

Chương 5. Quang lượng tử

- A. Bức xạ nhiệt
- B. Thuyết lượng tử năng lượng
- C. Thuyết quang lượng tử

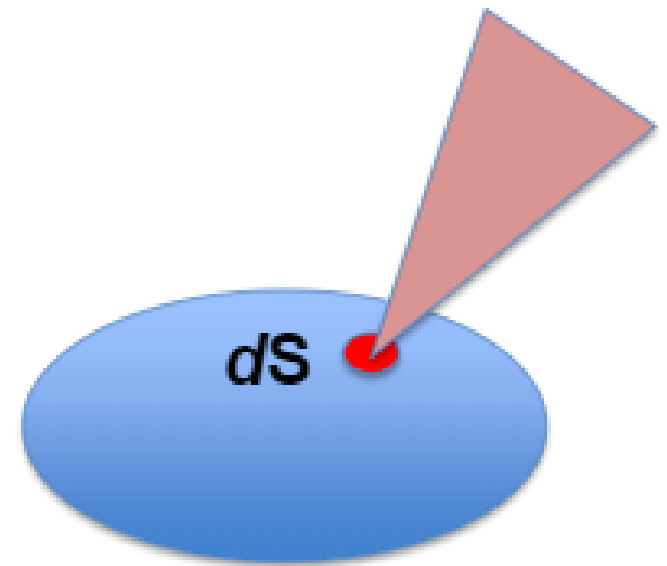
A.1. Khái niệm bức xạ nhiệt

- *Bức xạ nhiệt* – bức xạ vật phát ra khi bị nung nóng.
- Đặc điểm:
 1. BXN là bức xạ có thể đạt trạng thái cân bằng: năng lượng hấp thụ = năng lượng phát xạ.
 2. BXN xảy ra ở mọi nhiệt độ trừ OK.
 3. Vật phát ra BXN – dải các bức xạ nhiều tần số khác nhau.

A.2. Các đại lượng đặc trưng

- *Năng suất phát xạ đơn sắc* – năng lượng do một đơn vị diện tích bề mặt vật phát xạ phát ra trong 1 đơn vị thời gian ứng với dải sóng nhất định: $\lambda \rightarrow \lambda + d\lambda$.

$$r_{\lambda,T} = \frac{dE}{dS \cdot dt \cdot d\lambda} = \frac{dP}{dS \cdot d\lambda}$$



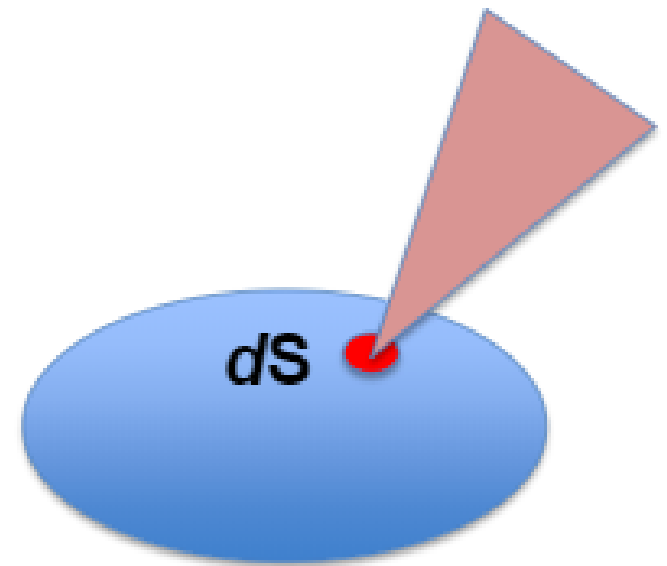
- Đơn vị: W/m^3 .

A.2. Các đại lượng đặc trưng

- *Năng suất phát xạ toàn phần* – năng lượng do một đơn vị diện tích phát ra trong 1 đơn vị thời gian ứng với mọi bước sóng.

$$R_T = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda$$

- Đơn vị: W/m^2 .
- R_T – công suất phát xạ của 1 đơn vị diện tích.



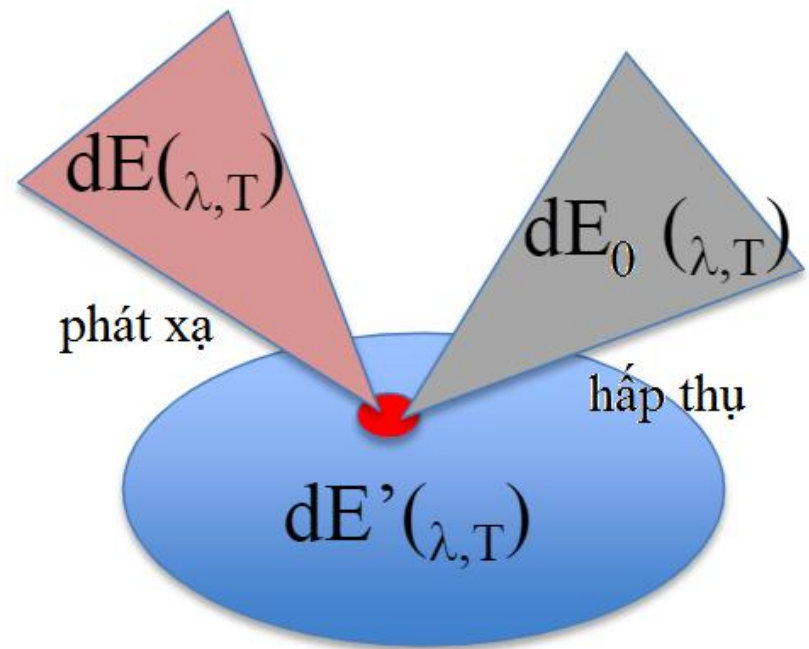
A.2. Các đại lượng đặc trưng

- *Hệ số hấp thụ đơn sắc* – tỉ số giữa năng lượng vật hấp thụ được và năng lượng cung cấp ứng với 1 dải bước sóng xác định

