

Module 5

QUANG LƯỢNG TỬ

5.1. BỨC XẠ NHIỆT

5.1.1. Bức xạ nhiệt cân bằng

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

Nếu phần năng lượng của vật bị mất đi do phát xạ bằng phần năng lượng vật thu được do hấp thụ thì bức xạ nhiệt không đổi và được gọi là *bức xạ nhiệt cân bằng.*

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

a. Năng suất phát xạ toàn phần

Xét một vật đen nóng được giữ ở nhiệt độ T không đổi.

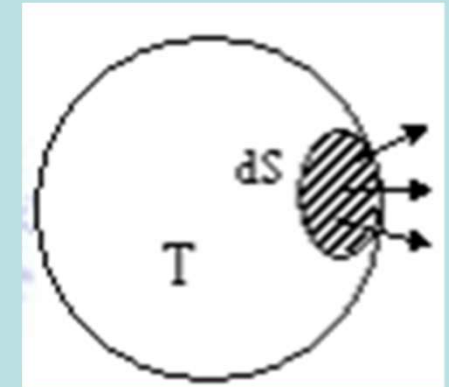
Diện tích dS của vật phát xạ trong một đơn vị thời gian một năng lượng toàn phần $d\phi_T$.

Định nghĩa: Năng suất phát xạ toàn phần của vật ở nhiệt độ T là một 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 .

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

$$R_T = \frac{d\phi_T}{dS} \quad (7.1)$$

Đơn vị của R_T : W/m^2



b. Hệ số phát xạ đơn sắc

$$r_{\lambda,T} = \frac{dR_T}{d\lambda} \quad (7.2)$$

$r_{\lambda,T}$ phụ thuộc vào bản chất và nhiệt độ của vật và phụ thuộc bước sóng λ của bức xạ đơn sắc do vật phát ra.

Đơn vị: W/m^3 .

Bằng thực nghiệm ta có thể xác định được $r_{\lambda,T}$ ứng với bức xạ đơn sắc bước sóng λ của vật phát ra ở nhiệt độ T , từ đó ta sẽ xác định được năng suất phát xạ toàn phần

$$R_T = \int dR_T = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda \quad (7.3)$$

c. Hệ số hấp thụ đơn sắc

$$a_{\lambda,T} = \frac{d\phi'_{\lambda,T}}{d\phi_{\lambda,T}} \quad (7.4)$$

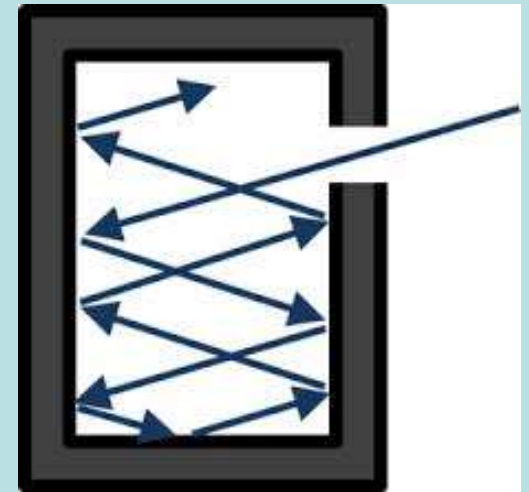
$a_{\lambda,T}$ phụ thuộc vào bản chất và nhiệt độ của vật, phụ thuộc vào bước sóng λ của chùm bức xạ đơn sắc gửi tới.

Thông thường vật không hấp thụ hoàn toàn năng lượng của chùm bức xạ gửi tới, do đó $a_{\lambda,T} < 1$.

Những vật mà $a_{\lambda,T} = 1$ với mọi nhiệt độ T và mọi bước sóng X được gọi là *vật đen tuyệt đối*.

Trong thực tế không có vật đen tuyệt đối mà chỉ có những vật có tính chất gần với tính chất của vật đen tuyệt đối, ví dụ bồ hóng, than bạch kim...

