

## QUANG LƯỢNG TỬ

### 1) Năng suất phát xạ toàn phần ở nhiệt độ T

$R_T = \frac{d\Phi_T}{dS}$ , trong đó  $d\Phi_T$  là năng lượng do diện tích  $dS$  của vật phát ra sau mỗi đơn vị thời gian ở nhiệt độ T nhất định nào đó.

- Đơn vị của  $R_T$  là  $\frac{W}{m^2}$  là năng lượng bức xạ do một đơn vị diện tích của vật phát ra trong một đơn vị thời gian ở nhiệt độ T.

- Bức xạ toàn phần do vật phát ra gồm nhiều bức xạ đơn sắc khác nhau, mỗi bức xạ đơn sắc ứng với 1 giá trị của bước sóng  $\lambda$ .

- Như vậy có thể suy ra công suất bức xạ toàn phần ở nhiệt độ T:  $P_T = R_T S$ , trong đó S là diện tích của vật bức xạ (đơn vị công suất bức xạ là W)

- Tiếp theo có thể suy ra năng lượng bức xạ toàn phần ở nhiệt độ T:  $W_T = P_T t = R_T S t$  (đơn vị năng lượng bức xạ là J).

### 2) Hệ số phát xạ đơn sắc

$r_{\lambda,T} = \frac{dR_T}{d\lambda}$  - hệ số phát xạ đơn sắc của vật ở nhiệt độ T ứng với bước sóng  $\lambda$ .

$$\text{Suy ra: } R_T = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} dR_T = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} r_{\lambda,T} d\lambda$$

### 3) Hệ số hấp thụ toàn phần

$a_T = \frac{d\Phi'_T}{d\Phi_T}$ , trong đó  $d\Phi'_T$  là phần năng lượng mà vật hấp thụ được trong phần năng lượng  $d\Phi_T$  được gửi đến 1 đơn vị diện tích của vật.

### 4) Hệ số hấp thụ đơn sắc

$a_{\lambda,T} = \frac{d\Phi'_{\lambda,T}}{d\Phi_{\lambda,T}}$  - hệ số hấp thụ đơn sắc của vật ở nhiệt độ T ứng với bước sóng  $\lambda$ .

### 5) Vật đen tuyệt đối:

Vật đen tuyệt đối hay còn gọi là vật đen lý tưởng là vật hấp thụ hoàn toàn năng lượng của mọi chùm bức xạ đơn sắc gửi tới nó:  $a_{\lambda,T} = 1$

### 6) Định luật Kirchhoff

Tỷ số giữa hệ số phát xạ đơn sắc  $r_{\lambda,T}$  và hệ số hấp thụ đơn sắc  $a_{\lambda,T}$  của 1 vật bất kỳ ở trạng thái bức xạ nhiệt cân bằng không phụ thuộc vào bản chất của vật đó, mà chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ T của nó và bước sóng  $\lambda$  của chùm

bức xạ đơn sắc đang xét, nghĩa là:  $\frac{r_{\lambda,T}}{a_{\lambda,T}} = \varepsilon_{\lambda,T}$  - hàm phổ biến.

### 7) Công thức Rayleigh – Jeans

Hàm phổ biến:  $\varepsilon_{\lambda,T} = \frac{2\pi c}{\lambda^4} kT$  hoặc  $\varepsilon_{\nu,T} = \frac{2\pi \nu^2}{c^2} kT$ , trong đó  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \left( \frac{J}{K} \right)$

Từ công thức Rayleigh – Jeans,  $R_T = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \varepsilon_{\lambda,T} d\lambda = 2\pi c k T \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \frac{d\lambda}{\lambda^4} = \infty$ , tức là năng suất bức xạ toàn phần là 1 đại

lượng vô cùng lớn, đây là sự bế tắc của Vật lý học cổ điển kéo dài suốt 1 khoảng thời gian dài cuối thế kỷ 19, gọi là “sự khủng hoảng vùng tử ngoại”.

### 8) Thuyết lượng tử Planck (1900)

Các nguyên tử và phân tử của chất phát xạ và hấp thụ năng lượng một cách gián đoạn, nghĩa là năng lượng do chúng phát xạ hay hấp thụ chỉ có thể bằng một bội nguyên lần của một lượng nhỏ năng lượng xác định, gọi là lượng tử năng lượng:

$$\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}, \text{ trong đó } h = 6,625.10^{-34} \text{ (J.s) gọi là hằng số Planck}$$

### 9) Công thức Planck đối với hàm phổ biến

$$\varepsilon_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \text{ khi nhiệt độ } T \text{ lớn, } \frac{h\nu}{kT} \ll 1 \rightarrow e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 \approx \frac{h\nu}{kT}, \text{ khi đó } \varepsilon_{\nu,T} \approx \frac{2\pi\nu^3}{c^2} kT - \text{ chính là công thức}$$

Rayleigh – Jeans.

