liệu photon có va chạm được với electron không?

THỰC NGHIỆM

KẾT QUẢ



Arthur Holly Compton
(1892 – 1962)



I.3. HIỆU ỨNG COMPTON (Tán xạ Compton)

2. Tìm biểu thức độ dịch chuyển bước sóng

Định luật bảo toàn năng lượng:

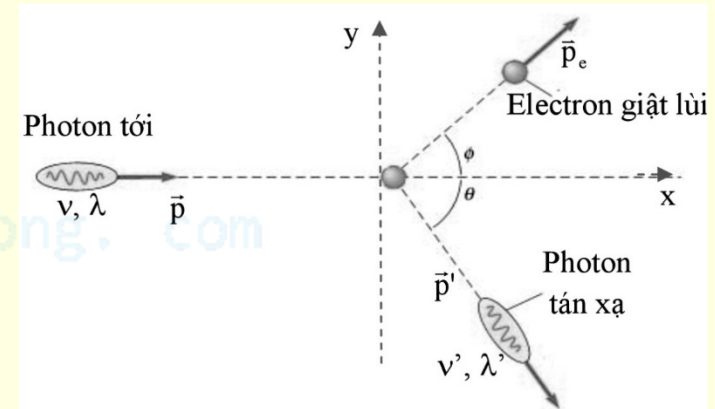
$$h\nu + m_e c^2 = h\nu' + \frac{m_e c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Định luật bảo toàn động lượng:

$$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e$$

Chiếu xuống trục x và y, ta tìm được

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



Khi $\theta = 0$, $\Delta\lambda_{\min} = 0$

Khi $\theta = 180^\circ$, $\Delta\lambda_{\max} = 2h/m_e c$

Năng lượng photon sau tán xạ E' như thế nào nếu biết năng lượng photon trước tán xạ E ?

I.3. HIỆU ỨNG COMPTON (Tán xạ Compton)

2. Tìm biểu thức độ dịch chuyển bước sóng

Bước sóng Compton:

$$\lambda_c = h/m_e c = 0,0243 \text{ \AA} = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ (m)}$$



Photon tới có năng lượng lớn hơn nhiều so với năng lượng nghỉ của electron ($\sim 511 \text{ keV}$) thì có thể quan sát được hiệu ứng Compton?

KẾT LUẬN

Qua 03 hiệu ứng: Bức xạ nhiệt, hiệu ứng quang điện và hiệu ứng Compton chứng tỏ ánh sáng (bức xạ điện từ) có tính chất hạt.

I.3. HIỆU ỨNG COMPTON (Tán xạ Compton)

EXAMPLE 27–8 X-ray scattering. X-rays of wavelength 0.140 nm are scattered from a very thin slice of carbon. What will be the wavelengths of X-rays scattered at (a) 0° , (b) 90° , (c) 180° ?

Example 2

X-rays with an energy of 300 keV undergo Compton scattering with a target.

- If the scattered X-rays are detected at 30° relative to the incident X-rays, determine the Compton shift at this angle, the energy of the scattered X-ray, and the energy of the recoiling electron.



I.3. HIỆU ỨNG COMPTON (Tán xạ Compton)

BÀI TẬP

Chapt27, Problem-28: A beam of 0.68-nm photons undergoes Compton scattering from free electrons. What are the energy and momentum of the photons that emerge at a 45° angle with respect to the incident beam?

Problem 8.

Calculate the scattering angle and the energy transferred to the electron compared to the energy of the incoming photon in a Compton effect, if at wavelength $\lambda = 0.01 \text{ nm}$ $\Delta\lambda = 0.0024 \text{ nm}$.

Example 3.7

X rays of wavelength 0.2400 nm are Compton-scattered, and the scattered beam is observed at an angle of 60.0° relative to the incident beam. Find: (a) the wavelength of the scattered X rays, (b) the energy of the scattered X-ray photons, (c) the kinetic energy of the scattered electrons, and (d) the direction of travel of the scattered electrons.

Chương 2

TÍNH CHẤT SÓNG CỦA VẬT CHẤT



È, Ánh sáng!
Anh là sóng hay
hạt vậy?



Tôi cũng không
biết nữa! Có
người bảo tôi là
hạt, có người
bảo tôi là sóng?



À, anh VẬT CHẤT là
sóng hay hạt?

Khi tôi giao thoa
với nhau thì tôi
là sóng. Khi tôi
tóm cổ thằng
electron ra ngoài
thì tôi là hạt.



Dĩ nhiên tôi là hạt
rồi, nhưng không
biết tôi có là sóng
hay không!

II.1. GIẢ THUYẾT DE BROGLIE

“Bất kỳ hạt nào mà có khối lượng khác không (electron, proton, quả bóng,...) chuyển động với động lượng p thì kết hợp với một sóng có bước sóng λ liên hệ với động lượng p ”.

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

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

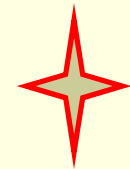
Bước sóng De Broglie (bước sóng vật chất)



Louis de Broglie (1892–1987,



Bước sóng vật chất dài hay ngắn? Liệu ta có thể quan sát được không?



II.1. GIẢI THUYẾT DE BROGLIE

Example 4.1

Compute the de Broglie wavelength of the following: (a) A 1000-kg automobile traveling at 100 m/s (about 200 mi/h). (b) A 10-g bullet traveling at 500 m/s. (c) A smoke particle of mass 10^{-9} g moving at 1 cm/s. (d) An electron with a kinetic energy of 1 eV. (e) An electron with a kinetic energy of 100 MeV.

solutions

(a) $\lambda = 6,6 \cdot 10^{-39}$ m

(b) $\lambda = 1,3 \cdot 10^{-34}$ m

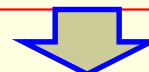
(c) $\lambda = 6,6 \cdot 10^{-20}$ m

(d) $\lambda = 1,2$ nm

(e) $\lambda = 1,2$ fm

Quá nhỏ, ta không thể quan sát được trong phòng thí nghiệm!

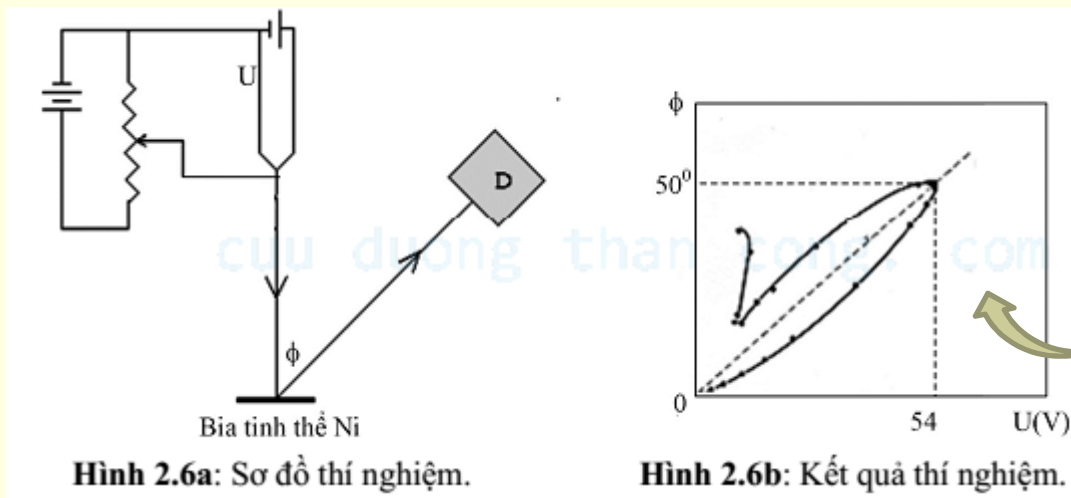
Bước sóng có cùng kích thước với hạt nhân – nguyên tử!



Chỉ có các hạt dưới nguyên tử mới có cơ hội quan sát được tính chất sóng của nó!

II.2. CÁC THỰC NGHIỆM KIỂM CHỨNG

1) Thực nghiệm Davisson - Germer



Chỉ có tính chất sóng mới thu nhận được bức tranh này



Từ kết quả thí nghiệm này, ta tính bước sóng electron dựa vào tính chất sóng và tính chất hạt của electron, liệu có như nhau không?

II.2. CÁC THỰC NGHIỆM KIỂM CHỨNG

1) Thực nghiệm Davisson - Germer

Tính toán dựa vào tính chất sóng của electron

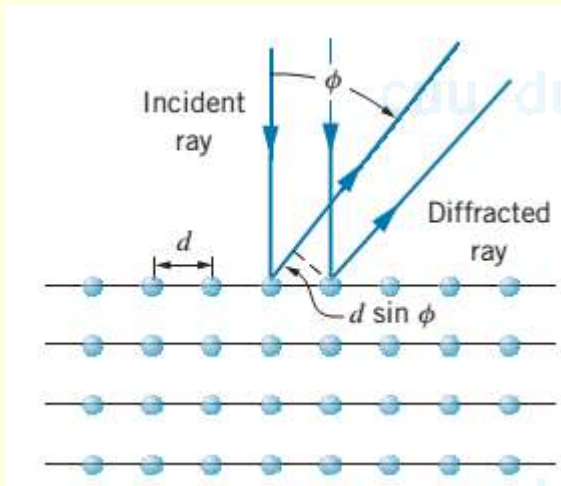
NHIỄU XẠ

ĐỊNH LUẬT BRAGG

$$d \sin \phi = n\lambda \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Với $d = 0,215 \text{ nm}$, $\phi = 50^\circ$ và $n = 1$

$$\lambda = 0,165 \text{ nm}$$



II.2. CÁC THỰC NGHIỆM KIỂM CHỨNG

1) Thực nghiệm Davisson - Germer

Tính toán dựa vào tính chất HẠT của electron



Bước sóng De Broglie



$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mK}}$$

Với $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{Js}$, $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$
và $K = 54 \text{ eV}$



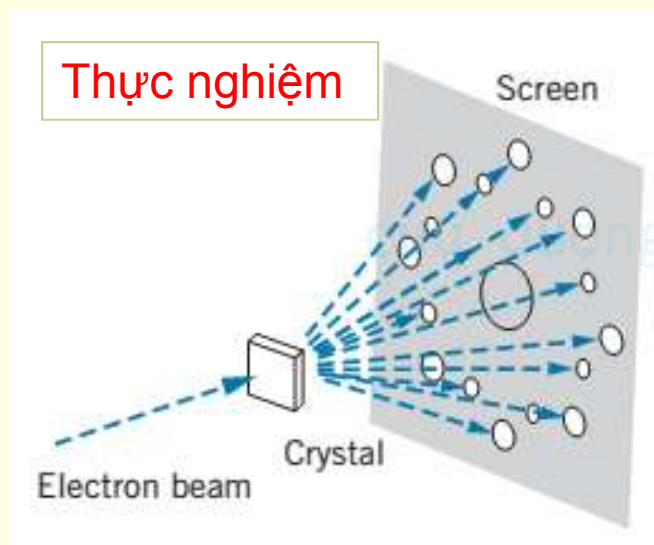
$$\lambda = 0,167 \text{ nm}$$



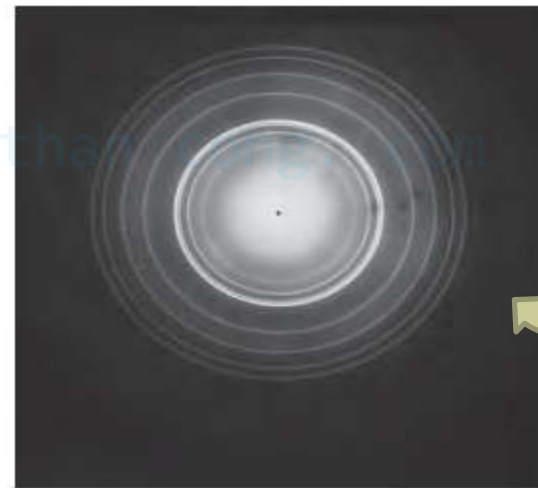
Từ hai phép tính trên, nhận thấy rằng electron có tính chất SÓNG.