Để tạo ra vật đen tuyệt đối người ta dùng một cái bình rỗng cách nhiệt, có khoét một lỗ nhỏ, mặt trong phủ một lớp bồ hóng. Khi tia bức xạ lọt qua lỗ vào bình, nó sẽ bị phản xạ nhiều lần trên thành bình, mỗi lần phản xạ năng lượng của nó lại bị bình hấp thụ một phần. Kết quả có thể coi là tia bức xạ đã bị hấp thụ hoàn toàn.



d. Định luật Kirchhoff

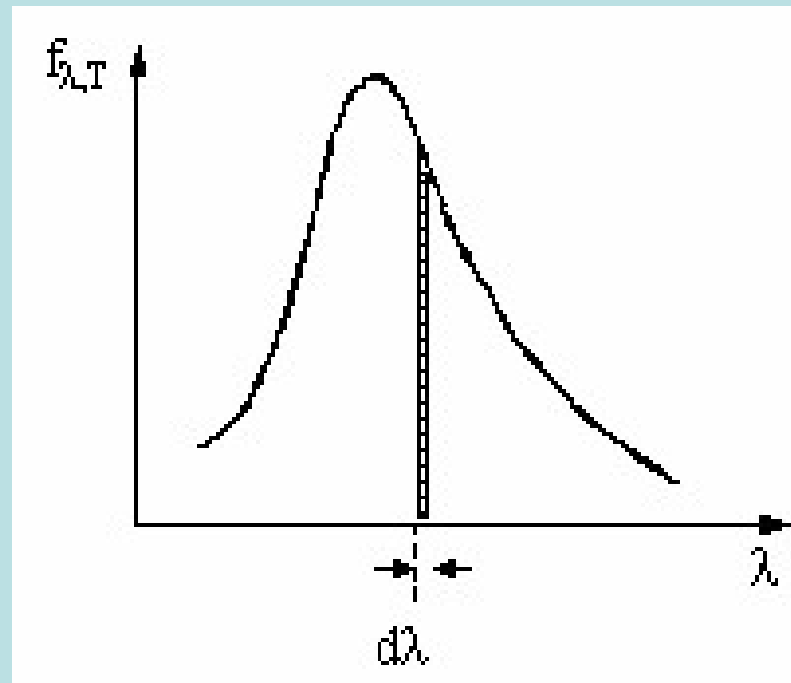
“ Tỉ số giữa hệ số phát xạ đơn sắc $r_{\lambda,T}$ và hệ số hấp thụ đơn sắc $a_{\lambda,T}$ của một vật bất kỳ ở trạng thái bức xạ nhiệt cân bằng không phụ thuộc vào bản chất của vật đó, mà phụ thuộc vào nhiệt độ T của nó và bước sóng λ của chùm bức xạ đơn sắc”.

$$\frac{r_{\lambda,T}}{a_{\lambda,T}} = f_{\lambda,T} \quad 7.5$$

trong đó $f_{\lambda,T}$ là hàm số chung cho mọi vật nên được gọi là hàm phổ biến.

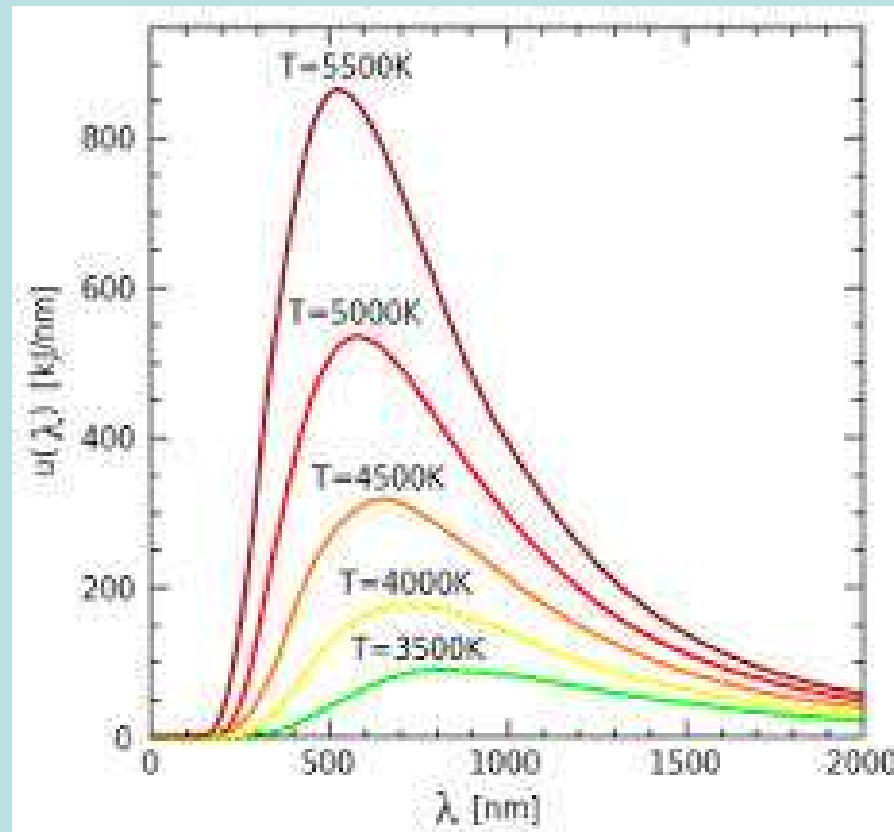
Hình 7-2 là đồ thị của hàm phổ biến $f_{\lambda,T}$ theo bước sóng λ ở nhiệt độ T.