### 10) Định luật Stefan – Boltzmann

Năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối tỷ lệ thuận với lũy thừa bậc bốn của nhiệt độ tuyệt đối của vật đó

$$R_T = \sigma T^4, \text{ hằng số Boltzmann } \sigma = 5,6703.10^{-8} \left( \frac{W}{m^2.K^4} \right)$$

### 11) Định luật Wien

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

$$\lambda_m = \frac{b}{T}, \text{ trong đó } b \text{ là hằng số Wien } b = 2,8978.10^{-3} \text{ (m.K)}$$

### 12) Thuyết photon của Einstein

Thuyết lượng tử của Planck đã nêu lên quan điểm hiện đại về năng lượng: năng lượng điện từ phát xạ hay hấp thụ có những giá trị gián đoạn (bị lượng tử hóa), tuy nhiên Planck chưa nêu được bản chất gián đoạn của bức xạ điện từ. Năm 1905 Einstein dựa trên thuyết lượng tử về năng lượng đã đưa ra thuyết lượng tử ánh sáng (thuyết photon).

a) Ánh sáng gồm những hạt rất nhỏ gọi là photon (hay lượng tử ánh sáng). Mỗi photon mang một năng lượng xác định bằng:  $\varepsilon = h\nu$ , trong đó  $h = 6,624.10^{-34} \text{ (J.s)}$  là hằng số Planck,  $\nu$  là tần số của sóng ánh sáng tương ứng với photon đó.

b) Trong chân không cũng như trong mọi môi trường khác, photon truyền đi cùng một vận tốc xác định  $c = 10^8 \text{ m/s}$ .

c) Cường độ của chùm ánh sáng tỷ lệ với số photon phát ra từ nguồn sáng trong một đơn vị thời gian.

### 13) Hiệu ứng quang điện ngoài

- Hiệu ứng quang điện là hiện tượng các electron được giải phóng khỏi mặt ngoài của bản kim loại khi rọi một chùm ánh sáng thích hợp tới mặt bản kim loại đó.

Các định luật quang điện đều được giải thích bằng thuyết lượng tử ánh sáng:

- Khi kim loại được rọi sáng, electron sẽ hấp thụ hoàn toàn 1 photon tới nó và nhận được 1 năng lượng  $\varepsilon = h\nu$  của photon đó. Nếu phần năng lượng này lớn hơn công thoát của electron thì electron có thể giải phóng khỏi kim loại. Như vậy điều kiện để hiệu ứng quang điện xảy ra là:

$$\varepsilon = h\nu > A \rightarrow \nu > \frac{A}{h} = \nu_0 - \text{ gọi là tần số ngưỡng}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \rightarrow \lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} = \frac{hc}{A} - \text{ gọi là giới hạn quang điện (giới hạn đỏ)}$$

$$\text{Phương trình Einstein: } \frac{1}{2} m v_{0\max}^2 = h\nu - A$$

- Để triệt tiêu dòng quang điện người ta đặt lên 2 cực của tế bào quang điện 1 hiệu điện thế cản  $U_c$  sao cho công cản của điện trường bằng động năng ban đầu cực đại của quang electron.

$$eU_c = \frac{1}{2} m v_{0\max}^2$$

#### 14) Động lực học photon

Năng lượng photon:  $\varepsilon = h\nu$ , theo thuyết tương đối thì  $\varepsilon = mc^2 \rightarrow m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$

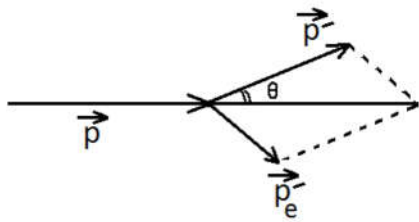
Mặt khác, khối lượng của photon còn được tính:  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \rightarrow m_0 = m\sqrt{1-(v/c)^2}$ , nhưng vì photon chuyển

động với vận tốc  $v = c$  nên dễ dàng suy ra khối lượng nghỉ của photon là  $m_0 = 0$ .

Photon chuyển động với vận tốc là  $c$  nên động lượng:  $p = mc = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c}$

#### 15) Hiệu ứng Compton

Khi chiếu chùm tia X, có bước sóng  $\lambda$  vào các chất nhẹ như grafit, parafin..., trong phổ tia X bị tán xạ, ngoài vạch có bước sóng bằng bước sóng  $\lambda$  của chùm tia X chiếu tới còn phát hiện được vạch có bước sóng  $\lambda' > \lambda$ . Thực nghiệm chứng tỏ,  $\lambda'$  chỉ phụ thuộc vào góc tán xạ  $\theta$  mà không phụ thuộc vào cấu tạo của chất được chiếu tia X. Đây là hiện tượng chứng tỏ bản chất của photon là có động lượng.