II.2. CÁC THỰC NGHIỆM KIỂM CHỨNG

2) Thực nghiệm G.P. Thomson



Kết quả



Chỉ có tính chất sóng mới có hình ảnh này!

Với kết quả này, Thomson cùng Davisson – Germer cùng nhận giải Nobel vào năm 1937

Chú ý rằng cha của G.P. Thomson, J.J.Thomson nhận giải Nobel vào năm 1906 cho việc khám phá ra electron và đo tỉ số e/m .

II.2. CÁC THỰC NGHIỆM KIỂM CHỨNG

3) Các thực nghiệm khác

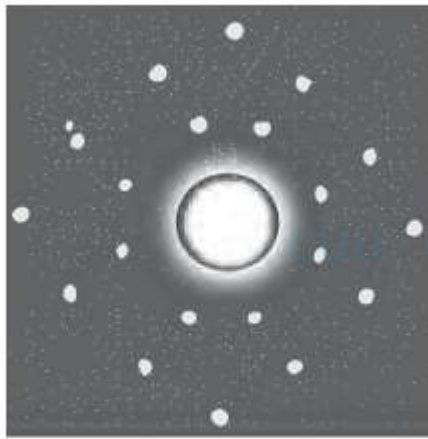


FIGURE 4.7 Diffraction of neutrons by a sodium chloride crystal.

neutron

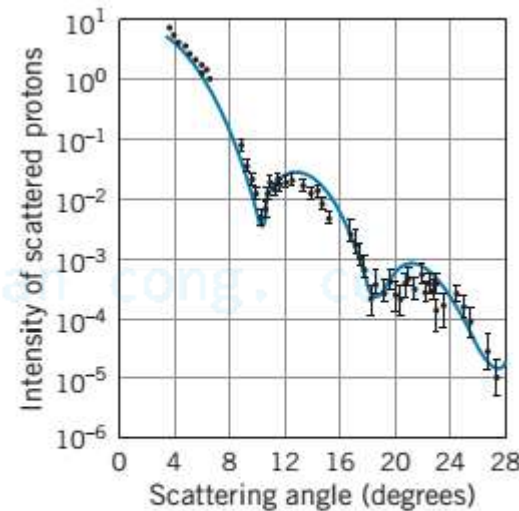


FIGURE 4.8 Diffraction of 1-GeV protons by oxygen nuclei. The pat-

proton

Các kết quả khẳng định rằng, ngoài electron ra thì các hạt khác đều có tính chất SÓNG.

II.2. CÁC THỰC NGHIỆM KIỂM CHỨNG

Example 4.2

Protons of kinetic energy 1.00 GeV were diffracted by oxygen nuclei, which have a radius of 3.0 fm, to produce the data shown in Figure 4.8. Calculate the expected angles where the first three diffraction minima should appear.

Đáp số: $\theta = 8,5^\circ$; $\theta = 17,2^\circ$; $\theta = 26,4^\circ$

II.3. HÀM SÓNG

Vật chất có tính chất SÓNG. Vậy SÓNG của vật chất là sóng gì? Sóng cơ học? Sóng điện từ?

1) Hàm sóng và ý nghĩa xác suất

TIA X	ELECTRON
Vân sáng → Cường độ cực đại	Vân sáng → Xác suất cực đại
Vân tối → Cường độ cực tiểu	Vân tối → Xác suất cực tiểu
$I_{as} \sim \vec{E} ^2$	$P \sim \Psi ^2$
$E(x,y,z,t)$	$\Psi(x,y,z,t)$

Ψ : Hàm sóng

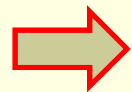


Sóng vật chất là sóng XÁC SUẤT

II.3. HÀM SÓNG

Ý nghĩa xác suất của hàm sóng

“Bản thân hàm sóng $\Psi(x, y, z, t)$ không có ý nghĩa vật lý trực tiếp, mà chỉ bình phương của trị tuyệt đối của nó, $|\Psi(x, y, z, t)|^2$ mới là một đại lượng vật lý mà chúng ta có thể đo được. $|\Psi(x, y, z, t)|^2$ cho biết xác suất để hạt nằm trong một đơn vị thể tích bao quanh điểm (x, y, z) tại thời điểm t . Do đó người ta gọi $|\Psi(x, y, z, t)|^2$ là mật độ xác suất”.



$$|\psi(x, y, z, t)|^2 dV$$



là xác suất để hạt nằm trong thể tích vi phân $dV = dx dy dz$ bao quanh điểm (x, y, z) đó tại thời điểm t .

II.3. HÀM SÓNG

2) Điều kiện chuẩn hóa và nguyên lí chồng chất trạng thái

* Điều kiện chuẩn hóa

$$\int_{(V)} |\psi(\vec{r}, t)|^2 dV = 1$$

Xác suất phát hiện hạt trong toàn bộ không gian bằng 100%

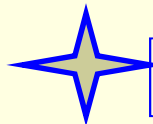
* Nguyên lí chồng chất trạng thái

$$\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 + \dots \Psi_n$$

Một hàm sóng có thể tách ra thành nhiều hàm sóng

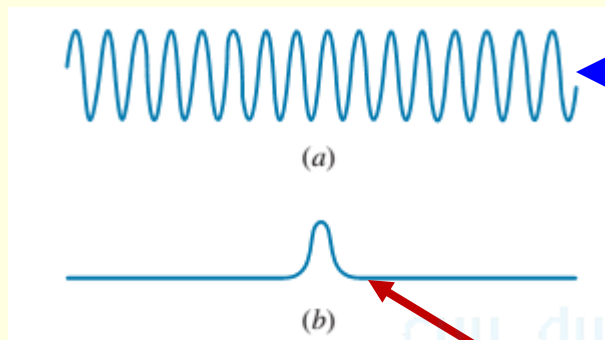
$$\Psi_1 + \Psi_2 + \dots \Psi_n = \Psi$$

Nhiều hàm sóng kết hợp thành một sóng mới.



HÀM SÓNG là hàm TRẠNG THÁI

II.4. NGUYÊN LÝ BẤT ĐỊNH HEISENBERG



Hạt có sóng như vậy không thể xác định chính xác vị trí của nó, nhưng có thể biết chính xác bước sóng của nó!

Hạt có sóng như vậy có thể xác định chính xác vị trí của nó, nhưng không biết chính xác bước sóng của nó!

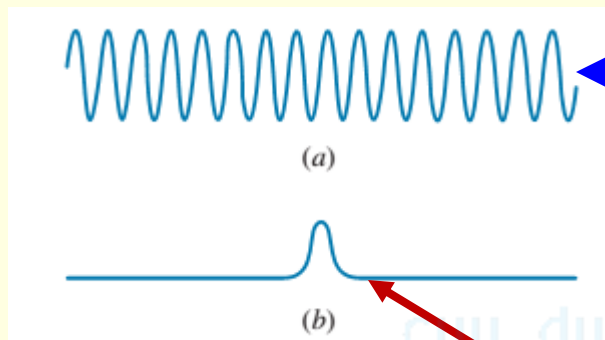
1) Bất định về tọa độ và động lượng

Ta không thể đo chính xác đồng thời cả tọa độ và động lượng của một vi hạt trong một hệ lượng tử.



$$\Delta x \times \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

II.4. NGUYÊN LÝ BẤT ĐỊNH HEISENBERG



Hạt có sóng như vậy không thể xác định chính xác vị trí của nó, nhưng có thể biết chính xác bước sóng của nó!

Hạt có sóng như vậy có thể xác định chính xác vị trí của nó, nhưng không biết chính xác bước sóng của nó!

2) Bất định về năng lượng và thời gian

Ta không thể đo chính xác đồng thời cả năng lượng và thời gian của một vi hạt trong hệ lượng tử.

$$\Delta E \times \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

II.4. NGUYÊN LÝ BẤT ĐỊNH HEISENBERG

Example 4.5

An electron moves in the x direction with a speed of 3.6×10^6 m/s. We can measure its speed to a precision of 1%. With what precision can we simultaneously measure its x coordinate?

Đáp số: $\Delta x = 1,6$ nm

Example 4.6

Repeat the calculations of the previous example in the case of a pitched baseball ($m = 0.145$ kg) moving at a speed of 95 mi/h (42.5 m/s). Again assume that its speed can be measured to a precision of 1%.

Đáp số: $\Delta x = 8,6 \cdot 10^{-34}$ m

II.4. NGUYÊN LÝ BẤT ĐỊNH HEISENBERG

Example 4.8

(a) A charged pi meson has a rest energy of 140 MeV and a lifetime of 26 ns. Find the energy uncertainty of the pi meson, expressed in MeV and also as a fraction of its rest energy. (b) Repeat for the uncharged pi meson, with a rest energy of 135 MeV and a lifetime of 8.3×10^{-17} s. (c) Repeat for the rho meson, with a rest energy of 765 MeV and a lifetime of 4.4×10^{-24} s.

Đáp số:

(a) $\Delta E/E = 9,05 \cdot 10^{-17}$

(b) $\Delta E/E = 2,94 \cdot 10^{-8}$

(c) $\Delta E/E = 0,1$

Example 4.9

Estimate the minimum velocity that would be measured for a billiard ball ($m \approx 100$ g) confined to a billiard table of dimension 1 m.

