

LƯỢNG TỬ ÁNH SÁNG

6.1. HIỆN TƯỢNG QUANG ĐIỆN

Tình huống 1: Khi gặp bài toán liên quan đến sự truyền photon thì làm thế nào?

Giải pháp:

$$\text{Năng lượng photon: } \varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Gọi N là số photon chiếu vào hay phát ra trong 1 giây thì công suất của chùm

$$\text{sáng: } P = N\varepsilon \Rightarrow N = \frac{P}{\varepsilon} = \frac{P}{hf} = \frac{P\lambda}{hc}$$

Chú ý:

1) Trong công thức $\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$, với λ là bước sóng ánh sáng đơn sắc trong chân không.

2) Nếu cho bước sóng truyền trong môi trường có chiết suất n là λ' thì $\lambda = n\lambda'$.

3) Nếu nguồn sáng phát ra từ O với công suất P (số photon phát ra trong 1 giây là $N = P/\varepsilon$) phân bố đều theo mọi hướng thì số photon đập vào diện tích S đặt cách O một

khoảng R là $n = \frac{N}{4\pi R^2} S$. Nếu S có dạng hình tròn bán

kính r hoặc đường kính d thì $S = \pi r^2 = \pi^2/4$.

4) Cường độ sáng (I – đơn vị W/m^2) là năng lượng được ánh sáng truyền trong một đơn vị thời gian qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền:

$$I = \frac{A(J)}{S(m^2)t(s)} = \frac{P}{S} \Leftrightarrow P = IS \Leftrightarrow N\varepsilon = IS$$

Tình huống 2: Khi gặp bài toán liên quan đến điều kiện để xảy ra hiện tượng quang điện thì làm thế nào?

Giải pháp:

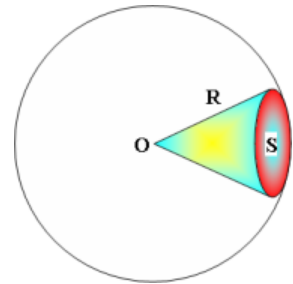
Để xảy ra hiện tượng quang điện thì $\lambda \leq \lambda_0 \Leftrightarrow \varepsilon \geq A$

$$\begin{cases} \varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda} \\ \lambda_0 = \frac{hc}{A} \end{cases} \quad \left| \begin{array}{l} hc = 19,875 \cdot 10^{-26} (Jm) \end{array} \right.$$

Ví dụ minh họa: (CĐ 2007): Công thoát electron (electron) ra khỏi một kim loại là $A = 1,88 \text{ eV}$. Biết hằng số Planck $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$, vận tốc ánh sáng trong chân không $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ và $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Giới hạn quang điện của kim loại đó là

- A. $0,33 \mu\text{m}$. B. $0,22 \mu\text{m}$. C. $0,66 \cdot 10^{-19} \mu\text{m}$. **D. $0,66 \mu\text{m}$.**

Hướng dẫn



Cách 1: $\lambda_0 = \frac{hc}{A} = \frac{19,875 \cdot 10^{-26}}{1,88 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,66 \cdot 10^{-6} (m) \Rightarrow$ Chọn D.

Cách 2: Ta có công thức $\lambda_0 = \frac{hc}{A} = \frac{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{A(eV) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = \frac{1,242 \cdot 10^{-6}}{A(eV)} = \boxed{\frac{1,242}{A(eV)} (\mu m)}$

$\Rightarrow \lambda_0 = \frac{1,242}{1,88} = 0,66 (\mu m)$

Ví dụ minh họa: (ĐH-2012) Biết công thoát electron của các kim loại: canxi, kali, bạc và đồng lần lượt là: 2,89 eV; 2,26 eV; 4,78 eV và 4,14 eV. Chiều ánh sáng có bước sóng 0,33 μm vào bề mặt các kim loại trên. Hiện tượng quang điện **không** xảy ra với các kim loại nào sau đây?

- A. Kali và đồng. B. Canxi và bạc. **C. Bạc và đồng.** D. Kali và canxi.

Hướng dẫn

$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda} = \frac{19,875 \cdot 10^{-26}}{0,33 \cdot 10^{-6}} \times \frac{1eV}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 3,76 (eV) > A_{Ca} > A_K$: Gây ra hiện tượng quang điện cho Ca, K và không gây hiện tượng quang điện cho Bạc và Đồng \Rightarrow Chọn C.

Tình huống 3: Khi gặp bài toán liên quan đến công thức Anhxtanh thì làm thế nào?

Giải pháp:

♣ Công thức Anhxtanh: $\varepsilon = A + W_{0d}$ với $W_{0d} = |eU_h| = \frac{mv_{0max}^2}{2}$

Cường độ dòng quang điện bão hoà: $I_{bh} = n|e|$ (n là số electron bị bứt ra trong 1 giây).

♣ Vì chương trình cơ bản không học công thức Anhxtanh nên muốn ra đề dạng bài toán này thì phải kèm theo giả thiết “năng lượng photon = công thoát + động năng ban đầu cực đại của electron” hay “động năng ban đầu cực đại của electron = năng lượng photon - công thoát”

Ví dụ minh họa: (CĐ - 2013) Chiều bức xạ có tần số f vào một kim loại có công thoát A gây ra hiện tượng quang điện. Giả sử một electron hấp thụ photon sử dụng một phần năng lượng làm công thoát, phần còn lại biến thành động năng K của nó. Nếu tần số của bức xạ chiếu tới là 2f thì động năng của electron quang điện đó là

- A. 2K - A. B. K - A. C. K + A. **D. 2K + A.**

Hướng dẫn

$\begin{cases} hf = A + K \\ 2hf = A + K' \end{cases} \Rightarrow K' = 2hf - A = 2(A + K) - A = 2K + A \Rightarrow$ Chọn D.

Chú ý:

- 1) Khi dòng quang điện bắt đầu triệt tiêu thì $U_{AK} = -|U_h|$.
- 2) Khi chiếu đồng thời nhiều bức xạ thì ta chỉ cần tính với photon có năng lượng lớn nhất.
- 3) Catốt là nơi photon chiếu vào làm bứt electron và anốt là nơi electron có thể đến.