$m_{0e}$  - khối lượng nghỉ của electron

$\frac{m_{0e}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$  - khối lượng của electron chuyển động

$\varepsilon = m_{0e}c^2$  - năng lượng nghỉ của electron

$\varepsilon = \frac{m_{0e}c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$  - năng lượng của electron chuyển động

$p'_e = \frac{m_{0e}v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$  - động năng của electron chuyển động, động năng ban đầu của electron = 0

Hạt	Động lượng		Năng lượng	
	Trước va chạm	Sau va chạm	Trước va chạm	Sau va chạm
Photon $\gamma$	$p_\gamma = mc = \frac{h\nu}{c}$	$p'_\gamma = \frac{h\nu'}{c}$	$h\nu$	$h\nu'$
Electron	0	$\frac{m_{0e}v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$	$m_{0e}c^2$	$\frac{m_{0e}c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2h}{m_{0e}c} \sin^2 \frac{\theta}{2} = 2\Lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$ ,  $\Lambda_c = \frac{2h}{m_{0e}c} = 2,426.10^{-12} \text{ m}$  - là bước sóng Compton, là hằng số chung

cho mọi chất.

**4.1 – 4.6, 4.8, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.27, 4.31, 4.32, 4.33, 4.39, 4.41, 4.50, 4.51, 4.52, 4.53, 4.54.**

**4.1.** Một lò nung có nhiệt độ nung 1000K. Cửa sổ quan sát có diện tích  $250\text{cm}^2$ . Xác định công suất bức xạ của cửa sổ đó nếu coi lò là vật đen tuyệt đối.

$T = 1000\text{K}; S = 250\text{cm}^2 = 250.10^{-4}\text{m}^2; P = ?$

**Giải:**

Theo định luật Stefan – Boltzmann:  $R_T = \sigma T^4$ , nên công suất bức xạ của cửa sổ đó:

$$P_T = R_T S = \sigma T^4 S = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1000^4 \cdot 250 \cdot 10^{-4} = 1,42 \cdot 10^{-3} \left( \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right)$$

**4.5.** Tính năng lượng bức xạ trong một ngày đêm từ một ngôi nhà gạch trát vữa, có diện tích mặt ngoài tổng cộng là  $1000m^2$ , biết nhiệt độ của mặt bức xạ là  $27^\circ C$  và hệ số hấp thụ khi đó bằng 0,8.

$$T = 27 + 273 = 300K; S = 1000m^2$$

$$W_T = P_T t = R_T S t = a_T \sigma T^4 S t = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 300^4 \cdot 1000 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 = 3,17 \cdot 10^{-10} (J)$$

**4.8.** Công suất bức xạ của vật đen tuyệt đối bằng  $10^5 kW$ . Tìm diện tích bức xạ của vật đó nếu bước sóng ứng với năng suất phát xạ cực đại của nó bằng  $7 \cdot 10^{-7} m$ .

$$P_T = 10^5 kW; \lambda_m = 7 \cdot 10^{-7} m$$

$$\text{Theo định luật Wien: } \lambda_m T = b = 2,8978 \cdot 10^{-3} (m \cdot K) \rightarrow T = \frac{b}{\lambda_m} = \frac{2,8978 \cdot 10^{-3}}{7 \cdot 10^{-7}} = 4140K$$

$$P_T = \sigma T^4 S \rightarrow S = \frac{P_T}{\sigma T^4} = \frac{10^8}{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 4140^4} = 6 (m^2)$$

**4.31.** Giới hạn đỏ của hiện tượng quang điện đối với vonfram là  $0,2750 \mu m$ , tính:

a) Công thoát của electron đối với vonfram;

b) Năng lượng cực đại của quang electron khi bật ra khỏi vonfram nếu bức xạ chiếu vào có bước sóng là  $0,1800 \mu m$ ;

c) Vận tốc cực đại của quang electron đó.

a)

$$\lambda_0 = 0,2750 \mu m = 0,275 \cdot 10^{-6} m \rightarrow A = \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{0,275 \cdot 10^{-6}} = 7,23 \cdot 10^{-19} (J) = \frac{7,23 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 4,52 (eV)$$

b) Phương trình Einstein:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{1}{2} m_e v_{0max}^2 \rightarrow$$

$$W_{max} = \frac{1}{2} m_e v_{0max}^2 = \frac{hc}{\lambda} - A = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{0,1800 \cdot 10^{-6}} - 7,23 \cdot 10^{-19} = 3,8 \cdot 10^{-19} (J) = 2,38 (eV)$$

$$c) v_{0max} = \sqrt{\frac{2W_{max}}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,8 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 9,1 \cdot 10^5 (m/s)$$

**4.53.** Photon ban đầu có năng lượng  $0,8 MeV$  tán xạ trên 1 electron tự do và trở thành photon ứng với bức xạ có bước sóng bằng bước sóng Compton. Tính góc tán xạ.

$$\text{Năng lượng ban đầu của photon: } E = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{0,8 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,55 \cdot 10^{-12} m$$

Bước sóng của photon tán xạ:  $\lambda' = \Lambda_C$

$$\Delta \lambda = \Lambda_C - \lambda = 2 \Lambda_C \sin^2 \frac{\theta}{2} \rightarrow \sin^2 \frac{\theta}{2} = \frac{\Lambda_C - \lambda}{2 \Lambda_C} = \frac{2,4 \cdot 10^{-12} - 1,55 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-12}} = 0,1765$$

Tìm được:  $\theta = 50^\circ$