

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Chương 5

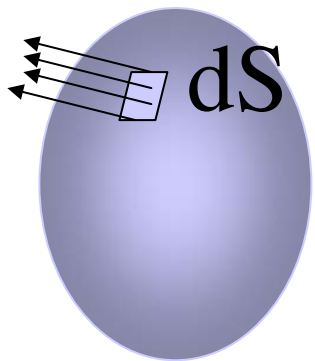
QUANG HỌC LƯỢNG TỬ

1. BỨC XẠ NHIỆT

1.1. Các khái niệm mở đầu:

Các nguyên tử bị kích thích phát ra bức xạ điện từ, bức xạ do kích thích nhiệt \rightarrow Bức xạ nhiệt
Năng lượng bức xạ phát ra = năng lượng thu vào bằng hấp thụ bức xạ \Rightarrow Trạng thái cân bằng nhiệt động ứng với nhiệt độ xác định

1.2. Các đại lượng đặc trưng



Năng lượng bức xạ phát ra từ dS trong đơn vị thời gian (*năng thông bức xạ từ dS*) bởi các bức xạ có tần số trong khoảng $\nu \div \nu + d\nu$ là $dW_p(\nu, T)$

$$dW_p(\nu, T) = r(\nu, T) dS \cdot d\nu$$

$r(\nu, T)$ Năng suất phát xạ đơn sắc ứng với tần số ν

$R(T) = \int_0^{\infty} r(\nu, T) d\nu$ Năng suất phát xạ toàn phần
hay độ trung của vật

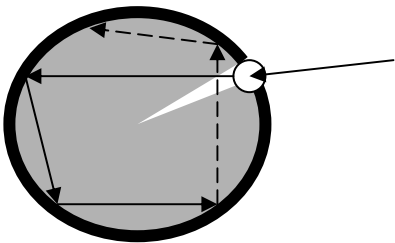
Hệ số hấp thụ đơn sắc $a(\nu, T) = \frac{dW_t(\nu, T)}{dW(\nu, T)}$

$dW_t(\nu, T)$ do dS hấp thụ

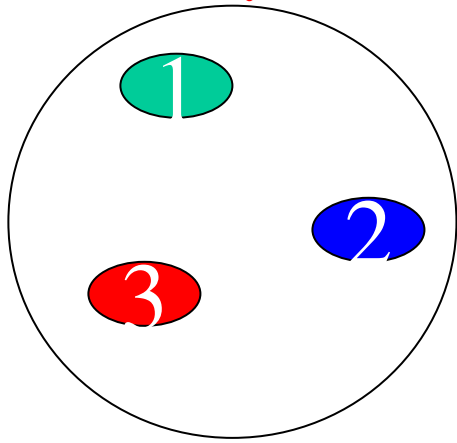
$dW(\nu, T)$ chiếu đến dS

$$a(\nu, T) < 1$$

$a(\nu, T) = 1$ Vật đen tuyệt đối



1.3. ĐỊNH LÝ KIRKHỐP (KIRCHOFF)



Trong bình kín cách nhiệt có 3 vật \rightarrow Hấp thụ mạnh cũng bức xạ mạnh

$$r(\nu, T) \sim a(\nu, T)$$

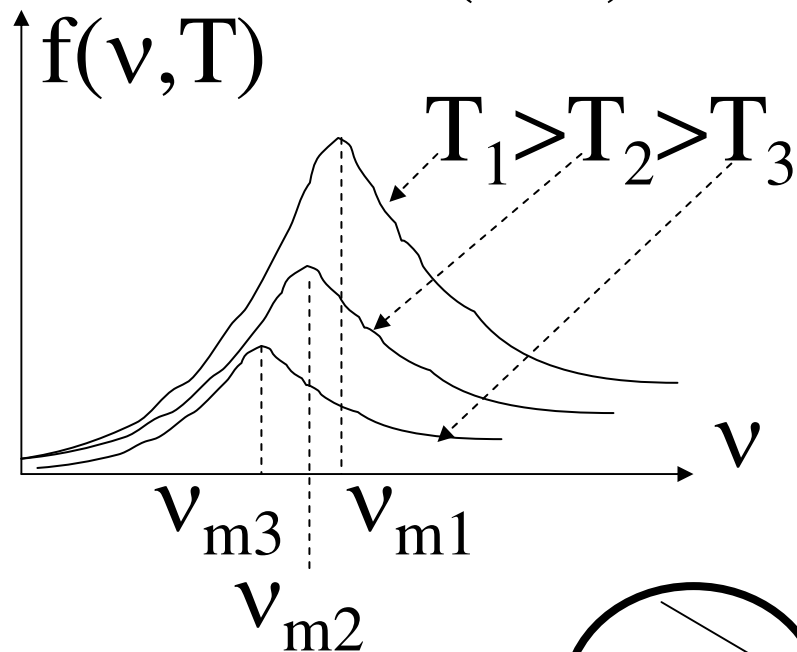
$$f(\nu, T) = \frac{r_1(\nu, T)}{a_1(\nu, T)} = \frac{r_2(\nu, T)}{a_2(\nu, T)} = \frac{r_3(\nu, T)}{a_3(\nu, T)}$$

