

TỔNG HỢP KIẾN THỨC CHUYÊN ĐỀ QUANG ĐIỆN NGOÀI

1. Hiện tượng quang điện ngoài

a. Thí nghiệm của Hertz

Năm 1887, nhà vật lí Heinrich Hertz thực hiện thí nghiệm:

- Tích điện âm cho một tấm kẽm gắn trên một điện nghiệm, hai lá của điện nghiệm xòe ra.
- Chiếu chùm ánh sáng hồ quang (giàu tia tử ngoại) vào tấm kẽm.
- Kết quả: Hai lá điện nghiệm cụp lại, chứng tỏ tấm kẽm đã mất điện tích âm. Hiện tượng không xảy ra khi tích điện dương cho tấm kẽm hoặc dùng tấm thủy tinh chắn chùm sáng (thủy tinh hấp thụ mạnh tia tử ngoại).

b. Định nghĩa

Hiện tượng ánh sáng làm bật các electron ra khỏi bề mặt kim loại được gọi là **hiện tượng quang điện ngoài**. Các electron bị bật ra được gọi là các **electron quang điện** (hay quang electron).

2. Các định luật về hiện tượng quang điện

a. Định luật 1: Định luật về giới hạn quang điện

Nội dung: Đối với mỗi kim loại, có một bước sóng ánh sáng giới hạn λ_0 , gọi là giới hạn quang điện. Hiện tượng quang điện chỉ xảy ra khi bước sóng của ánh sáng kích thích (λ) nhỏ hơn hoặc bằng giới hạn quang điện đó.

Công thức: $\lambda \leq \lambda_0$

Giải thích: Giới hạn quang điện λ_0 là một đặc trưng riêng của mỗi kim loại, phụ thuộc vào bản chất của kim loại đó.

Ví dụ 1: Giới hạn quang điện của Natri (Na) là $\lambda_0 = 0,5 \mu\text{m}$. Chiếu lần lượt hai bức xạ có bước sóng $\lambda_1 = 0,4 \mu\text{m}$ và $\lambda_2 = 0,6 \mu\text{m}$ vào bề mặt tấm Natri. Hỏi bức xạ nào gây ra hiện tượng quang điện?

Giải:

- Xét bức xạ $\lambda_1 = 0,4 \mu\text{m}$: Ta có $\lambda_1 \leq \lambda_0$ ($0,4 \mu\text{m} \leq 0,5 \mu\text{m}$). Vậy bức xạ λ_1 gây ra hiện tượng quang điện.
- Xét bức xạ $\lambda_2 = 0,6 \mu\text{m}$: Ta có $\lambda_2 > \lambda_0$ ($0,6 \mu\text{m} > 0,5 \mu\text{m}$). Vậy bức xạ λ_2 không gây ra hiện tượng quang điện.

Ví dụ 2: Giới hạn quang điện của Bạc (Ag) là $0,26 \mu\text{m}$, của Đồng (Cu) là $0,30 \mu\text{m}$, của Kẽm (Zn) là $0,35 \mu\text{m}$. Chiếu một bức xạ có bước sóng $0,28 \mu\text{m}$ vào bề mặt các kim loại trên. Hiện tượng quang điện xảy ra với kim loại nào?

Giải: Để xảy ra hiện tượng quang điện, điều kiện là $\lambda \leq \lambda_0$. Với $\lambda = 0,28 \mu\text{m}$, ta so sánh:

- Bạc: $0,28 \mu\text{m} > 0,26 \mu\text{m} \rightarrow$ Không xảy ra.

- Đồng: $0,28 \mu\text{m} \leq 0,30 \mu\text{m} \rightarrow$ Xảy ra.

- Kẽm: $0,28 \mu\text{m} \leq 0,35 \mu\text{m} \rightarrow$ Xảy ra.

Vậy hiện tượng quang điện xảy ra với Đồng và Kẽm.

b. Định luật 2: Định luật về dòng quang điện bão hòa

Nội dung: Đối với mỗi ánh sáng thích hợp (có $\lambda \leq \lambda_0$), cường độ dòng quang điện bão hòa tỉ lệ thuận với cường độ của chùm sáng kích thích.

