

CHƯƠNG 5

QUANG LƯỢNG TỬ

1. BỨC XẠ NHIỆT

1.1. Bức xạ nhiệt

1.2. Vật đen tuyệt đối

1.3. Định luật Kirchhoff

2. CÁC ĐỊNH LUẬT PHÁT XẠ CỦA VẬT ĐEN TUYỆT ĐỐI

2.1. Định luật Stéfan – Boltzmann

2.2. Định luật Wien

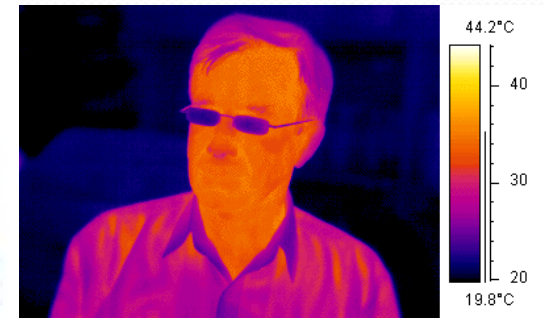
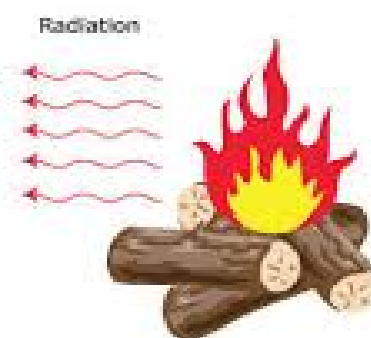
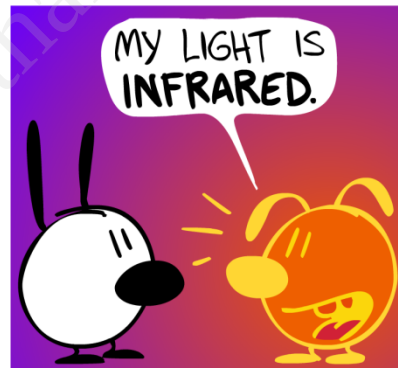
3. THUYẾT LƯỢNG TỬ NĂNG LƯỢNG PLANCK

4. THUYẾT LƯỢNG TỬ ÁNH SÁNG EINSTEIN

5. HIỆU ỨNG COMPTON

1.1. BỨC XẠ NHIỆT

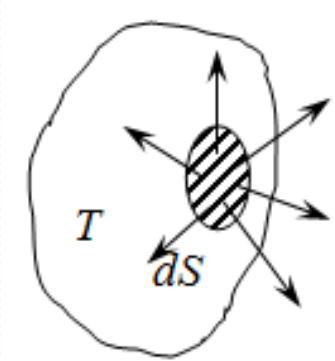
- **Bức xạ nhiệt** là sóng điện từ do vật chất bị kích thích bởi tác dụng nhiệt phát ra.
- Khi vật phát ra bức xạ, năng lượng của nó giảm → nhiệt độ của vật giảm. Và ngược lại.
- **Bức xạ nhiệt cân bằng** – năng lượng vật phát ra bằng năng lượng vật thu vào → nhiệt độ của vật không thay đổi theo thời gian.



Những đại lượng đặc trưng của sự bức xạ nhiệt

Năng suất phát xạ toàn phần là năng lượng do một đơn vị diện tích bề mặt của vật phát ra trong một đơn vị thời gian ở nhiệt độ T .

$$R_T = \frac{d\Phi_T}{dS} \left[\frac{J}{m^2 s} = \frac{W}{m^2} \right]$$



Hệ số phát xạ đơn sắc là năng lượng do một đơn vị diện tích bề mặt của vật phát ra trong một đơn vị thời gian ở nhiệt độ T ứng với bước sóng nằm trong khoảng $(\lambda, \lambda + d\lambda)$.

$$r_{\lambda, T} = \frac{dR_T}{d\lambda} \left[\frac{J}{m^3 s} = \frac{W}{m^3} \right]$$

Hệ số phát xạ đơn sắc phụ thuộc bản chất và nhiệt độ vật, bước sóng λ .