Đáp số: $\Delta v = 5,3 \cdot 10^{-34}$ m/s

CHƯƠNG III

PHƯƠNG TRÌNH SCHRODINGER

III.1. Phương trình Schrodinger

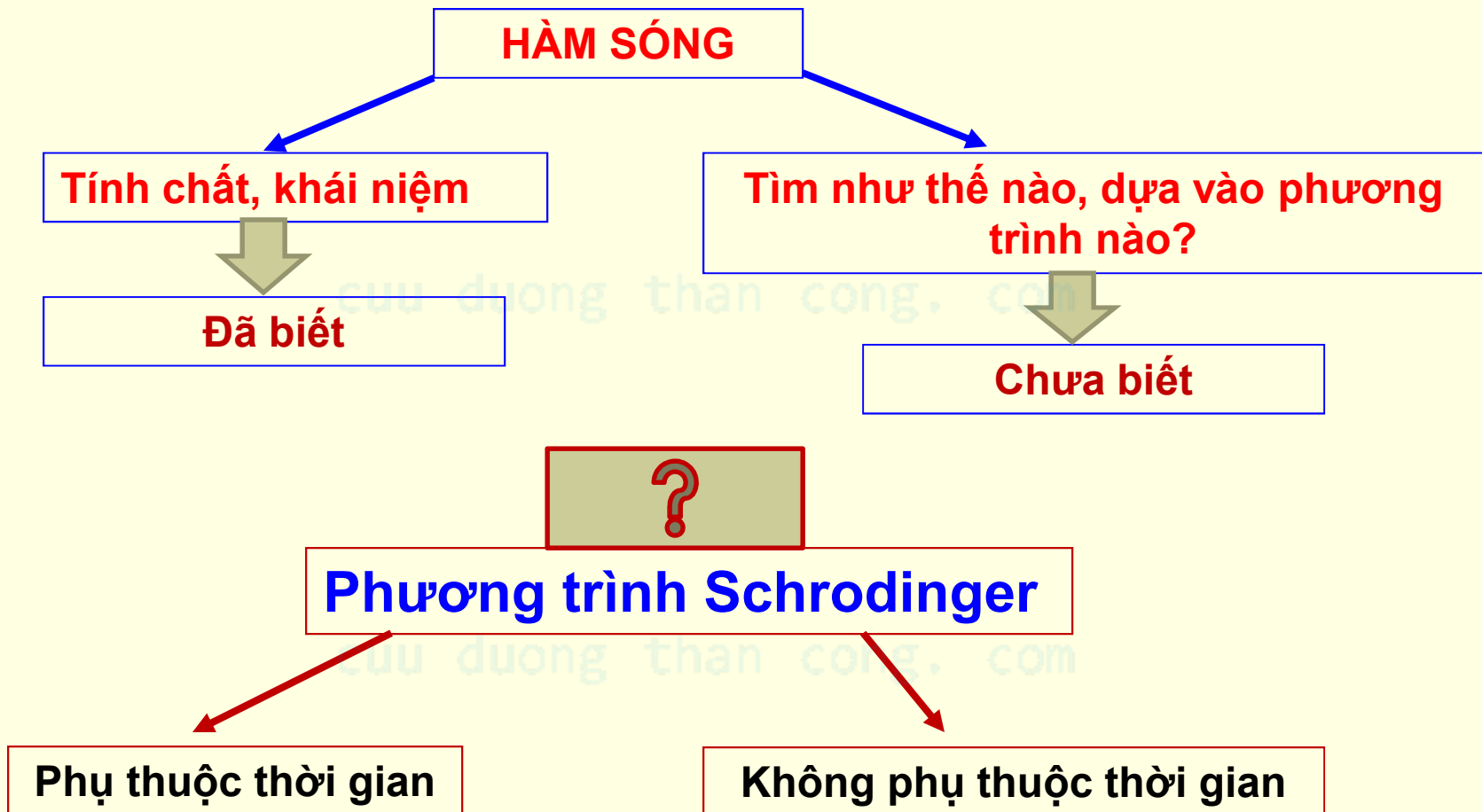
III.2. Hạt trong hố thế một chiều

III.3. Hiệu ứng đường ngầm



Erwin Schrödinger
(1887-1961)

III.1. PHƯƠNG TRÌNH SCHRODINGER



III.1. PHƯƠNG TRÌNH SCHRODINGER

1. Phương trình Schrodinger phụ thuộc thời gian

Hàm sóng của một hạt có năng lượng E chuyển động trong một trường thế U :

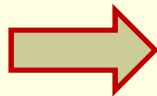
$$\Psi(x, t) = Ae^{i(kx - \omega t)} \quad (1)$$

Mô tả sóng truyền theo phương x và sóng truyền theo phương ngược lại

SÓNG DỪNG

Đối với hạt tự do ($U = 0$): $p = \hbar k$ và $E = \hbar\omega$

Từ (1)



$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = -k^2 \Psi$$

Ta dùng:

$$E = p^2 / 2m = \hbar^2 k^2 / 2m$$

III.1. PHƯƠNG TRÌNH SCHRODINGER

1. Phương trình Schrodinger phụ thuộc thời gian

Thu được:
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = \frac{p^2}{2m} \Psi. \quad (2)$$

Tương tự:
$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = -i\omega \Psi$$
 Ta dùng:
$$E = \hbar\omega$$

Thu được:
$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hbar\omega \Psi = E\Psi.$$

Khi hạt chuyển động trong trường thế $V(x)$ $\Rightarrow E = p^2/2m + V(x)$

\Rightarrow
$$E\Psi = \frac{p^2}{2m} \Psi + V(x)\Psi \quad (3)$$

III.1. PHƯƠNG TRÌNH SCHRODINGER

1. Phương trình Schrodinger phụ thuộc thời gian

Thay (3) vào (2):

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + V(x)\Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \quad (4)$$



Phương trình Schrodinger cho hạt chuyển động một chiều

Cơ học cổ điển



Phương trình Newton



$$F = ma$$



Giải phương trình cho ta biết vị trí của hạt theo thời gian

Cơ học lượng tử



Phương trình Schrodinger



(4)



Giải phương trình cho ta biết xác suất của hạt trong không theo thời gian

III.1. PHƯƠNG TRÌNH SCHRODINGER

2. Phương trình Schrodinger không phụ thuộc thời gian

$$\Psi(x, t) = Ae^{i(kx - \omega t)}$$

$$\Psi(x, t) = \psi(x)e^{-iEt/\hbar}$$

Phụ thuộc không gian

Phụ thuộc thời gian

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} e^{-iEt/\hbar} + V(x)\psi(x)e^{-iEt/\hbar} = i\hbar \cdot -iE/\hbar e^{-iEt/\hbar} \psi(x) = E\psi(x)e^{-iEt/\hbar}.$$

Rút gọn, ta thu được:

III.1. PHƯƠNG TRÌNH SCHRODINGER

2. Phương trình Schrodinger không phụ thuộc thời gian

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + V(x)\psi(x) = E\psi(x)$$

Sắp xếp lại:

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} [E - V(x)]\psi(x) = 0$$



Phương trình Schrodinger cho hạt chuyển động một chiều

CHÚNG TA SẼ LÀM VIỆC TRÊN PHƯƠNG TRÌNH NÀY

III.1. PHƯƠNG TRÌNH SCHRODINGER

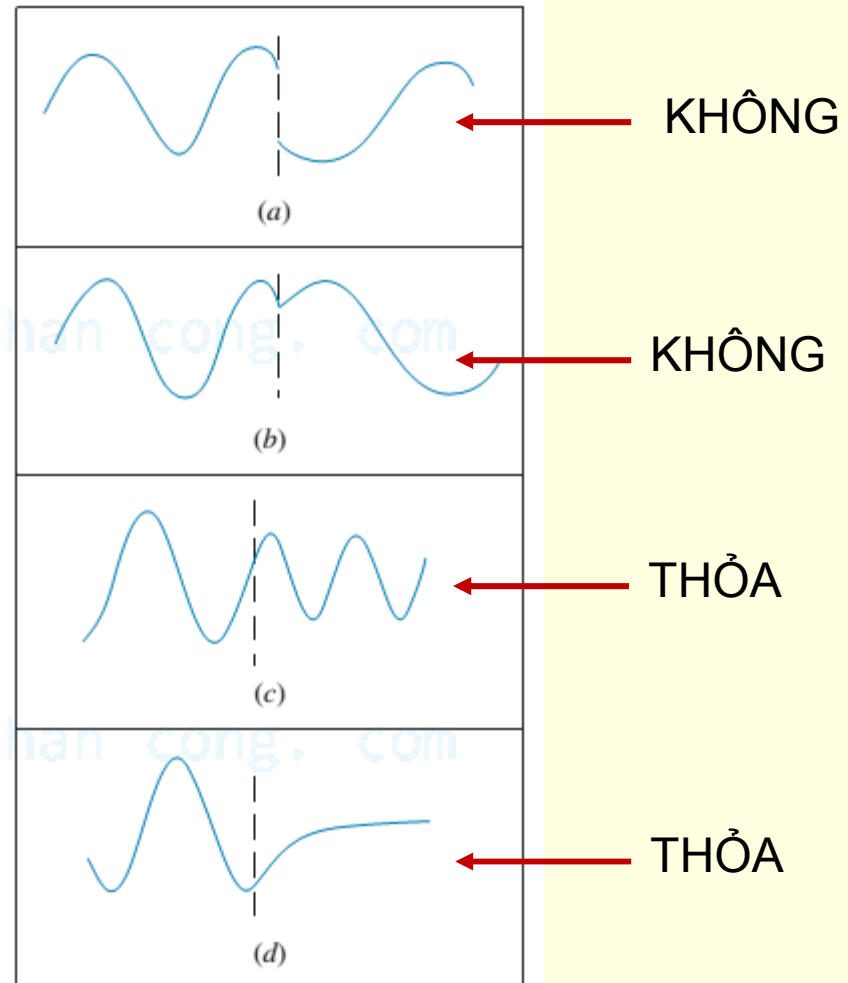
3. Điều kiện của hàm sóng

- Hữu hạn, nếu không thì điều kiện chuẩn hóa không được thỏa mãn,
- Đơn trị, vì ứng với mỗi trạng thái, tại một vị trí và tại một thời điểm chỉ có một xác suất tìm thấy hạt,
- Ψ và đạo hàm bậc nhất của nó theo các tọa độ không gian phải liên tục. Điều kiện này là do phương trình Schrödinger có chứa các đạo hàm bậc hai của Ψ theo các tọa độ không gian. Để phương trình có nghĩa, đạo hàm bậc hai của Ψ phải hữu hạn, muốn vậy thì Ψ và đạo hàm bậc nhất của nó theo tọa độ phải liên tục.

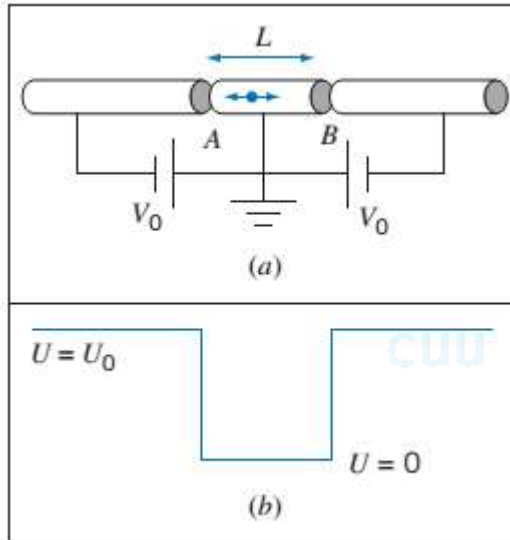
III.1. PHƯƠNG TRÌNH SCHRODINGER

3. Điều kiện của hàm sóng

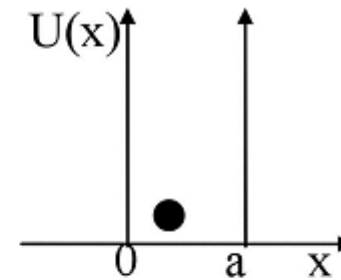
HÀM SÓNG NÀO THỎA
ĐIỀU KIỆN?