$$a_{\lambda,T} = \frac{dE'_{\lambda,T}}{dE_{0\lambda,T}} \leq 1$$

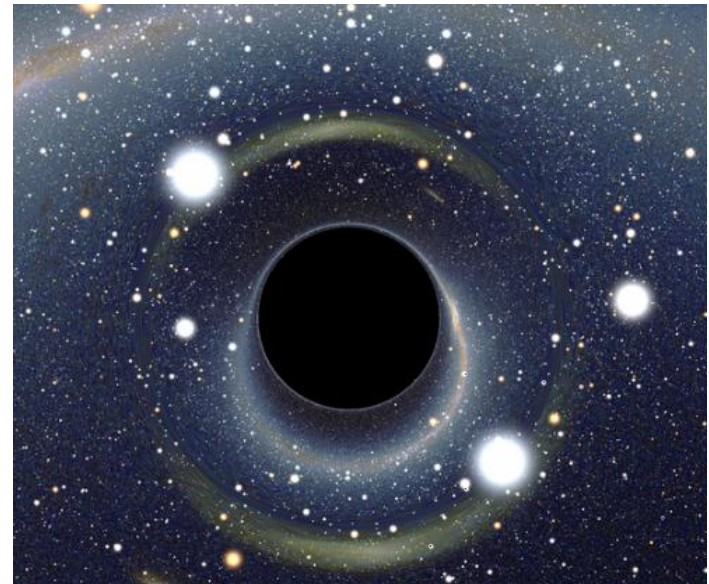
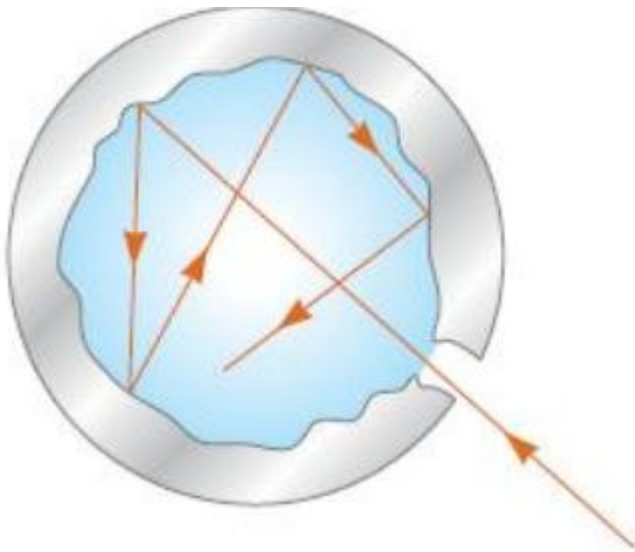
- Vật đen tuyệt đối:

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



A.2. Các đại lượng đặc trưng

- *Vật đen tuyệt đối (VĐTĐ)* – hấp thụ hoàn toàn tất cả các bức xạ điện từ chiếu đến nó.
- Trên thực tế, ko tồn tại VĐTĐ.
- Vật gần đúng VĐTĐ – lỗ đen.

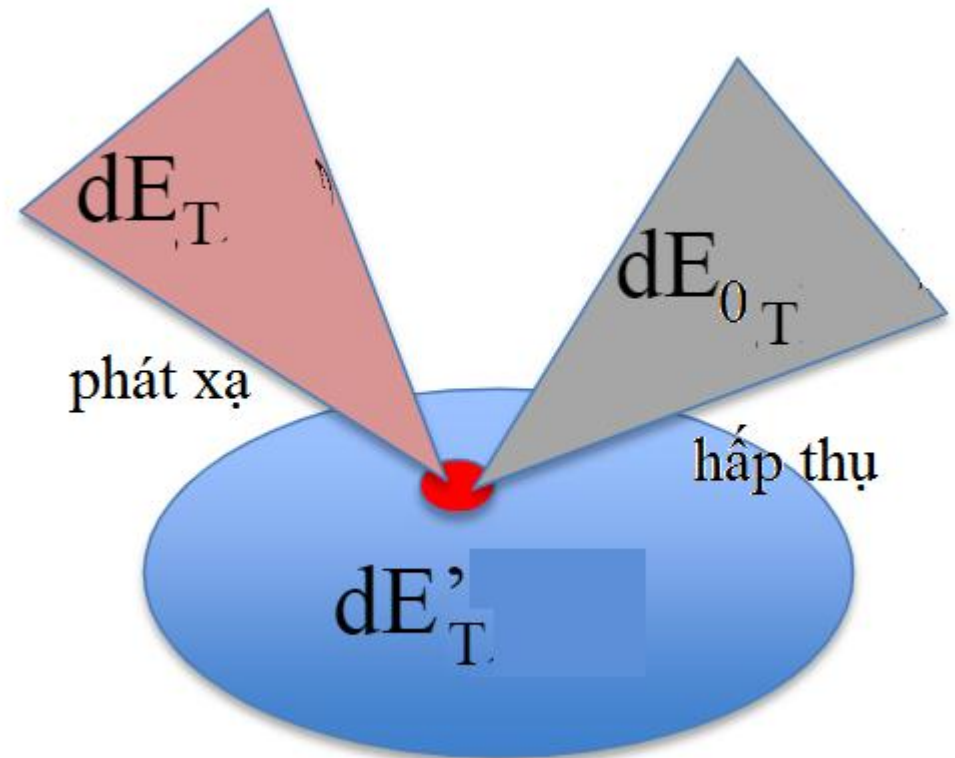


A.2. Các đại lượng đặc trưng

- *Hệ số hấp thụ toàn phần* – tỉ số giữa năng lượng vật hấp thụ được và năng lượng cung cấp ứng với toàn bộ bước sóng.

$$a_T = \frac{dE'_T}{dE_{0T}} \leq 1$$

- a_T càng lớn, năng lượng vật hấp thụ được càng nhiều.



