



HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

VẬT LÝ 2/3 VÀ THÍ NGHIỆM

TS. Nguyễn Thị Thúy Liễu

Tel: 0939249960

Email: lieuntt@ptit.edu.vn

NỘI DUNG

Chương 1: Dao động - sóng.

Chương 2: Giao thoa ánh sáng.

Chương 3: Nhiễu xạ ánh sáng.

Chương 4: Tán sắc, hấp thụ và tán xạ ánh sáng.

Chương 5: Phân cực ánh sáng.

Chương 6: Thuyết tương đối hẹp Einstein.

Chương 7: Quang học lượng tử.







Chương 8: Cơ học lượng tử.

Chương 9: Vật lí nguyên tử.

Chương 10: Vật lý chất rắn và bán dẫn.



Chương 7: Quang học lượng tử

- 1. Bức xạ nhiệt 
- 2. Các định luật phát xạ của vật đen tuyệt đối 
- 3. Thuyết lượng tử của Planck 
và thuyết photon của Einstein 
- 4. Hiện tượng quang điện 
- 5. Hiệu ứng Compton. 



1. Bức xạ nhiệt

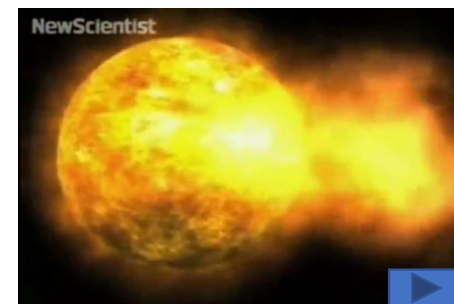
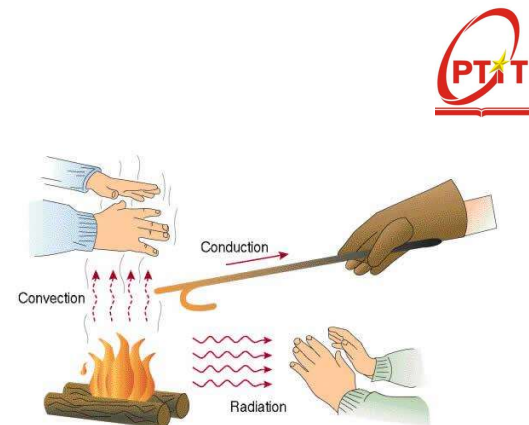
➤ Bức xạ nhiệt - bức xạ nhiệt cân bằng

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

Khi vật phát xạ $W \downarrow$, $T \downarrow$. Khi vật hấp thụ $W \uparrow$, $T \uparrow$

Bức xạ nhiệt cân bằng: phần năng lượng của vật bị mất đi do phát xạ bằng phần năng lượng vật thu được do hấp thụ.

➔ T của vật sẽ không đổi theo thời gian và bức xạ nhiệt của vật cũng không đổi. ➔ được gọi là trạng thái **cân bằng nhiệt động**.



Bức xạ nhiệt từ Mặt Trời

1. Bức xạ nhiệt

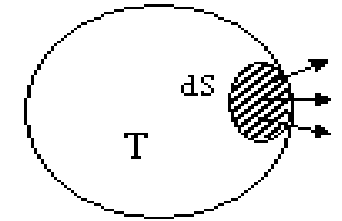
a. Các đại lượng đặc trưng của bức xạ nhiệt cân bằng

➤ Năng suất phát xạ toàn phần

Năng suất phát xạ toàn phần của vật ở nhiệt độ T :

$$R_T = \frac{d\phi_T}{dS}$$

Đơn vị (W/m^2)



$d\phi_T$: Năng lượng toàn phần do dS phát ra trong 1 đơn vị thời gian

Năng suất phát xạ toàn phần của vật ở nhiệt độ T là đại lượng có giá trị bằng năng lượng bức xạ toàn phần do một đơn vị diện tích của vật đó phát ra trong một đơn vị thời gian ở nhiệt độ T .