Định lý: Tỷ số giữa năng suất phát xạ đơn sắc và hệ số hấp thụ đơn sắc của cùng một vật ở nhiệt độ nhất định là một hàm chỉ phụ thuộc vào tần số bức xạ ν và nhiệt độ T mà không phụ thuộc vào bản chất của vật đó

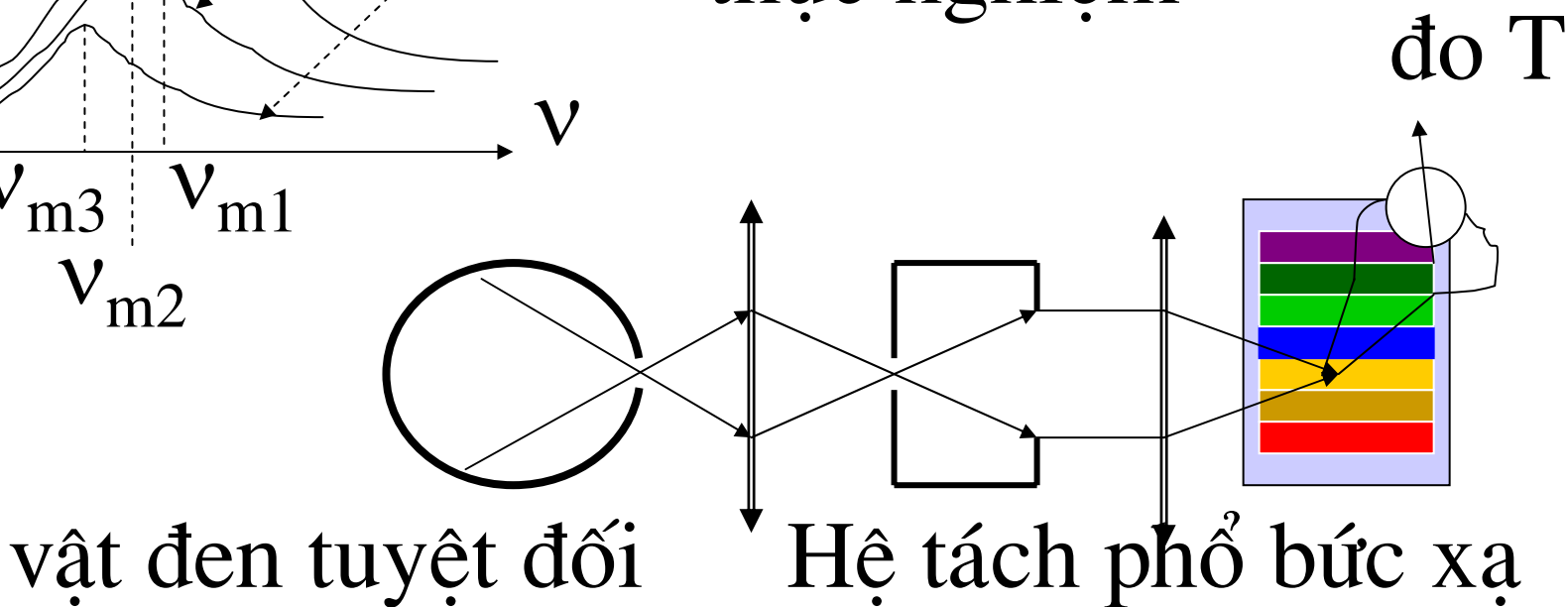
$$f(\nu, T) = \frac{r(\nu, T)}{a(\nu, T)}$$