A.3. Định luật Kirchhoff

- «Tỷ số giữa năng suất phát xạ đơn sắc và hệ số hấp thụ đơn sắc của 1 vật bất kỳ ở trạng thái bức xạ nhiệt cân bằng không phụ thuộc vào bản chất của vật đó, mà chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ bước sóng chùm đang xét.»

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

- Vật đen tuyệt đối: $a_{\lambda,T} = 1$

$r_{\lambda,T} = \varepsilon_{\lambda,T}$ – năng suất phát xạ của vật đen tuyệt đối:

A.3. Định luật Kirchhoff

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

- Nhận xét:

- ✓ $a_{\lambda,T} < 1 \rightarrow r_{\lambda,T} < \varepsilon_{\lambda,T}$

→ Năng suất bức xạ của 1 vật bất kỳ (không đen) luôn nhỏ hơn của VĐTĐ ở cùng nhiệt độ và bước sóng.

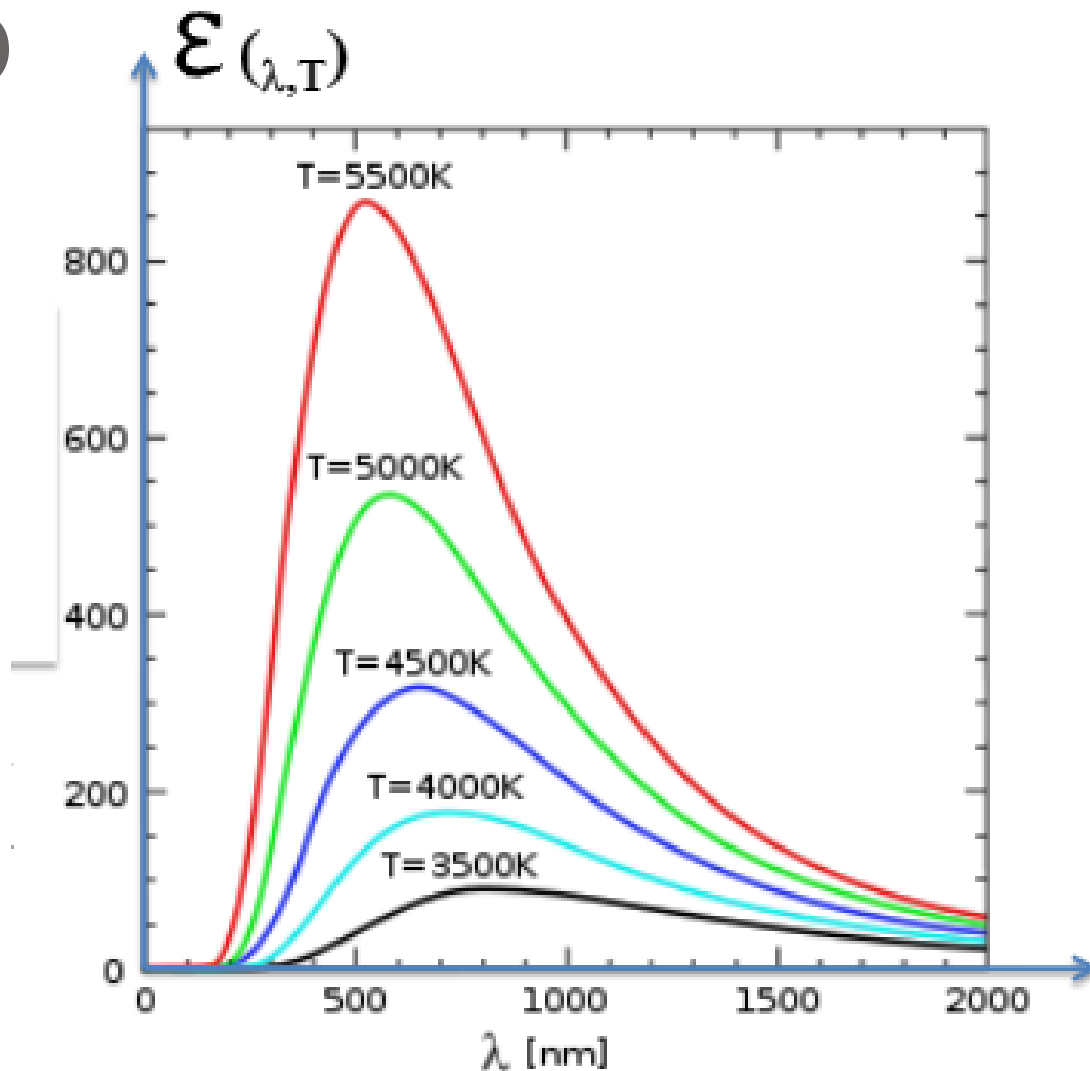
- ✓ $r_{\lambda,T} \neq 0 \rightarrow a_{\lambda,T} \neq 0$

→ Vật phát xạ bức xạ nào thì phải hấp thụ bức xạ ấy.