1. Bức xạ nhiệt

➤ Hệ số phát xạ đơn sắc

Ứng với bước sóng trong khoảng $[\lambda \div \lambda + d\lambda]$: $r_{\lambda,T} = \frac{dR_T}{d\lambda}$ Đơn vị: (W/m³)

$r_{\lambda,T}$ phụ thuộc vào bản chất, nhiệt độ và tần số của bức xạ của vật. ➡ Năng suất phát xạ toàn phần ở nhiệt độ T: $R_T = \int dR_T = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda$

➤ Hệ số hấp thụ đơn sắc: $d\phi_{\lambda,T}$ và $d\phi'_{\lambda,T}$ năng lượng bức xạ chiếu đến và hấp thụ có λ trong $[\lambda \div \lambda + d\lambda]$ của một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian ở T.

$$a_{\lambda,T} = \frac{d\phi'_{\lambda,T}}{d\phi_{\lambda,T}}$$

$a_{\lambda,T}$: phụ thuộc vào bản chất, nhiệt độ của vật và tần số của chùm bức xạ đơn sắc gửi tới.

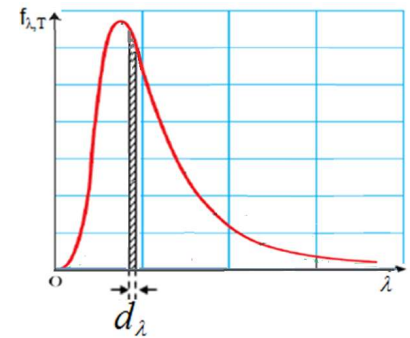
Thông thường $a_{\lambda,T} < 1$ Nếu $a_{\lambda,T} = 1 \quad \forall T, \forall \lambda$: gọi là **vật đen tuyệt đối**.



1. Bức xạ nhiệt

b. Định luật Kirchhoff

Tỉ số giữa hệ số phát xạ đơn sắc và hệ số hấp thụ đơn sắc của một vật bất kì 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 λ của chùm bức xạ đơn sắc.



$$\frac{r_{\lambda,T}}{a_{\lambda,T}} = f_{\lambda,T} \quad f_{\lambda,T} \text{ là hàm chung cho mọi vật được gọi là } \textbf{hàm phổ biến}.$$

Vật đen tuyệt đối $a_{\lambda,T} = 1 \quad \forall T, \forall \lambda \quad \Rightarrow \quad f_{\lambda,T} = r_{\lambda,T}$

$$\Rightarrow R_T = \int dR_T = \int_0^{\infty} f_{\lambda,T} d\lambda$$



2. Các định luật phát xạ của vật đen tuyệt đối



➤ Định luật Stefan-Boltzmann

$$R_T = \sigma T^4 \quad \sigma = 5,6703 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