Giải thích: Cường độ chùm sáng càng mạnh thì số photon tới bề mặt kim loại trong một giây càng nhiều, do đó số electron quang điện bị bật ra trong một giây cũng càng nhiều, dẫn đến cường độ dòng quang điện bão hòa càng lớn.

Ví dụ 1: Chiếu một chùm sáng tử ngoại vào một tấm kim loại làm xảy ra hiện tượng quang điện và đo được cường độ dòng quang điện bão hòa là I_0 . Nếu giữ nguyên bước sóng nhưng tăng cường độ chùm sáng lên gấp đôi thì cường độ dòng quang điện bão hòa mới là bao nhiêu?

Giải: Theo định luật, cường độ dòng quang điện bão hòa tỉ lệ thuận với cường độ chùm sáng. Do đó, khi cường độ chùm sáng tăng gấp đôi, cường độ dòng quang điện bão hòa mới là $I' = 2I_0$.

c. Định luật 3: Định luật về động năng ban đầu cực đại

Nội dung: Động năng ban đầu cực đại của các quang electron không phụ thuộc vào cường độ chùm sáng kích thích mà chỉ phụ thuộc vào bước sóng (hoặc tần số) của ánh sáng kích thích và bản chất của kim loại.

Giải thích: Động năng ban đầu cực đại của quang electron tăng khi tần số của ánh sáng kích thích tăng (và do đó bước sóng giảm).

Ví dụ 1: Chiếu một chùm sáng có tần số f vào một kim loại. Tăng cường độ chùm sáng này lên gấp 3 lần nhưng giữ nguyên tần số. Động năng ban đầu cực đại của các quang electron thay đổi như thế nào?

Giải: Theo định luật, động năng ban đầu cực đại không phụ thuộc vào cường độ chùm sáng. Do đó, động năng ban đầu cực đại của các quang electron không đổi.

3. Thuyết lượng tử ánh sáng

Để giải thích các định luật quang điện, Albert Einstein đã phát triển thuyết lượng tử của Max Planck. Nội dung chính của thuyết này bao gồm:

1. Ánh sáng được tạo thành bởi các hạt riêng biệt gọi là **photon**.
2. Với mỗi ánh sáng đơn sắc có tần số f , các photon đều giống nhau, mỗi photon mang một năng lượng xác định gọi là lượng tử năng lượng.

3. Công thức năng lượng photon: $\epsilon = hf = hc/\lambda$

Trong đó:

- $h = 6,625.10^{-34} \text{ J.s}$ là hằng số Planck.
- $c = 3.10^8 \text{ m/s}$ là tốc độ ánh sáng trong chân không.
- f là tần số ánh sáng (Hz).
- λ là bước sóng ánh sáng (m).

4. Trong chân không, photon bay với tốc độ $c = 3.10^8 \text{ m/s}$ dọc theo các tia sáng.
5. Mỗi lần một nguyên tử hay phân tử phát xạ hoặc hấp thụ ánh sáng thì chúng phát ra hay hấp thụ một photon. Photon chỉ tồn tại ở trạng thái chuyển động,

không có photon đứng yên.

Lưỡng tính sóng-hạt của ánh sáng

Ánh sáng vừa có tính chất sóng, vừa có tính chất hạt. Sóng và hạt là hai mặt thể hiện của cùng một thực thể là ánh sáng.

Tính chất Sóng	Tính chất Hạt
Thể hiện qua các hiện tượng giao thoa, nhiễu xạ, tán sắc. Sóng điện từ có bước sóng càng dài, tính chất sóng thể hiện càng rõ.	Thể hiện qua hiện tượng quang điện, hiệu ứng Compton. Sóng điện từ có bước sóng càng ngắn, năng lượng photon càng lớn, tính chất hạt thể hiện càng rõ.

4. Giải thích các định luật quang điện bằng thuyết lượng tử

a. Công thức Anh-xtanh (Einstein) về hiện tượng quang điện

Khi một photon có năng lượng ϵ được một electron trong kim loại hấp thụ, năng lượng này được dùng vào hai việc:

- Cung cấp cho electron một công để thắng lực liên kết và thoát ra khỏi bề mặt kim loại. Công này gọi là **công thoát (A)**.
- Phần năng lượng còn lại (nếu có) sẽ trở thành động năng ban đầu của electron khi nó vừa thoát ra khỏi kim loại.