Hệ số hấp thụ toàn phần là tỉ số giữa năng lượng mà vật hấp thụ được với năng lượng bức xạ toàn phần được gửi đến vật.

$$a_T = \frac{d\Phi'_T}{d\Phi_T} < 1$$

Hệ số hấp thụ đơn sắc là tỉ số giữa năng lượng mà vật hấp thụ được với năng lượng bức xạ toàn phần được gửi đến vật tại bước sóng $(\lambda, \lambda+d\lambda)$.

$$a_{\lambda,T} = \frac{d\Phi'_{\lambda,T}}{d\Phi_{\lambda,T}} < 1$$

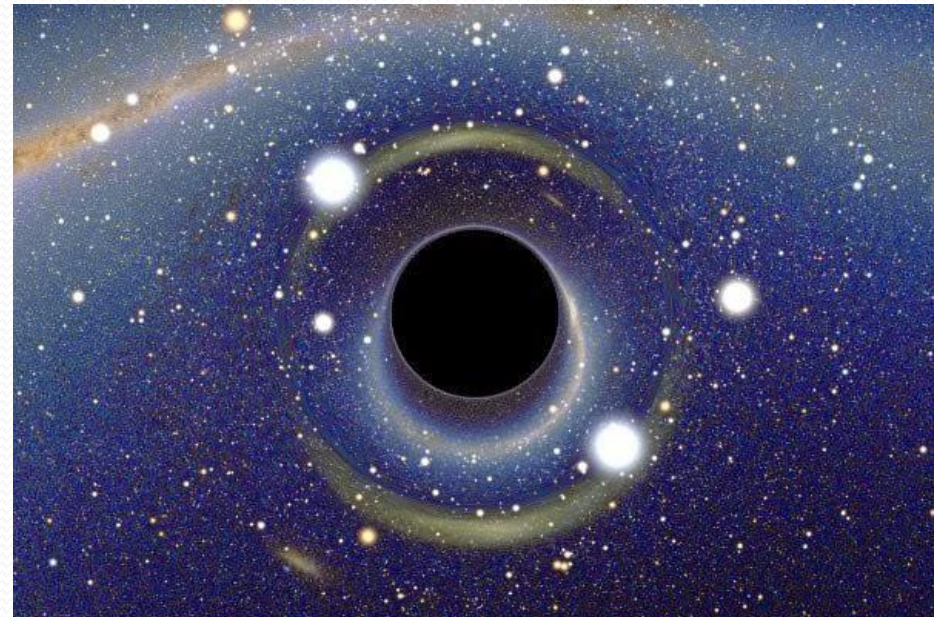
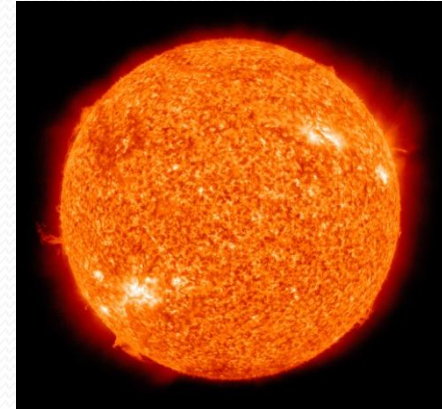
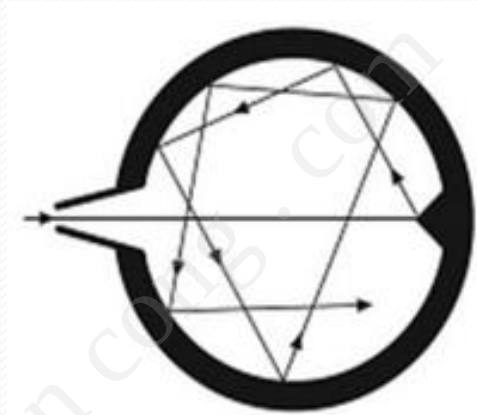
Hệ số hấp thụ đơn sắc phụ thuộc bản chất và nhiệt độ vật, bước sóng λ của chùm đơn sắc gửi tới vật.

