

I. Thuyết Lượng Tử Ánh Sáng

Thuyết lượng tử ánh sáng ra đời đã giải quyết được những bế tắc mà vật lí cổ điển không thể giải thích được liên quan đến sự phát xạ và hấp thụ ánh sáng của các vật.

1. Giả thuyết Planck (Plăng)

Năm 1900, Max Planck đề xuất giả thuyết rằng năng lượng mà mỗi nguyên tử hay phân tử hấp thụ hay phát xạ có giá trị gián đoạn, không liên tục, và bằng một số nguyên lần một lượng năng lượng cơ bản gọi là lượng tử năng lượng.

- **Công thức:** $\epsilon = hf$

- **Giải thích:**

- **ϵ (epsilon):** Lượng tử năng lượng (đơn vị: Jun - J).

- **h :** Hằng số Planck, $h \approx 6,625.10^{-34} \text{ J.s}$.

- **f :** Tần số của ánh sáng (đơn vị: Héc - Hz).

- **Ví dụ 1:** Tính lượng tử năng lượng của ánh sáng màu cam có tần số 5.10^{14} Hz.

Giải: Áp dụng công thức, ta có $\epsilon = (6,625.10^{-34}) * (5.10^{14}) = 3,3125.10^{-19} \text{ J}$.

- **Ví dụ 2:** Một lượng tử năng lượng có giá trị $4,96875.10^{-19} \text{ J}$. Hãy xác định tần số của bức xạ tương ứng.

Giải: Từ công thức $\epsilon = hf$, suy ra $f = \epsilon / h = (4,96875.10^{-19}) / (6,625.10^{-34}) = 7,5.10^{14} \text{ Hz}$. Đây là bức xạ thuộc vùng tử ngoại.

2. Thuyết lượng tử ánh sáng (Thuyết photon)

Phát triển giả thuyết của Planck, Albert Einstein đã đề xuất thuyết lượng tử ánh sáng, còn gọi là thuyết photon, với các nội dung chính sau:

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 năng lượng xác định là $\epsilon = hf$.
3. Trong chân không, photon bay với tốc độ $c = 3.10^8 \text{ m/s}$ dọc theo các tia sáng.
4. 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.

- **Công thức năng lượng photon:** $\epsilon = hf = hc/\lambda$

- **Giải thích:**

- **λ (lambda):** Bước sóng của ánh sáng trong chân không (đơn vị: mét - m).
- **c :** Tốc độ ánh sáng trong chân không, $c = 3.10^8 \text{ m/s}$.

- **Ví dụ 1:** Tính năng lượng của một photon ánh sáng đỏ có bước sóng $0,76 \mu\text{m}$.

Giải: Đổi đơn vị: $\lambda = 0,76 \mu\text{m} = 0,76.10^{-6} \text{ m}$.

Năng lượng photon: $\epsilon = hc/\lambda = (6,625.10^{-34} * 3.10^8) / (0,76.10^{-6}) \approx 2,615.10^{-19} \text{ J}$.

- **Ví dụ 2:** Tính năng lượng của photon tia X có bước sóng 10^{-10} m.

Giải: $\epsilon = hc/\lambda = (6,625.10^{-34} * 3.10^8) / (10^{-10}) = 1,9875.10^{-15}$ J.

II. Hiện Tượng Quang Điện Ngoài

1. Định nghĩa

Hiện tượng quang điện (ngoài) là hiện tượng các electron bị bứt ra khỏi bề mặt kim loại khi có ánh sáng thích hợp chiếu vào nó. Các electron bị bứt ra này được gọi là các **quang electron** (photoelectron).

2. Các định luật quang điện

Thông qua thí nghiệm, người ta đã rút ra 3 định luật quang điện, điều mà vật lí cổ điển không thể giải thích được.