Đường cong này được gọi là đường đặc trưng phổ phát xạ của vật đen tuyệt đối. Năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối được xác định theo công thức (7-3) sẽ có trị số bằng toàn bộ diện tích giới hạn bởi đường đặc trưng phổ phát xạ và trục hoành λ trên Hình 7-2.



Hình 7-2. Đường đặc trưng phổ phát xạ của vật đen tuyệt đối

e. Định luật Stephan – Boltzman



Hình 7-3. Phổ phát xạ của vật đen tuyệt đối ở các nhiệt độ khác nhau

e. Định luật Stephan – Boltzman

Định luật Stephan-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:*

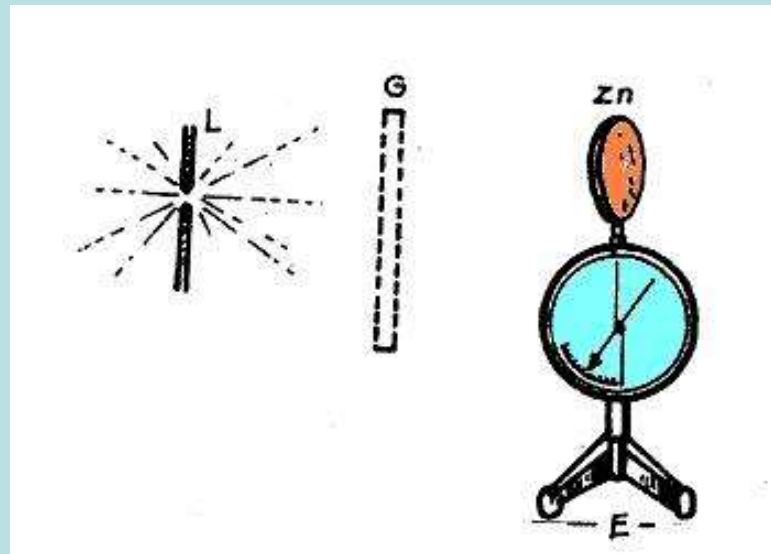
$$R_T = \sigma T^4 \quad (7.6)$$

trong đó σ được gọi là hằng số Stephan-Boltzmann, $\sigma = 5,6703 \cdot 10^{-8}$ W/(m²K⁴)

