

**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** →

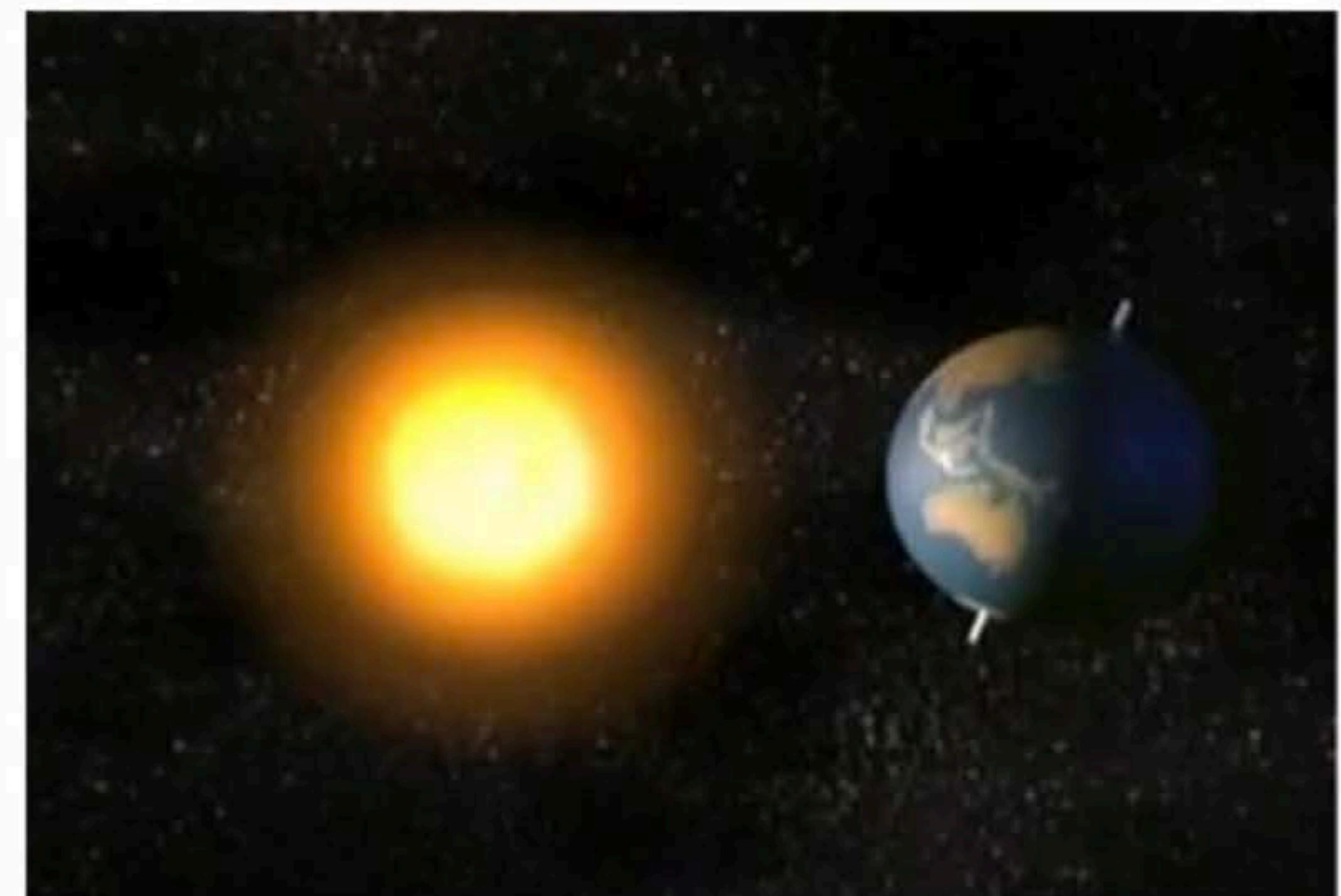
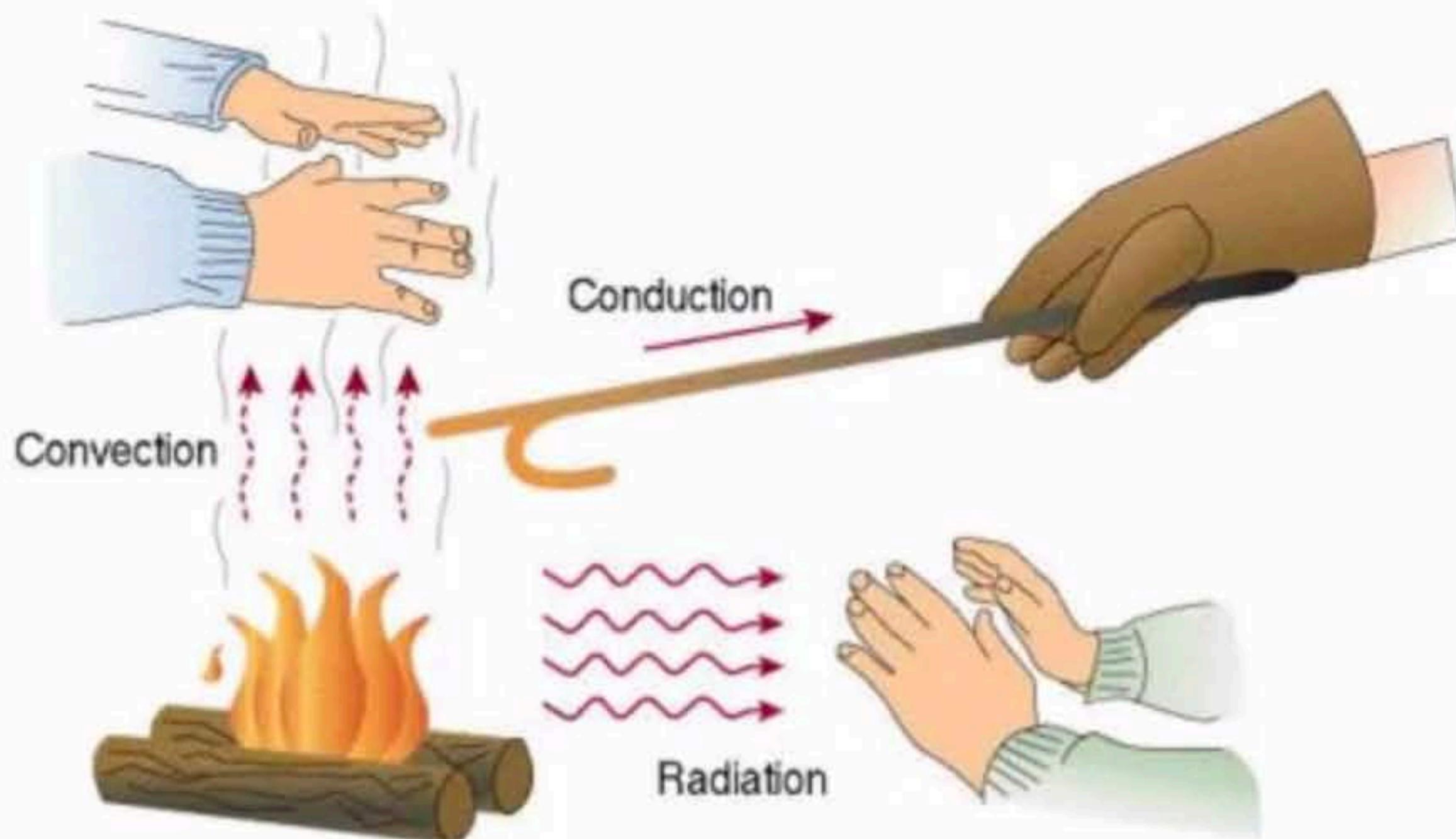
**Chương 8: Cơ học lượng tử.**

**Chương 9: Vật lí nguyên tử.**

**Chương 10: Vật lý chất rắn và bán dẫn.**



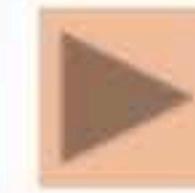
# CHƯƠNG 7. QUANG HỌC LƯỢNG TỬ



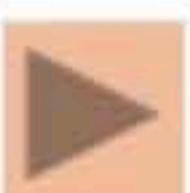
Bức xạ nhiệt từ Mặt Trời xuống Trái



**1. Bức xạ nhiệt**



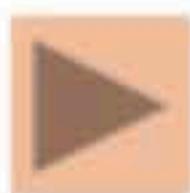
**2. Các định luật phát xạ của vật đen tuyệt đối**