A.4. Đường cong thực nghiệm về BXN của VĐTĐ

$$\varepsilon_T = \int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda,T} d\lambda$$

→ ε_T là diện tích giới hạn bởi đường cong ε_T trên đồ thị.



→ Nhiệt độ tăng, ε_T tăng.

A.5. Định luật Stefan-Boltzmann

$$\varepsilon_T = \sigma T^4$$

$\sigma = 5,67.10^{-8} W / m^2.K$ – hằng số Stefan-Boltzmann.

→ «Năng suất phát xạ toàn phần của VĐTĐ tỉ lệ thuận với lũy thừa bậc 4 của nhiệt độ.»

A.5. Định luật Stefan-Boltzmann

Ví dụ: Dây tóc Vonfram của bóng đèn có đường kính 0,3mm và độ dài 5cm. Khi mắc đèn vào mạch điện 127V thì dòng điện chạy qua bóng đèn 0,31A. Biết hệ số hấp thụ của Vonfram là 0,31. Tìm nhiệt độ của đèn, giả sử rằng, ở trạng thái cân bằng, tất cả nhiệt độ do đèn phát ra đều ở dạng bức xạ.

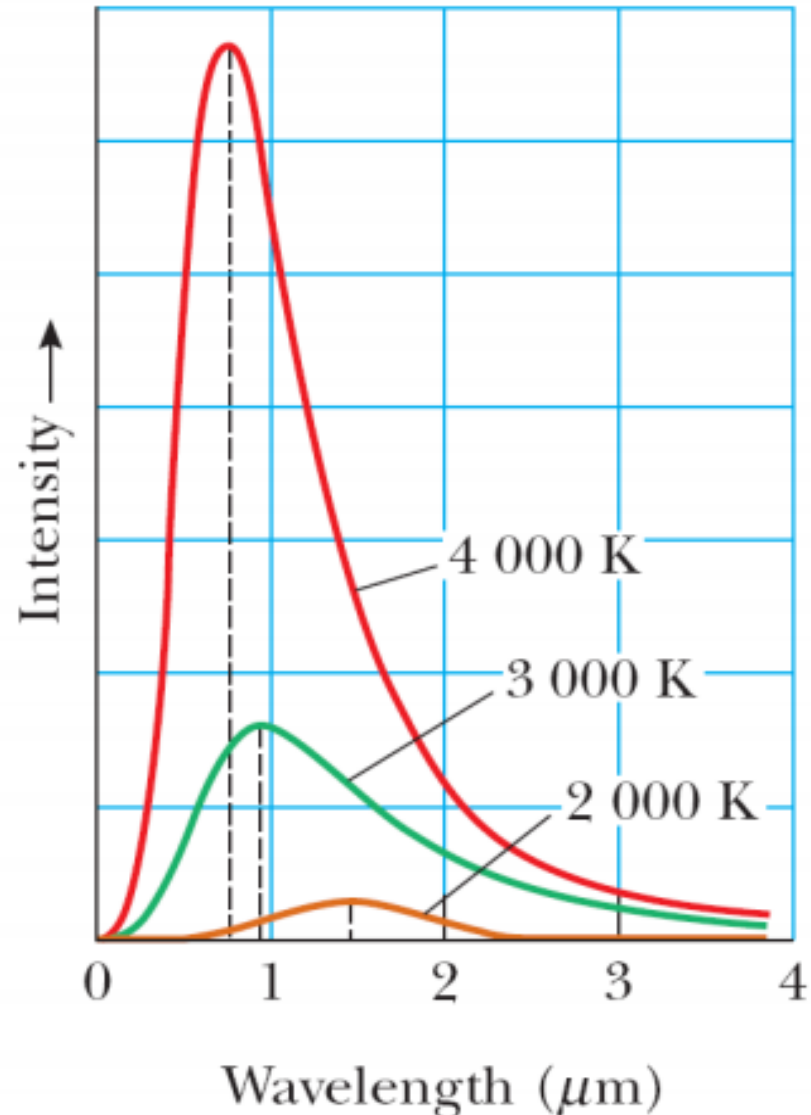
A.6. Định luật Wien

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

$$b = 2,897.10^{-3} m.K$$

– hằng số Wien

→ «Khi nhiệt độ tăng, giá trị λ_m dịch chuyển về phía bước sóng ngắn.»