5.2. Hiệu ứng quang điện

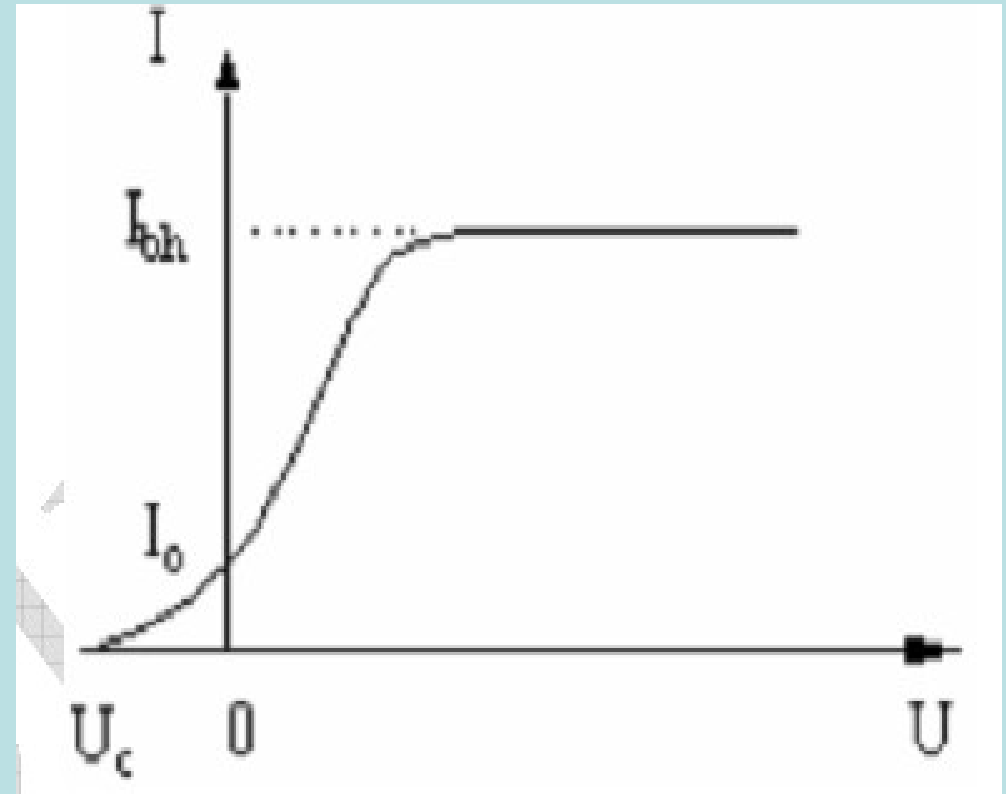
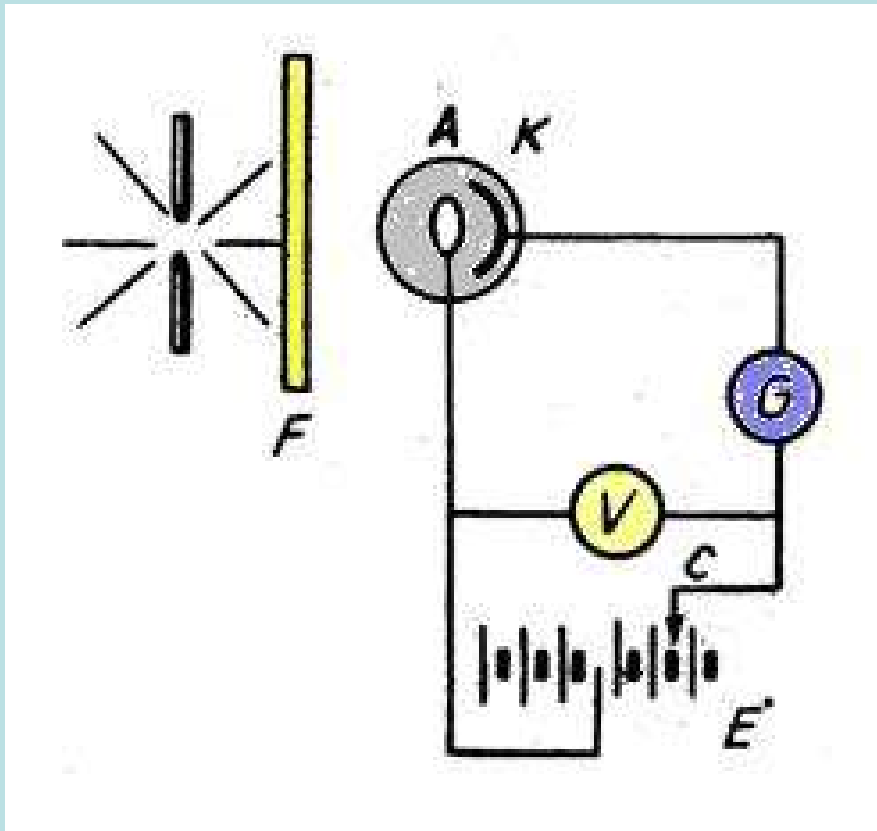
5.2.1. Hiện tượng quang điện

Hiện tượng quang điện là hiện tượng điện tử bị bắn ra khỏi kim loại khi chiếu ánh sáng thích hợp vào nó.