là hằng số Stefan-Boltzmann

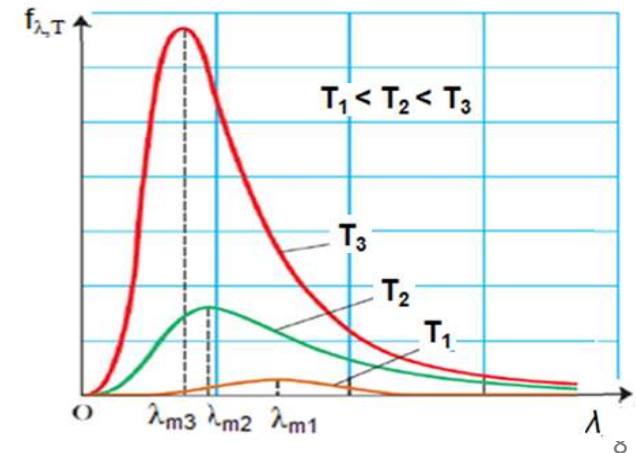
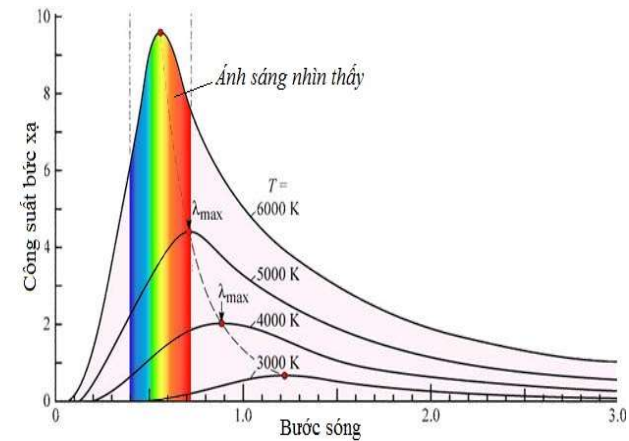
Năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối tỉ lệ thuận với lũy thừa bậc bốn của nhiệt độ tuyệt đối của vật đó

➤ Định luật Wien:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad b = 2,896 \cdot 10^{-3} \text{ m.K},$$

là hằng số Wien .

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



2. Các định luật phát xạ của vật đen tuyệt đối

➤ Sự khủng hoảng ở vùng tử ngoại

Quan điểm cổ điển: các nguyên tử và phân tử *phát xạ hoặc hấp thụ năng lượng liên tục*

→ công thức **Rayleigh-Jeans**: $f_{\lambda,T} = \frac{2\pi c}{\lambda^4} kT$ hay $f_{\nu,T} = \frac{2\pi \nu^2}{c^2} kT$

Công thức này chỉ phù hợp với thực nghiệm ở vùng bước sóng dài, còn ở vùng bước sóng ngắn, tức là vùng sóng tử ngoại nó sai lệch rất nhiều

Mặt khác
$$R_T = \int_0^{\infty} f_{\lambda,T} d\lambda = 2\pi c kT \int_0^{\infty} \frac{d\lambda}{\lambda^4} \rightarrow \infty$$

→ Không phù hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm!!!



3. Thuyết lượng tử Planck- Thuyết photon Einstein

3.1. Thuyết lượng tử năng lượng của Planck:

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

$$\varepsilon = h \nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{Js}$: hằng số Planck;
 c : vận tốc ánh sáng trong chân không.

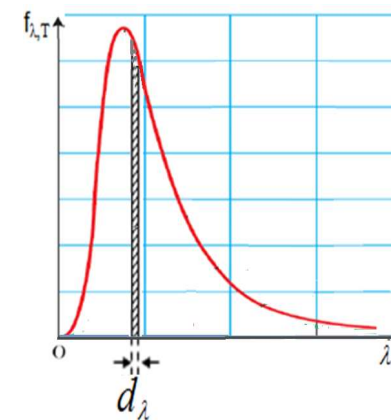
→ Công thức hàm phổ biến của Planck:

$$f_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

3. Thuyết lượng tử Planck- Thuyết photon Einstein

❖ Thành công của thuyết lượng tử năng lượng:

- Công thức Planck vẽ được đường đặc trưng phổ phát xạ của vật đen tuyệt đối phù hợp với kết quả thực nghiệm ở mọi vùng nhiệt độ, vùng tần số khác nhau.
- Công thức Planck \rightarrow công thức R-J, giải thích các định luật của vật đen tuyệt đối.