A.6. Định luật Wien

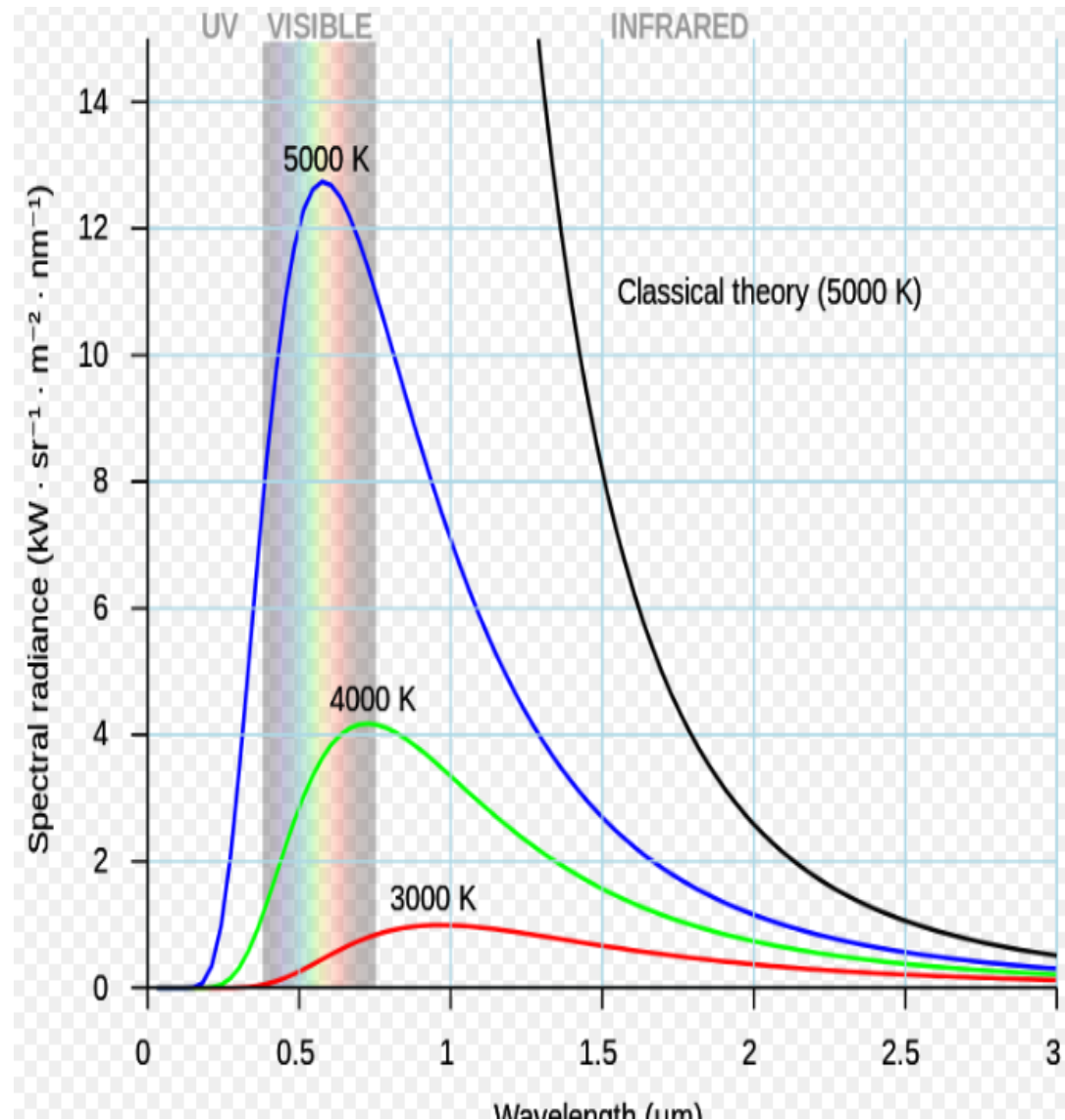
Ví dụ: Tìm bước sóng ứng với năng suất phát xạ cực đại của VĐTĐ có nhiệt độ bằng nhiệt độ:

- a. Cơ thể người.
- b. Dây tóc bóng đèn $T = 3000\text{K}$.
- c. Vỏ mặt trời $T = 6000\text{K}$.
- d. Bom nguyên tử $T = 10^7\text{K}$.

A.7. Công thức Rayleigh-Jeans

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

→ Với $T = \text{const}$,
 $\varepsilon_{\lambda,T}$ giảm theo
bước sóng →
khủng hoảng
vùng tử ngoại.



A.7. Công thức Rayleigh-Jeans

$$r_{\lambda,T} = \frac{dR_T}{d\lambda} = \frac{dR_T}{d\nu} \left| \frac{d\nu}{d\lambda} \right| = r_{\nu,T} \frac{c}{\lambda^2}$$

- Năng suất phát xạ đơn sắc của VĐTĐ viết theo ν

$$\varepsilon_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT$$

$$\varepsilon_T = \int_0^{\infty} \varepsilon_{\nu,T} d\nu = \frac{2\pi}{c^2} kT \int_0^{\infty} \nu^2 d\nu = \infty$$

→ mâu thuẫn định luật Stefan-Boltzmann.

B. Thuyết lượng tử năng lượng Planck

- *Các nguyên tử và phân tử phát xạ và hấp thụ năng lượng 1 cách gián đoạn, nghĩa là, năng lượng hấp thụ hay phát xạ bằng số nguyên lần một năng lượng nhỏ xác định ε , gọi là lượng tử năng lượng:*

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

$h = 6,625.10^{-34} Js$ – hằng số Planck

B. Thuyết lượng tử năng lượng Planck

- *Công thức Planck về BNXN:*

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

- Khi λ lớn: $e^{h\nu/kT} - 1 = \frac{h\nu}{kT}$

$$\varepsilon_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT \quad - \quad \text{công thức Rayleigh-Jeans ở vùng bước sóng lớn.}$$

B. Thuyết lượng tử năng lượng Planck

- Công thức Planck về BNXN:

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

- Đặt: $x = h\nu / kT$

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

– công thức Stefan-Boltzmann.

→ Thuyết Planck giải thích thành công BNXN.