**3. Thuyết lượng tử của Planck**



**và thuyết photon của Einstein**



**4. Hiện tượng quang điện**



**5. Hiệu ứng Compton.**



# 1. Bức xạ nhiệt

## 1. 2. Các đại lượng đặc trưng của bức xạ nhiệt cân bằng:

### a. Năng suất phát xạ toàn phần

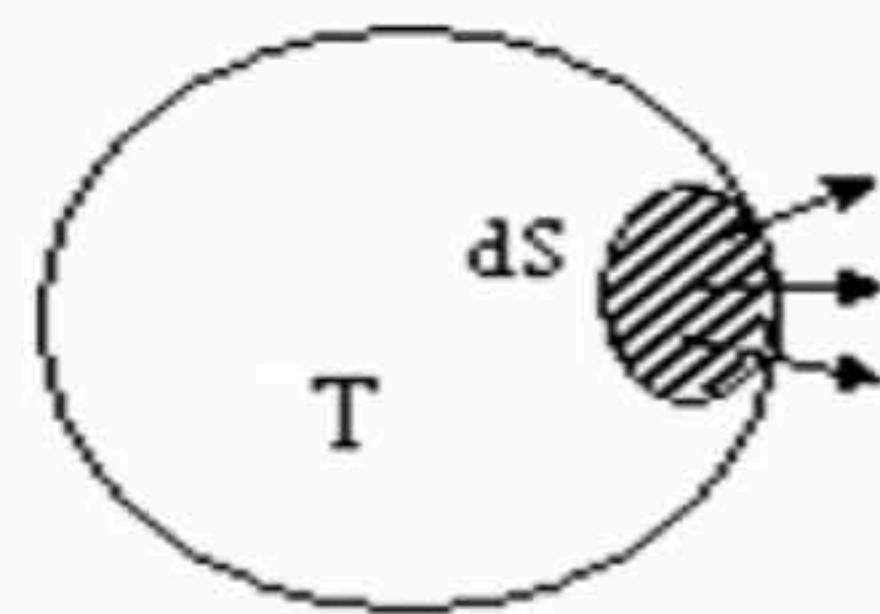
**Năng suất phát xạ toàn phần** của vật ở nhiệt độ T:

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

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

**ĐN: 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.

**Đơn vị (W/m<sup>2</sup>)**



# 1. Bức xạ nhiệt



## b. Hệ số phát xạ đơn sắc:

Phát xạ ứng với bước sóng thay đổi trong khoảng

$$\lambda \div \lambda + d\lambda$$

$$\Rightarrow r_{\lambda,T} = \frac{dR_T}{d\lambda}$$

$r_{\lambda,T}$  phụ thuộc vào bản chất, nhiệt độ của vật và tần số của bức xạ do vật phát ra. Đơn vị : W/m<sup>3</sup>.

$$\Rightarrow \text{Năng suất phát xạ toàn phần ở nhiệt độ T: } R_T = \int dR_T = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda$$

# 1. Bức xạ nhiệt



## c. Hệ số hấp thụ đơn sắc:

$d\phi_{\lambda,T}$ : năng lượng bức xạ có bước sóng nằm trong  $[\lambda \div \lambda + d\lambda]$

gửi đến một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian ở T.

$d\phi'_{\lambda,T}$  : phần năng lượng do vật hấp thụ tương ứng.

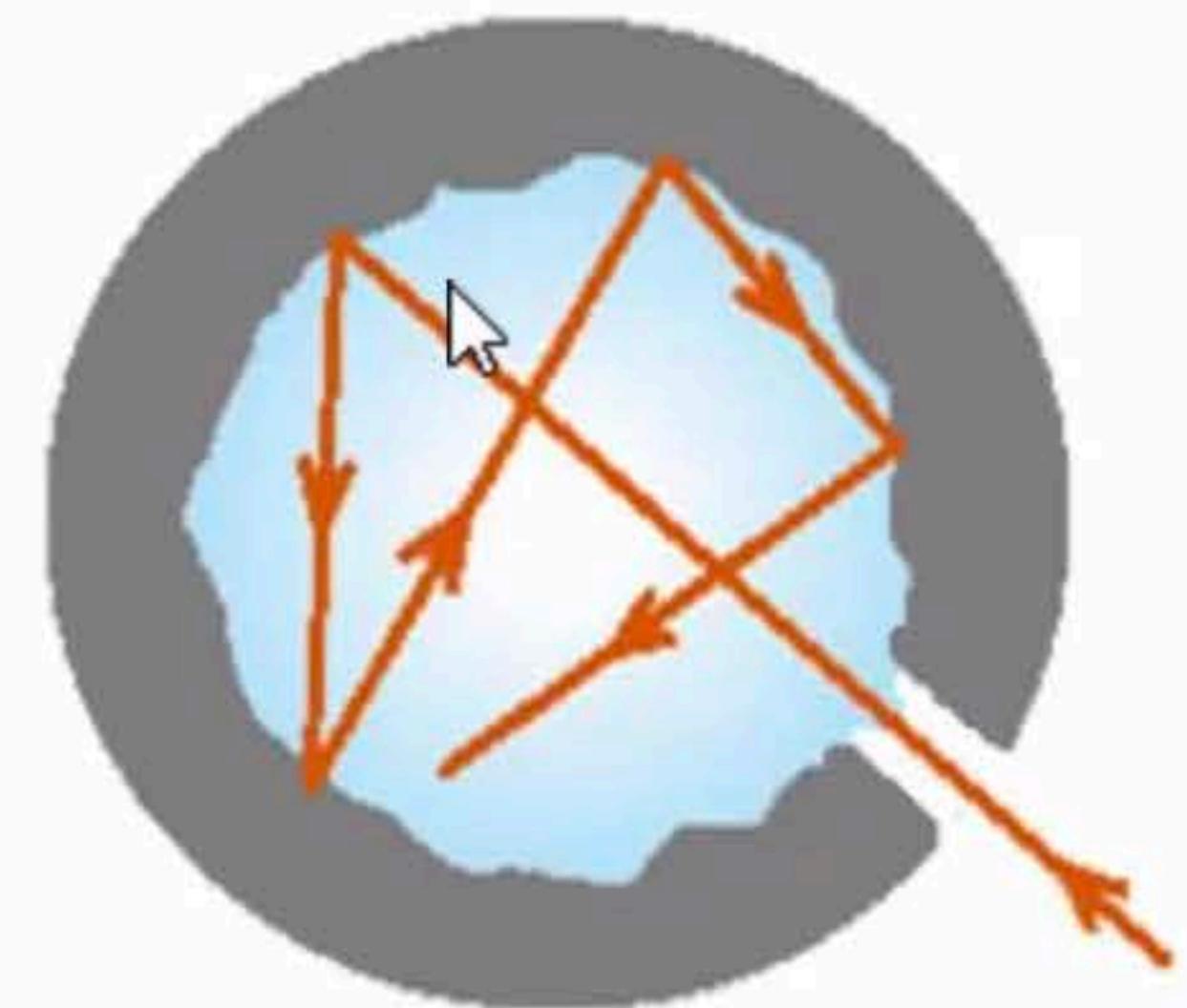
**Hệ số hấp thụ đơn sắc của vật ở T,  $\lambda$ :**