▪ Suy được công thức của Rayleigh –Jeans:

Trong miền ν nhỏ: $h\nu \ll kT \rightarrow e^{h\nu/kT} - 1 \approx \frac{h\nu}{kT} \rightarrow f_{\nu, T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \rightarrow f_{\nu, T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT$

▪ Giải thích định luật Stefan-Boltzmann:

$$R_T = \int_0^\infty f_{\nu, T} d\nu = \int_0^\infty \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu \rightarrow R_T = \frac{2\pi k^4 T^4}{c^2 h^3} \int_0^\infty \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \frac{2\pi k^4 T^4}{c^2 h^3} \frac{\pi^4}{15} \rightarrow R_T = \sigma T^4$$

với $\sigma = 5,6703 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

▪ Giải thích định luật Wien:

$$\frac{\partial f_{\nu, T}}{\partial \nu} = 0 \rightarrow \lambda_{\max} T = 2,8978 \cdot 10^{-3}$$

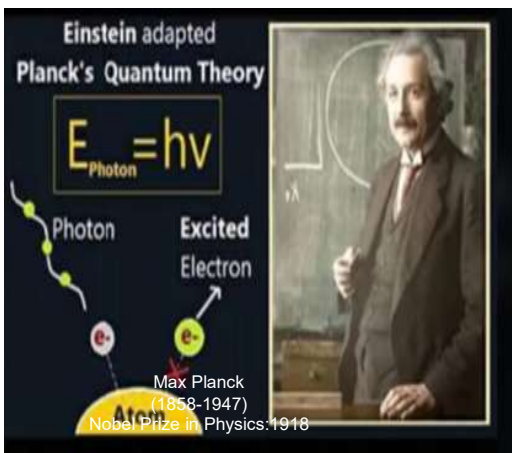
24/10/2024



11

3. Thuyết lượng tử Planck- Thuyết photon Einstein

3.2. Thuyết photon Einstein:



- Bức xạ điện từ gồm vô số những hạt rất nhỏ gọi là lượng tử ánh sáng hay photon.*
- Với mỗi bức xạ điện từ đơn sắc nhất định, các photon đều giống nhau và mang một năng lượng xác định bằng: $\mathcal{E} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$*
- Trong mọi môi trường (và cả trong chân không) các photon được truyền đi với cùng vận tốc $c = 3.10^8 \text{ m/s}$.*
- Khi một vật phát xạ hay hấp thụ bức xạ điện từ có nghĩa vật đó phát xạ hay hấp thụ photon.*
- Cường độ của chùm bức xạ tỉ lệ với số photon phát ra từ nguồn trong một đơn vị thời gian.*

3. Thuyết lượng tử Planck- Thuyết photon Einstein

3.3. Động lực học photon:

- Năng lượng của photon ứng với một bức xạ tần số ν là:

$$\mathcal{E} = h \nu$$

- Khối lượng của photon:

$$m = \frac{\mathcal{E}}{c^2} = \frac{h \nu}{c^2} = \frac{h}{c \lambda}$$

- Khối lượng nghỉ của photon:

$$m_o = m \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0$$

→ Photon không có khối lượng nghỉ

- Động lượng của photon:

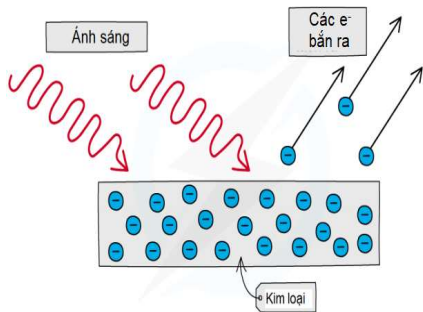
$$p = mc = \frac{h \nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$



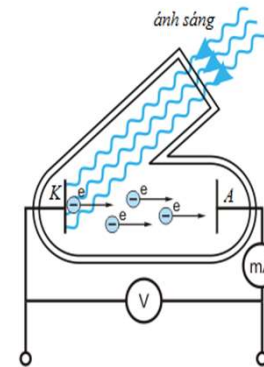
4. Hiện tượng quang điện

4.1. Hiện tượng

➤ Định nghĩa:



Hiệu ứng bắn ra các điện tử từ một tấm kim loại khi chiếu vào tấm kim loại đó một bức xạ điện từ thích hợp. Các điện tử bắn ra được gọi là các quang điện tử.