5.2. Hiệu ứng quang điện

Thí nghiệm với tế bào quang điện:



5.2. Hiệu ứng quang điện

5.2.2. Các định luật quang điện

a) Định luật quang điện thứ nhất: Đối với mỗi kim loại dùng làm catôt có một bước sóng giới hạn λ_0 nhất định gọi là giới hạn quang điện. Hiện tượng quang điện chỉ xảy ra khi bước sóng của ánh sáng kích thích nhỏ hơn hoặc bằng giới hạn quang điện $\lambda \leq \lambda_0$.

5.2. Hiệu ứng quang điện

5.2.2. Các định luật quang điện

b) Định luật quang điện thứ hai: Với ánh sáng kích thích có bước sóng thỏa mãn định luật quang điện thứ nhất thì cường độ dòng quang điện bão hòa tỉ lệ thuận với cường độ của chùm sáng kích thích.

c) Định luật quang điện thứ ba: Động năng ban đầu cực đại của các electron quang điện 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 catôt.

5.2. Hiệu ứng quang điện

5.2.3. Sự bất lực của thuyết điện từ về ánh sáng

Theo lý thuyết sóng, do tác dụng của sóng ánh sáng, các điện tử của vật chất phải thực hiện dao động cưỡng bức với biên độ tỉ lệ với biên độ sóng. Khi biên độ dao động đủ lớn, điện tử có thể phá vỡ liên kết với vật chất và bay ra ngoài với vận tốc hiển nhiên phải phụ thuộc vào biên độ của ánh sáng tới.

Thực tế lại không như vậy, vận tốc của điện tử bay ra chỉ phụ thuộc vào tần số của ánh sáng tới. Ngay cả khi ánh sáng tới có cường độ mạnh mà tần số không vượt qua tần số giới hạn thì điện tử cũng không bay ra được.

5.3. Thuyết lượng tử ánh sáng Anhxtanh

5.3.1. 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

$$\varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

5.3. Thuyết lượng tử ánh sáng Anhxtanh

5.3.2. Thuyết lượng tử ánh sáng Anhxtanh

a. Thuyết lượng tử:

- Ánh sáng gồm những hạt rất nhỏ gọi là photon (hay lượng tử năng lượng). Mỗi photon có một năng lượng xác định bằng $\varepsilon = hf$

Trong đó $h=6,625.10^{-34}$ J.s là hằng số Planck, còn f là tần số của ánh sáng.

- Trong chân không, photon truyền đi với vận tốc $c=3.10^8$ m/s.

- Cường độ của chùm sáng tỉ lệ với số photon phát ra từ nguồn sáng trong một đơn vị thời gian.

5.3. Thuyết lượng tử ánh sáng Anhxtanh

5.3.2. Thuyết lượng tử ánh sáng Anhxtanh

b. Công thức Anhxtanh về hiện tượng quang điện

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv_{0max}^2}{2}$$

5.3. Thuyết lượng tử ánh sáng Anhxtanh

5.3.3. Giải thích các định luật quang điện

a) Giải thích định luật thứ nhất: Theo công thức Anhxtanh, để xảy ra hiện tượng quang điện, photon của ánh sáng kích thích phải có năng lượng lớn hơn hoặc bằng công thoát A:

$$\varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda} \geq A \Rightarrow \lambda \leq \frac{hc}{A} = \lambda_0$$

b) Giải thích định luật thứ hai: Với $\lambda \leq \lambda_0$ nếu cường độ chùm sáng kích thích càng lớn thì trong một đơn vị thời gian số photon đến đập vào mặt catốt càng nhiều \Rightarrow số electron quang điện bị bật ra càng nhiều \Rightarrow cường độ quang điện bão hòa càng lớn.

5.3. Thuyết lượng tử ánh sáng Anhxtanh

5.3.3. Giải thích các định luật quang điện

c) Giải thích định luật thứ ba: Theo công thức Anhxtanh:

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv_{0max}^2}{2}$$

ta thấy động năng ban đầu cực đại của electron quang điện chỉ phụ thuộc vào tần số f (hay bước sóng) của ánh sáng kích thích và công thoát A (A phụ thuộc vào bản chất kim loại).