C.1. Thuyết quang lượng tử

- *Nội dung thuyết quang lượng tử:*

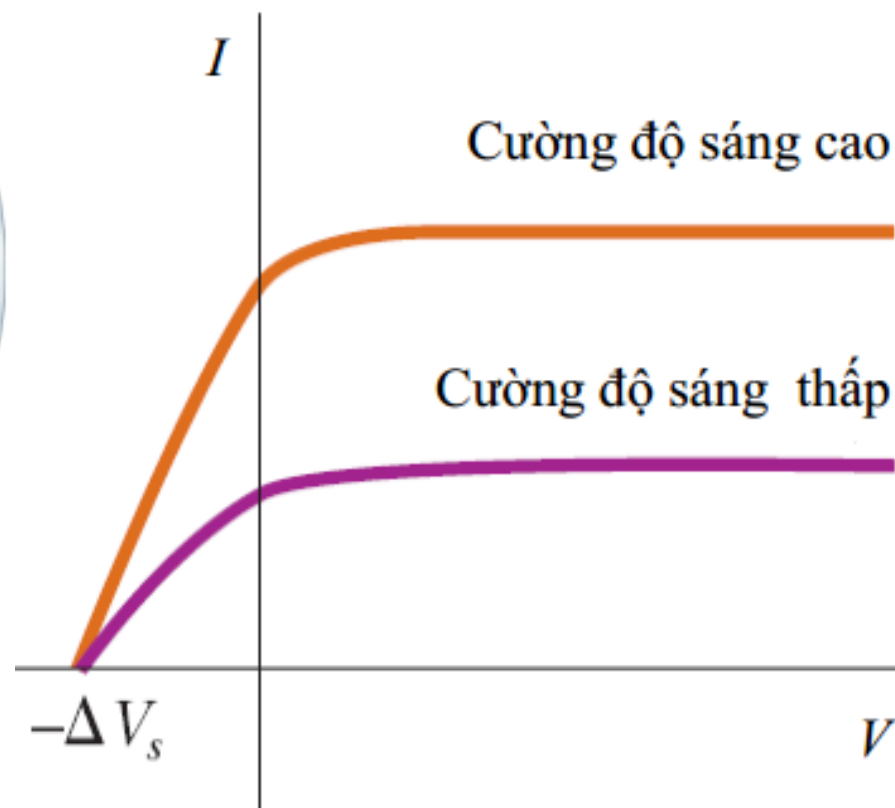
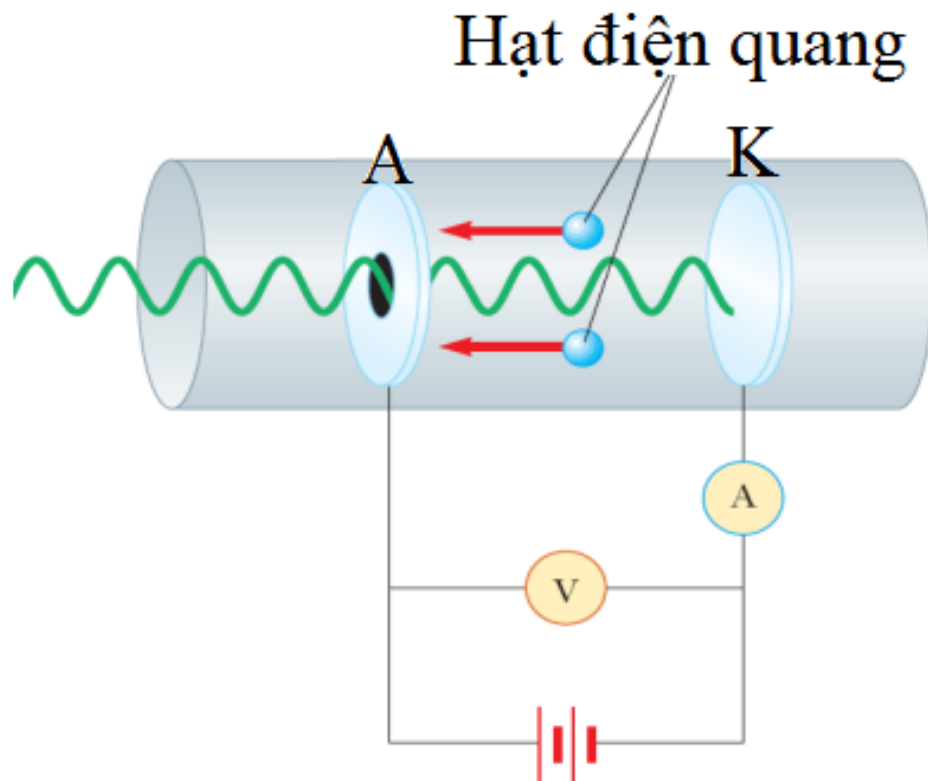
1. Ánh sáng gồm những hạt rất nhỏ, gọi là photon. Mỗi photon có 1 năng lượng xác định: $\varepsilon = h\nu$.

2. Trong chân không cũng như trong mọi môi trường khác, photon đi với cùng vận tốc xác định $c = 3.10^8 m/s$.

3. Cường độ chùm sáng tỉ lệ số photon phát ra từ nguồn sáng trong 1 đơn vị thời gian.

C.2. Hiện tượng quang điện

- Hiện tượng quang điện:*



K – Katot, A – Anot.

C.2. Hiện tượng quang điện

- *Nhận xét:*

1. Khi $V=0$, vẫn có dòng điện I chạy qua mạch, chứng tỏ, các quang electron sau khi bị bắn ra khỏi cực đã có sẵn động năng: $mv_0^2 / 2$.
2. Khi tăng V , I tăng. Nhưng nó chỉ tăng đến 1 giá trị xác định: cường độ dòng điện bão hòa.
3. Khi đảo chiều nguồn điện, sẽ có giá trị I bị triệt tiêu, khi đó: $eV_s = mv_{0\max}^2 / 2$
4. Cường độ dòng quang điện tỉ lệ thuận cường độ sáng chiếu đến 2 bản cực.