III.2. HẠT TRONG HỐ THỂ MỘT CHIỀU



$$U(x) = \begin{cases} \infty & \text{khi } x \leq 0 \\ 0 & \text{khi } 0 < x < a \\ \infty & \text{khi } x \geq a \end{cases}$$



Hình 3.1: Hình ảnh một hố thế một chiều

Xét hạt chuyển động tự do trong $0 < x < a$

Phương trình Schrodinger trong trường hợp này:

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi(x) = 0$$

hay

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

(1)

với

$$k^2 = \frac{2mE}{\hbar^2}$$

III.2. HẠT TRONG HỐ THỂ MỘT CHIỀU

Phương trình (1) có nghiệm:

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

$$A = ?$$

$$B = ?$$

Dựa vào điều kiện biên

$$\psi(0) = \psi(a) = 0$$

$$\psi(0) = B = 0$$

$$\psi(a) = A \sin(ka) = 0$$

$$\sin(ka) = 0$$

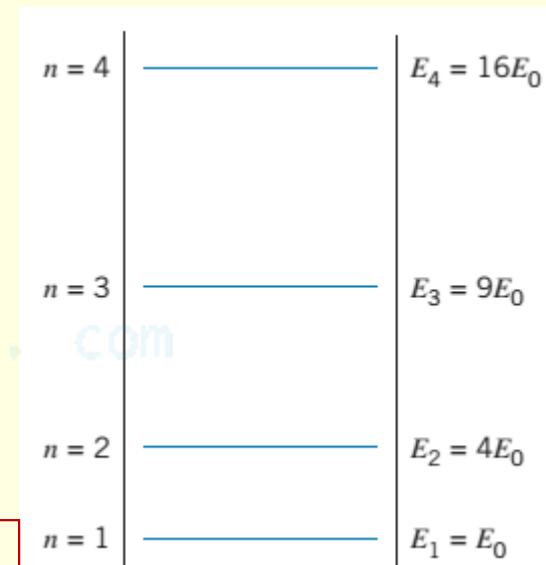
$$\Rightarrow k = n\pi/a \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

hay

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} n^2, \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

Năng lượng bị lượng tử hóa

Ở trạng thái lượng tử, hạt luôn chuyển động!

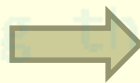


III.2. HẠT TRONG HỒ THỂ MỘT CHIỀU

Bây giờ ta tìm hằng số A?

Dựa vào điều kiện chuẩn hóa của hàm sóng

$$\int_0^a |\psi(x)|^2 dx = 1$$
$$\int_0^a A^2 \sin^2(n\pi x/a) dx = 1$$



$$A = \sqrt{2/a}$$

Vậy hàm sóng của hạt trong hố thế thu được là:

$$\psi_n(x) = \sqrt{2/a} \sin(n\pi x/a)$$

Tuy nhiên, bản thân hàm sóng không có ý nghĩa vật lý, mà chỉ có mật độ xác suất mới có ý nghĩa vật lý.

III.2. HẠT TRONG HỒ THỂ MỘT CHIỀU

Mật độ xác suất phát hiện hạt:

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

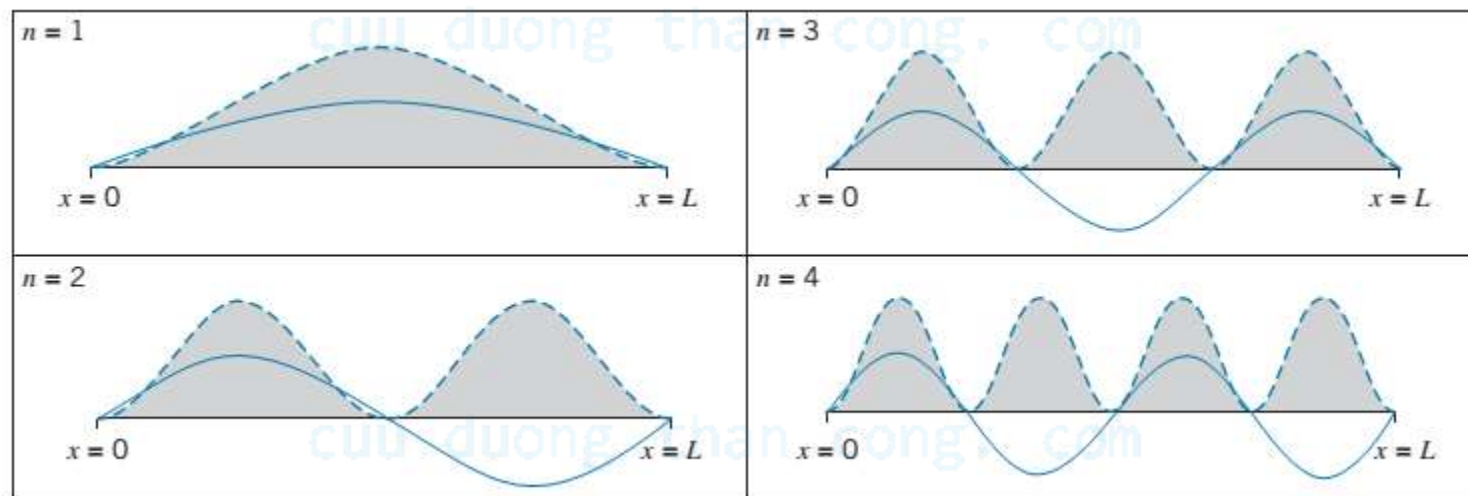


FIGURE 5.11 The wave functions (solid lines) and probability densities (shaded regions) of the first four states in the one-dimensional infinite potential energy well.

III.2. HẠT TRONG HỐ THỂ MỘT CHIỀU

Example 5.2

An electron is trapped in a one-dimensional region of length 1.00×10^{-10} m (a typical atomic diameter). (a) Find the energies of the ground state and first two excited states. (b) How much energy must be supplied to excite the electron from the ground state to the second excited state? (c) From the second excited state, the electron drops down to the first excited state. How much energy is released in this process?

Đáp số:

(a) $E_1 = 37,6$ eV

$E_2 = 150,4$ eV

$E_3 = 338,4$ eV

(b) $\Delta E = 300,8$ eV

(c) $\Delta E = 188$ eV

Example 5.3

Consider again an electron trapped in a one-dimensional region of length 1.00×10^{-10} m = 0.100 nm. (a) In the ground state, what is the probability of finding the electron in the region from $x = 0.0090$ nm to 0.0110 nm? (b) In the first excited state, what is the probability of finding the electron between $x = 0$ and $x = 0.025$ nm?

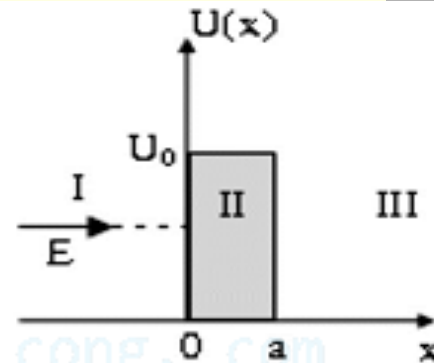
Đáp số:

(a) $P_1 = 0,38\%$

(b) $P_2 = 25\%$

III.3. RÀO THẾ - HIỆU ỨNG ĐƯỜNG NGÀM

$$U = \begin{cases} 0 & \text{khi } x \leq 0 \\ U_0 & \text{khi } 0 < x < a \\ 0 & \text{khi } x \geq a \end{cases}$$



Hình 3.4: Hàng rào thế hình chữ nhật.

o Miền (I) và (III): $\frac{d^2\psi}{dx^2} + k_1^2\psi = 0, \quad k_1^2 = \frac{2m}{\hbar^2}E$

o Miền (II): $\frac{d^2\psi}{dx^2} - k_2^2\psi = 0, \quad k_2^2 = \frac{2m}{\hbar^2}[U_0 - E]$

$$\psi_I = A_1 e^{ik_1 x} + B_1 e^{-ik_1 x}$$

Sóng tới trong miền I

$$\psi_{II} = A_2 e^{-k_2 x} + B_2 e^{k_2 x}$$

Sóng p xạ trong miền I

$$\psi_{III} = A_3 e^{ik_1(x-a)} + B_3 e^{-ik_1(x-a)}$$

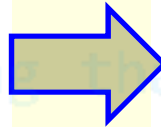
Sóng P XẠ trong miền III

Sóng truyền qua trong miền III

III.3. RÀO THẾ - HIỆU ỨNG ĐƯỜNG NGÀM

Để tìm A_i và B_i , ta cần các điều kiện:

$$\begin{aligned}\psi_I(0) &= \psi_{II}(0) \\ \left. \frac{d\psi_I}{dx} \right|_{x=0} &= \left. \frac{d\psi_{II}}{dx} \right|_{x=0} \\ \psi_{II}(a) &= \psi_{III}(a) \\ \left. \frac{d\psi_{II}}{dx} \right|_{x=a} &= \left. \frac{d\psi_{III}}{dx} \right|_{x=a}\end{aligned}$$



- $A_1 + B_1 = A_2 + B_2$
- $ik_1(A_1 - B_1) = -k_2(A_2 - B_2)$
- $A_2 e^{-k_2 a} + B_2 e^{k_2 a} = A_3$
- $-k_2(A_2 e^{-k_2 a} - B_2 e^{k_2 a}) = ik_1 A_3$

Hệ số truyền qua:

$$D = \frac{|A_3|^2}{|A_1|^2} = \left| \frac{A_3}{A_1} \right|^2$$



$$D = \left| \frac{A_3}{A_1} \right|^2 = \frac{16n^2}{(1+n^2)^2} e^{-2k_2 a}$$

$$n = \frac{k_1}{k_2} = \sqrt{\frac{E}{U_0 - E}}$$

Nếu $U_0 = 10E$ thì

$$D \approx \exp\left[-\frac{2a}{\hbar} \sqrt{2m(U_0 - E)}\right]$$

III.3. RÀO THỂ - HIỆU ỨNG ĐƯỜNG NGÀM

7.20. Đối với hạt có năng lượng $E < U_0$ tới rào thế có dạng:

$$U(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ U_0 & x \geq 0 \end{cases}$$

Với, $x < 0$ hàm sóng có dạng: $\psi_0(x) = A \sin k_0 x + B \cos k_0 x$, $k_0 = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}$

Với, $x \geq 0$ hàm sóng có dạng: $\psi_1(x) = C e^{k_1 x} + D e^{-k_1 x}$, $k_1 = \sqrt{\frac{2m(U_0 - E)}{\hbar^2}}$

Hãy áp dụng điều kiện biên tại $x = 0$ để tính hàm số B và D theo A

7.30. Một chùm proton năng lượng 25 MeV tới rào thế có chiều cao $U = 20$ MeV. Tính % số hạt phản xạ và % số hạt truyền qua.

(xem ví dụ 3.5 trong giáo trình)

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ



Mẫu nguyên tử này được khám phá bởi Rutherford và Bohr, cho thấy rằng electron quay quanh hạt nhân giống như các hành tinh quay quanh Mặt Trời vậy!

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.1. Các tính chất cơ bản của nguyên tử

☐ Nguyên tử là rất nhỏ, bán kính khoảng 0,1 nm

➔ Mọi cố gắng để nhìn thấy nguyên tử bằng ánh sáng nhìn thấy là vô vọng

☐ Nguyên tử là bền vững

➔ Nguyên tử không tự nhiên vỡ ra thành các hạt nhỏ hơn, cho nên các nội lực giữ nguyên tử với nhau phải cân bằng nhau.

☐ Nguyên tử chứa electron mang điện âm, nhưng nó lại trung hòa điện tích

➔ Nếu ta làm nhiễu loạn nguyên tử bằng một lực đủ mạnh thì có electron phát ra.

☐ Nguyên tử có thể phát xạ và hấp thụ bức xạ điện từ

➔ Giúp ta biết được cấu trúc nguyên tử.