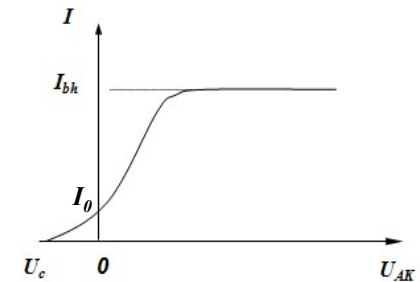
Heinrich Rudolf Hertz
(1857-1894)

➤ Phương trình Einstein:

$$h\nu = A + E_d$$

$$A = \frac{hc}{\lambda_0} = h\nu_0$$

+ U_c hiệu điện thế hãm: $eU_c = E_d$



4. Hiện tượng quang điện

4.2. Các định luật quang điện và giải thích

➤ **Định luật về giới hạn quang điện:**

Đối với mỗi kim loại xác định, hiện tượng quang điện chỉ xảy ra khi bước sóng (tần số) của chùm bức xạ điện từ chiếu tới nhỏ hơn (lớn hơn) bước sóng (tần số) giới hạn quang điện của kim loại đó.

Giải thích: $h\nu = A + E_d \rightarrow h\nu > A_{th} = h\nu_0 \Rightarrow \nu > \nu_0$

hay $\frac{hc}{\lambda} > \frac{hc}{\lambda_0} \Rightarrow \lambda < \lambda_0$

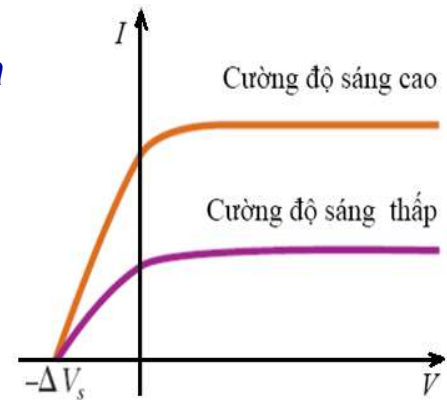
4. Hiện tượng quang điện

➤ Định luật về dòng quang điện bão hoà:

“Cường độ dòng quang điện bão hoà tỉ lệ với cường độ của chùm bức xạ chiếu tới”.

Giải thích: Dòng quang điện trở nên bão hoà khi số quang điện tử thoát khỏi katốt đến anốt trong đơn vị thời gian là không đổi.

$$N_e \sim N_{ph}, N_{ph} \sim I_{ph} \Rightarrow N_e \sim I_{ph}, I \sim N_e \Rightarrow I \sim I_{ph}$$



➤ Định luật về động năng ban đầu cực đại của quang điện tử:

“Động năng ban đầu cực đại của quang điện tử không phụ thuộc vào cường độ chùm bức xạ chiếu tới mà chỉ phụ thuộc vào tần số của chùm bức xạ đó”.

Giải thích: $h\nu = A_{th} + E_d = h\nu_o + E_d \quad E_d = h(\nu - \nu_o)$



5. Hiệu ứng Compton

5.1. Thí nghiệm

Chùm tia X, có λ đi qua Graphit/ paraffin..., tia X bị tán xạ theo nhiều phương.