4) Dựa vào công thức Anhtan có thể xây dựng các thí nghiệm để xác định lại các hằng số cơ bản như $m_e, h, c, A, \lambda_0, e, U_h$.

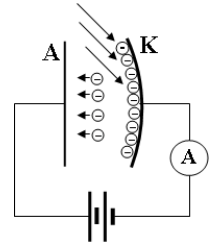
$$\begin{cases} \varepsilon_1 = hf_1 = \frac{hc}{\lambda_1} = A + \frac{mv_1^2}{2} = A + |eU_{h1}| \\ \varepsilon_2 = hf_2 = \frac{hc}{\lambda_2} = A + \frac{mv_2^2}{2} = A + |eU_{h2}| \end{cases}$$

Tình huống 4: Khi gặp bài toán về tế bào quang điện thì làm thế nào?

Giải pháp:

♣ Gọi N, n và n' lần lượt là số photon chiếu vào K trong 1 s, số electron bứt ra khỏi K trong 1 s và số electron đến A trong s:

$$\begin{cases} P = N \cdot \varepsilon = N \cdot \frac{hc}{\lambda} \\ I_{bh} = n|e| \\ I = n'|e| \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} H = \frac{n}{N} \\ h = \frac{n'}{n} \end{cases} \Rightarrow hH = \frac{n'}{N}$$



Trong đó, H gọi là hiệu suất lượng tử và h là phần trăm electron đến được A.

♣ Vì chương trình cơ bản không học tế bào quang điện nên khi ra đề dạng bài toán này thì người ra đề thường thay thế cụm từ “tế bào quang điện” bằng cụm từ “hai điện cực kim loại A và K đặt trong chân không được nối kín bằng nguồn điện 1 chiều, chùm sáng chiếu vào K làm bứt electron, các electron bay về phía A”.

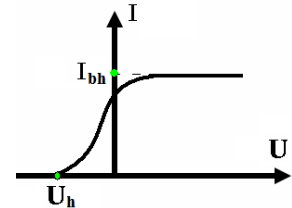
Chú ý:

1) Động năng cực đại khi electron đập vào A là $W_A = (\varepsilon - A) + |e|U_{AK}$ (nếu $W_A < 0$ thì electron không đến được A). Suy ra, tốc độ cực đại khi electron đập vào A là

$$\frac{mv_A^2}{2} = W_A = (\varepsilon - A) + |e|U_{AK} \Rightarrow v_A = \sqrt{\frac{2}{m}(\varepsilon - A + |e|U_{AK})}$$

2) Từ đường đặc trưng Vôn-Ămpe ta xác định được: hiệu điện thế hãm $|U_h|$ và cường độ dòng quang điện bão hoà I_{bh} .

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda} = A + W_{od} = A + |eU_h| \Rightarrow \begin{cases} \lambda = \frac{hc}{\varepsilon} \\ P = N\varepsilon = \frac{n}{H}\varepsilon = \frac{I_{bh}}{|e|H}\varepsilon \end{cases}$$



Tình huống 5: Khi gặp bài toán liên quan đến điện thế cực đại của vật dẫn trung hoà đặt cô lập thì làm thế nào?

Giải pháp:

Khi các photon có bước sóng thích hợp ($\lambda \leq \lambda_0$) chiếu vào điện cực làm bứt các electron ra điện cực và điện cực tích điện dương, do đó điện cực hút các electron quang điện (làm cản trở chuyển động của các electron quang điện). Càng mất nhiều

electron, điện tích và do đó điện thế của điện cực càng tăng, lực cản trở lên chuyển động của các electron càng lớn.

Khi điện thế của điện cực đạt giá trị cực đại V_{\max} thì trong cùng một đơn vị thời gian có bao nhiêu electron bứt ra khỏi bề mặt do photon cung cấp năng lượng thì có bấy nhiêu electron bị điện cực tích điện dương hút về, và điện thế của điện cực không tăng nữa. Lúc này động năng ban đầu cực đại của electron quang điện bằng thế

$$\text{năng của điện trường, tức là: } |e|V_{\max} = W_{od} = \frac{mv_{0\max}^2}{2} = \varepsilon - A = |eU_h| \Rightarrow V_{\max} = |U_h|$$

Điện lượng cực đại của vật: $Q_{\max} = CV_{\max}$.

Khi nối vật với đất bằng dây dẫn có điện trở R thì dòng điện cực đại chạy qua: $I_{\max} = V_{\max}/R$.

Điện lượng cực đại chạy qua điện trở sau thời gian t : $q_{\max} = I_{\max}t$.

Tình huống 6: Khi gặp bài toán liên quan quãng đường đi được tối đa trong điện trường cản thì làm thế nào?

Giải pháp:

Sau khi bứt ra khỏi bề mặt điện cực electron có một động năng ban đầu cực đại W_{od} , nhờ có động năng này mà electron tiếp tục chuyển động. Khi đi trong điện trường cản thì electron mất dần động năng và electron chỉ dừng lại khi mất hết động năng (sau khi đi được quãng đường S).

Động năng cực đại ban đầu của electron $(\varepsilon - A) =$ công của điện trường cản

$$(A_c = F_c S = |e|E_c S), \text{ tức là: } S = \frac{\varepsilon - A}{|e|E_c} = \frac{|U_h|}{E_c}.$$

Bây giờ, ta nhớ lại $V_{\max} = |U_h|$ và $S = |U_h|/E_c$. Viết chung một công thức:

$$\varepsilon = A + |eU_{\max}| = A + |e|V_{\max} = A + |e|E_c S$$

Ví dụ minh họa 1: Một điện cực phẳng làm bằng kim loại có công thoát $3,2 \cdot 10^{-19}$ (J) được chiếu bởi bức xạ photon có năng lượng $4,8 \cdot 10^{-19}$ (J). Cho điện tích của electron là $-1,6 \cdot 10^{-19}$ (C). Hỏi electron quang điện có thể rời xa bề mặt một khoảng tối đa bao nhiêu nếu bên ngoài điện cực có một điện trường cản là 5 (V/m).