Hàm phân bố là năng suất
phát xạ đơn sắc của vật đen
tuyệt đối

Nếu $a(\nu, T) = 1$ thì $r(\nu, T) = f(\nu, T)$

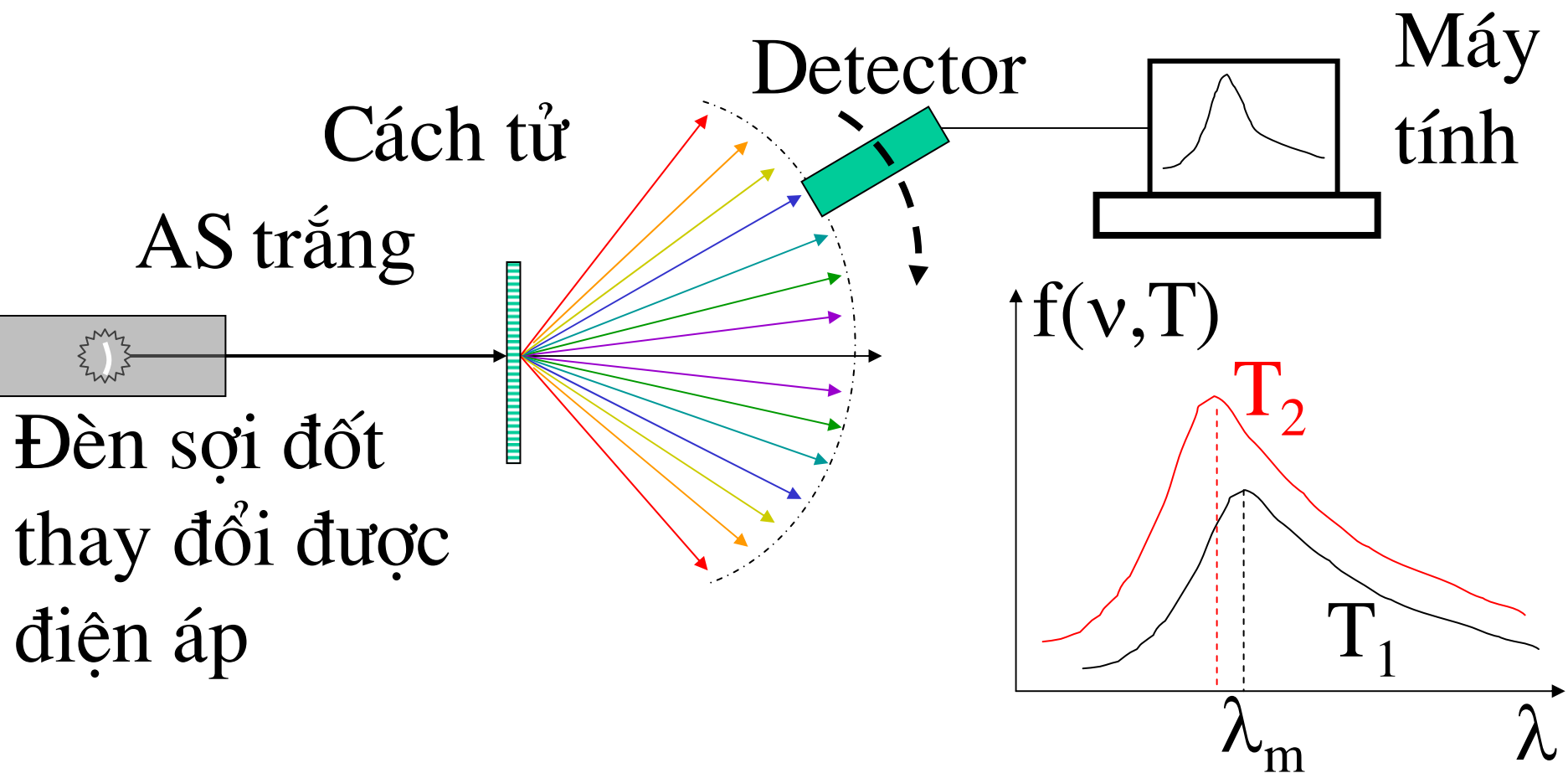


$f(\nu, T)$ xây dựng bằng
thực nghiệm



Xây dựng $f(\nu, T)$ bằng thực nghiệm (ngày É)

$$f(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1} = \frac{2\pi c}{\lambda^3} \frac{h}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$$



2. THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA PLANCK

2.1. Sự thất bại của sóng ánh sáng trong việc giải thích hiện tượng bức xạ nhiệt

Hàm phân bố theo thuyết điện từ cổ điển của
Rayleigh và Jeans

$$f(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} k_B T$$

$$k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

Hằng số Boltzmann

$$R(T) = \int_0^{\infty} r(\nu, T) d\nu = \infty$$

“Sự khủng hoảng vùng tử ngoại”
vào cuối thế kỷ 19

2.2. THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA PLANCK

1900 Planck đưa ra thuyết LT:

- a. Các nguyên tử, phân tử **phát xạ** hay **hấp thụ năng lượng điện từ một cách gián đoạn**. Phần năng lượng phát xạ hay hấp thụ là bội nguyên lần của một lượng năng lượng nhỏ gọi là **lượng tử năng lượng** hay **Quantum năng lượng**
- b. Đối với bức xạ điện từ đơn sắc **tần số ν** , **bước sóng λ** lượng tử năng lượng tương ứng bằng