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

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

Thông thường  $a_{\lambda,T} < 1$

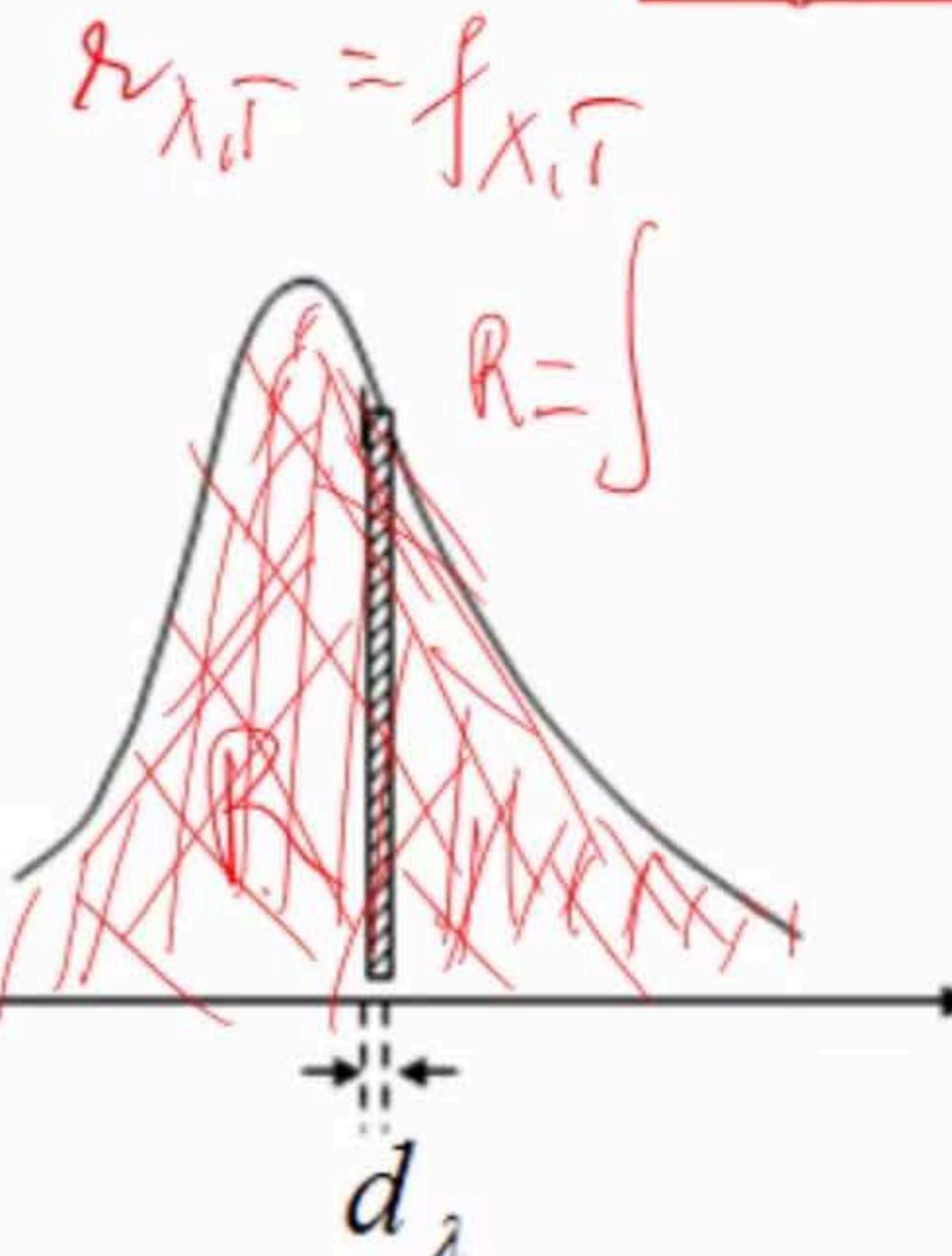
$a_{\lambda,T} = 1 \quad \forall T, \forall \lambda$  : gọi là **vật đen tuyệt đối**



# 1. Bức xạ nhiệt

## 1.3. Đinh 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”.*



Nghĩa là

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

$f_{\lambda,T}$  là hàm chung cho mọi vật  
được gọi là **hàm phổ biến**.

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

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



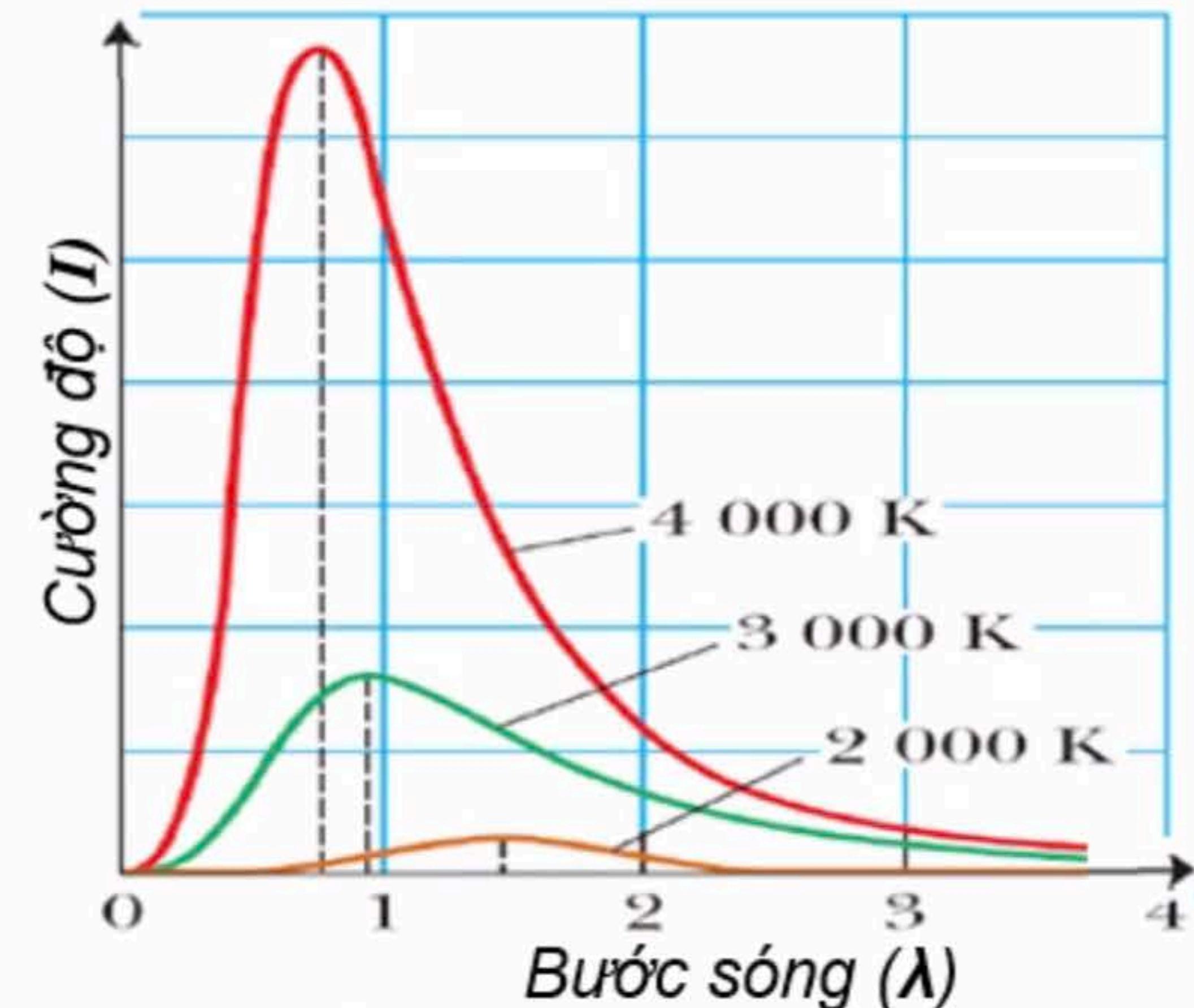
## 2. Các định luật phát xạ của vật đen tuyệt đối

### 2.1. Định luật Stefan-Boltzmann:

$$R_T = \sigma T^4$$

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

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”**

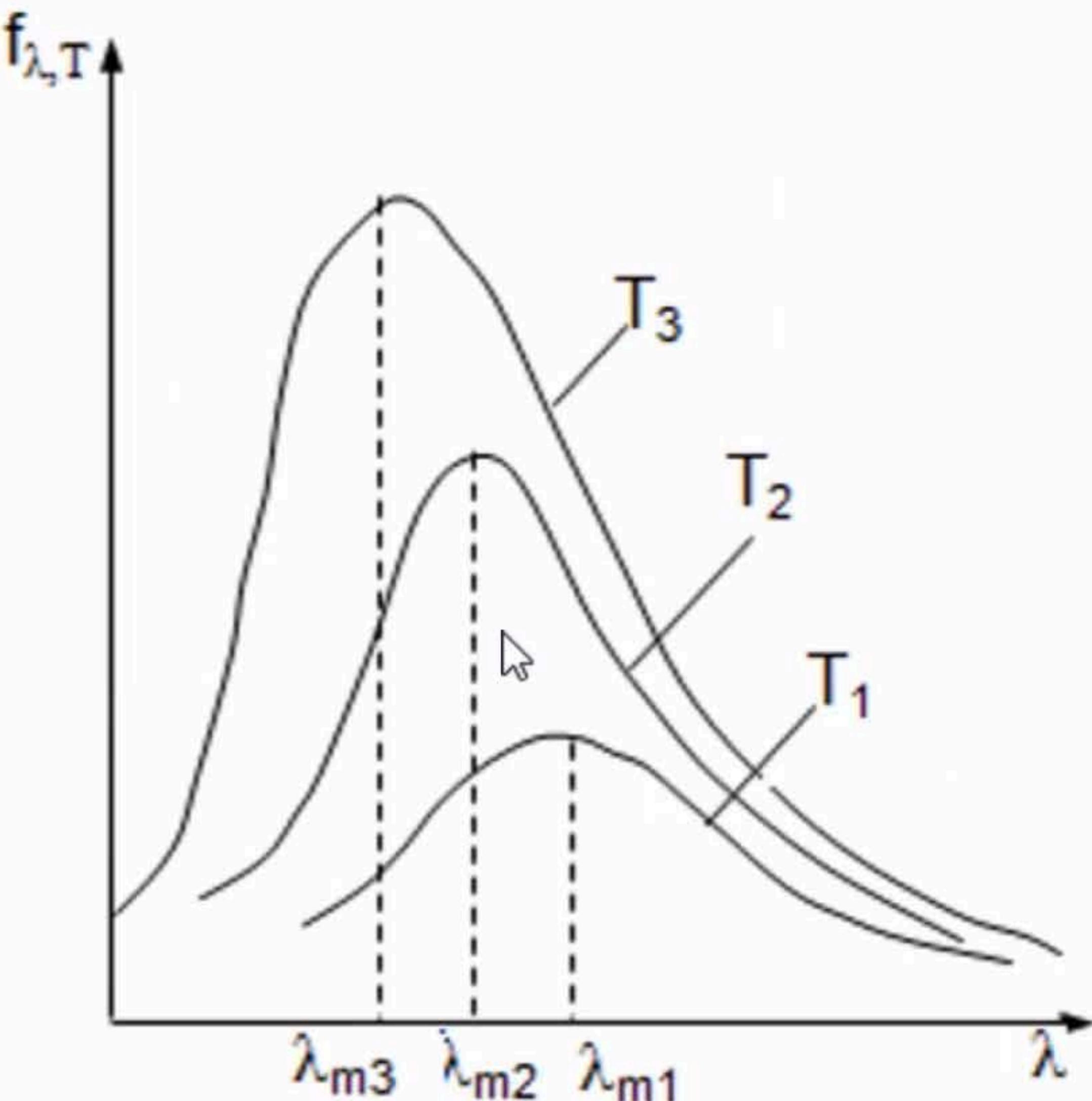
## 2. Các định luật phát xạ của vật đen tuyệt đối