1.2. VẬT ĐEN TUYỆT ĐỐI

Vật đen tuyệt đối là vật hấp thụ hoàn toàn năng lượng của mọi chùm bức xạ đơn sắc gửi tới nó.

$$a_{\lambda,T} = 1$$

Trong tự nhiên không có vật đen tuyệt đối, chỉ có vật có tính chất gần với tính chất của VĐTĐ.



1.3. ĐỊNH LUẬT KIRCHHOFF

- *Tỉ số giữa hệ số phát xạ đơn sắc và hệ số hấp thụ đơn sắc của một vật bất kỳ ở trạng thái bức xạ nhiệt cân bằng không phụ thuộc vào bản chất của vật đó, chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nó và bước sóng của bức xạ.*

$$\frac{r_{\lambda,T}}{a_{\lambda,T}} = \varepsilon_{\lambda,T}$$

- $\varepsilon_{\lambda,T}$ là hàm số chung cho mọi vật nên được gọi là hàm số phổ biến.
- Sự phát xạ của một vật bất kỳ (không đen) bao giờ cũng yếu hơn sự phát xạ của vật đen tuyệt đối (nói cách khác, vật hấp thụ càng mạnh thì bức xạ càng mạnh).
- **Điều kiện cần và đủ** để một vật bất kỳ phát ra một bức xạ λ nào đó là nó phải hấp thụ được bức xạ ấy và vật đen tuyệt đối ở cùng nhiệt độ với nó cũng phải phát ra được bức xạ ấy.

2. CÁC ĐỊNH LUẬT PHÁT XẠ CỦA VẬT ĐỎ

2.1. Định luật Stéfan – Boltzmann: Năng suất phát xạ toàn phần của VẬT ĐỎ tỷ lệ thuận với lũy thừa bốn của nhiệt độ tuyệt đối của vật đó:

$$R_T = \sigma T^4$$

$\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}^4)$ - hằng số Stéfan-Boltzmann.

• Nếu vật không phải đen tuyệt đối: $R_T = \alpha \sigma T^4$

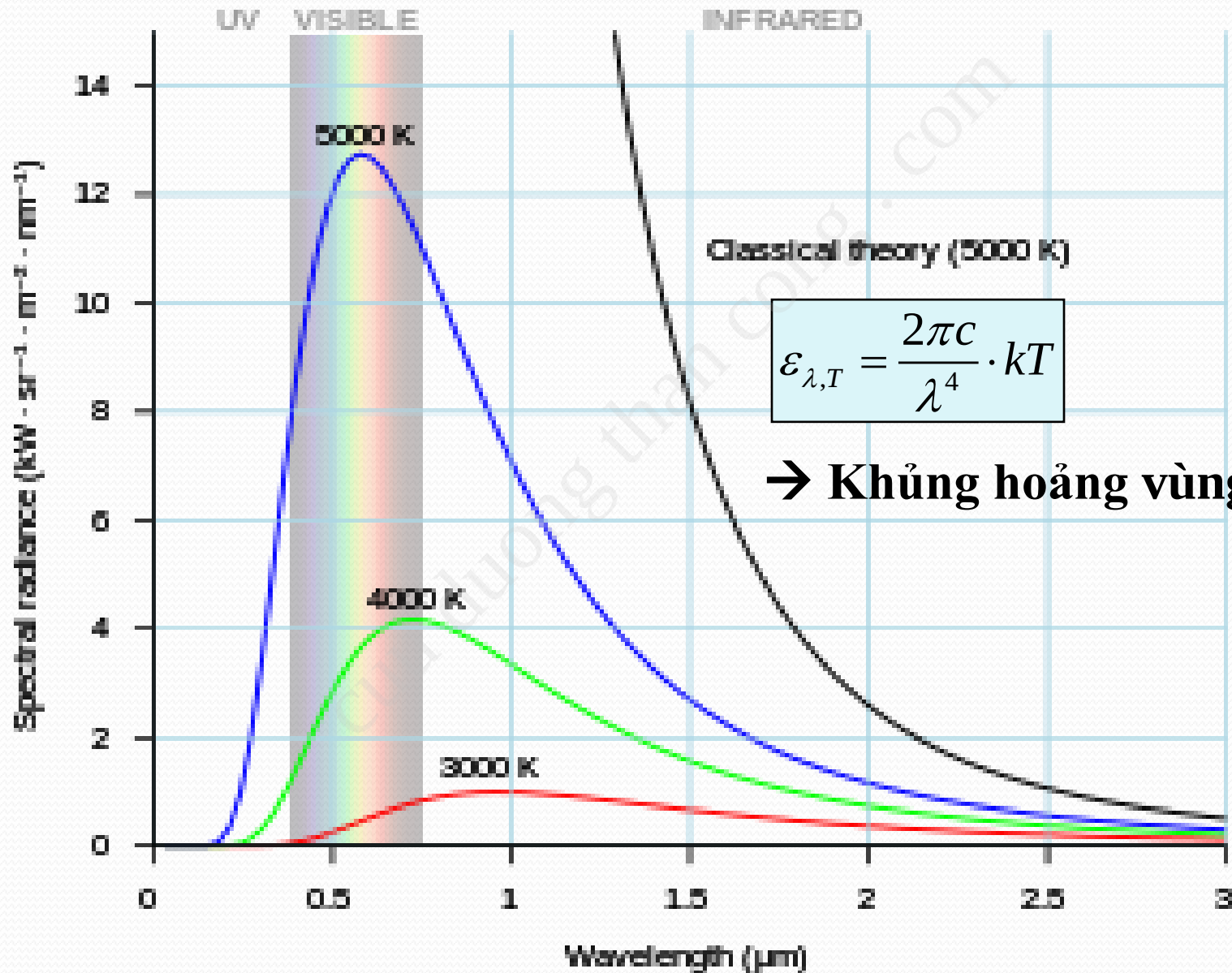
α – hệ số hấp thụ của vật.