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

$h=6,625.10^{-34}$ Js Hằng số Planck

c. Công thức **hàm phân bố Planck**: phát xạ đơn sắc của vật đen tuyệt đối

$$f(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

2.3. Các định luật bức xạ của vật đen tuyệt đối

a. Năng suất phát xạ toàn phần

$$R(T) = \int f(\nu, T) d\nu \quad x = \frac{h\nu}{k_B T} \quad R(T) = \sigma T^4$$

$$R_T = \frac{2\pi^0 k_B^4 T^4}{c^2 h^3} \int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \frac{2\pi k_B^4 T^4}{c^2 h^3} 6,5 = \sigma T^4$$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^4$ hằng số Steffan-Boltzmann

ĐL1: Năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối $\sim T^4$ của nó

b. DL **Vin**(Wien): Đối với vật đen tuyệt đối bước sóng λ_m của chùm bức xạ mang nhiều năng lượng nhất tỷ lệ nghịch với nhiệt độ tuyệt đối của vật

$$\lambda_m T = b \quad b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{m.K} \text{ Hằng số Vin}$$

(Lấy $df/d\nu = 0$)

3. THUYẾT PHOTON CỦA ANHXTANH (Einstein)

Thuyết Planck chưa nêu lên được bản chất gián đoạn của bức xạ điện từ

3.1. Thuyết photon của Anhxtanh

a. Bức xạ điện từ cấu tạo bởi vô số các hạt gọi là lượng tử ánh sáng hay photon

b. Với một bức xạ điện từ đơn sắc xác định

các photon đều **giống nhau** và có năng lượng xác định bằng

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

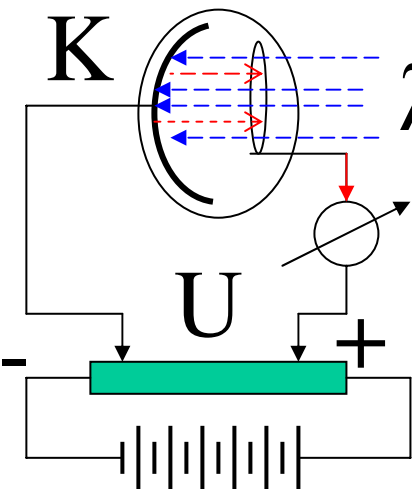
c. Trong mọi môi trường các photon có cùng vận tốc bằng: **$c=3.10^8\text{m/s}$**

d. Khi một vật **phát xạ hay hấp thụ** bức xạ điện từ -> **phát hay hấp thụ các photon**

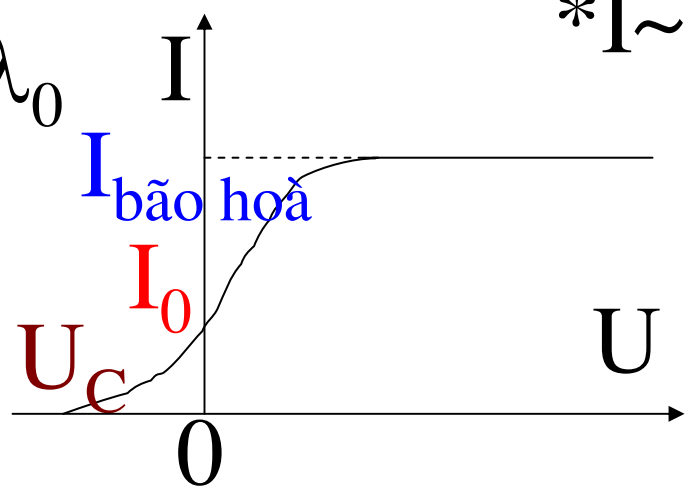
e. Cường độ của chùm bức xạ **tỷ lệ với số photon** phát ra trong 1 đơn vị thời gian