### 2.2. Định luật Wien:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

$b=2,896 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ , là hằng số Wien .

**“Đối với vật đen tuyệt đối, bước sóng  $\lambda_{\max}$  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



### 2.3. Sự khủng hoảng ở vùng tử ngoại:

Cỗ điển: các nguyên tử và phân tử **phát xạ hoặc hấp thụ năng lượng liên tục**, công thức Rayleigh-Jeans:

$$f_{\lambda,T} = \frac{2\pi c}{\lambda^4} kT \quad \text{hay} \quad f_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT$$

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

10 năm

Mặt khác

$$R_T = \int_0^\infty f_{\lambda,T} d\lambda = 2\pi c k T \int_0^\infty \frac{d\lambda}{\lambda^4} \rightarrow \infty \Rightarrow \text{Vô lí !!!}$$

$$R_T = \alpha T^4 : \text{xting}$$

### 3.Thuyết lượng tử Planck và 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 v, bước sóng λ là**

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Js}: \text{hằng số Planck}$$

*c: vận tốc ánh sáng trong c.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 và 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.
- Từ công thức Planck suy được công thức của Rayleigh và Jeans; giải thích các định luật của vật đen tuyệt đối
- Suy được công thức của Rayleigh và Jeans

Trong miền tần số nhỏ sao cho  $h\nu \ll kT$  thì  $e^{h\nu/kT} - 1 \approx \frac{h\nu}{kT}$

→ công thức Planck sẽ thành:  $f_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT$

↔ công thức của Rayleigh và Jeans.

### 3.Thuyết lượng tử Planck và thuyết photon Einstein



#### \* Giải thích định luật Stefan-Boltzmann:

Năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối tại một nhiệt độ T nào đó bằng:

$$R_T = \int_0^{\infty} f_{\nu,T} d\nu = \int_0^{\infty} \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu$$

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

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

#### \* Giải thích định luật Wien:

Nếu ta lấy đạo hàm của  $f_{\nu,T}$  theo  $\nu$  và cho nó triệt tiêu rồi tìm  $\nu_{max}$  (hay  $\lambda_{max}$ ) tại các nhiệt độ khác nhau, kết quả thu được:

$$\lambda_{max} T = 2,8978 \cdot 10^{-3} \rightarrow \text{định luật Wien}$$

#### 3.2. Thuyết photon Einstein:

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

### 3.Thuyết lượng tử Planck và thuyết photon Einstein



#### 3.3. Động lực học phôtô

- Năng lượng của phôtô ứng với một bức xạ tần số  $\nu$  là  $\varepsilon = h\nu$

- Khối lượng của phôtô:

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

- Khối lượng nghỉ của phôtô:

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

⇒ Photon không có khối lượng nghỉ

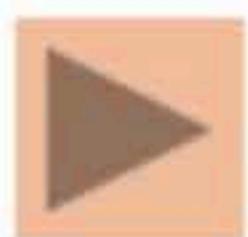
- Động lượng của phôtô:

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

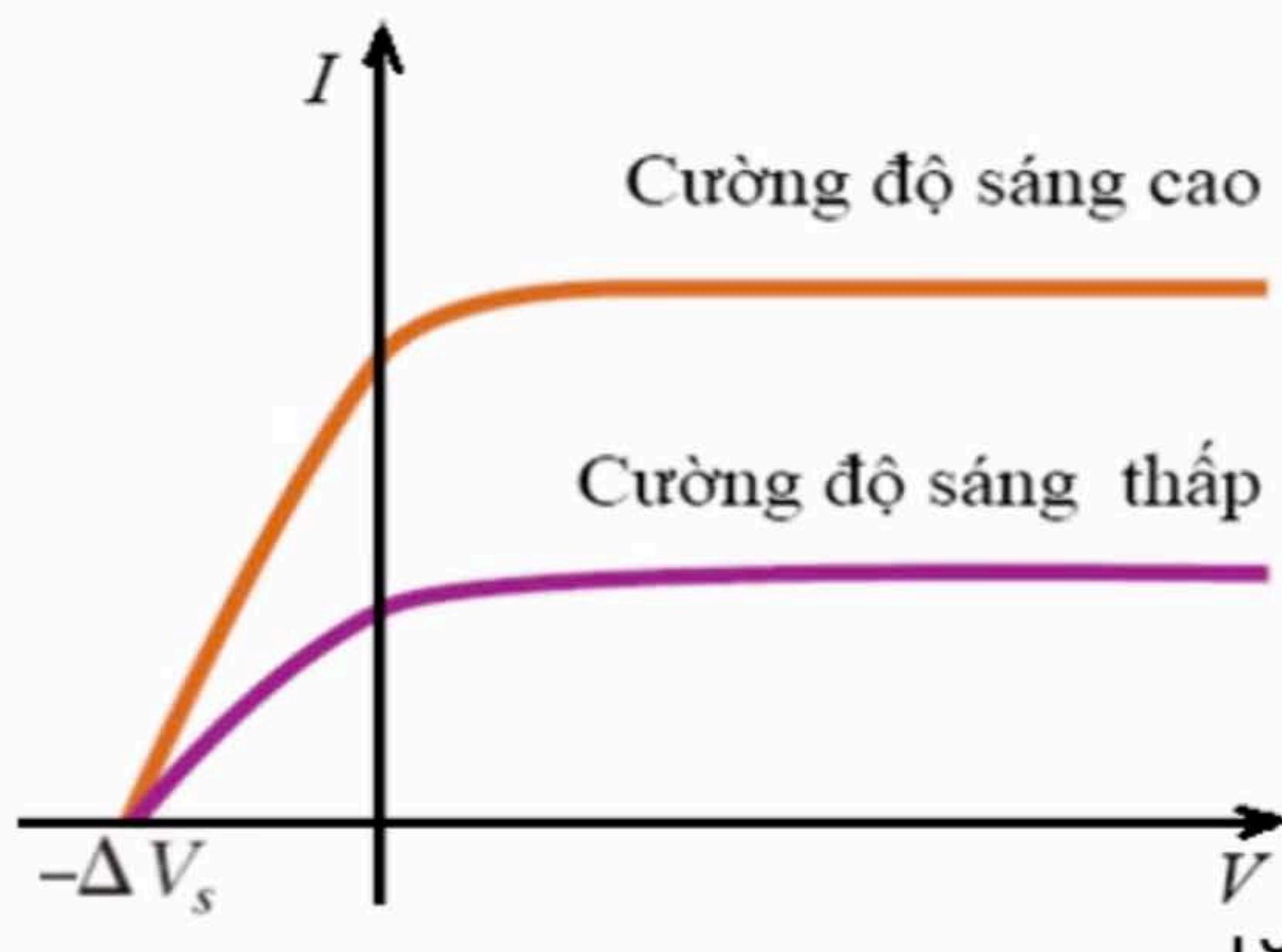
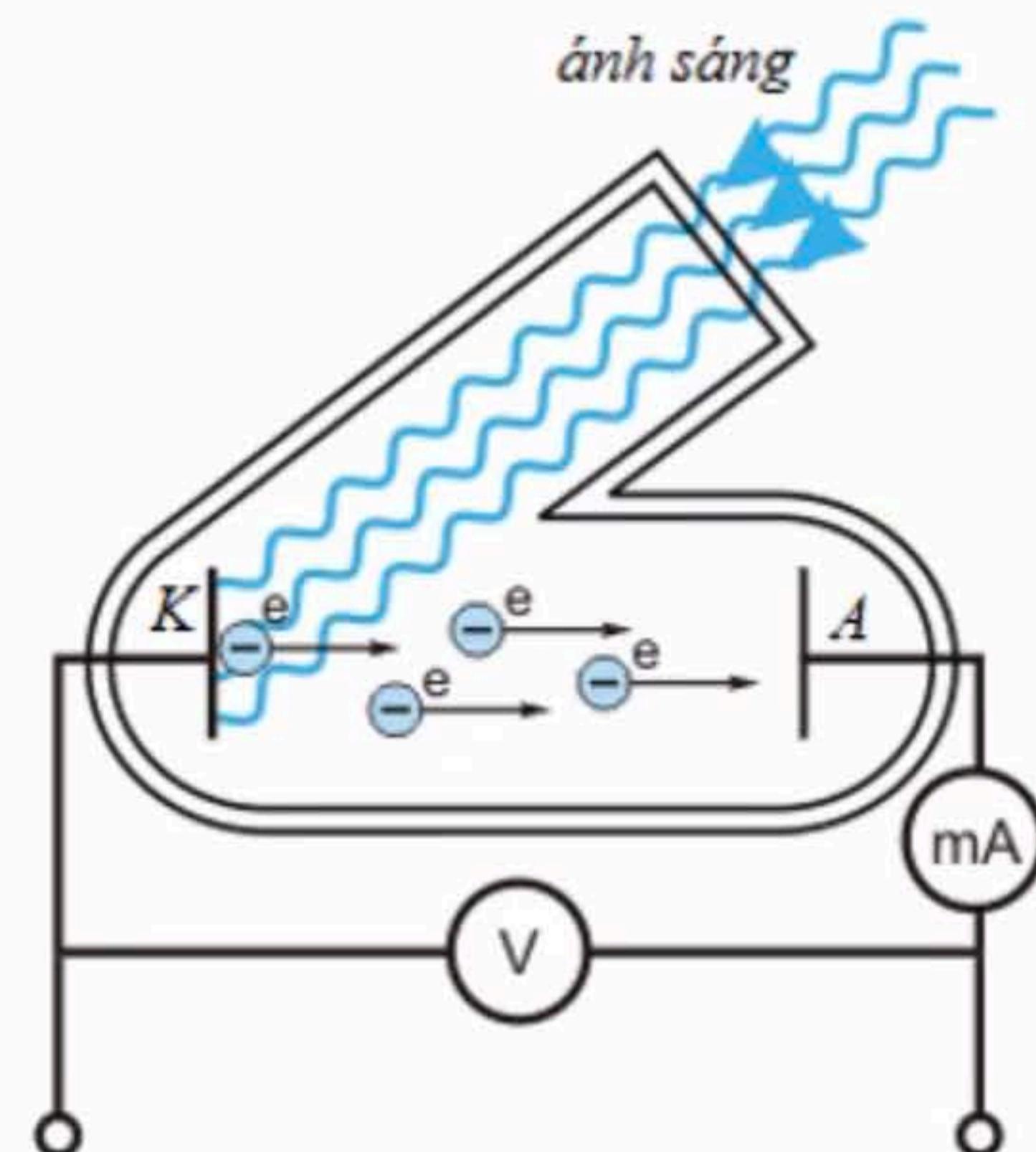
# 4. Hiện tượng quang điện