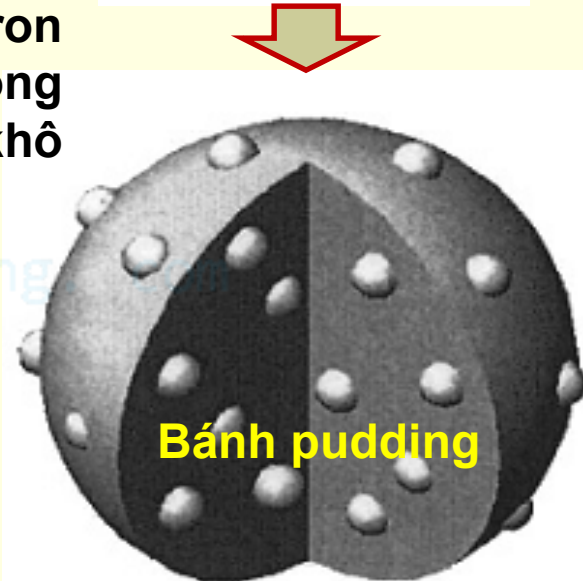
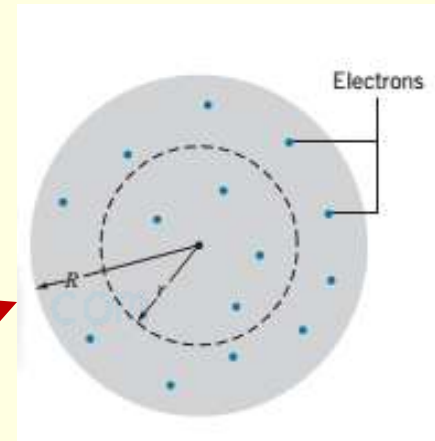
CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.2. Mẫu nguyên tử của Thomson

“Bất kỳ thứ gì mà mang điện tích phải có nguồn gốc từ vật chất kể cả các hạt bên trong vật chất”

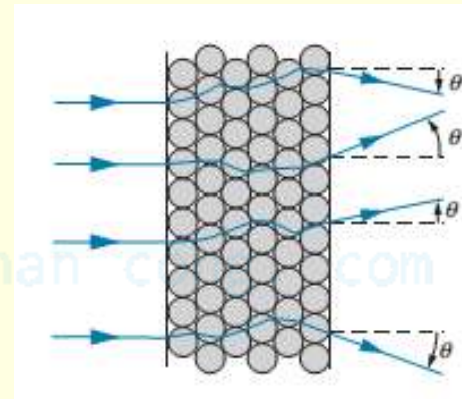
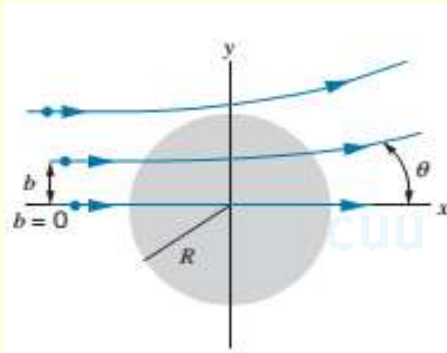
Thomson cho rằng, nguyên tử có dạng hình cầu mang điện tích dương và các electron phân bố đều bên trong nguyên tử, nó giống như là sự phân bố của những hạt nho khô trong cái bánh **pudding**.



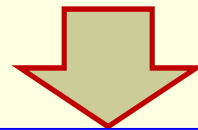
CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.2. Mẫu nguyên tử của Thomson



Góc tán xạ của hạt mang điện dương (hạt alpha) với nguyên tử



$$\theta = \sqrt{N} \langle \theta \rangle$$

Theo mẫu của Thomson thì góc tán xạ $\langle \theta \rangle$ phải lớn, nhưng thực nghiệm lại xác định được $\langle \theta \rangle$ khá nhỏ?



Mẫu Thomson không đúng

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.2. Mẫu nguyên tử của Thomson

Mẫu nguyên tử dạng này có thể giải thích được:

- Sự trung hòa điện tích của nguyên tử.
- Nguồn gốc của electron.
- Nguồn gốc các tính chất hóa học của nguyên tố.

Tuy nhiên mẫu Thomson không giải thích được:

- ❖ Các vạch phổ nguyên tử (theo như mẫu này thì các bức xạ phát ra là đơn sắc; tuy nhiên thực nghiệm với nguyên tử hydro cho thấy một dãy các vạch rơi vào các vùng khác nhau của phổ điện từ).
- ❖ Phóng xạ (bản chất của các tia phát ra và nguồn gốc của chúng trong nguyên tử).
- ❖ Tán xạ của các hạt mang điện bởi nguyên tử.

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

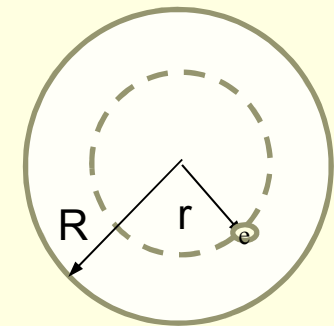
4.2. Mẫu nguyên tử của Thomson

Ví dụ 1: Xét một electron như hình vẽ bị giam trong một hình cầu mang điện tích $+Ze$ tại khoảng cách r tính từ tâm hình cầu.

(a) Bằng cách dùng định luật Gauss, hãy chứng minh rằng điện trường trên electron là

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze}{R^3} r$$

(b) Tính lực điện trường tác dụng lên electron.

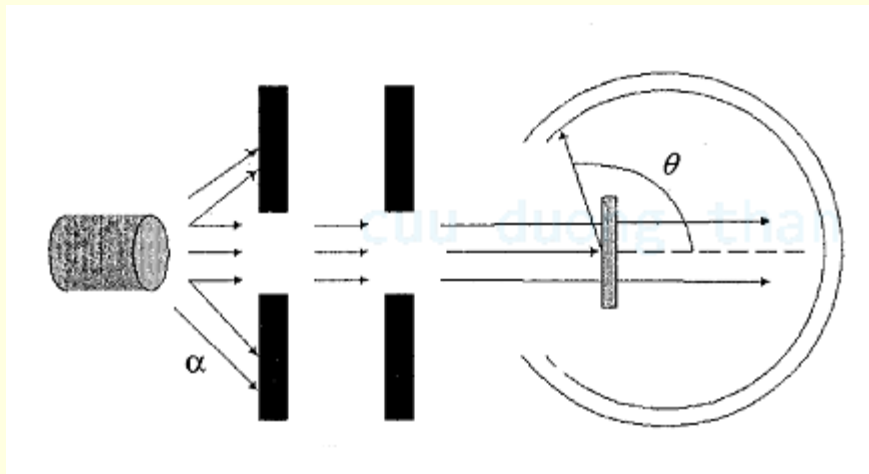


Ví dụ 2: (a) Tính tần số dao động của electron và bước sóng phát xạ hoặc hấp thụ trong nguyên tử hydro theo mẫu Thomson. Dùng $R = 0,053$ nm. So sánh với bước sóng phát xạ hoặc hấp thụ dài nhất quan sát được là 122 nm. (b) Lặp lại phép tính đối với nguyên tử Na ($Z = 11$). Dùng $R = 0,18$ nm. So sánh với bước sóng quan sát được là 590 nm.

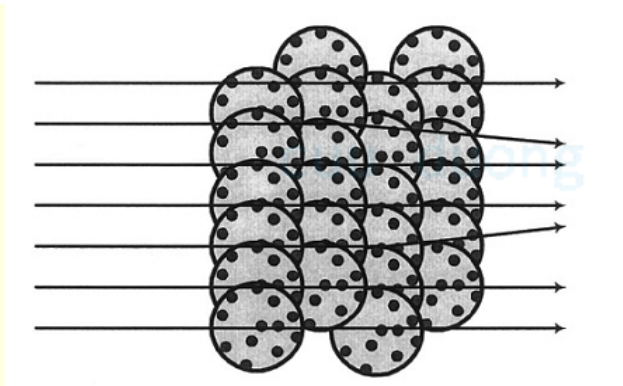
CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

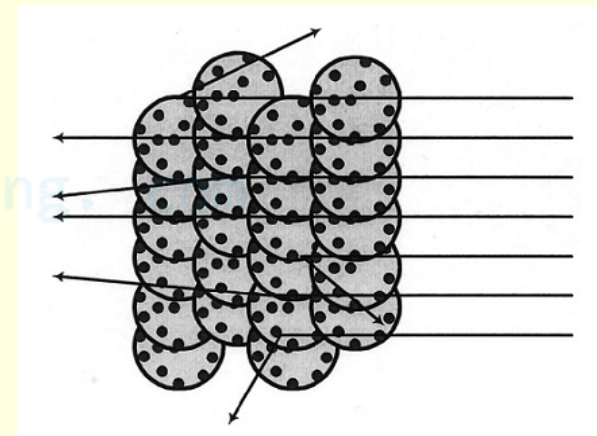
4.3. Mẫu nguyên tử của Rutherford



Ernest Rutherford (1871-1937)



Mong đọi



Ngoài mong đọi

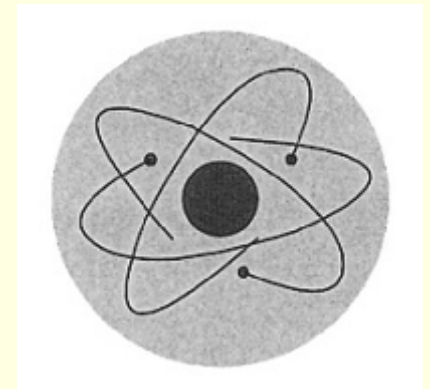
CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.3. Mẫu nguyên tử của Rutherford

Năm 1911, Rutherford đã đưa ra mẫu hành tinh nguyên tử.

- ❑ Theo mẫu này, nguyên tử gồm một hạt nhân mang gần như toàn bộ khối lượng nguyên tử nằm ở tâm, xoay quanh có các electron chuyển động.
- ❑ Hạt nhân tích điện dương, điện tích âm của các electron có giá trị bằng giá trị điện tích dương của hạt nhân.
- ❑ Nhưng theo thuyết điện từ cổ điển, khi electron chuyển động có gia tốc xung quanh hạt nhân tất yếu sẽ phải bức xạ năng lượng và cuối cùng sẽ rơi vào hạt nhân



→ **Như vậy nguyên tử sẽ không tồn tại.**

Thêm vào đó, khi nghiên cứu quang phổ phát sáng của nguyên tử Hydro, **người ta thu được quang phổ vạch.**

→ **Các sự kiện đó vật lý cổ điển không thể giải thích được.**

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

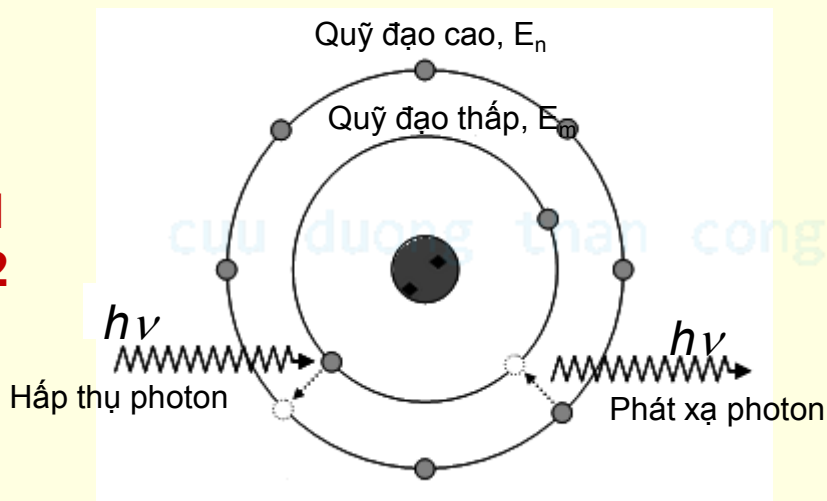
4.4. Mẫu lượng tử của nguyên tử (mẫu nguyên tử Bohr)

Từ những thành công của lý thuyết lượng tử của Planck và Einstein, năm 1913 Bohr đã đề ra một lý thuyết mới về cấu trúc nguyên tử, khắc phục những mâu thuẫn của mẫu hành tinh nguyên tử của Rutherford.