Hướng dẫn

$$\varepsilon = A + W_{od} = A + |e|E_c S \Rightarrow S = \frac{\varepsilon - A}{|eE_{can}|} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5} = 0,2(m)$$

Tình huống 7: Khi gặp bài toán chuyển động trong từ trường đều theo phương vuông góc thì làm thế nào?

Giải pháp:

Chùm hẹp các electron quang điện có tốc độ v_0 và hướng nó vào một từ trường đều có cảm ứng từ B theo hướng vuông góc với từ trường thì lực Lorenx đóng vai trò lực hướng tâm làm cho hạt chuyển động tròn đều: $|e|v_0 B = \frac{mv_0^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv_0}{|e|B}$.

Tình huống 8: Khi gặp bài toán chuyển động trong điện trường thì làm thế nào?

Giải pháp:

Electron chuyển động trong điện trường đều từ M đến N:

$$W_N = W_M + |e|U_{NM} \Leftrightarrow \frac{mv_N^2}{2} = \frac{mv_M^2}{2} + |e|U_{NM}$$

Để dễ nhớ công thức trên ta có thể thay M là K và N là A trong công thức:

$$W_A = W_K + |e|U_{AK}$$

Electron chuyển động biến đổi đều dọc theo đường sức, với vận tốc ban đầu v_0

và gia tốc có độ lớn: $a = \frac{eE}{m} = \frac{eU}{md}$.

*Nếu electron chuyển động cùng hướng với đường sức thì lực điện cản trở chuyển động nên nó chuyển động chậm dần đều.

Quãng đường đi được: $S = v_0t - \frac{1}{2}at^2$.

Vận tốc tại thời điểm t:
$$\begin{cases} v = v_0 - at \\ v = \sqrt{v_0^2 - 2aS} \end{cases}$$

*Nếu electron chuyển động ngược hướng với đường sức thì lực điện cùng chiều với chiều chuyển động nên nó chuyển động nhanh dần đều.

Quãng đường đi được: $S = v_0t + \frac{1}{2}at^2$.

Vận tốc tại thời điểm t:
$$\begin{cases} v = v_0 + at \\ v = \sqrt{v_0^2 + 2aS} \end{cases}$$

Tình huống 9: Khi gặp bài toán chuyển động trong điện trường theo phương vuông góc với đường sức thì làm thế nào?

Giải pháp:

+ Chọn hệ trục tọa độ vuông góc Oxy, gốc O trùng với vị trí lúc hạt đi vào tụ điện, trục Ox có phương song song với hai bản tụ có chiều cùng với chiều chuyển động của hạt và trục Oy có phương chiều trùng với phương chiều của lực điện tác dụng lên hạt.

+ Phân tích chuyển động thành hai thành phần:

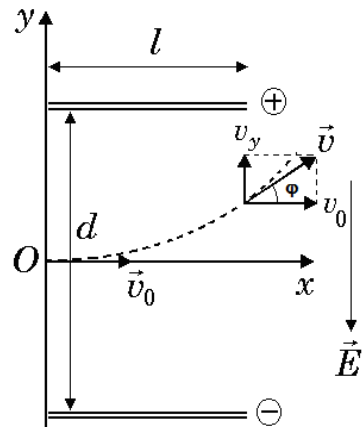
+ Theo phương Ox: chuyển động quán tính với vận tốc v_0 , còn theo phương Oy: chuyển động biến đổi đều với vận tốc ban đầu bằng 0 và gia tốc có độ lớn:

$$a = \frac{eE}{m} = \frac{eU}{md} > 0.$$

+ Vì vậy phương trình chuyển động của electron

trong điện trường là:
$$\begin{cases} x = v_0t \\ y = \frac{at^2}{2} \end{cases}$$

+ Phương trình quỹ đạo: $y = \frac{a}{2v_0^2}x^2$ (Parabol).



+ Vận của hạt ở thời điểm t: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(x')^2 + (y')^2} = \sqrt{v_0^2 + (at)^2}$.

+ Gọi τ là thời gian chuyển động trong điện trường, hai trường hợp có thể xảy ra:

- Nếu hạt đi được ra khỏi tụ tại điểm D có tọa độ (x_D, y_D) thì:

$$\begin{cases} x_D = v_0 \tau = l \\ y_D = \frac{a\tau^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \tau_1 = \frac{l}{v_0}$$

- Nếu hạt chạm vào bản dương tại điểm C có tọa độ (x_C, y_C) thì:

$$\begin{cases} x_C = v_0 \tau \\ y_C = \frac{a\tau^2}{2} = h \end{cases} \Rightarrow \tau_2 = \sqrt{\frac{2h}{a}}$$

$$\text{Vì vậy, } \tau = \min\left(\frac{l}{v_0}, \sqrt{\frac{2h}{a}}\right).$$

+ Gọi φ là góc lệch của phương chuyển động của hạt tại điểm M có hoành độ x thì có thể tính bằng một trong hai cách sau:

- Đó chính là góc hợp bởi tiếp tuyến tại điểm đó so với trục hoành, tức là:

$$\tan \varphi = y'|_x \Leftrightarrow \tan \varphi = \frac{ax}{v_0^2}$$

- Đó là góc hợp bởi vectơ vận tốc và trục Ox tại thời điểm t:

$$\tan \varphi = \frac{v_y}{v_x} = \frac{y'}{x'} = \frac{at}{v_0} = \frac{ax}{v_0^2}.$$

+ Vận tốc tại mỗi điểm trên quỹ đạo có thể được phân tích thành hai thành phần:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}_y \Rightarrow \begin{cases} v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} \\ \tan \varphi = \frac{v_y}{v_0} \\ \cos \varphi = \frac{v_0}{v} \end{cases} \text{ với } v_y = at \text{ (nếu)}$$

tính ở lúc ra khỏi tụ thì lấy $t = \tau_1$, còn lúc đập vào bản dương thì $t = \tau_2$).