## 4.1. Hiện tượng

Thí nghiệm



→ **Định nghĩa:** *Hiệu ứng bắn ra các điện tử từ một tấm kim loại khi chi vào tấm kim loại đó một bức xạ điện tử thích hợp. Các điện tử bắn ra được gọi là các quang điện tử.*



## 4. Hiện tượng quang điện

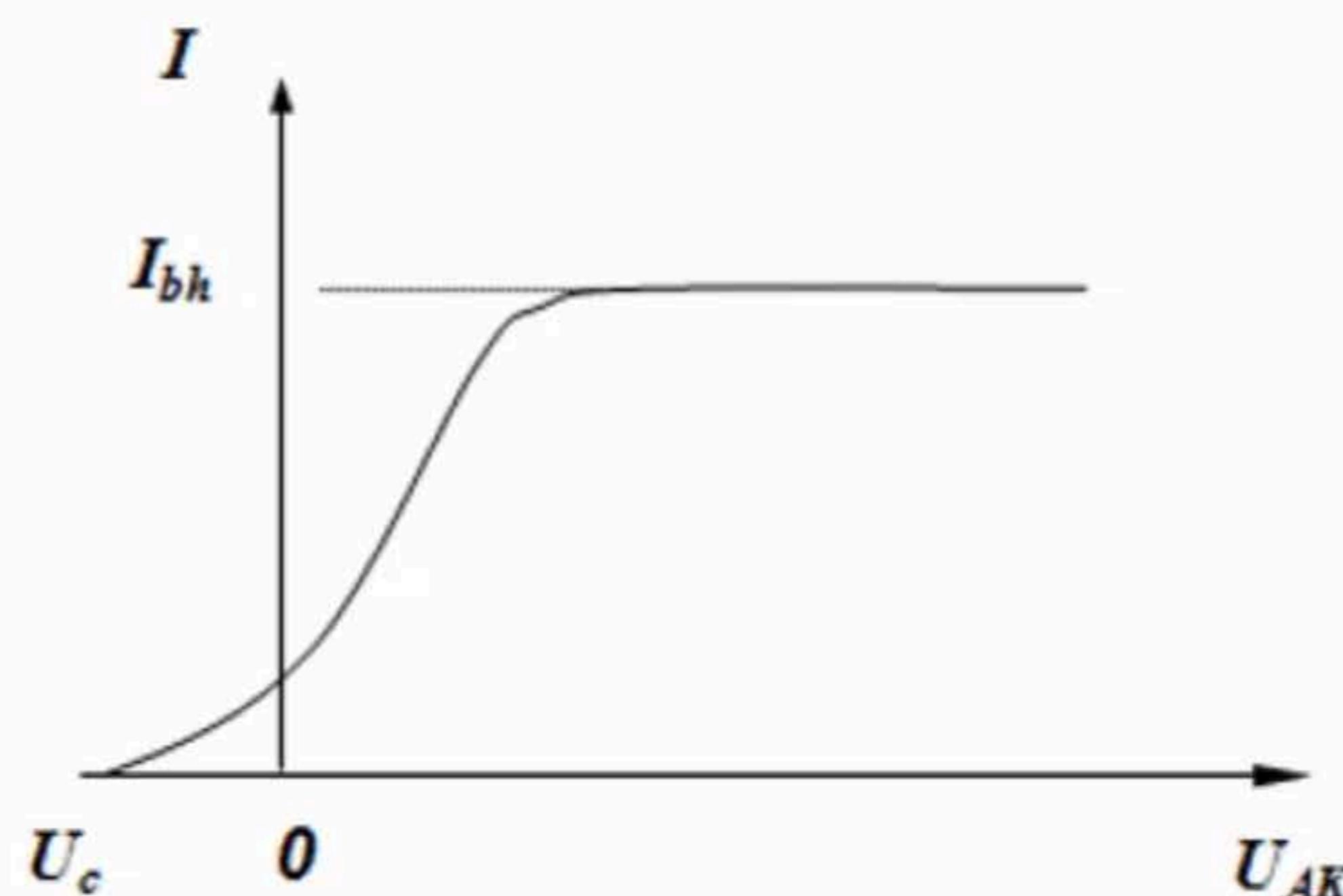
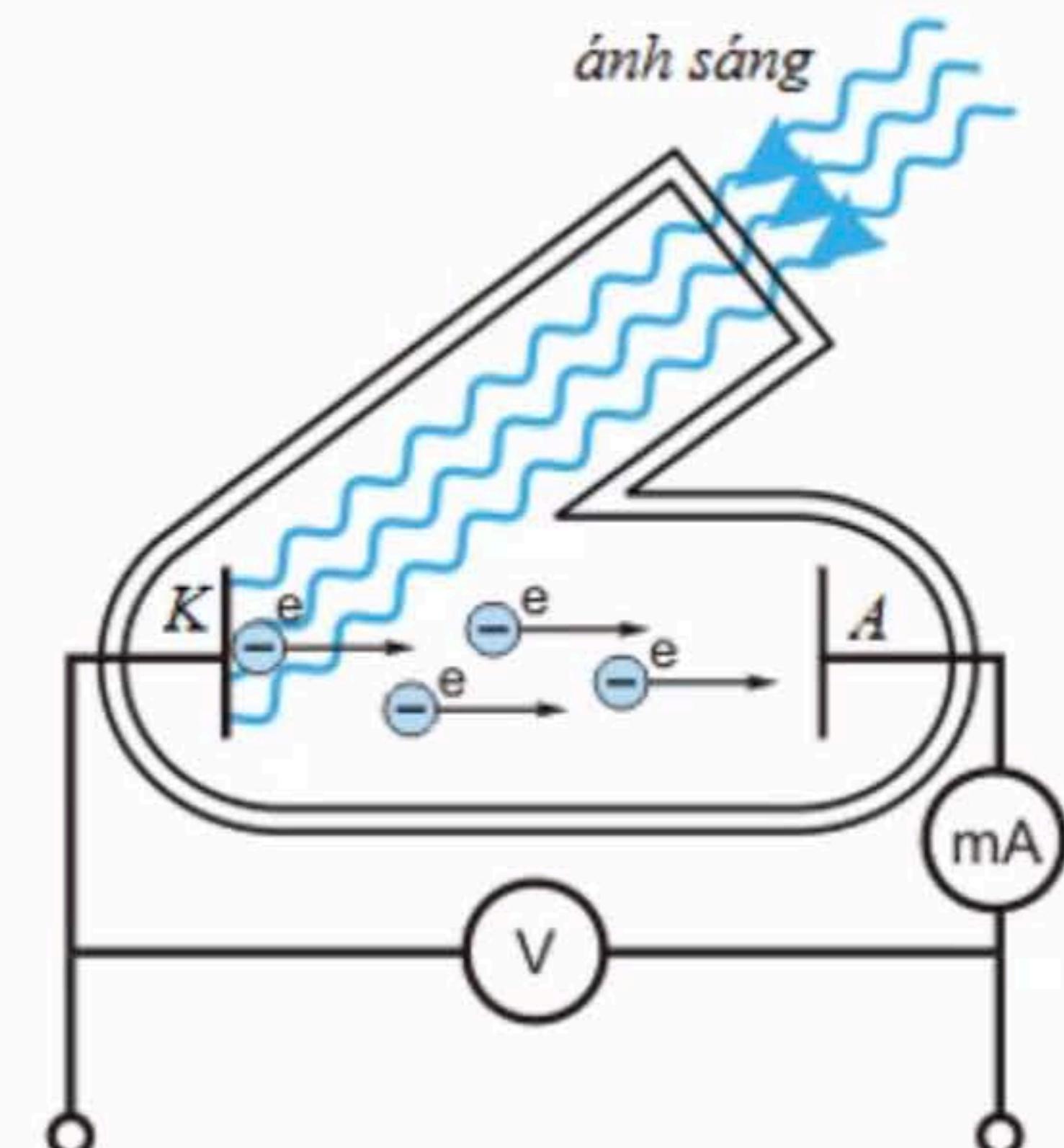
### \* Phương trình Einstein