3.2. Hiện tượng quang điện:

Hiệu ứng bắn ra các điện tử từ một tấm kim loại khi dọi lên tấm KL đó một bức xạ điện từ thích hợp -> các điện bắn ra: Quang điện tử



$$\lambda < \lambda_0$$



$$*I \sim U \rightarrow I_{\text{bão hoà}}$$

$$*U=0, I_0 \neq 0$$

$$\rightarrow mv_0^2/2$$

$$*eU_C = mv_0^2/2$$

3.3. Giải thích các định luật quang điện:

a. Giới hạn quang điện

$$h \frac{c}{\lambda} = A_{\text{th}} + \frac{mv_{0\text{max}}^2}{2} \quad \frac{hc}{A_{\text{th}}} = \lambda_0 \quad \lambda < \lambda_0$$

b. Dòng quang điện bão hoà tỷ lệ với $I_{\text{ánh sáng}}$

$I_{\text{điện}} \sim$ số điện tử bắn ra \sim Số photon bắn vào K \sim

$$I_{\text{ánh sáng}} \Rightarrow I_{\text{điện}} \sim I_{\text{ánh sáng}}$$

c. Động năng ban đầu của quang điện tử

$$\frac{mv_{0\max}^2}{2} = h(\nu - \nu_0)$$

$$h\nu = h\nu_0 + eU_C$$

$$eU_C = h(\nu - \nu_0)$$

3.4. ĐỘNG LỰC HỌC PHOTON

Năng lượng photon

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

$$\varepsilon = mc^2 \quad m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$$

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

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

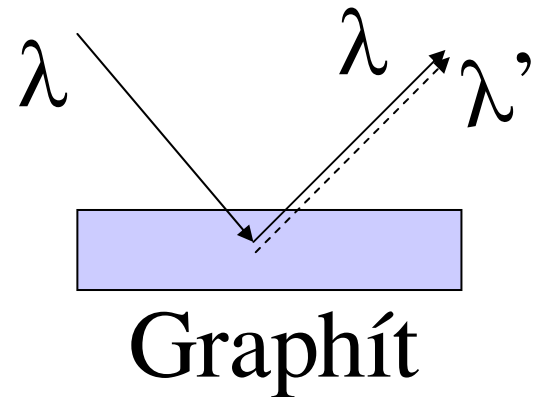
$v=c \Rightarrow m_0=0$ khối lượng nghỉ của photon bằng 0

Động lượng photon

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

Động lượng photon tỷ lệ thuận với tần số hoặc tỷ lệ nghịch với bước sóng

3.4. HIỆU ỨNG KÔNGTƠN (Compton)



1892: Khi chiếu tia X lên Graphít
Ngoài phản xạ Bragg còn ghi
được $\lambda' > \lambda$

λ' không phụ thuộc vào chất tinh thể, chỉ phụ thuộc vào góc tán xạ θ :

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\Lambda_C \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$\Lambda_C = 2,426 \cdot 10^{-12} \text{m}$
Bước sóng Compton

Phản xạ Bragg xảy ra khi tia X tán xạ trên các điện tử trong Ion tại nút mạng.

Tán xạ Compton xảy ra khi photon tia X va đập với các điện tử tự do:

Điện tử có vận tốc trước va đập $v=0$

Trước va đập

Sau va đập

Điện tử

$$p_e = 0, E = m_e c^2$$

$$p_e' = \frac{m_e v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad E' = \frac{m_e c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Photon $p_{ph} = \frac{h\nu}{c} \quad \varepsilon = h\nu$

$p'_{ph} = \frac{h\nu'}{c} \quad \varepsilon' = h\nu'$

Hệ cô lập: Bảo toàn năng lượng, động lượng

Bảo toàn năng lượng:

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

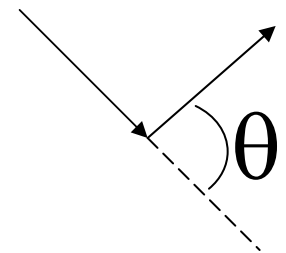
Bảo toàn động lượng

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

$$(\vec{p}_{ph} - \vec{p}'_{ph})^2 = \vec{p}_e^2 \quad p_{ph}^2 + p'_{ph}{}^2 - 2p_{ph}p'_{ph} \cos \theta = p_e^2$$

$$\left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\nu'}{c}\right)^2 - 2\frac{h^2\nu\nu'}{c^2} \cos \theta = \frac{m^2 v^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$(h\nu + m_e c^2 - h\nu')^2 = \frac{m_e^2 c^4}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$



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

$$\lambda' - \lambda = 2 \frac{h}{m_e c} \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad \text{Bước sóng Compton: } \Lambda_C = \frac{h}{m_e c}$$

$\Lambda_C = 2,426 \cdot 10^{-12} \text{m}$