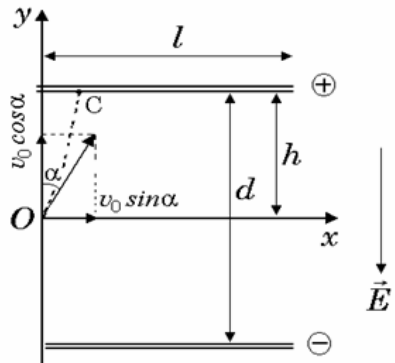
Tình huống 10: Khi gặp bài toán chuyển động trong điện trường theo bất kì thì làm thế nào?

Giải pháp:

* Trường hợp \vec{v}_0 và Oy hợp với nhau một góc

$$0^\circ < \alpha < 90^\circ$$

+ Chọn hệ trục tọa độ vuông góc Oxy, gốc O



trùng với vị trí lúc hạt đi vào tụ điện, trục Ox có phương song song với hai bản tụ có chiều cùng với chiều chuyển động của hạt và trục Oy có phương chiều trùng với phương chiều của lực điện tác dụng lên hạt.

+ Phân tích chuyển động thành hai thành phần:

+ Theo phương Ox: chuyển động quán tính với vận tốc $v_{0x} = v_0 \sin \alpha$, còn theo phương Oy, chuyển động biến đổi đều với vận tốc ban đầu $v_{0y} = v_0 \cos \alpha$ và với gia tốc có độ lớn:

$$a = \frac{|e|E}{m} = \frac{|e|U}{md}.$$

+ Vì vậy phương trình chuyển động là:
$$\begin{cases} x = (v_0 \sin \alpha)t \\ y = (v_0 \cos \alpha)t + \frac{at^2}{2} \end{cases}$$

+ Phương trình quỹ đạo:
$$y = \frac{a}{2v_0^2 \sin^2 \alpha} x^2 + (\text{ct} \alpha) x \text{ (Parabol)}$$

+ Gọi τ thời gian chuyển động thì $y = h \Leftrightarrow (v_0 \cos \alpha)\tau + \frac{a\tau^2}{2} = h$

+ Hạt đập vào bản dương tại điểm C có tọa độ:
$$\begin{cases} x_C = (v_0 \sin \alpha)\tau \\ y_C = (v_0 \sin \alpha)\tau + \frac{a\tau^2}{2} \end{cases}$$

*Trường hợp \vec{v}_0 và Oy hợp với nhau một góc $90^\circ < \alpha < 180^\circ$

+ Chọn hệ trục tọa độ vuông góc Oxy, gốc O trùng với vị trí lúc hạt đi vào tụ điện, trục Ox có phương song song với hai bản tụ có chiều cùng với chiều chuyển động của hạt và trục Oy có phương chiều trùng với phương chiều của lực điện tác dụng lên hạt.

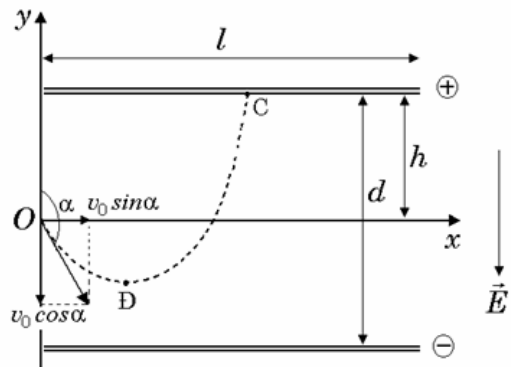
+ Phân tích chuyển động thành hai thành phần:

+ Theo phương Ox, chuyển động quán tính với vận tốc $v_{0x} = v_0 \sin \alpha$, còn theo phương Oy, chuyển động

biến đổi đều với vận tốc ban đầu $v_{0y} = v_0 \cos \alpha$ và với gia tốc có độ lớn:

$$a = \frac{|e|E}{m} = \frac{|e|U}{md}.$$

+ Vì vậy phương trình chuyển động là:
$$\begin{cases} x = (v_0 \sin \alpha)t \\ y = -(v_0 \cos \alpha)t + \frac{at^2}{2} \end{cases}$$



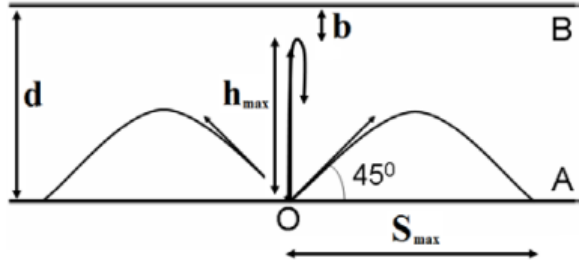
+ Phương trình quỹ đạo: $y = \frac{a}{2v_0^2 \sin^2 \alpha} x^2 - (\cot \alpha) x$ (Parabol)

+ Tọa độ đỉnh:
$$\begin{cases} x_D = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2a} \\ y_D = -\frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{2a} \end{cases}$$

+ Gọi τ thời gian chuyển động thì $y = h \Leftrightarrow -(v_0 \cos \alpha) \tau + \frac{a\tau^2}{2} = h$

+ Hạt đập vào bản dương tại điểm C có tọa độ:
$$\begin{cases} x_C = (v_0 \sin \alpha) \tau \\ y_C = -(v_0 \sin \alpha) \tau + \frac{a\tau^2}{2} \end{cases}$$

Bài toán tổng quát 1: Hai bản cực A, B của một tụ điện phẳng rất rộng làm bằng kim loại đặt song song và đối diện nhau. Đặt giữa hai bản A và B một hiệu điện thế $U_{AB} > 0$. Chiếu vào tâm O của bản A một bức xạ đơn sắc thích hợp làm bật các electron ra khỏi bề mặt (xem hình). Tính h_{\max} , S_{\max} và b .



Hướng dẫn

Ta nhớ lại, đối với trường hợp ném thẳng đứng từ dưới lên với vận tốc ném v_0 thì sẽ đạt được độ cao cực đại h_{\max} được xác định như sau:

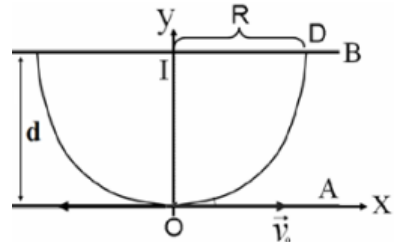
$$v_0^2 - v_0^2 = -2gh_{\max} \Rightarrow h_{\max} = \frac{v_0^2}{2g}$$

Đề ném xiên xa nhất thì góc ném 45° và tầm xa cực đại: $S_{\max} = 2h_{\max}$.