$$h\nu = A + E_d$$

+ CHCĐ:  $E_d = \frac{mv_{o\max}^2}{2} \rightarrow h\nu = A + \frac{mv_{o\max}^2}{2}$

+ CHTĐT:  $E_d = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2$

+  $U_C$  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  $\lambda$  (hay tần số  $\nu$ ) của chùm bức xạ điện từ rơi tới nhỏ hơn (lớn hơn) một giá trị xác định  $\lambda_o$  ( $\nu_o$ ).  $\lambda_o$  gọi là giới hạn quang điện của kim loại đó.*

**Giải thích:**

$$h\nu > A_{th} = h\nu_o \Rightarrow \nu > \nu_o$$

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

## 4. Hiện tượng quang điện

- + 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 rơi tới mà chỉ phụ thuộc vào tần số của chùm bức xạ đó”.*

**Giải thích:**

$$h\nu = A_{th} + E_d = h\nu_o + E_d$$

$$E_d = h(\nu - \nu_o)$$

$$eU_c = h(\nu - \nu_o)$$



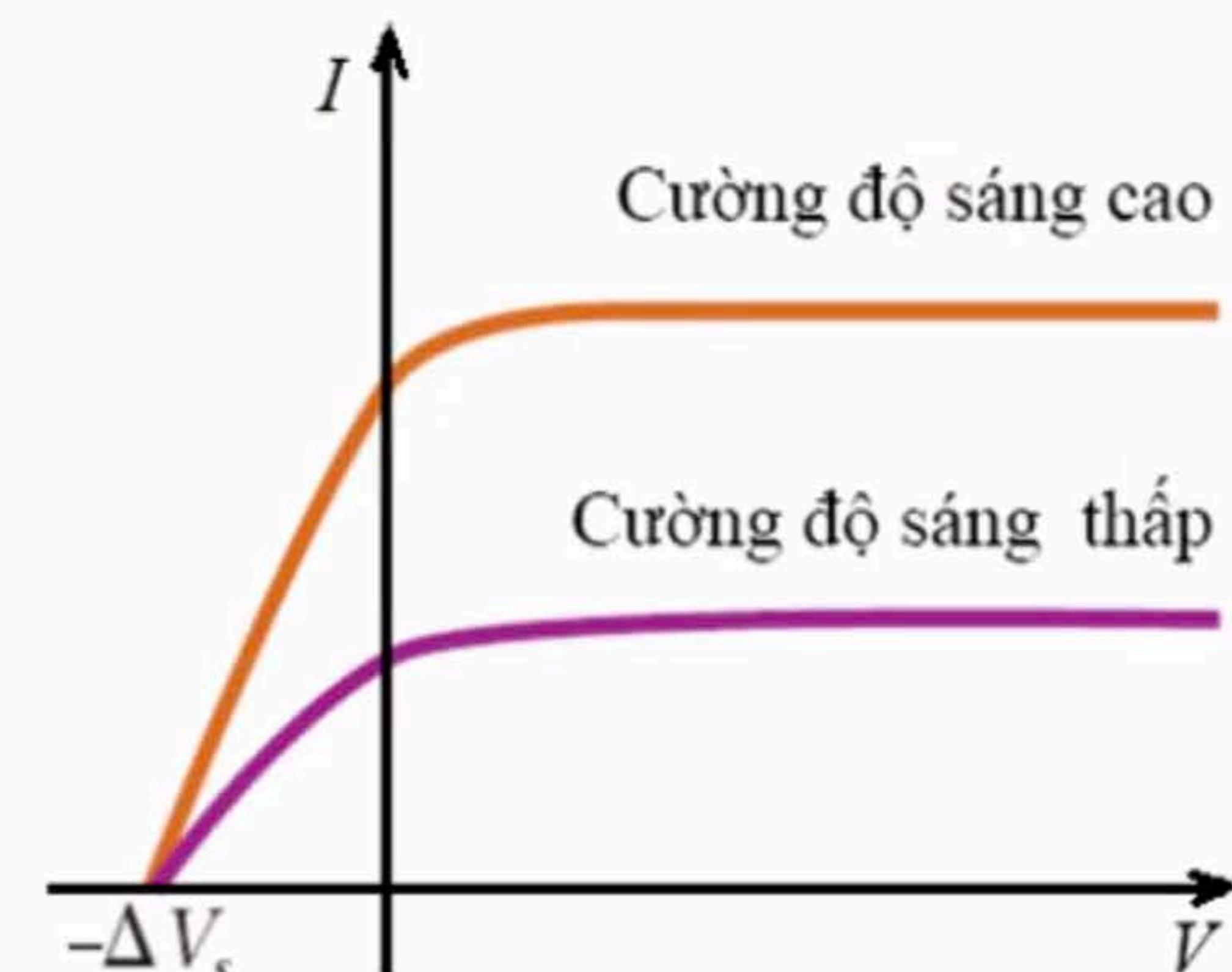
## 4. Hiện tượng quang điện

+ Định luật về dòng quang điện bão hòa:

**"Cường độ dòng quang điện bão hòa tỉ lệ với cường độ của chùm bức xạ rời tới".**

**Giải thích:**

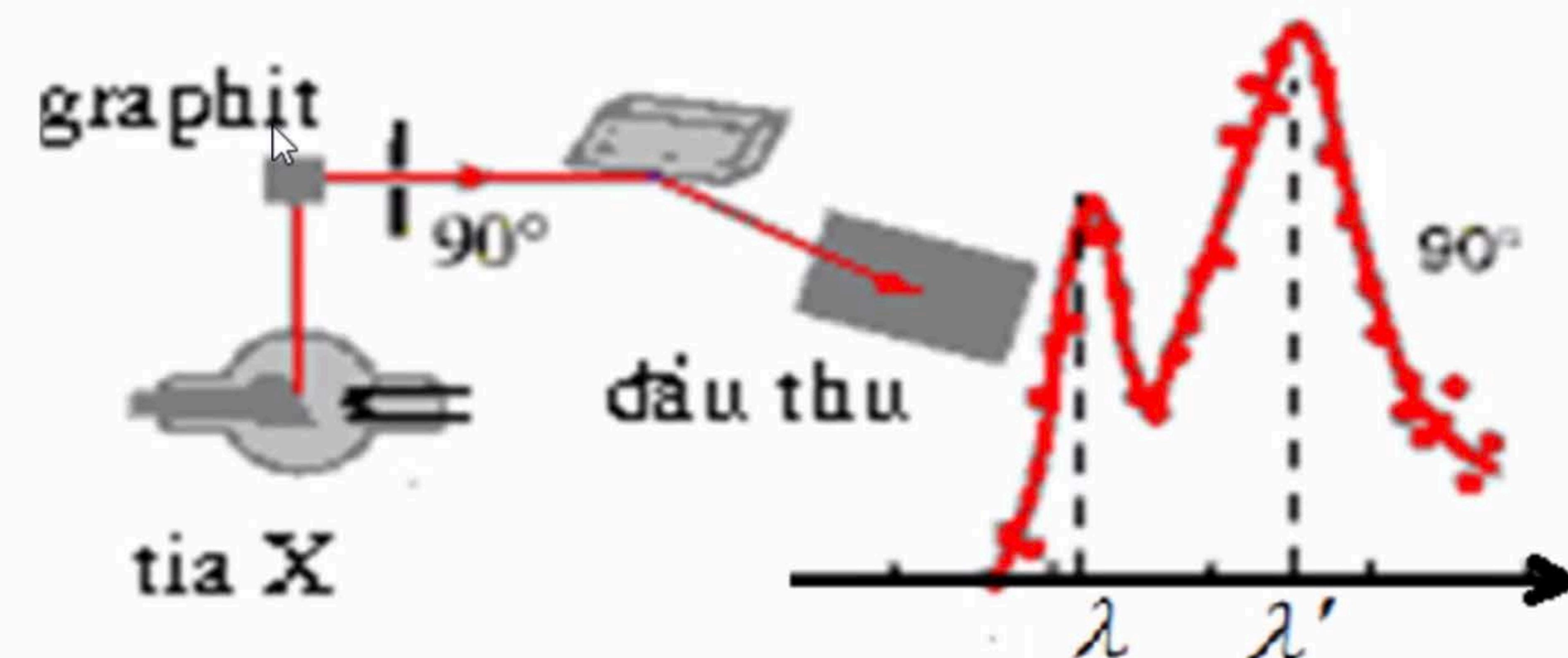
Dòng quang điện trở nên bão hòa khi số quang điện tử thoát khỏi katốt đến anốt trong đơn vị thời gian là không đổi.



$$\begin{aligned} N_e &\sim N_{ph}, \quad N_{ph} \sim I_{ph} \Rightarrow N_e \sim I_{ph} \\ I &\sim N_e \Rightarrow I \sim I_{ph} \end{aligned}$$

## 5. Hiệu ứng Compton

### 5.1. Thí nghiệm



Chùm tia X, có  $\lambda$  đi qua Graphit/ parafin... tia X bị tán xạ theo nhiều phương. Trong phổ tán xạ, có những vạch có  $\lambda$  và  $\lambda' > \lambda$

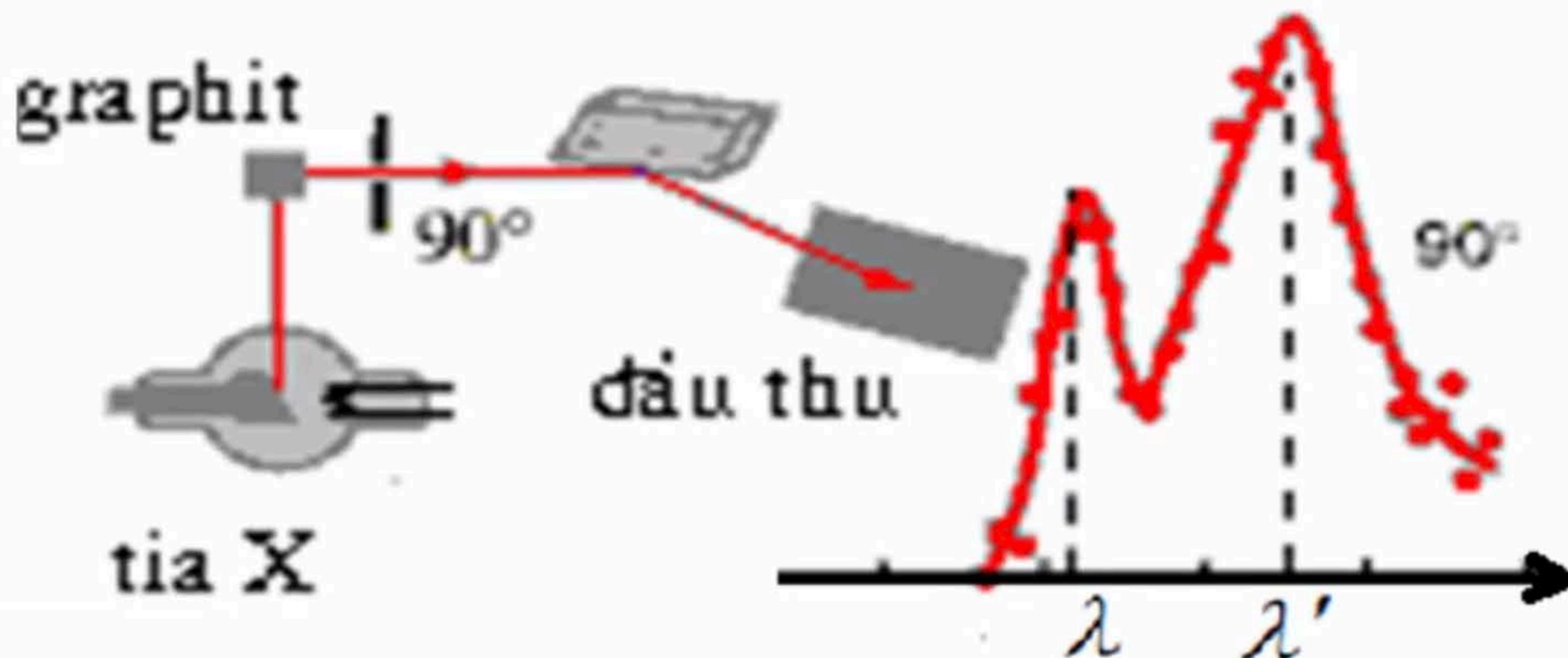
$\lambda'$  không phụ thuộc cấu tạo của các chất được tia X rời đến mà chỉ phụ thuộc vào góc tán xạ