C.2. Hiện tượng quang điện

- *Giải thích:*

1. Công để electron thoát ra khỏi hạt nhân: A .
2. Điều kiện thường, động năng chuyển động của các electron $< A$
3. Khi chiếu ánh sáng đến, các electron hấp thụ năng lượng của photon: $h\nu$ vào 2 mục đích chính:
 - Thoát ra khỏi hạt nhân
 - Phần còn lại chuyển thành động năng ban đầu.

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = A + mv_0^2 / 2 \quad \text{– pt Einstein về ht quang điện}$$

C.2. Hiện tượng quang điện

- *Giải thích:*

4. Điều kiện xảy ra hiện tượng quang điện:

$$h\nu \geq A \rightarrow \nu \geq \frac{A}{h} = \nu_0 \rightarrow \lambda_0 = \frac{hc}{A}$$

– giới hạn quang điện

5. Dòng quang điện bão hòa: tất cả số quang electron được giải phóng khỏi K đều về A.

C.2. Hiện tượng quang điện

- *Giải thích:*

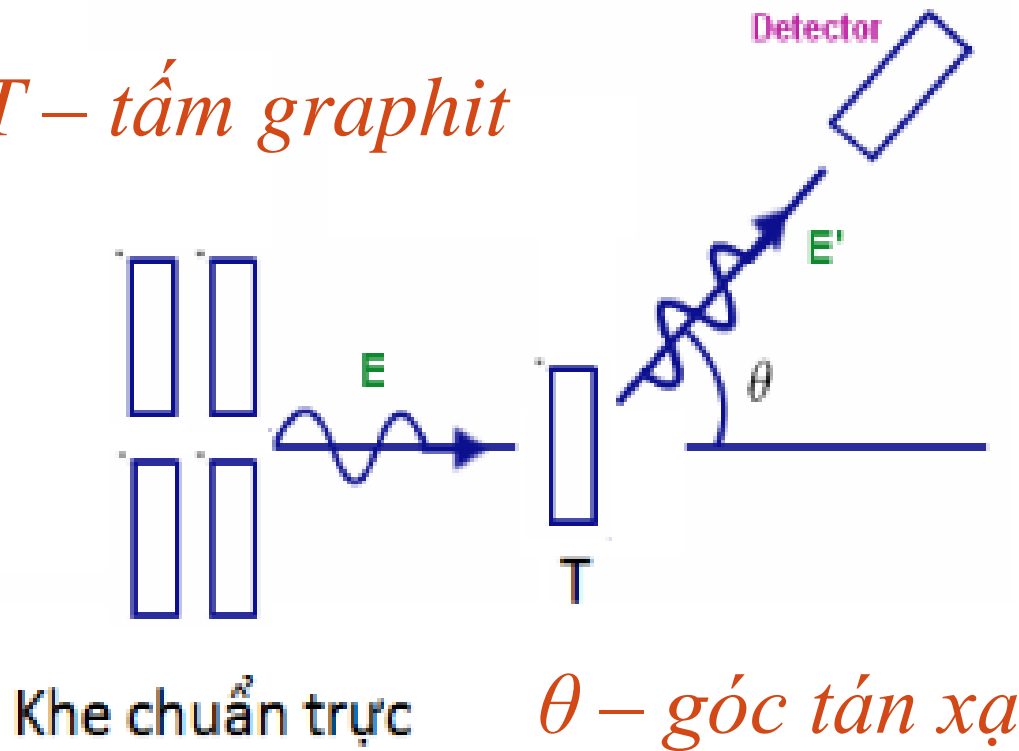
6. Số electron được giải phóng ra khỏi K trong 1 đơn vị thời gian tỉ lệ với số photon chiếu đến K trong 1 đơn vị thời gian $\rightarrow I_{bh}$ phụ thuộc cường độ chiếu sáng.

7. Động năng ban đầu của quang electron chỉ phụ thuộc tần số sóng chiếu tới, không phụ thuộc cường độ chiếu sáng.