Trở lại bài toán, gia tốc $a = \frac{|e|E}{m} = \frac{|e|U}{md}$ đóng vai trò g nên:

$$h_{\max} = \frac{v_0^2}{2a}; S_{\max} = 2h_{\max}; b = d - h_{\max}$$

Bài toán tổng quát 2: Hai bản cực A, B của một tụ điện phẳng rất rộng làm bằng kim loại đặt song song và đối diện nhau. Chiếu vào tâm O của bản A một bức xạ đơn sắc thích hợp làm bật các electron ra khỏi bề mặt (xem hình). Đặt giữa hai bản A và B một hiệu điện thế $U_{AB} < 0$. Để electron quang điện đập vào bản B tại điểm D xa I nhất thì quang electron phải có tốc độ ban đầu cực đại và bay theo phương Ox. Tính R.



Hướng dẫn

Từ phương trình chuyển động:
$$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{at^2}{2} \end{cases}$$
 thay $x_D = R$ và $y_D = d$ ta được:

$$\begin{cases} d = y = \frac{at^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2d}{a}} \\ R = x = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2d}{a}} \end{cases} \text{ với } a = \frac{F}{m} = \frac{|e|U}{md}$$

Ví dụ minh họa: Hường chùm electron quang điện có tốc độ 10^6 (m/s) vào một điện trường đều và một từ trường đều có cảm ứng từ $0,5 \cdot 10^{-4}$ (T) thì nó vẫn chuyển động theo một đường thẳng. Biết véc tơ E song song cùng chiều với Ox , véc tơ B song song cùng chiều với Oy , véc tơ vận tốc song song cùng chiều với Oz ($Oxyz$ là hệ trục tọa độ Đề các vuông góc). Độ lớn của véc tơ cường độ điện trường là

- A. 20 V/m. B. 30 V/m. C. 40 V/m. **D. 50 V/m.**

Hướng dẫn

Electron chịu tác dụng đồng thời hai lực:

*lực điện ngược hướng với Ox và có độ lớn $F_d = |e|E$.

*lực từ cùng hướng với Ox và có độ lớn $F_L = |e|v_0B$.

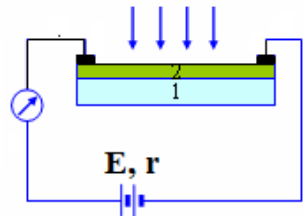
Vì electron chuyển động theo quỹ đạo thẳng nên lực điện và lực từ cân bằng nhau, $|e|E = |e|v_0B \Rightarrow E = v_0B = 50(V/m) \Rightarrow$ Chọn D.

Tình huống 11: Khi gặp bài toán liên quan đến hiện tượng quang điện trong, quang trở, pin quang điện thì làm thế nào?

Giải pháp:

Hiện tượng ánh sáng (hoặc bức xạ điện từ) giải phóng các electron liên kết để chúng trở thành các electron dẫn đồng thời giải phóng các lỗ trống tự do gọi là hiện tượng quang điện trong.

Điều kiện để xảy ra hiện tượng quang điện trong: $\lambda \leq \lambda_0 \Leftrightarrow \varepsilon \geq \varepsilon_0$.



Quang trở khi để trong bóng tối: $I_0 = \frac{E}{r + R_0}$

Quang trở khi chiếu sáng: $I = \frac{E}{r + R}$

Hiệu suất của pin quang điện: $H = \frac{UI}{P_{sang}} = \frac{UI}{I_{sang} S}$

6.2. THUYẾT BO. QUANG PHỔ HIDRO. SỰ PHÁT QUANG. TIA X

Tình huống 1: Khi gặp bài toán liên quan đến trạng thái dừng, quỹ đạo dừng thì làm thế nào?

Giải pháp:

Bán kính quỹ đạo dừng: $r_n = n^2 r_0$.

Tên các quỹ đạo dừng của êlectron ứng với n khác nhau như sau:

N	1	2	3	4	5	6...
Tên	K	L	M	N	O	P...

Chú ý:

1) Để tìm tốc độ electron trên quỹ đạo dừng thì có thể làm theo các cách:

*Khi electron chuyển động trên quỹ đạo n, lực hút tĩnh điện Cu-lông đóng vai trò là

lực hướng tâm: $F_{CL} = F_{ht} \Rightarrow \frac{ke^2}{r_n^2} = \frac{mv_n^2}{r_n} \Rightarrow \frac{ke^2}{r_n} = mv_n^2 \Rightarrow v_n = \sqrt{\frac{ke^2}{mr_n}}$ (với $k = 9.10^9$

Nm²/C²).

$$\Rightarrow \frac{v_{n_2}}{v_{n_1}} = \sqrt{\frac{r_{n_1}}{r_{n_2}}} = \frac{n_1}{n_2}$$

*Năng lượng ở trạng thái dừng bao gồm thế năng tương tác và động năng của

electron: $E_n = W_t + W_d = -\frac{ke^2}{r_n} + \frac{mv_n^2}{2} = -mv_n^2 + \frac{mv_n^2}{2} = -\frac{mv_n^2}{2} \Rightarrow v_n = \sqrt{\frac{-2E_n}{m}}$

2) Khi e quay trên quỹ đạo dừng thì nó tạo ra dòng điện có cường độ

$$I = \frac{q}{t} = \frac{1,6.10^{-19}}{T} \left\{ \begin{array}{l} T = \frac{2\pi}{\omega} \\ \omega = \frac{v_n}{r_n} = \frac{\sqrt{\frac{k \cdot e^2}{m \cdot r_n}}}{r_n} = \sqrt{\frac{k \cdot e^2}{m}} \sqrt{\frac{1}{r_n^3}} \end{array} \right.$$

Tình huống 2: Khi gặp bài toán liên quan đến bức xạ hấp thụ của nguyên tử hidro thì làm thế nào?