Công thức Anh-xtanh: $\epsilon = A + W_{đ0max}$

Hay: **$hf = A + \frac{1}{2}mv_{0max}^2$**

Trong đó:

- $A = hc/\lambda_0$ là công thoát của electron khỏi kim loại, với λ_0 là giới hạn quang điện.
- $W_{đ_{\max}}$ là động năng ban đầu cực đại của quang electron.

Ví dụ 1: Chiếu một bức xạ có bước sóng $\lambda = 0,33 \mu\text{m}$ vào một kim loại có công thoát $A = 3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Tính động năng ban đầu cực đại của các quang electron.

Cho $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Giải:

- Năng lượng của photon: $\epsilon = hc/\lambda = (6,625 \cdot 10^{-34} * 3 \cdot 10^8) / (0,33 \cdot 10^{-6}) \approx 6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.
- Áp dụng công thức Anh-xtanh: $W_{đ_{\max}} = \epsilon - A = 6 \cdot 10^{-19} - 3 \cdot 10^{-19} = 3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Ví dụ 2: Công thoát của electron khỏi Đồng là $A = 7,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Tính giới hạn quang điện của Đồng.

Giải:

- Từ công thức $A = hc/\lambda_0$, suy ra $\lambda_0 = hc/A$.
- $\lambda_0 = (6,625 \cdot 10^{-34} * 3 \cdot 10^8) / (7,2 \cdot 10^{-19}) \approx 0,276 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 0,276 \mu\text{m}$.

b. Giải thích các định luật

- **Giải thích định luật về giới hạn quang điện:** Hiện tượng quang điện chỉ xảy ra khi năng lượng photon đủ lớn để thắng công thoát, tức là $\epsilon \geq A$. Điều này tương đương với $hc/\lambda \geq hc/\lambda_0$, suy ra $\lambda \leq \lambda_0$. Điều này hoàn toàn phù hợp với định luật 1.

- **Giải thích định luật về dòng quang điện bão hòa:** Cường độ chùm sáng tỉ lệ với số photon phát ra trong một giây. Khi cường độ sáng tăng, số photon đến bề mặt kim loại trong một giây tăng, do đó số electron bị bật ra trong một giây cũng tăng theo, làm cho dòng quang điện bão hòa tăng. Điều này phù hợp với định luật 2.
- **Giải thích định luật về động năng ban đầu cực đại:** Từ công thức Anh-xtanh $W_{đ_{\max}} = hf - A$, ta thấy động năng ban đầu cực đại của quang electron chỉ phụ thuộc vào tần số f của ánh sáng kích thích và công thoát A (bản chất kim loại), không hề phụ thuộc vào cường độ chùm sáng (số photon). Điều này phù hợp với định luật 3.

5. Tế bào quang điện và ứng dụng

a. Cấu tạo và nguyên tắc hoạt động

Tế bào quang điện là một linh kiện hoạt động dựa trên hiện tượng quang điện ngoài. Nó có cấu tạo gồm một bóng đèn thủy tinh hút chân không, bên trong có hai điện cực:

- **Catot (K):** Một lớp kim loại có công thoát nhỏ, thường là kim loại kiềm, có dạng một chỏm cầu.
- **Anot (A):** Một vòng dây kim loại đối diện Catot.

Nguyên tắc hoạt động: Khi chiếu ánh sáng có bước sóng thích hợp ($\lambda \leq \lambda_0$) vào Catot, các electron sẽ bị bật ra, chuyển động về phía Anot (khi có điện trường) tạo thành dòng quang điện chạy trong mạch.

b. Ứng dụng

Tế bào quang điện được ứng dụng trong các mạch điện tử như:

- Mạch đếm sản phẩm tự động trong các dây chuyền sản xuất.
- Mạch báo động khi có người đi qua.
- Hệ thống đóng/mở cửa tự động.
- Đo cường độ ánh sáng.
- Đầu đọc âm thanh trên các cuộn phim nhựa cũ.