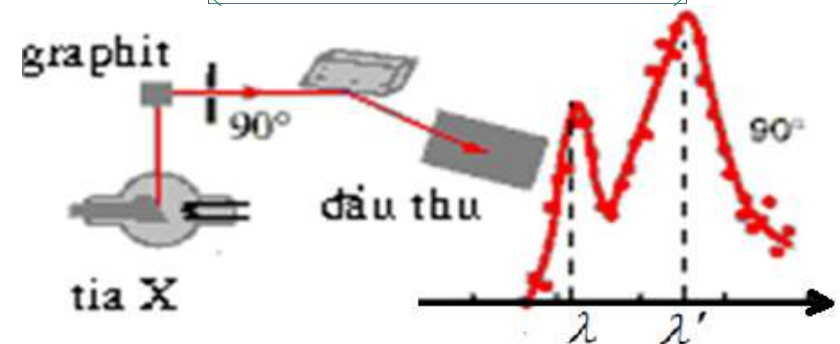
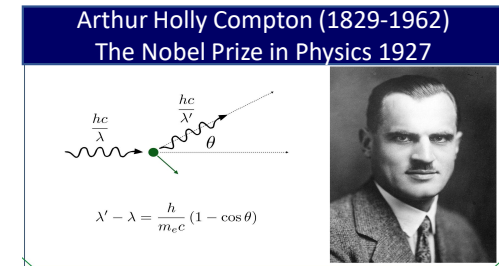
Trong phổ tán xạ, có những vạch có λ và $\lambda' > \lambda$

λ' không phụ thuộc cấu tạo của các chất được tia X chiếu đến mà chỉ phụ thuộc vào góc tán xạ θ .

Độ tăng của bước sóng: $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$ $\lambda_c = 2,426 \cdot 10^{-12} m$

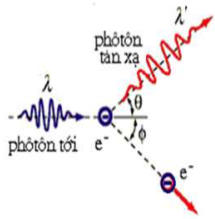
Giải thích theo quan điểm sóng: các bức xạ tán xạ về mọi phương phải có cùng bước sóng λ của bức xạ tới.

→ Lí thuyết sóng điện từ cổ điển không giải thích được.



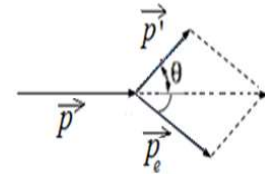
5. Hiệu ứng Compton

5.2. Giải thích bằng thuyết lượng tử ánh sáng



Trước va chạm	e⁻ đứng yên	phôtôn
Năng lượng	$m_0 c^2$	$E = h \nu$
Động lượng	0	$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$
Sau va chạm	e⁻	phôtôn tán xạ
Năng lượng	$\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} c^2$	$E' = h \nu'$
Động lượng	$p'_e = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} v$	$p' = \frac{h \nu'}{c} = \frac{h}{\lambda'}$

Bảo toàn năng lượng và động lượng:

$$\begin{cases} h\nu + m_0 c^2 = h\nu' + m c^2 \\ \vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e \end{cases}$$


$$\Rightarrow m_0 c^2 (\nu - \nu') = h \nu \nu' (1 - \cos \theta) = 2 h \nu \nu' \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\Rightarrow \lambda' - \lambda = 2 \frac{h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2} = 2 \lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0 c} = 2,426 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

Khi phôtôn va chạm với các điện tử liên kết mạnh sâu trong nguyên tử

\Rightarrow **va chạm của phôtôn với nguyên tử:** $\lambda_c = 0 \Rightarrow \Delta \lambda = 0$



Bài 1:

Một ngôi nhà gạch trát vữa có diện tích mặt ngoài tổng cộng là 800 m^2 , nhiệt độ của mặt bức xạ là 27°C và hệ số hấp thụ khi đó bằng $0,8$. Tính

a. Năng lượng bức xạ trong một ngày đêm từ ngôi nhà đó.

b. Bước sóng ứng với năng suất phát xạ cực đại của ngôi nhà nếu coi nó là vật đen tuyệt đối.