2.2. Định luật Wien: Đối với VẬT ĐỎ, bước sóng của chùm bức xạ đơn sắc mang nhiều năng lượng nhất tỷ lệ nghịch với nhiệt độ tuyệt đối của vật đó.

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

$b = 2,8978.10^{-3} \text{ m.K}$ - hằng số Wien

PHỔ PHÁT XẠ CỦA VẬT ĐEN TUYỆT ĐỐI



Classical theory (5000 K)

$$\epsilon_{\lambda,T} = \frac{2\pi c}{\lambda^4} \cdot kT$$

→ Khủng hoảng vùng tử ngoại

BÀI TẬP VÍ DỤ 1

Trong quang phổ phát xạ của mặt trời, bức xạ mang năng lượng cực đại có bước sóng 480 nm. Coi mặt trời là vật đen tuyệt đối và có bán kính $6,95 \cdot 10^8$ m. Xác định công suất phát xạ toàn phần của mặt trời.

Hướng dẫn giải

Công suất phát xạ toàn phần: $P = R_T S$ (1)

Định luật Stéfan – Boltzmann: $R_T = \sigma T^4$

Định luật Wien: $\lambda_m = \frac{b}{T} \rightarrow R_T = \sigma \left(\frac{b}{\lambda_m} \right)^4$ (2)

Diện tích bề mặt mặt trời: $S = 4\pi R^2$ (3)

Thế (2) và (3) vào (1): $P = \sigma \left(\frac{b}{\lambda_m} \right)^4 \cdot 4\pi R^2 = 4,6 \cdot 10^{26} \text{ W}$

3. THUYẾT LƯỢNG TỬ NĂNG LƯỢNG PLANCK

- 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 ε , gọi là lượng tử năng lượng.*

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

- Công thức xác định hệ số phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối

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

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

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

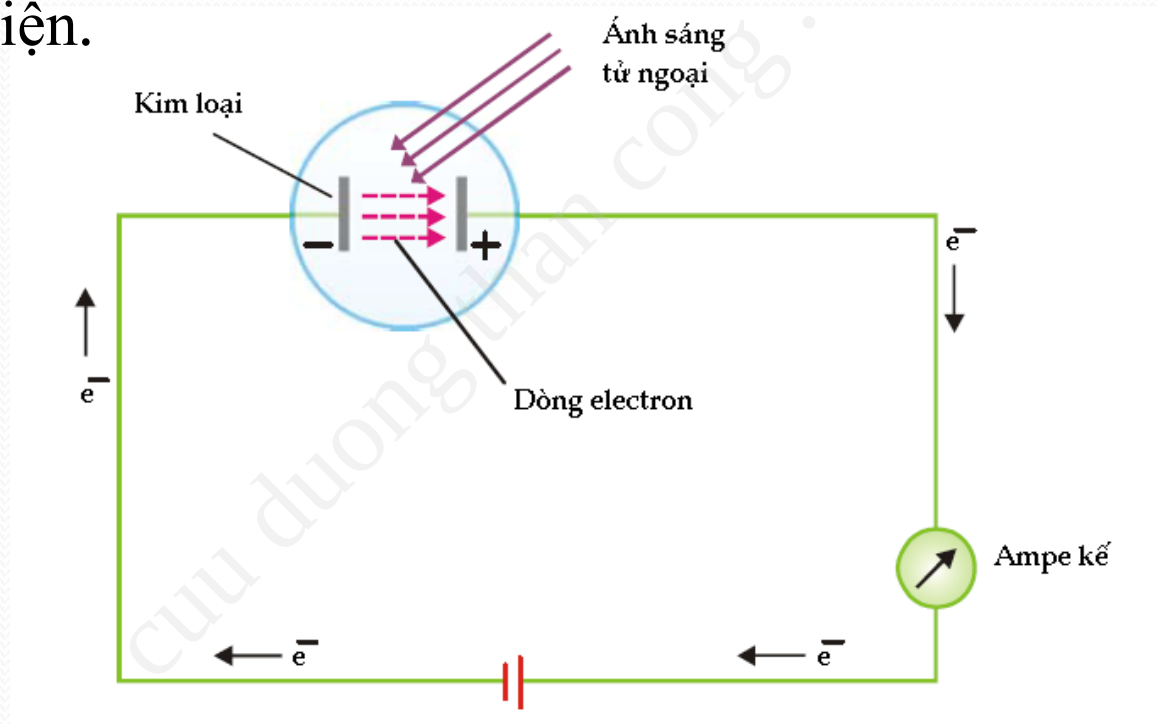
4. THUYẾT LƯỢNG TỬ ÁNH SÁNG EINSTEIN

- 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 $\epsilon = h\nu$.
- b. Trong chân không cũng như trong mọi môi trường khác, photon truyền đi với cùng một vận tốc xác định $c = 3.10^8 \text{ m/s}$.
- c. Cường độ của chùm ánh sáng tỷ lệ với số photon phát ra từ nguồn sáng trong một đơn vị thời gian.



GIẢI THÍCH HIỆU ỨNG QUANG ĐIỆN BẰNG THUYẾT PHOTON CỦA EINSTEIN

Hiệu ứng quang điện ngoài: khi chiếu ánh sáng có bước sóng thích hợp đến một bản kim loại thì các electron thoát ra khỏi bản, tạo nên dòng quang điện.



Hiệu ứng quang điện trong: khi chiếu ánh sáng có bước sóng thích hợp vào chất bán dẫn, các electron hóa trị trở thành electron tự do chuyển động trong khối bán dẫn.

CÁC ĐỊNH LUẬT QUANG ĐIỆN

- a. **Giới hạn quang điện:** điều kiện để hiệu ứng quang điện xảy ra là năng lượng photon ánh sáng ε chiếu tới phải lớn hơn công thoát A của electron.

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} > A \rightarrow \boxed{\lambda < \frac{hc}{A} = \lambda_0}$$

- λ_0 chỉ phụ thuộc bản chất kim loại.

- b. **Dòng quang điện bão hòa:** cường độ dòng quang điện bão hòa tỷ lệ thuận với cường độ sáng của chùm ánh sáng rọi tới bản kim loại.