5.4. Hiệu ứng Compton

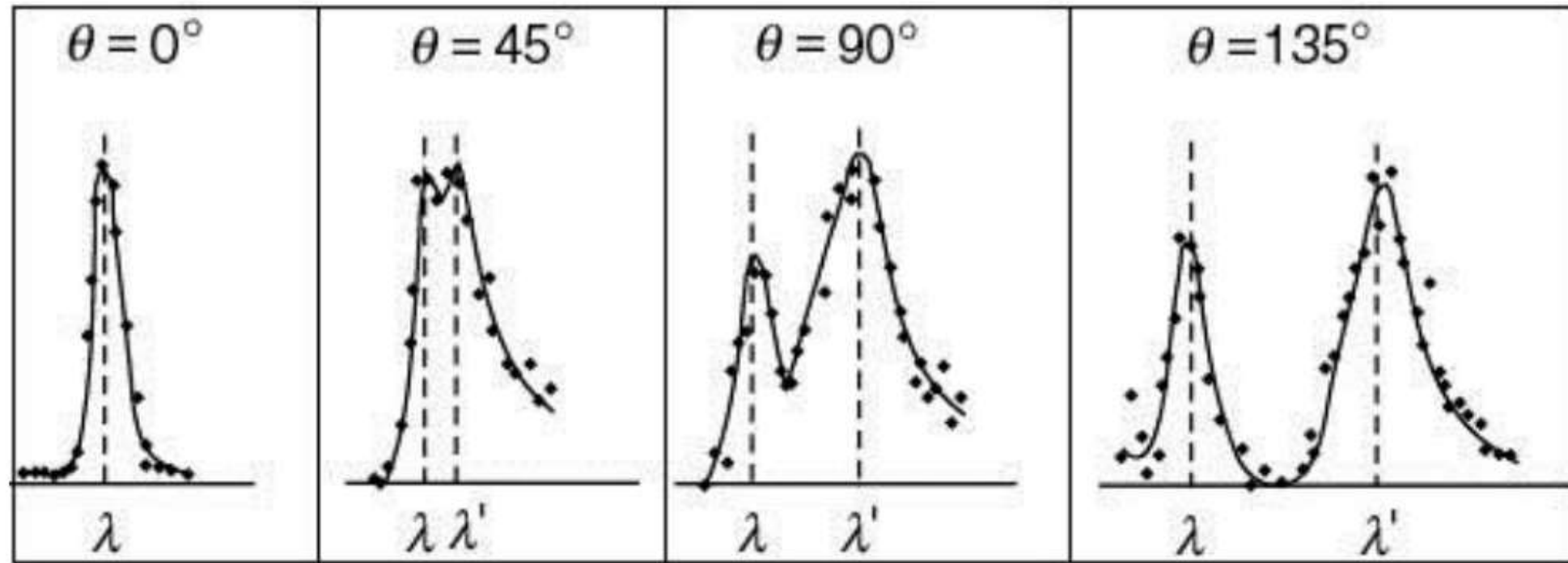
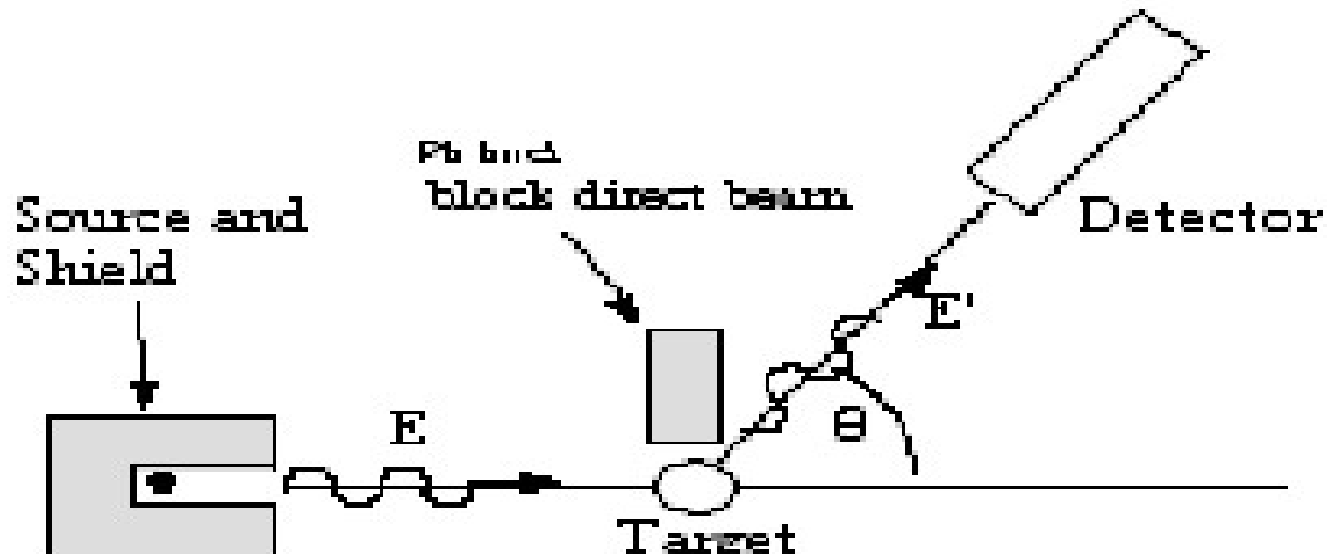
5.4.1. Hiệu ứng Compton