Độ tăng của bước sóng

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

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

## 5. Hiệu ứng Compton

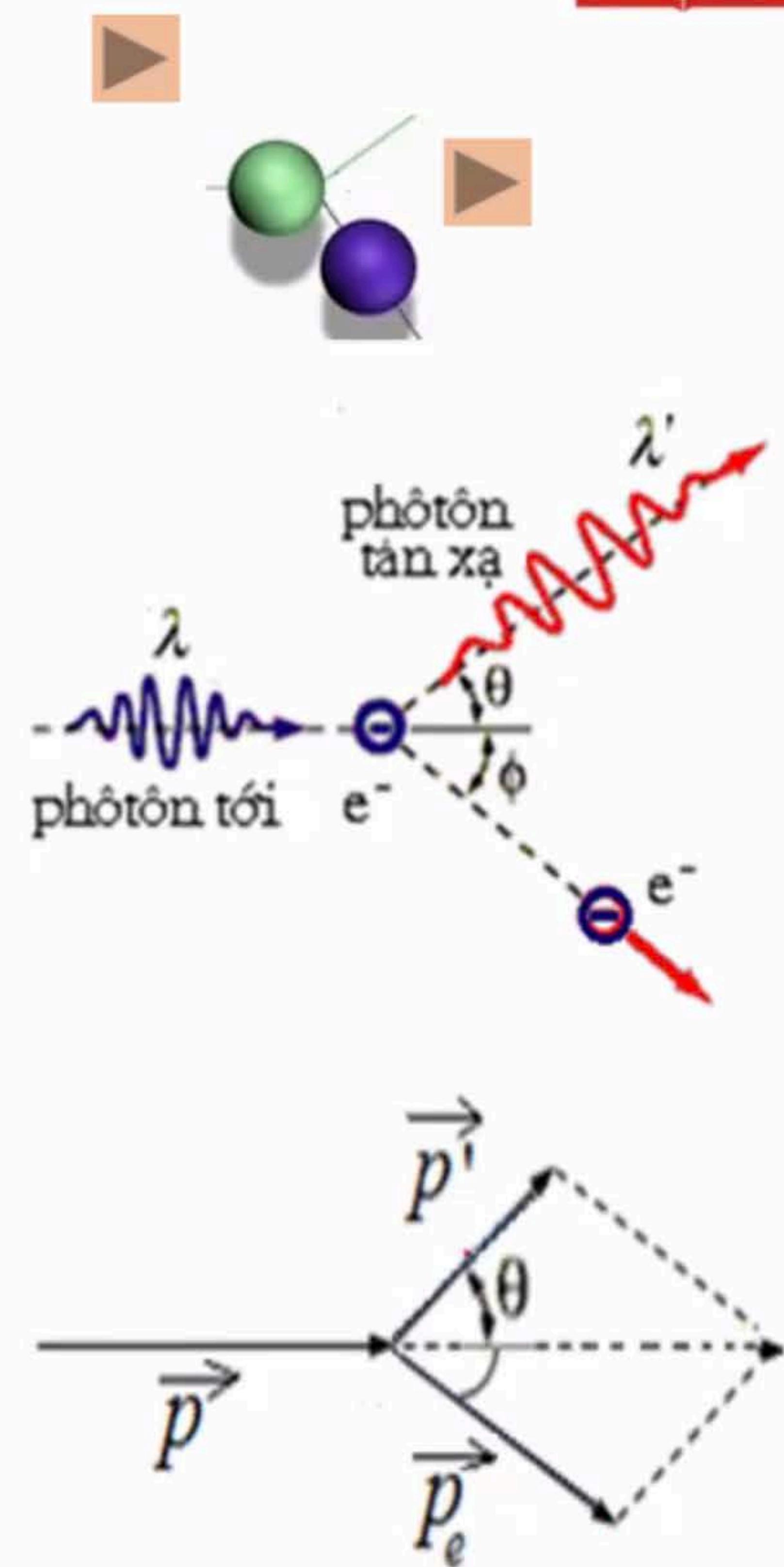


**Giải thích theo quan điểm sóng:** khi tia X truyền đến thanh graphít → các hạt điện tử dao động cưỡng bức với cùng tần số của tia X, ⇒ các bức xạ tán xạ về mọi phương phải có cùng tần số với bức xạ tới. Như vậy lí thuyết sóng điện từ cổ điển không giải thích được hiện tượng Compton.

# 5. Hiệu ứng Compton

## 5.2. Giải thích bằng thuyết lượng tử ánh sáng

<u>Trước va chạm:</u>	e- đứng yên	photon
Năng lượng :	$m_o c^2$	$E = h\nu$
Động lượng :	0	$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$
<u>Sau va chạm:</u>	e-	photon tán xạ
Năng lượng:	$\sqrt{\frac{m_o}{1 - \frac{v^2}{c^2}}} c^2$	$E' = h\nu'$
Động lượng :	$p'_e = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} v$	$p' = \frac{h\nu'}{c} = \frac{h}{\lambda'}$

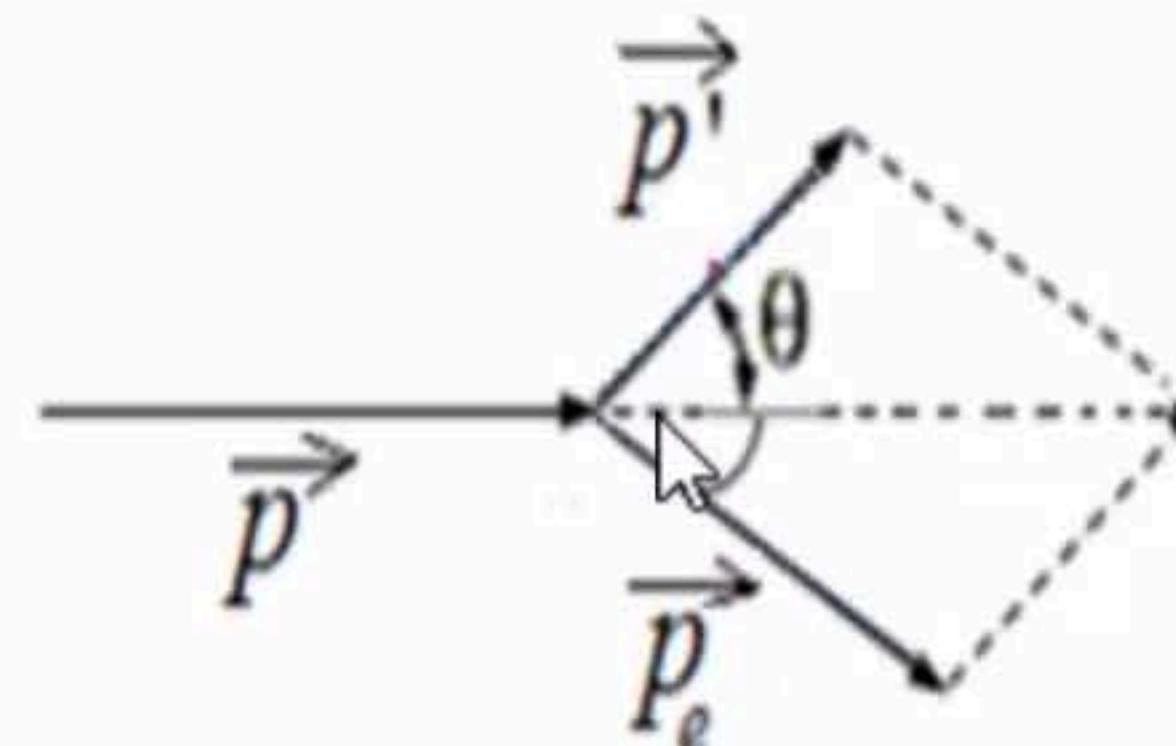


## 5. Hiệu ứng Compton

Theo định luật bảo toàn năng lượng và động lượng:

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

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



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

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

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

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



- 1- Phát biểu thuyết lượng tử của Planck.**
- 2- Phát biểu thuyết phôtôন của Einstein. Vận dụng thuyết phôtôন để giải thích ba định luật quang điện.**
- 3- Trình bày hiệu ứng Compton và viết công thức tán xạ Compton. Trong hiệu ứng này, chùm tia X tán xạ lên electron tự do hay liên kết ?**
- 4- Chứng minh hiệu ứng Compton là một bằng chứng thực nghiệm xác nhận trọng vận tính hạt của ánh sáng.**



## Bài tập

Một thỏi thép đúc có nhiệt độ  $727^{\circ}\text{C}$ . Trong một giây, mỗi  $\text{cm}^2$  của nó bức xạ một lượng năng lượng  $4\text{J}$ . Xác định hệ số hấp thụ của thỏi thép ở nhiệt độ đó, nếu coi rằng hệ số hấp thụ là như nhau đối với mọi bước sóng.

Cho hằng số Stefan – Boltzman  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$



## Bài tập



Một ngôi nhà gạch trát vữa có diện tích mặt ngoài tổng cộng là  $800 \text{ m}^2$ , nhiệt độ của mặt bức xạ là  $27^\circ\text{C}$  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 hằng số Stefan – Boltzman  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ , hằng số Wien  $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$ )



## Bài tập

Dây tóc vônfram trong bóng đèn có đường kính  $d = 0,03\text{ cm}$  và dài  $l = 5\text{ cm}$ . Khi mắc vào mạch điện  $127\text{ V}$ , dòng điện chạy qua đèn có cường độ  $0,31\text{ A}$ . Tìm nhiệt độ của đèn, giả sử ở trạng thái cân bằng nhiệt toàn bộ nhiệt lượng do đèn phát ra đều ở dạng bức xạ. Cho biết tỷ số giữa năng suất phát xạ toàn phần của vônfram với năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ cân bằng của dây tóc đèn bằng  $0,31$ .

(Cho hằng số Stefan – Boltzman  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}\text{ W/m}^2\text{K}^4$ )

$$W' = \frac{P}{S} = \frac{UI}{\pi dl}$$

$$W' = a\sigma T^4 = \frac{UI}{\pi dl}$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{UI}{a\sigma\pi dl}} = 2620\text{ K}$$



## Bài tập

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



## Bài tập



**Trong hiện tượng tán xạ Compton, bức xạ Rögen có bước sóng  $\lambda$  đến tán xạ trên electron tự do. Tìm bước sóng đó, cho biết động năng cực đại của electron bắn ra bằng  $0,19\text{MeV}$ . (Cho  $\lambda_c = 2,426 \cdot 10^{-12}\text{m}$ ;  $h = 6,625 \cdot 10^{-34}\text{J.s}$ )**

---