1. Định luật 1: Về giới hạn quang điện

Đối với mỗi kim loại, tồn tại một bước sóng giới hạn của ánh sáng gọi là **giới hạn quang điện (λ_0)**. 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 ($\lambda \leq \lambda_0$). Tương đương, tần số ánh sáng kích thích phải lớn hơn hoặc bằng tần số giới hạn ($f \geq f_0$).

2. Định luật 2: Về cường độ dòng quang điện

Khi hiện tượng quang điện xảy ra ($\lambda \leq \lambda_0$), cường độ dòng quang điện bão hòa tỉ lệ thuận với cường độ của chùm sáng kích thích. Điều này có nghĩa là, nếu chiếu chùm sáng mạnh hơn (nhiều photon hơn) vào kim loại, sẽ có nhiều electron bị bứt ra hơn trong một đơn vị thời gian, tạo ra dòng điện lớn hơn.

3. Định luật 3: Về động năng ban đầu cực đại

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 làm catot. Khi tần số ánh sáng tăng (bước sóng giảm), động năng ban đầu cực đại của quang electron tăng.

III. Công Thức Anh-xtanh Về Hiện Tượng Quang Điện

Einstein đã vận dụng thuyết lượng tử ánh sáng để giải thích một cách hoàn hảo các định luật quang điện.

1. Nội dung

Theo Einstein, hiện tượng quang điện xảy ra do sự hấp thụ hoàn toàn năng lượng của một photon bởi một electron. Năng lượng này được dùng cho 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 bứt ra khỏi kim loại.

2. Công thức Anh-xtanh

- **Công thức:** $hf = A + W_{đ0\max}$ hoặc $hc/\lambda = A + \frac{1}{2}mv_{0\max}^2$
- **Giải thích các đại lượng:**
 - **$hf = hc/\lambda$:** Năng lượng của photon ánh sáng kích thích.

- **A:** Công thoát của electron khỏi kim loại. Đây là năng lượng tối thiểu cần thiết để bứt một electron ra khỏi bề mặt kim loại. Công thoát phụ thuộc vào bản chất của kim loại.
- **$W_{đ0max} = \frac{1}{2}mv_{0max}^2$:** Động năng ban đầu cực đại của quang electron.
- **m:** Khối lượng của electron, **$m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.**
- **v_{0max} :** Vận tốc ban đầu cực đại của quang electron.

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

Công thức Anh-xanh giải thích trọn vẹn 3 định luật quang điện:

• Giải thích Định luật 1 (Giới hạn quang điện):

Để hiện tượng quang điện xảy ra, năng lượng của photon phải đủ lớn để cung cấp công thoát cho electron. Tức là, electron phải có động năng ban đầu không âm ($W_{đ0max} \geq 0$).

Từ công thức, ta có: **$hf \geq A$.**

Năng lượng photon tối thiểu để gây ra hiện tượng quang điện là khi $hf = A$.

Tần số tương ứng là tần số giới hạn f_0 , và bước sóng tương ứng là giới hạn quang điện λ_0 .

Công thức tính công thoát và giới hạn quang điện: **$A = hf_0 = hc/\lambda_0$**

Vậy, điều kiện để xảy ra hiện tượng quang điện là: **$hf \geq hf_0 \Leftrightarrow f \geq f_0$ hoặc $hc/\lambda \geq hc/\lambda_0 \Leftrightarrow \lambda \leq \lambda_0$.** Điều này hoàn toàn phù hợp với định luật 1.

• Giải thích Định luật 2 (Cường độ dòng quang điện):

Cường độ chùm sáng tỉ lệ với số photon trong chùm sáng. Khi cường độ sáng tăng, số photon đến bề mặt kim loại trong một giây tăng lên. Nếu mỗi photon

bị hấp thụ bởi một electron, thì số electron bứt ra trong một giây cũng tăng lên, làm cho cường độ dòng quang điện bão hòa tăng.

- **Giải thích Định luật 3 (Động năng cực đại):**

Từ công thức Anh-xtanh: $W_{đ0\max} = hf - A$. Ta thấy rằng 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), hoàn toàn không phụ thuộc vào cường độ chùm sáng (số photon).