Giải pháp:

Nếu chỉ có một nguyên tử hidro đang ở trạng thái kích thích E_n sau đó nó bức xạ tối đa (n - 1) photon.

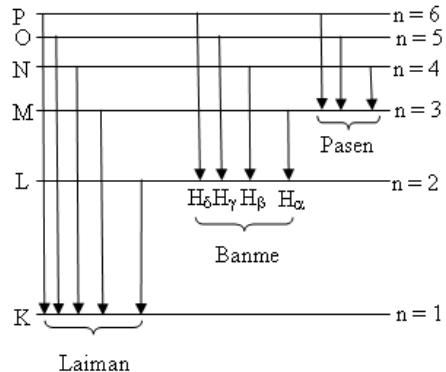
Nếu khối khí hidro đang ở trạng thái kích thích E_n sau đó nó bức xạ tối đa là n(n - 1)/2 vạch quang phổ.

Chú ý:

1) Khi liên quan đến bức xạ và hấp thụ ta áp dụng công thức:

$$\varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda} = E_{cao} - E_{thap}$$

2) Dựa vào sơ đồ mức năng lượng suy ra: $E_3 - E_1 = E_3 - E_2 + E_2 - E_1$
 $\varepsilon_{31} = hf_{31} \quad \varepsilon_{32} = hf_{32} \quad \varepsilon_{21} = hf_{21}$



$$f_{31} = f_{32} + f_{21} \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{31}} = \frac{1}{\lambda_{32}} + \frac{1}{\lambda_{21}}$$

Tương tự: $f_{41} = f_{43} + f_{32} + f_{21} \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{41}} = \frac{1}{\lambda_{43}} + \frac{1}{\lambda_{32}} + \frac{1}{\lambda_{21}}$

3) Năng lượng ở trạng thái cơ bản là E_1 , ở trạng thái dừng thứ 2 (trạng thái kích thích 1) là E_2 , ở trạng thái dừng thứ 3 (trạng thái kích thích 2) là E_3, \dots

4) Trong cùng một dãy, bước sóng dài nhất (năng lượng photon nhỏ nhất) ứng với dịch chuyển hai mức liên tiếp và bước sóng ngắn nhất (năng lượng photon lớn nhất) ứng với dịch chuyển từ vô cùng:

$$\text{Dãy Lyman: } \begin{cases} \lambda_{\max} = \lambda_{21} = \frac{hc}{E_2 - E_1} \\ \lambda_{\min} = \lambda_{\infty 1} = \frac{hc}{\underbrace{E_{\infty} - E_1}_0} \end{cases}$$

$$\text{Dãy Balmer: } \begin{cases} \lambda_{\max} = \lambda_{32} = \frac{hc}{E_3 - E_2} \\ \lambda_{\min} = \lambda_{\infty 2} = \frac{hc}{\underbrace{E_{\infty} - E_2}_0} \end{cases}$$

$$\text{Dãy Pasen: } \begin{cases} \lambda_{\max} = \lambda_{43} = \frac{hc}{E_4 - E_3} \\ \lambda_{\min} = \lambda_{\infty 3} = \frac{hc}{\underbrace{E_{\infty} - E_3}_0} \end{cases}$$

5) Bình thường nguyên tử trung hòa về điện, để ion hóa nguyên tử hiđrô cần phải cung cấp cho electron một năng lượng để nó thoát ra khỏi nguyên tử, nói cách khác là nó chuyển động rất xa hạt nhân $r = \infty$. Do đó, năng lượng cần cung cấp (năng lượng I-ôn hóa) phải đưa nguyên tử hiđrô từ mức cơ bản (mức K) lên mức năng lượng cao nhất (mức ∞), tức là $I = E_{cc} = \underbrace{E_{\infty} - E_K}_0 \Rightarrow E_K = -I$

Tình huống 3: Khi gặp bài toán liên quan đến kích thích nguyên tử hidro bằng cách cho hấp thụ photon thì làm thế nào?

Giải pháp:

Giả sử nguyên tử hidro đang ở trạng thái cơ bản E_1 , nếu hấp thụ được photon có năng lượng ε thì nó sẽ chuyển lên trạng thái dừng E_n sao cho: $E_n = E_1 + \varepsilon$.

Nếu $E_n = -13,6/n^2$ thì

$$\frac{-13,6}{n^2} = -13,6 + \varepsilon \Rightarrow n = \sqrt{\frac{-13,6}{-13,6 + \varepsilon}} \begin{cases} n \in \mathbb{N}^* \Rightarrow \text{có hấp thụ photon } \varepsilon \\ n \notin \mathbb{N}^* \Rightarrow \text{không hấp thụ photon } \varepsilon \end{cases}$$

Tình huống 4: Khi gặp bài toán liên quan đến kích thích nguyên tử hydro bằng cách va chạm thì làm thế nào?

Giải pháp:

Nếu nguyên tử hydro ở trạng thái cơ bản va chạm với một electron có động năng W_0 , trong quá trình tương tác giả sử nguyên tử đứng yên và chuyển lên trạng thái dừng E_n thì động năng còn lại của electron sau va chạm là $W = W_0 - (E_n - E_1)$.

Ví dụ minh họa: Nguyên tử hydro ở trạng thái cơ bản va chạm với một electron có năng lượng 13,2 (eV). Trong quá trình tương tác giả sử nguyên tử đứng yên và chuyển lên trạng thái kích thích thứ hai. Tìm động năng còn lại của electron sau va chạm. Biết các mức năng lượng của nguyên tử hydro ở trạng thái dừng được xác định bằng công thức: $E_n = -13,6/n^2$ (eV) với n là số nguyên.

Hướng dẫn

$$W = W_0 - (E_3 - E_1) = 13,2 - \left(\frac{-13,6}{3^2} - \frac{-13,6}{1^2} \right) = 1,11 \text{ (eV)}$$

Chú ý: Nếu dùng chùm electron mà mỗi electron có động năng W_0 để bắn phá khối Hydro đang ở trạng thái cơ bản muốn nó chỉ chuyển lên E_n mà không lên được E_{n+1} thì $E_n - E_1 \leq W_0 < E_{n+1} - E_1$.