Đó chính là tiền đề cho sự ra đời của cơ học lượng tử.

Bohr đã trở thành một trong những người đã đặt nền móng cho môn cơ học mới đó khi ông bắt nhịp cầu giữa hai thế giới vật lý: thế giới vĩ mô và thế giới vi mô.

- Tiên đề 1
- Tiên đề 2



Niels Bohr (1885-1962)

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

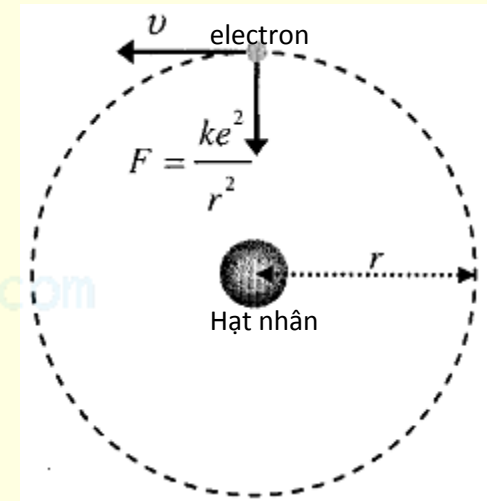
4.5. Nguyên tử hydro

4.5.1 Năng lượng nguyên tử hydro

Lực hút Coulomb bằng với lực hướng tâm của electron và theo định luật II Newton, ta có:

$$m \frac{v^2}{r} = \frac{ke^2}{r^2} \quad (4.1)$$

$$mv^2 = \frac{ke^2}{r} \quad (4.2)$$



Động năng của electron là $K = mv^2/2$ và thế năng điện của nó là $U = - ke^2/r$,

Đối với electron chuyển động trên quỹ đạo tròn quanh hạt nhân thì động năng và năng lượng toàn phần là

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.5. Nguyên tử hydro

4.5.1 Năng lượng nguyên tử hydro

$$K = -\frac{1}{2}U \quad (4.3)$$

$$E = K + U = \frac{1}{2}U = -\frac{1}{2} \frac{ke^2}{r} \quad (4.4)$$

Năng lượng toàn phần có giá trị âm cho thấy rằng electron liên kết với hạt nhân và không thể thoát ra ngoài nguyên tử.

Phép phân tích ở trên là dựa vào cơ học cổ điển và không chỉ ra được năng lượng của electron *bị lượng tử hóa*.

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.5. Nguyên tử hydro

4.5.1 Năng lượng nguyên tử hydro

Giả thuyết của Bohr cho rằng mômen động lượng của electron ($L = mvr$) bị lượng tử hóa và bằng bội số của hằng số Planck, đối với quỹ đạo tròn:

$$L = mvr = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar \quad (4.4) \quad \hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,055 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

Khi đó, bán kính quỹ đạo của electron tính được:

$$m \left[\frac{n\hbar}{mr} \right]^2 = \frac{ke^2}{r} \Rightarrow r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{ke^2 m} = n^2 a_0 \quad (4.5)$$

bán kính quỹ đạo của electron bị lượng tử hóa

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{ke^2 m} = 0,0529 \text{ nm} \quad \text{bán kính Bohr}$$

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.5. Nguyên tử hydro

4.5.1 Năng lượng nguyên tử hydro

Từ bán kính quỹ đạo r_n có thể tính được các mức năng lượng trong nguyên tử hydro như sau:

$$E_n = -\frac{ke^2}{2a_0} \frac{1}{n^2} \quad (4.6)$$

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} (\text{eV}) \quad (4.7)$$

Sự lượng tử hóa năng lượng

Số nguyên n ứng với các giá trị năng lượng gián đoạn của nguyên tử được gọi là **số lượng tử chính**.

Trạng thái dừng thấp nhất được gọi là trạng thái cơ bản có $n = 1$ và có năng lượng $E_1 = -13,6$ eV. Trạng thái tiếp theo được gọi là trạng thái kích thích thứ nhất có $n = 2$ và có năng lượng $E_2 = -3,4$ eV.

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.5. Nguyên tử hydro

4.5.1 Năng lượng nguyên tử hydro

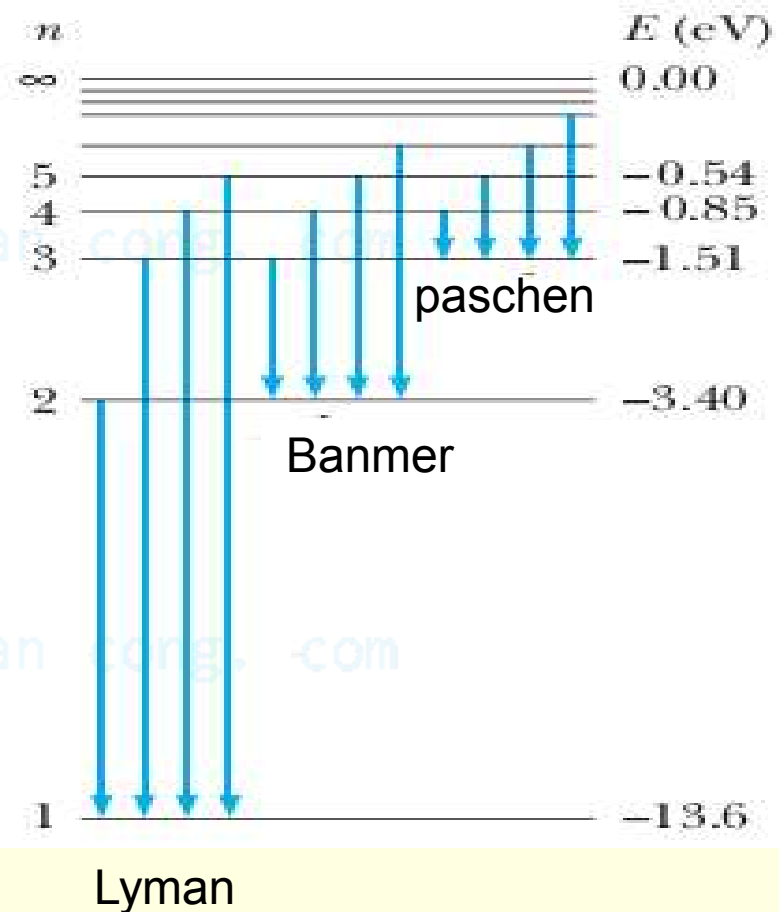
- Năng lượng ion hóa của nguyên tử hydro theo tính toán của Bohr là 13,6 eV.



Đúng với giá trị thực nghiệm

Năng lượng photon hấp thụ hay phát xạ từ nguyên tử hydro trong quá trình electron dịch chuyển giữa quỹ đạo n và m ($n > m$) có thể xác định được

$$E_{\gamma} = E_n - E_m = \frac{ke^2}{2a_0} \left[\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right] \quad (4.8)$$



CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.5. Nguyên tử hydro

4.5.2. Công thức Balmer-Rydberg

Vào năm 1885, một thầy giáo người Thụy Sĩ tên là Jakob Balmer (1825-1898) đã phân tích số liệu về phổ nguyên tử hydro và cho thấy rằng các bước sóng của bức xạ phát ra quan sát được liên hệ theo công thức:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5, 6. \quad (4.9)$$

theo Balmer giá trị của $R_H = 0,0110 \text{ nm}^{-1}$

Sau đó Johannes Rydberg phát triển thêm công việc của Balmer cho tất cả các vạch phổ phát xạ của nguyên tử hydro, và cho rằng bước sóng của các vạch quang phổ quan sát được thỏa mãn:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad m < n \quad (4.10)$$

công thức Balmer - Rydberg, và R_H là hằng số Rydberg.

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.5. Nguyên tử hydro

4.5.2. Công thức Balmer-Rydberg

Vào năm 1913, Niels Bohr đã phát triển một mẫu nguyên tử mới để đã giải thích cho trường hợp phổ hấp thụ và phát xạ của nguyên tử hydro.

Công thức Balmer - Rydberg được viết dưới dạng năng lượng photon phát ra khi electron chuyển từ trạng thái này đến trạng thái khác như sau:

$$E_{\gamma} = Rhc \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad m < n \quad (4.11)$$

Hằng số Rydberg được tính như sau:

$$R = \frac{ke^2}{2a_0} \frac{1}{hc} = \frac{1,44eVnm}{2 \times 0,0529nm} \frac{1}{1240eVnm} = 0,0110nm^{-1}$$



Phù hợp với giá trị thực nghiệm của Rydberg

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.5. Nguyên tử hydro

4.5.2. Công thức Balmer-Rydberg

Example 6.6

Find the wavelengths of the transitions from $n_1 = 3$ to $n_2 = 2$ and from $n_1 = 4$ to $n_2 = 2$ in atomic hydrogen.

Đáp số:

$$\lambda_{32} = 656,1 \text{ nm}$$

$$\lambda_{42} = 486 \text{ nm}$$

Example 6.4

The series limit of the Paschen series ($n_0 = 3$) is 820.1 nm. What are the three longest wavelengths of the Paschen series?

Đáp số:

$$\lambda_1 = 1875 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = 1281 \text{ nm}$$

$$\lambda_3 = 1094 \text{ nm}$$

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.5. Nguyên tử hydro

4.5.2. Công thức Balmer-Rydberg

Sau khi biết được khám phá của Bohr, Lord Rutherford phát biểu:

“Lý thuyết lượng tử về phổ nguyên tử của Bohr là một trong những cuộc cách mạng vĩ đại nhất, và tôi không biết có lý thuyết nào thành công hơn thế.....Tôi xem công việc của Bohr là một trong những thành tựu lớn nhất của trí tuệ loài người”.

Trong khi đó, Albert Einstein nói ngắn gọn sau khi biết tính toán lý thuyết về hằng số Rydberg:

“Đó là một trong những khám phá vĩ đại nhất”.

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.5. Nguyên tử hydro

4.5.2. Công thức Balmer-Rydberg

Bohr đã thấy rằng có một số vạch *bí ẩn* nào đó quan sát được trong Mặt Trời và các Vì Sao không thể do nguyên tử hydro tạo ra mà đã được dự đoán đúng bằng lý thuyết của ông, đó chính là ion helium (He^+).

Bán kính quỹ đạo của nguyên tử ở trạng thái n :

$$r_n = (n^2) \frac{a_0}{Z} \quad (4.13)$$

Năng lượng của nguyên tử ở quỹ đạo thứ n :

$$E_n = -\frac{ke^2}{2a_0} \left(\frac{Z}{n}\right)^2 = -13,6(\text{eV}) \left(\frac{Z}{n}\right)^2 \quad (4.14)$$

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

4.5. Nguyên tử hydro

4.5.2. Công thức Balmer-Rydberg

Example 6.7

Calculate the two longest wavelengths of the Balmer series of triply ionized beryllium ($Z = 4$).

Đáp số:

$$\lambda_1 = 41 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = 30,1 \text{ nm}$$

CHƯƠNG 4

LÝ THUYẾT CỔ ĐIỂN VỀ NGUYÊN TỬ

BÀI TẬP ÁP DỤNG

1. Nguyên tử hydro ban đầu đứng yên ở trạng thái $n = 3$, sau đó phân rã đến trạng thái cơ bản và phát ra một photon.

(a) Tính bước sóng của photon phát ra.

(b) Tính động lượng giật lùi của nguyên tử.

2. Nguyên tử hydro đang ở trạng thái kích thích thứ nhất. Dùng lý thuyết Bohr, hãy tính:

(a) Bán kính quỹ đạo ở trạng thái này.