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = h\nu - h\nu_0$$

C.3. Hiệu ứng Compton

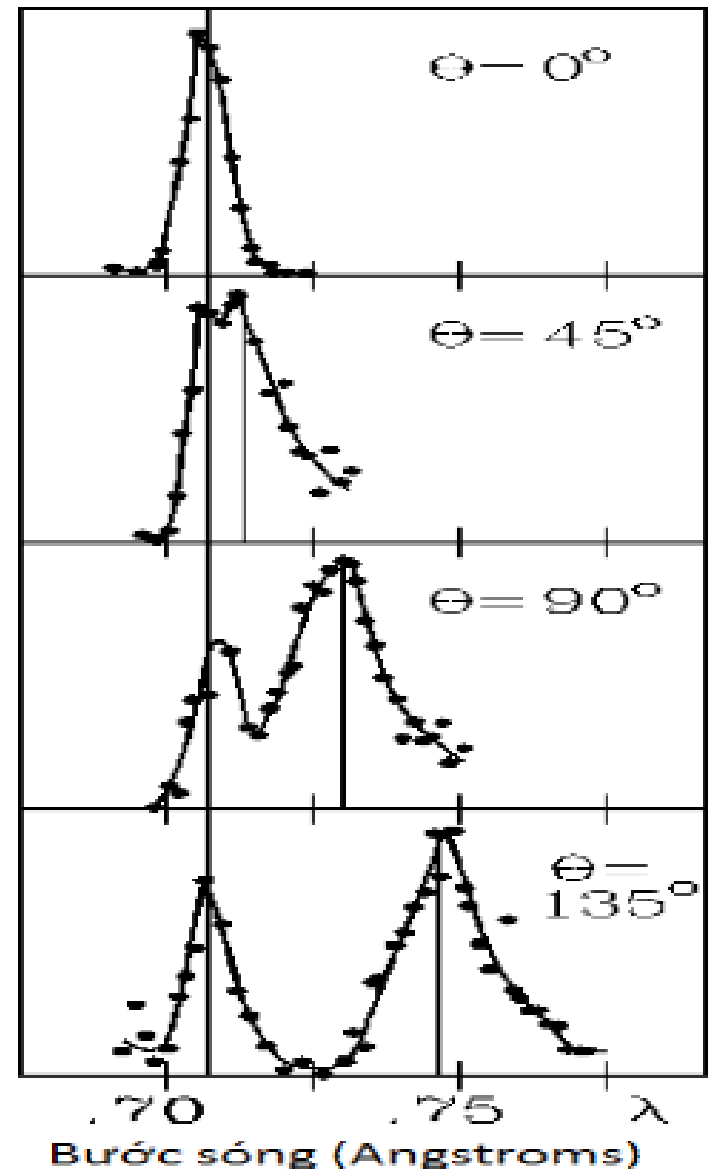
T – tấm graphit



Khe chuẩn trực

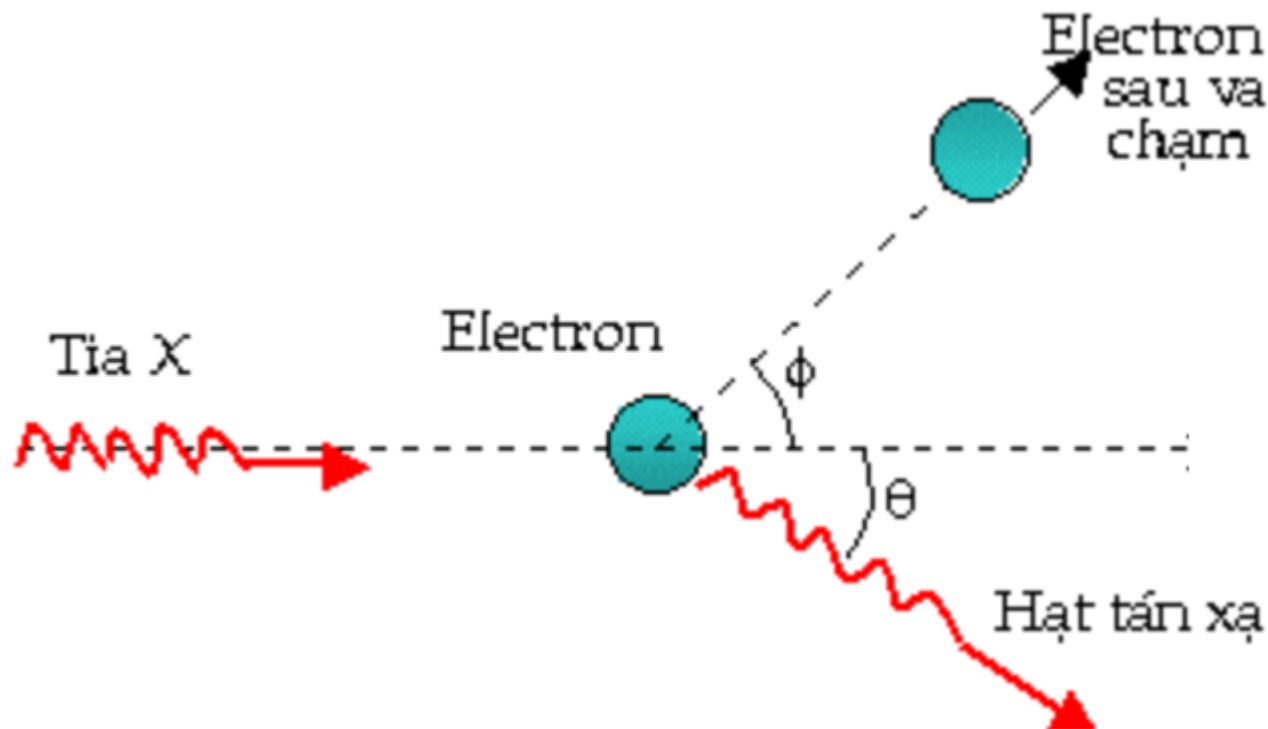
θ – góc tán xạ

*Không thể giải thích nếu
xem ánh sáng là sóng*



C.3. Hiệu ứng Compton

- *Giải thích:* Nếu xem ánh sáng là hạt, hiệu ứng Compton được giải thích như sự va chạm đàn hồi giữa các photon chiếu tới và các electron (được xem là tự do) trên bề mặt tấm bia graphit.



C.3. Hiệu ứng Compton

- Định luật bảo toàn năng lượng:

$$\frac{hc}{\lambda} + m_0c^2 = \frac{hc}{\lambda'} + mc^2$$

- Định luật bảo toàn động lượng:

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

- Với: $p_\lambda = \frac{h}{\lambda}$; $p_{\lambda'} = \frac{h}{\lambda'}$; $p_e = mv$

- Tìm độ dịch chuyển bước sóng: $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ $p_e^2 =$

C.3. Hiệu ứng Compton

- Định luật bảo toàn năng lượng:

$$\lambda' - \lambda = \frac{2h}{m_{0e}c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

- Đặt: $\lambda_c = \frac{2h}{m_{0e}c} = 2,426.10^{-12} m$

– bước sóng Compton

- Độ dịch chuyển bước sóng:

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

C.3. Hiệu ứng Compton

- Ví dụ: Biết rằng trong hiệu ứng Compton, năng lượng của tới gấp đôi động năng của electron bay ra, còn góc hợp bởi hướng bay ra của electron và photon tán xạ bằng 90° .
Tìm góc tán xạ?