Sau đó khối khí hydro sẽ phát ra tối đa $\frac{n(n-1)}{2}$ vạch quang phổ.

Ví dụ minh họa: Dùng chùm electron (mỗi electron có động năng W) bắn phá khối khí hydro ở trạng thái cơ bản thì electron trong các nguyên tử chỉ có thể chuyển ra quỹ đạo xa nhất là quỹ đạo N. Biết các mức năng lượng của nguyên tử hydro ở trạng thái dừng được xác định bằng công thức: $E_n = -13,6/n^2$ (eV) với n là số nguyên. Giá trị W có thể là

- A. 12,74 eV. B. 12,2 eV. C. 13,056 eV. **D. 12,85 eV.**

Hướng dẫn

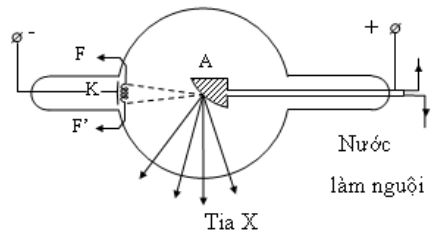
$$E_4 - E_1 \leq W < E_5 - E_1 \Leftrightarrow 12,75 \text{ (eV)} \leq W < 13,056 \text{ (eV)} \Rightarrow \text{Chọn D.}$$

Tình huống 5: Khi gặp bài toán liên quan đến tần số lớn nhất và bước sóng nhỏ nhất trong chùm tia X thì làm thế nào?

Giải pháp:

Khi electron vừa bứt ra khỏi bề mặt nó có động năng W_0 (rất nhỏ), sau đó nó được tăng tốc trong điện trường mạnh nên ngay trước khi đập vào anốt nó có động năng

$W_e = \frac{1}{2}mv^2 = W_0 + |e|U$ rất lớn. Các electron này sau khi đập vào bề mặt anốt (đốt catốt), xuyên sâu những lớp bên trong của vỏ nguyên tử, tương tác với hạt nhân nguyên tử và các electron của các lớp này, làm cho nguyên tử chuyển lên trạng thái kích thích. Thời gian tồn tại ở trạng thái kích thích rất ngắn (cỡ 10^{-8} s) nguyên tử nhanh chóng



chuyển về trạng thái có năng lượng thấp hơn và phát ra photon của tia X có năng lượng

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

Ta có điều kiện: $\varepsilon \leq W_e$

$$\Rightarrow \varepsilon_{\max} = hf_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}} = W_e = \frac{mv^2}{2} = W_0 + |e|U \approx |e|U \quad (\text{Đây là trường hợp thuận lợi})$$

nhất, electron của chùm electron truyền toàn bộ động năng cho 1 nguyên tử kim loại của đối catốt đang ở trạng thái cơ bản và nguyên tử kim loại chuyển lên trạng thái kích thích sau đó nguyên tử chuyển về trạng thái cơ bản để phát ra photon ε_{\max}).

Ví dụ minh họa: (ĐH-2008) Hiệu điện thế giữa anốt và catốt của một ống Ronghen là $U = 25$ kV. Coi tốc độ ban đầu của chùm electron (electron) phát ra từ catốt bằng không. Biết hằng số Planck $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s, điện tích nguyên tố bằng $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Tần số lớn nhất của tia Ronghen do ống này có thể phát ra là

A. $60,380 \cdot 10^{18}$ Hz. B. $6,038 \cdot 10^{15}$ Hz. C. $60,380 \cdot 10^{15}$ Hz. **D. $6,038 \cdot 10^{18}$ Hz.**

Hướng dẫn

$$\varepsilon_{\max} = hf_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}} = W_e = \frac{mv^2}{2} = W_0 + |e|U \approx |e|U \Rightarrow f_{\max} = \frac{|e|U}{h} = 6,038 \cdot 10^{18} \text{ (Hz)}$$

\Rightarrow Chọn D.

Tình huống 6: Khi gặp bài toán liên quan đến nhiệt lượng anốt nhận được thì làm thế nào?

Giải pháp:

Nếu trong 1 s số electron đập vào anốt là n thì cường độ dòng điện chạy qua ống là $I = |e|n \Rightarrow n = \frac{I}{|e|}$.

Nếu chỉ a phần trăm electron đập vào anốt làm bức xạ tia X thì số photon X phát ra trong 1 s là $n_p = an$.

Tổng động năng đập vào anốt trong 1 s là $W = nW_e$,

$$\text{với } W_e = \varepsilon_{\max} = hf_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}} = \frac{mv^2}{2} = W_0 + |e|U \approx |e|U$$

Nếu có H phần trăm động năng đập vào chuyển thành nhiệt thì nhiệt lượng anốt nhận được trong 1 s là $Q_1 = HW$ và nhiệt lượng nhận được sau t s là $Q = tQ_1$.

Ví dụ minh họa: Một ống Rơn-ghen trong mỗi giây bức xạ ra $N = 3 \cdot 10^{14}$ photon. Những photon có năng lượng trung bình ứng với bước sóng 10^{-10} m. Hiệu điện thế đặt vào hai đầu ống là 50 kV. Cường độ dòng điện chạy qua ống là $1,5 \cdot 10^{-3}$ A. Người ta gọi tỉ số giữa năng lượng bức xạ dưới dạng tia Rơn-ghen và năng lượng tiêu thụ của ống Rơn-ghen là hiệu suất của ống. Hiệu suất của trường hợp này là bao nhiêu?

Hướng dẫn

Công suất điện mà ống tiêu thụ được tính: $P = UI$.

Năng lượng trung bình của mỗi photon $\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$.

Công suất phát xạ của chùm tia Rơn-ghe-n là $P' = N\varepsilon = N \frac{hc}{\lambda}$.

Hiệu suất của ống: $H = \frac{P'}{P} = \frac{Nhc}{\lambda UI} = 8 \cdot 10^{-3} = 0,8\%$

Ví dụ minh họa: Để tạo ra tia X người ta dùng ống Cu-lit-giơ. Khi đặt một hiệu điện thế vào anot và catot của ống Cu-lit-giơ thì cường độ dòng điện chạy qua ống này là $I = 40$ mA và tốc độ của electron khi tới anot là $v = 8 \cdot 10^7$ m/s. Bỏ qua tốc độ ban đầu của electron khi bật ra khỏi catot. Cho điện tích và khối lượng của electron $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C, $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg. Công suất trung bình của ống Cu-lit-giơ là bao nhiêu?