(b) Động lượng của electron.

(c) Mômen động lượng của electron.

(d) Động năng của electron.

(e) Thế năng của electron

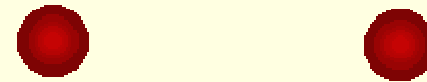
(f) Năng lượng toàn phần của electron.

CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

5.1. Phương trình Schrodinger

Nguyên tử Hydro gồm có một hạt nhân mang điện tích $+e$ và một electron mang điện tích $-e$ chuyển động quanh hạt nhân. Hạt nhân được coi là đứng yên tại O, còn electron quay xung quanh.



Trong tọa độ De-cát

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right) + U(x, y, z) \psi(x, y, z) = E \psi(x, y, z) \quad (5.1)$$

Phương pháp để giải phương trình này là tách biến

➡ $\psi(x, y, z) = X(x)Y(y)Z(z).$ (5.2)

Tuy nhiên, hàm thế năng

$$U(x, y, z) = -e^2 / 4\pi\epsilon_0 \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

➡ Không thể tách biến

(5.3)

CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

5.1. Phương trình Schrodinger

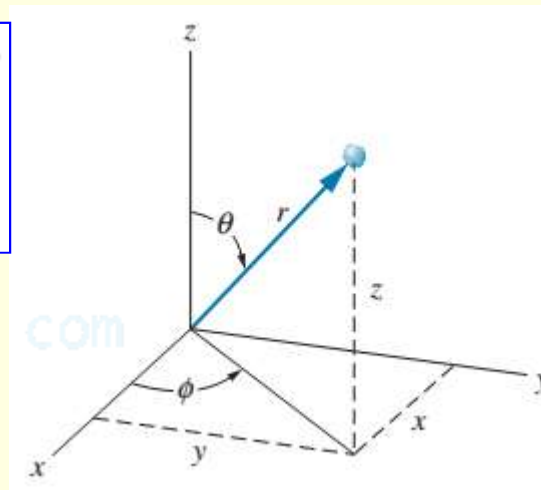
Trong tọa độ cầu:

$$x = r \sin\theta \cos\phi$$

$$y = r \sin\theta \sin\phi$$

$$z = r \cos\theta$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \left[\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin\theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin\theta \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \phi^2} \right] + U(r)\psi(r, \theta, \phi) = E\psi(r, \theta, \phi)$$



(5.4)

Tách biến

$$\psi(r, \theta, \phi) = R(r)\Theta(\theta)\Phi(\phi)$$

(5.5)

$R(r)$ = hàm bán kính (hàm xuyên tâm)

$\Theta(\theta)$ = hàm phân bố góc

$\Phi(\phi)$ = hàm phương vị

Có 03 phương trình vi phân, mỗi phương trình, mỗi phương trình chỉ có 01 biến (r, θ, ϕ)

CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

5.1. Phương trình Schrodinger

Trạng thái lượng tử của một hạt chuyển động trong trường thế $U(r)$ được mô tả bởi các số lượng tử l và m_l .

Hàm phân bố góc $\Theta(\theta)$ và hàm phương vị $\Phi(\phi)$ được cho trước. Vấn đề còn lại là hàm bán kính $R(r)$ thu được bằng việc giải phương trình:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{d^2 R}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dR}{dr} \right) + \left(-\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{l(l+1)\hbar^2}{2mr^2} \right) R(r) = ER(r) \quad (5.6)$$



Phương trình có thể giải được, nhưng ta không quan tâm ở đây!

CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

5.2. Các số lượng tử và hàm sóng

Khi giải phương trình Schrodinger 03 chiều, ta thấy phát sinh 03 thông số trong các nghiệm. 03 thông số này được gọi là số lượng tử.

n	principal quantum number	$1, 2, 3, \dots$
l	angular momentum quantum number	$0, 1, 2, \dots, n - 1$
m_l	magnetic quantum number	$0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$

- Số lượng tử chính n đã được nhận dạng qua sự lượng tử hóa năng lượng trong mẫu Bohr.

$$E_n = -\frac{me^4}{32\pi^2\epsilon_0^2\hbar^2} \frac{1}{n^2} \quad (5.7)$$

- Ứng với mỗi giá trị n có n giá trị có thể có của l .
- Ứng với mỗi giá trị l có $(2l + 1)$ giá trị khác nhau của m_l .

CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

5.2. Các số lượng tử và hàm sóng

Lúc này hàm sóng được biểu diễn bởi:

$$\psi_{n,l,m_l}(r, \theta, \phi) = R_{n,l}(r) \Theta_{l,m_l}(\theta) \Phi_{m_l}(\phi) \quad (5.7)$$

Có 01 trạng thái

❑ Đối với trạng thái cơ bản ($n = 1$): $l = 0$ và $m_l = 0$ \Rightarrow

$$\psi_{100}(r, \theta, \phi)$$

❑ Đối với trạng thái kích thích thứ nhất ($n = 2$): $l = 0, 1$ và $m_l = 0, \pm 1$



$$\psi_{200}(r, \theta, \phi)$$

$$\psi_{210}(r, \theta, \phi)$$

$$\psi_{21\pm 1}(r, \theta, \phi)$$

Có 04 trạng thái

TÓM LẠI: Với 01 giá trị n sẽ có n^2 hàm sóng, tức là có n^2 trạng thái khả dĩ có thể có của electron trong nguyên tử.

CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

5.2. Các số lượng tử và hàm sóng

TABLE 7.1 Some Hydrogen Atom Wave Functions

n	l	m_l	$R(r)$	$\Theta(\theta)$	$\Phi(\phi)$
1	0	0	$\frac{2}{a_0^{3/2}} e^{-r/a_0}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$
2	0	0	$\frac{1}{(2a_0)^{3/2}} \left(2 - \frac{r}{a_0}\right) e^{-r/2a_0}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$
2	1	0	$\frac{1}{\sqrt{3}(2a_0)^{3/2}} \frac{r}{a_0} e^{-r/2a_0}$	$\sqrt{\frac{3}{2}} \cos \theta$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$
2	1	± 1	$\frac{1}{\sqrt{3}(2a_0)^{3/2}} \frac{r}{a_0} e^{-r/2a_0}$	$\mp \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \theta$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\pm i\phi}$
3	0	0	$\frac{2}{(3a_0)^{3/2}} \left(1 - \frac{2r}{3a_0} + \frac{2r^2}{27a_0^2}\right) e^{-r/3a_0}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$
3	1	0	$\frac{8}{9\sqrt{2}(3a_0)^{3/2}} \left(\frac{r}{a_0} - \frac{r^2}{6a_0^2}\right) e^{-r/3a_0}$	$\sqrt{\frac{3}{2}} \cos \theta$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$
3	1	± 1	$\frac{8}{9\sqrt{2}(3a_0)^{3/2}} \left(\frac{r}{a_0} - \frac{r^2}{6a_0^2}\right) e^{-r/3a_0}$	$\mp \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \theta$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\pm i\phi}$
3	2	0	$\frac{4}{27\sqrt{10}(3a_0)^{3/2}} \frac{r^2}{a_0^2} e^{-r/3a_0}$	$\sqrt{\frac{5}{8}} (3 \cos^2 \theta - 1)$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$
3	2	± 1	$\frac{4}{27\sqrt{10}(3a_0)^{3/2}} \frac{r^2}{a_0^2} e^{-r/3a_0}$	$\mp \sqrt{\frac{15}{4}} \sin \theta \cos \theta$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\pm i\phi}$
3	2	± 2	$\frac{4}{27\sqrt{10}(3a_0)^{3/2}} \frac{r^2}{a_0^2} e^{-r/3a_0}$	$\frac{\sqrt{15}}{4} \sin^2 \theta$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\pm 2i\phi}$

CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

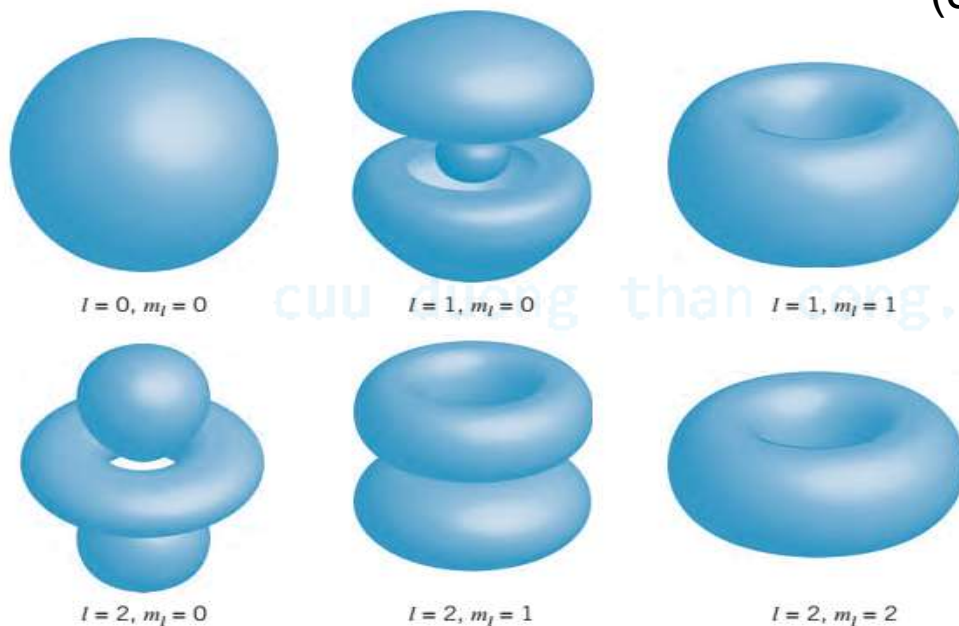
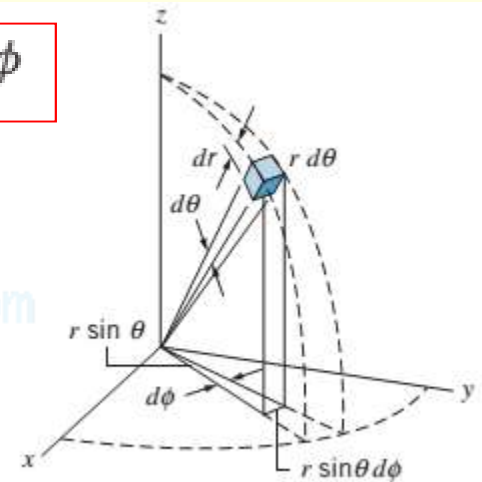
5.3. Mật độ xác suất

$$dV = r^2 \sin \theta dr d\theta d\phi$$

Xác suất tìm thấy electron trong yếu tố thể tích dV là

$$|\psi_{n,l,m_l}(r, \theta, \phi)|^2 dV = |R_{n,l}(r)|^2 |\Theta_{l,m_l}(\theta)|^2 |\Phi_{m_l}(\phi)|^2 r^2 \sin \theta dr d\theta d\phi$$

(5.8)