(Cho $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$, $b = 2,898.10^{-3} \text{ mK}$)

a. $R = \sigma T^4$

$$W = \sigma.T^4.a.S.t = 5,67.10^{-8}.(300)^4.0,8.800.24.60.60 = 2,54.10^{10} \text{ J}$$

b. $\lambda_m = \frac{b}{T} \rightarrow \lambda_m = 9,65 \mu\text{m}$

Bài tập ví dụ



Bài 2: Cho công thoát của bạc bằng $0,75 \cdot 10^{-18} \text{ J}$. $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $m_{0e} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$. Xác định vận tốc cực đại của các quang điện tử bị bứt khỏi mặt kim loại bạc khi chiếu tới mặt kim loại các tia tử ngoại có:

a. $\lambda_1 = 0,155 \mu\text{m}$.

b. $\lambda_2 = 0,001 \text{ nm}$

$$E = \frac{hc}{\lambda} = A_{th} + E_d$$

$$E_0 = m_{0e} c^2 = 0,51 \text{ MeV}$$

a. $\lambda_1 = 0,155 \mu\text{m}$. $E_1 = h\nu_1 = \frac{hc}{\lambda_1} = 8 \text{ eV} \ll E_0 \rightarrow E_d = \frac{m_{0e} v^2}{2} \rightarrow v = 10^6 \text{ m/s}$

b. $\lambda_2 = 0,001 \text{ nm}$ $E_2 = h\nu_2 = \frac{hc}{\lambda_2} = 1,24 \text{ MeV} > E_0 \rightarrow E_d \text{ theo CHTĐT}$

$$A_{th} = 0,75 \cdot 10^{-18} \text{ J} \sim 4,7 \text{ eV} \ll E_2 \text{ nên có thể bỏ qua } A_{th}.$$

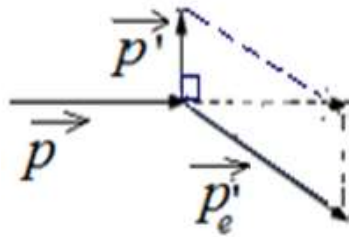
$$\rightarrow E_2 = E_d = m_{0e} c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right) \rightarrow \frac{v}{c} = \frac{\sqrt{(2E_0 + E_2)E_2}}{E_0 + E_2} = 0,95 \rightarrow v = 0,95c = 2,85 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Bài tập ví dụ



Bài 3:

Tìm động lượng của điện tử khi có photon bước sóng $\lambda = 0,04\text{\AA}$ đến va chạm và tán xạ theo góc $\theta = 90^\circ$. Lúc đầu điện tử đứng yên.
(Cho $\lambda_c = 2,426 \cdot 10^{-12}\text{m}$, $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$).



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

$$\rightarrow p_e'^2 = p^2 + p'^2$$

$$\rightarrow p_e' = \sqrt{\frac{h^2}{\lambda^2} + \frac{h^2}{\lambda'^2}} \approx 1,95 \cdot 10^{-22} \text{ kg.m / s}$$



Bài tập ví dụ



Bài 4:

Trong hiện tượng tán xạ Compton, bức xạ Rơngen có bước sóng λ đến tán xạ trên electron tự do. Tìm bước sóng đó, cho biết động năng cực đại của electron bắn ra bằng 0,19MeV.
(Cho $\lambda_c = 2,426.10^{-12}m$; $h = 6,625.10^{-34}J.s$)

$$E_d = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'} = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda + \Delta\lambda} \right)$$

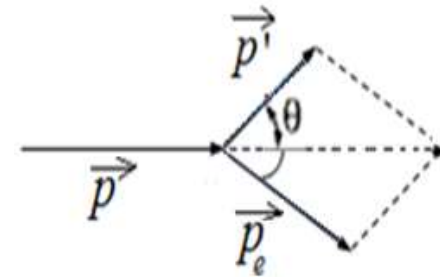
$$\Delta\lambda = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

Động năng cực đại khi $\sin^2 \frac{\theta}{2} = 1$

$$\rightarrow E_{d\max} = \frac{2hc\lambda_c}{\lambda^2 + 2\lambda\lambda_c}$$

Giải phương trình bc 2 ra KQ

$$\lambda = 0,057 \text{ Å}$$



Bài tập ví dụ