- c. **Định luật Einstein về động năng cực đại của quang electron:** động năng cực đại ban đầu của quang electron chỉ phụ thuộc vào tần số ν của chùm ánh sáng rọi tới mặt kim loại.

$$\boxed{\frac{1}{2}mV_{max}^2 = h\nu - A}$$

BÀI TẬP VÍ DỤ 2

Catot của tế bào quang điện được chiếu bằng ánh sáng có bước sóng 500 nm. Công thoát của electron đối với kim loại dùng làm catot là 1,88 eV. Để dòng quang điện triệt tiêu hoàn toàn, cần phải đặt giữa anot và catot của tế bào quang điện một hiệu điện thế hãm bằng bao nhiêu?

Hướng dẫn giải

Để dòng quang điện triệt tiêu cần đặt giữa anot và catot một hiệu điện thế hãm triệt tiêu động năng ban đầu cực đại của electron.

$$|eU_h| = W_d$$

Động năng ban đầu cực đại: $W_d = \varepsilon - A = \frac{hc}{\lambda} - A$

Hiệu điện thế giữa anot và catot:

$$U_{AK} = -\frac{\frac{hc}{\lambda} - A}{|e|} = -0,6V$$

5. HIỆU ỨNG COMPTON

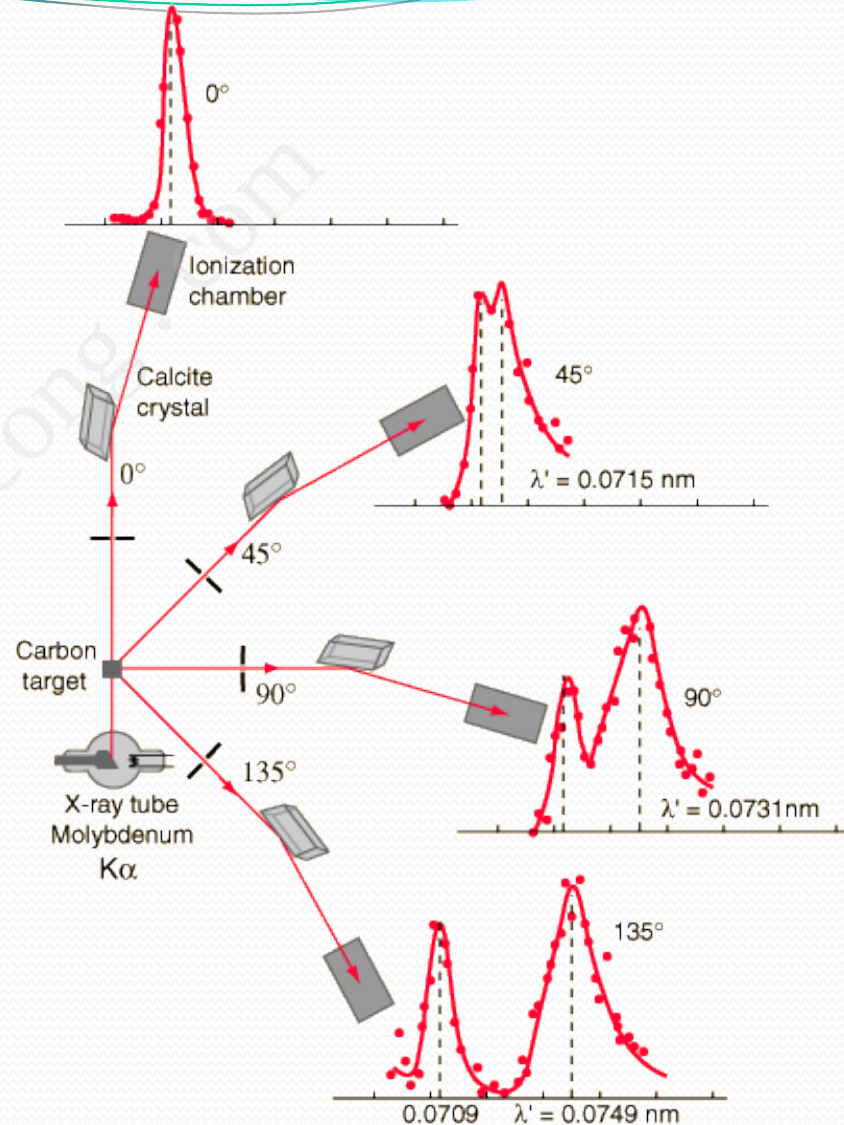
- **Thí nghiệm:** Một chùm tia X bước sóng λ chiếu vào graphit.