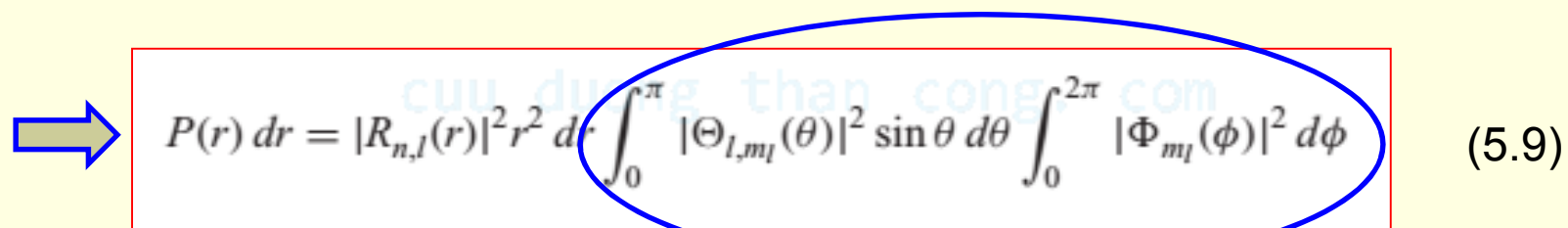


CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

5.4. Mật độ xác suất theo bán kính

Thay vì ta muốn biết hoàn toàn mật độ xác suất đến vị trí electron, nhưng ở đây ta chỉ muốn biết xác suất tìm thấy electron cách hạt nhân một khoảng nào đó là bao nhiêu, bất chấp góc θ và ϕ .


$$P(r) dr = |R_{n,l}(r)|^2 r^2 dr \int_0^\pi |\Theta_{l,m_l}(\theta)|^2 \sin \theta d\theta \int_0^{2\pi} |\Phi_{m_l}(\phi)|^2 d\phi \quad (5.9)$$

Được chuẩn hóa

$$P(r) = r^2 |R_{n,l}(r)|^2$$

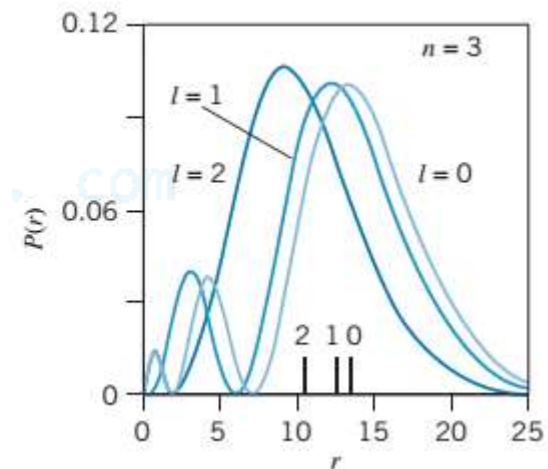
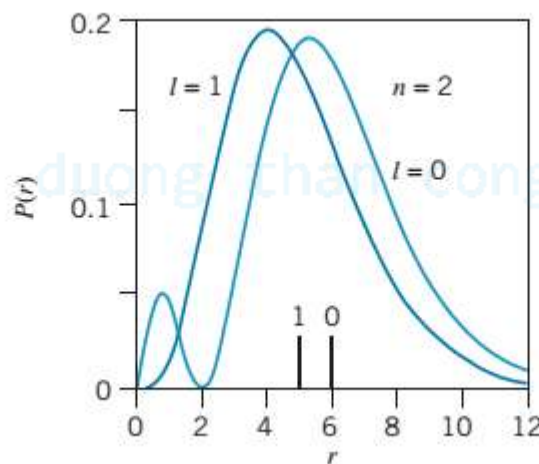
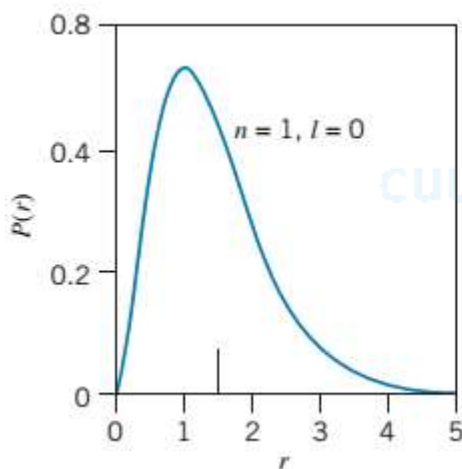
Mật độ xác suất theo bán kính r

(5.10)

CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

5.4. Mật độ xác suất theo bán kính



Example 7.5

Prove that the most likely distance from the origin of an electron in the $n=2, l=1$ state is $4a_0$.

Example 7.6

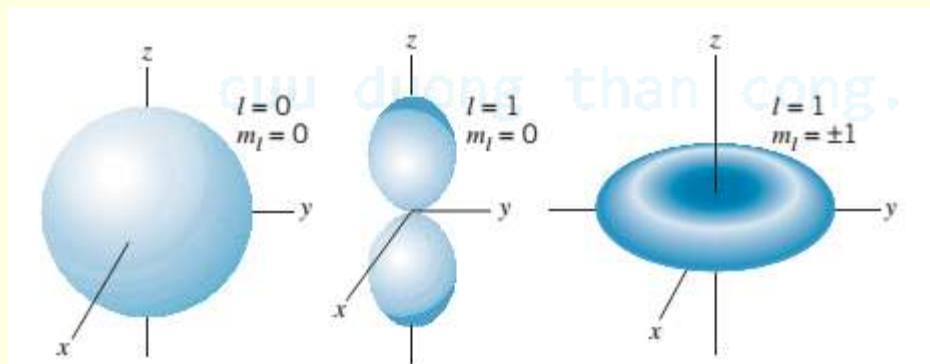
For the $n=2$ states ($l=0$ and $l=1$), compare the probabilities of the electron being found inside the Bohr radius.

CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

5.5. Mật độ xác suất phân bố góc

$$P(\theta, \phi) = |\Theta_{l,m_l}(\theta)\Phi_{m_l}(\phi)|^2 \quad (5.11)$$



Example 7.7

For the $n=2, l=1$ wave functions, find the direction in space at which the maximum probability occurs when $m_l=0$ and when $m_l=\pm 1$.

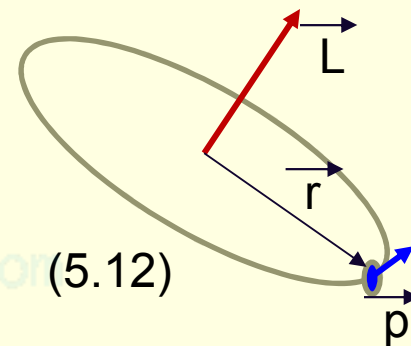
CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

5.6. Mômen động lượng quỹ đạo

Cơ học cổ điển $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$

Cơ học lượng tử $|\vec{L}| = \sqrt{l(l+1)}\hbar \quad (l = 0, 1, 2, \dots)$ (5.12)



Hình chiếu của vector mô men động lượng L lên trục không gian:

$$L_z = m_l \hbar \quad (m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l) \quad (5.13)$$

Lượng tử hóa không gian

Góc phân cực hợp bởi vector \vec{L} và L_z

$$\cos \theta = \frac{L_z}{|\vec{L}|} = \frac{m_l}{\sqrt{l(l+1)}} \quad (5.14)$$

CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

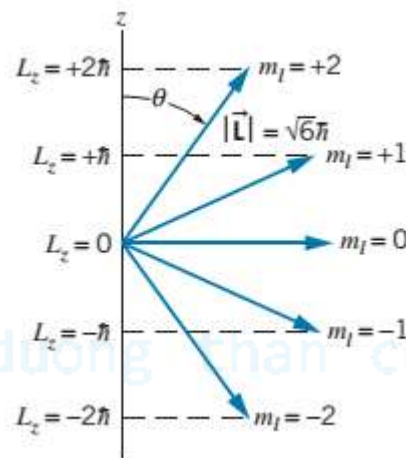
5.6. Mômen động lượng quỹ đạo

Example 7.3

Compute the length of the angular momentum vectors that represent the orbital motion of an electron in a quantum state with $l = 1$ and in another state with $l = 2$.

Example 7.4

What are the possible z components of the vector \vec{L} that represents the orbital angular momentum of a state with $l = 2$?



CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

5.7. Mômen từ

$$\mu = iA = \frac{q}{2\pi m/p} \pi r^2 = \frac{q}{2m} rp = \frac{q}{2m} |\vec{L}| \quad (5.15)$$

$$\vec{\mu}_L = -\frac{e}{2m} \vec{L} \quad (5.16)$$

Hình chiếu của mô men từ lên trục không gian

$$\mu_{L,z} = -\frac{e}{2m} L_z = -\frac{e}{2m} m_l \hbar = -\frac{e\hbar}{2m} m_l = -m_l \mu_B \quad (5.17)$$

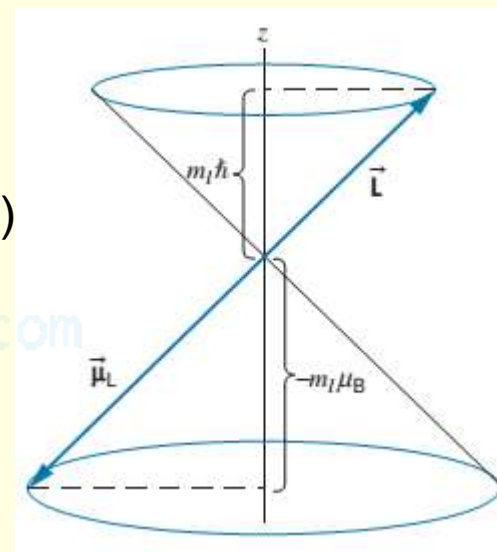
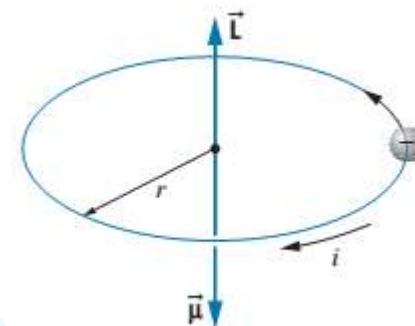
Cũng bị lượng tử hóa không gian

Trong đó:

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m}$$

$$\mu_B = 9.274 \times 10^{-24} \text{ J/T}$$

→ Magneton Bohr



CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

BÀI TẬP ÔN

9.43. Một electron trong nguyên tử hydro đang ở trạng thái có $\ell = 3$. (a) Tính độ lớn vector mômen động lượng \vec{L} của electron. (b) Có bao nhiêu hình chiếu của \vec{L} lên trục không gian z? Liệt kê các thành phần hình chiếu của \vec{L} trên trục z. (c) Tính tất cả các góc mà \vec{L} hợp với trục z.

9.44. Chứng minh rằng các hàm sóng sau đây được chuẩn hóa:

$$(a) \psi_{100}(r, \theta, \phi) = R_{10}(r)\Theta_{00}(\theta)\Phi_{00}(\phi) \text{ với } R_{10}(r) = \frac{2}{a_0^{3/2}}e^{-r/a_0}; \Theta(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2}}; \Phi(\phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}$$

$$(b) \psi_{200}(r, \theta, \phi) = R_{20}(r)\Theta_{00}(\theta)\Phi_{00}(\phi) \text{ với } R_{20}(r) = \frac{1}{(2a_0)^{3/2}}\left(2 - \frac{r}{a_0}\right)e^{-r/2a_0}; \Theta(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$; \Phi(\phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}$$

CHƯƠNG 5

LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA NGUYÊN TỬ HYDRO

BÀI TẬP ÔN

- 9.46. Chứng minh rằng mật độ xác suất theo bán kính r ở trạng thái $1s$ đạt giá trị cực đại tại $r = a_0$.
- 9.47. Tính xác suất phát hiện electron ở trạng thái $2p$ nằm trong khoảng từ a_0 đến $2a_0$.

cuu duong than cong. com

cuu duong than cong. com