Cho một chùm tia X bước sóng λ chiếu vào graphit hoặc paraffin ... Khi đi qua chất này tia X bị tán xạ theo nhiều phương. Trong phổ tán xạ ngoài vạch có bước sóng λ của chùm tia X chiếu tới còn có những vạch ứng với bước sóng $\lambda' > \lambda$. Độ tăng $\Delta\lambda$ được xác định bởi biểu thức:

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

Với $\lambda_c = 2,43 \cdot 10^{-12}$ m là bước sóng Compton

Diagram of Apparatus



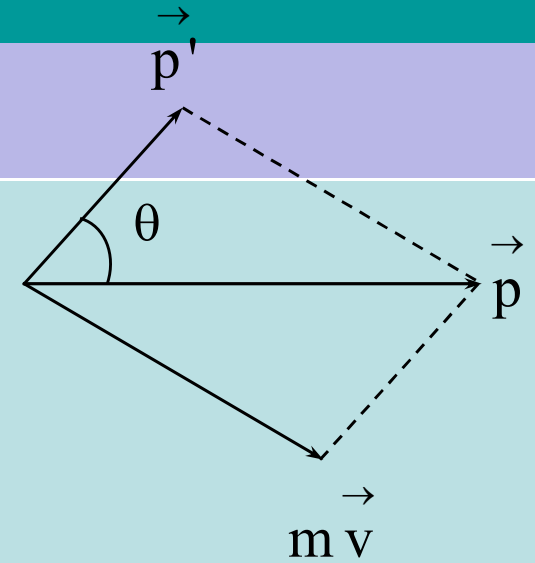
Hình 3. Những kết quả của Compton đối với 4 giá trị của góc tán xạ θ .

5.4. Hiệu ứng Compton

5.4.2. Giải thích

Hiệu ứng Compton là kết quả va chạm đàn hồi giữa một photon tia X với electron của nguyên tử chất tán xạ.

Áp dụng ĐLBTDL và BTNL:



$$\vec{p} = \vec{p}' + m \vec{v} \quad \text{và} \quad hf + m_0 c^2 = hf' + mc^2$$

$$\text{Trong đó: } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}; \quad f = \frac{c}{\lambda}; \quad f' = \frac{c}{\lambda'}$$

$$\Rightarrow \Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2 \frac{h}{m_0 c} \sin^2(\theta/2) = 2\lambda_C \sin^2(\theta/2)$$

5.4. Hiệu ứng Compton

5.4.3. Ứng dụng

- Xung điện từ EMP: chế tạo các loại vũ khí tối tân - bom EMP
- Quan sát và phát hiện lỗ đen (Black Hole)

5.4. Hiệu ứng Compton

Chú ý

Người ta coi hiệu ứng Compton là một bằng chứng thực nghiệm xác nhận trọn vẹn tính sóng-hạt của ánh sáng là vì: hiệu ứng quang điện đã xác nhận ánh sáng có cấu tạo gián đoạn, gồm những hạt photon mang năng lượng nhưng một đặc trưng quan trọng của hạt là động lượng thì phải đến hiệu ứng Compton mới được xác nhận đủ.