Hướng dẫn

Công suất trung bình của ống xấp xỉ bằng tổng động năng electron đập vào anốt trong 1 s:

$$W = n \cdot \frac{mv^2}{2} = \frac{I}{|e|} \cdot \frac{mv^2}{2} = \frac{40 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 64 \cdot 10^{14}}{2} = 728 (W)$$

Chú ý:

1) Nhiệt lượng anốt nhận được sau thời gian t là để tăng nhiệt độ nó thêm Δt^0 nên $Q_1 = tQ_1 = cm\Delta t^0 = cVD\Delta t^0$ (với c là nhiệt dung riêng của anốt, m là khối lượng của anốt, V thể tích của anốt và D là khối lượng riêng của anốt).

Từ công thức trên ta giải các bài toán xuôi – ngược như tìm t , Q_1 , Δt^0 ...

2) Để làm nguội anốt người ta cho dòng nước chảy qua ống sao cho toàn bộ nhiệt lượng anốt nhận được trong 1 s chuyển hết cho nước. Khi đó, trong 1 s khối lượng nước phải chuyển qua là $m = VD$ thì nhiệt độ nước đầu ra cao hơn nhiệt độ nước đầu vào là Δt^0 .

Do đó: $Q_1 = HnW_e = cm\Delta t^0 = cVD\Delta t^0$ với c là nhiệt dung riêng của nước.

Tình huống 7: Khi gặp bài toán liên quan đến hiện tượng phát quang thì làm thế nào?

Giải pháp:

Một số chất hấp thụ ánh sáng (hoặc bức xạ điện từ) bước sóng này để rồi phát ra ánh sáng có bước sóng khác, gọi là hiện tượng quang – phát quang.

***Hai loại quang - phát quang:**

Sự huỳnh quang: sự phát quang có thời gian phát quang ngắn (dưới 10^{-8} s). Nó thường xảy ra với **chất lỏng và chất khí**

Sự lân quang: là sự phát quang có thời gian phát quang dài (10^{-8} s trở lên); nó thường xảy ra với **chất rắn**.

***Định luật Stóc:** Bước sóng λ' của ánh sáng phát quang bao giờ cũng lớn hơn bước sóng λ của ánh sáng kích thích: $\lambda' > \lambda \Leftrightarrow \varepsilon' < \varepsilon \Leftrightarrow f' < f$.

Gọi N , N' lần lượt là số photon kích thích chiếu vào trong 1 s và số photon phát quang phát ra trong 1 s.

Công suất của chùm sáng kích thích và chùm sáng phát quang lần lượt là:

$$\begin{cases} P = N\varepsilon = N \frac{hc}{\lambda} \\ P' = N'\varepsilon' = N' \frac{hc}{\lambda'} \end{cases} \Rightarrow \frac{P'}{P} = \frac{N'\varepsilon'}{N\varepsilon} = \frac{N'\lambda}{N\lambda'}$$

Ví dụ minh họa: (ĐH - 2010) Một chất có khả năng phát ra ánh sáng phát quang với tần số 6.10^{14} Hz. Khi dùng ánh sáng có bước sóng nào dưới đây để kích thích thì chất này **không** thể phát quang?

- A. $0,40 \mu\text{m}$. B. $0,45 \mu\text{m}$. C. $0,38 \mu\text{m}$.

D. $0,55 \mu\text{m}$.

Hướng dẫn

$$\lambda' = \frac{3.10^8}{f'} = 0,5 \mu\text{m} > \lambda \Rightarrow \text{Chọn D.}$$

Ví dụ minh họa: (ĐH-2011) Một chất phát quang được kích thích bằng ánh sáng có bước sóng $0,26 \mu\text{m}$ thì phát ra ánh sáng có bước sóng $0,52 \mu\text{m}$. Giả sử công suất của chùm sáng phát quang bằng 20% công suất của chùm sáng kích thích. Tỉ số giữa số photon ánh sáng phát quang và số photon ánh sáng kích thích trong cùng một khoảng thời gian là

- A. $4/5$. B. $1/10$. C. $1/5$.

D. $2/5$.

Hướng dẫn

$$0,2 = \frac{W'}{W} = \frac{N' \frac{hc}{\lambda'}}{N \frac{hc}{\lambda}} = \frac{N'}{N} \cdot \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{N'}{N} \cdot \frac{0,26}{0,52} \Rightarrow \frac{N'}{N} = \frac{2}{5} \Rightarrow \text{Chọn D.}$$

Tình huống 8: Khi gặp các bài toán liên quan đến ứng dụng của laser thì làm thế nào?

Giải pháp:

Laze là một nguồn sáng phát ra một chùm sáng cường độ lớn dựa trên việc ứng dụng hiện tượng phát xạ cảm ứng.

4 đặc điểm của chùm tia laze:

- *Tia laze là chùm sáng kết hợp.
- *Tia laze có tính đơn sắc.
- *Chùm tia laze khi truyền trong các môi trường thông thường (không khí, nước,...) là chùm sáng song song (có tính định hướng cao).
- *Chùm tia laze có cường độ lớn.

Ứng dụng của laze:

- *Trong y học, laze dùng như một dao mổ trong các phẫu thuật tinh vi như mắt, mạch máu,... Ngoài ra laze dùng để chữa một số bệnh ngoài da nhờ vào tác dụng nhiệt.
- *Trong thông tin liên lạc, laze dùng trong liên lạc vô tuyến, điều khiển các con tàu vũ trụ, truyền thông tin bằng cáp quang,...
- *Trong công nghiệp, laze dùng để cắt, khoan, tôi kim loại,...
- *Trong trắc địa, laze dùng trong các công việc đo khoảng cách, tam giác đạc, ngắm đường thẳng, ...
- *Laze còn được dùng trong các đầu đọc đĩa CD, bút trở bảng, trong thí nghiệm về quang học, ...