- Trong phổ tia X bị tán xạ, ngoài vạch có bước sóng λ , chiếu tới còn phát hiện được các vạch có bước sóng $\lambda' > \lambda$.

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

- Hiệu ứng Compton là kết quả của va chạm đàn hồi giữa photon tia X và electron trong chất. Bước sóng λ do va chạm với e nằm sâu trong nguyên tử (liên kết mạnh), bước sóng λ' do va chạm với e liên kết yếu với hạt nhân.

- Hiệu ứng Compton chứng minh photon có động lượng.



GIẢI THÍCH HIỆU ỨNG COMPTON

- Định luật bảo toàn năng lượng của hệ kín “photon – electron”:

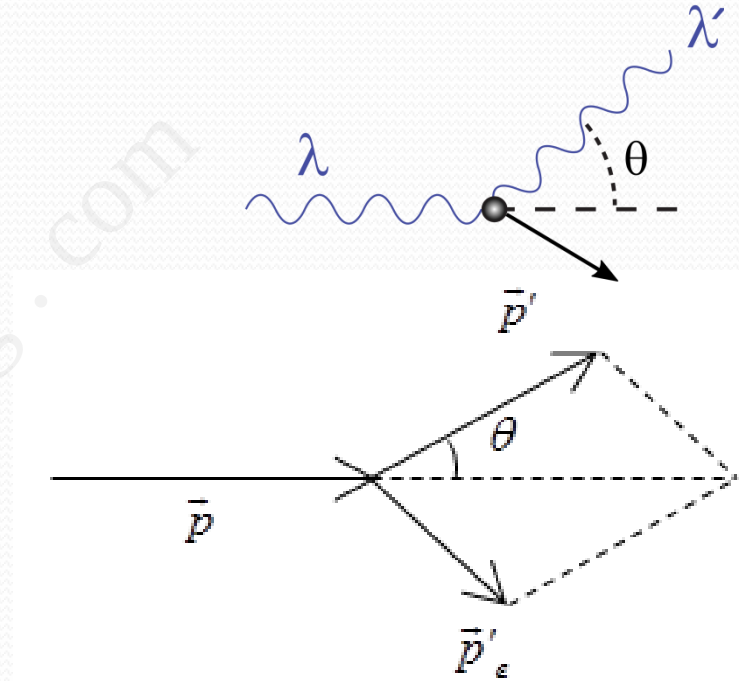
$$\frac{hc}{\lambda} + m_{oe}c^2 = \frac{hc}{\lambda'} + \frac{m_{oe}c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

- Định luật bảo toàn động lượng của hệ kín “photon - electron”:

$$\vec{p} + 0 = \vec{p}' + \vec{p}'_e$$

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2h}{m_{oe}c} \sin^2 \frac{\theta}{2} = 2\Lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\Lambda_c = \frac{h}{m_{oe}c} = 2,426.10^{-12}m \text{ - bước sóng Compton.}$$



$p = \frac{h}{\lambda}$	$p' = \frac{h}{\lambda'}$
$p'_e = \frac{m_{oe}v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$	

BÀI TẬP VÍ DỤ 3

Trong hiệu ứng Compton, bước sóng của photon tới bằng bước sóng Compton, còn góc tán xạ bằng một nửa góc tán xạ bằng một nửa góc tán xạ khi động năng electron bắn ra đạt cực đại. Xác định góc bay ra của e so với hướng bay tới của photon.

Hướng dẫn giải

- Động năng electron có được sau va chạm là do nhận một phần năng lượng của photon tia X trong quá trình va chạm.

$$W_d = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'}$$

→ Động năng cực đại khi λ' lớn nhất → $\theta = 180^\circ$.

→ Trong bài này góc tán xạ $\theta = 90^\circ$, $\lambda = \lambda_c$

• Từ hình vẽ: $\tan \varphi = \frac{p'}{p} = \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{\lambda}{\lambda + 2\lambda_c \sin^2 45^\circ} = \frac{\lambda_c}{\lambda_c + \lambda_c} = 0,5$

→ $\varphi = 26,6^\circ$