4. Ví dụ áp dụng

- **Ví dụ 1:** Giới hạn quang điện của kim loại Natri (Na) là $\lambda_0 = 0,5 \mu\text{m}$. Tính công thoát của Natri ra đơn vị Jun (J) và electron-volt (eV). Biết $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Giải:

Đổi đơn vị: $\lambda_0 = 0,5 \mu\text{m} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

Công thoát tính theo J: $A = hc/\lambda_0 = (6,625 \cdot 10^{-34} * 3 \cdot 10^8) / (0,5 \cdot 10^{-6}) = 3,975 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Công thoát tính theo eV: $A (\text{eV}) = (3,975 \cdot 10^{-19}) / (1,6 \cdot 10^{-19}) \approx 2,48 \text{ eV}$.

- **Ví dụ 2:** Chiếu một bức xạ có bước sóng $\lambda = 0,33 \mu\text{m}$ vào một kim loại có công thoát $A = 3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Hỏi hiện tượng quang điện có xảy ra không? Nếu có, hãy tính động năng ban đầu cực đại và vận tốc ban đầu cực đại của quang electron.

Giải:

Năng lượng của photon kích thích: $\epsilon = hc/\lambda = (6,625 \cdot 10^{-34} * 3 \cdot 10^8) / (0,33 \cdot 10^{-6}) \approx 6,023 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

So sánh năng lượng photon và công thoát: $\varepsilon = 6,023.10^{-19} \text{ J} > A = 3.10^{-19} \text{ J}$.

Vì năng lượng photon lớn hơn công thoát nên hiện tượng quang điện xảy ra.

Động năng ban đầu cực đại: $W_{đ0\max} = \varepsilon - A = 6,023.10^{-19} - 3.10^{-19} = 3,023.10^{-19} \text{ J}$.

Vận tốc ban đầu cực đại: $W_{đ0\max} = \frac{1}{2}mv_{0\max}^2$

$\Rightarrow v_{0\max} = \sqrt{(2 * W_{đ0\max} / m)} = \sqrt{(2 * 3,023.10^{-19} / 9,1.10^{-31})} \approx 8,15.10^5 \text{ m/s}$.

IV. Lưỡng Tính Sóng - Hạt Của Ánh Sáng

1. Khái niệm

Ánh sáng vừa có tính chất sóng, vừa có tính chất hạt. Hai tính chất này không mâu thuẫn mà bổ sung cho nhau, tạo nên một bản chất đầy đủ của ánh sáng.

- **Tính chất sóng:** Thể hiện rõ trong các hiện tượng giao thoa, nhiễu xạ, tán sắc. Sóng điện từ có bước sóng càng dài thì tính chất sóng thể hiện càng rõ.
- **Tính chất hạt (photon):** Thể hiện rõ trong các hiện tượng tương tác với vật chất như quang điện, phát quang. Ánh sáng có bước sóng càng ngắn (năng lượng photon càng lớn) thì tính chất hạt thể hiện càng rõ.

2. So sánh tính chất sóng và hạt

Bảng dưới đây tóm tắt sự khác biệt trong cách mô tả năng lượng và các hiện tượng đặc trưng của hai tính chất.

Đặc điểm	Mô tả theo tính chất SÓNG	Mô tả theo tính chất HẠT
Năng lượng	Năng lượng của sóng tỉ lệ với bình phương biên độ sóng (cường độ chùm sáng).	Năng lượng của chùm sáng là tổng năng lượng các photon. Năng lượng mỗi photon tỉ lệ với tần số ($\epsilon = hf$).
Hiện tượng đặc trưng	Giao thoa, nhiễu xạ, phân cực.	Hiện tượng quang điện, hiệu ứng Compton, sự phát xạ và hấp thụ bức xạ.
Khi nào thể hiện rõ	Khi bước sóng dài (ví dụ: sóng vô tuyến).	Khi bước sóng ngắn (ví dụ: tia X, tia gamma).