

1. Giới thiệu về Quang phổ vạch của nguyên tử Hidro

Quang phổ vạch của nguyên tử Hidro là một quang phổ phát xạ, bao gồm các vạch sáng riêng lẻ, không liên tục, được ngăn cách bởi những khoảng tối. Sự hình thành quang phổ này được giải thích dựa trên mẫu nguyên tử Bo.

- **Tiên đề về trạng thái dừng:** Nguyên tử chỉ tồn tại trong những trạng thái có năng lượng xác định, gọi là trạng thái dừng. Khi ở trạng thái dừng, nguyên tử không bức xạ năng lượng. Các mức năng lượng này được ký hiệu là E_n , với $n=1, 2, 3, \dots$ tương ứng với các quỹ đạo dừng K, L, M, N,...
- **Tiên đề về bức xạ và hấp thụ năng lượng:** Khi nguyên tử chuyển từ trạng thái dừng có năng lượng cao E_{cao} sang trạng thái dừng có năng lượng thấp hơn $E_{\text{thấp}}$, nó sẽ phát ra một photon có năng lượng đúng bằng hiệu hai mức năng lượng đó: $\epsilon = hf = E_{\text{cao}} - E_{\text{thấp}}$.

Tập hợp các vạch quang phổ tạo thành khi electron trong nguyên tử Hidro chuyển từ các mức năng lượng cao hơn về cùng một mức năng lượng thấp hơn được gọi là một dãy quang phổ. Có ba dãy quang phổ chính thường được xét: Lyman, Balmer và Pasen.

2. Dãy Lyman (Lyman Series)

a. Sự hình thành dãy Lyman

Dãy Lyman được hình thành khi các electron trong nguyên tử Hidro đang ở các trạng thái kích thích (các mức năng lượng cao) chuyển về trạng thái cơ bản, tức là mức năng lượng thấp nhất E_1 (quỹ đạo K).

- Electron chuyển từ mức L ($n=2$) về mức K ($n=1$).
- Electron chuyển từ mức M ($n=3$) về mức K ($n=1$).
- Electron chuyển từ mức N ($n=4$) về mức K ($n=1$).
- ...
- Electron chuyển từ mức vô cùng ($n=\infty$) về mức K ($n=1$).

Mỗi sự chuyển mức như vậy sẽ phát ra một photon có năng lượng và bước sóng xác định, tạo thành một vạch quang phổ trong dãy Lyman.

b. Vị trí trong quang phổ điện từ

Các vạch trong dãy Lyman đều nằm trong **vùng tử ngoại (Ultraviolet - UV)** của thang sóng điện từ. Nguyên nhân là do mức năng lượng cơ bản E_1 rất thấp so với các mức năng lượng kích thích khác. Do đó, hiệu năng lượng $E_n - E_1$ (với $n \geq 2$) rất lớn, dẫn đến các photon phát ra có năng lượng cao, tần số lớn và bước sóng ngắn, nằm ngoài vùng ánh sáng nhìn thấy.

3. Các công thức tính toán liên quan đến dãy Lyman

a. Công thức tính bước sóng (Công thức Rydberg)

Bước sóng λ của các vạch quang phổ trong dãy Lyman được tính bằng công thức tổng quát:

$$1/\lambda = R_H * (1/1^2 - 1/n^2)$$

Trong đó:

- λ : Bước sóng của vạch quang phổ (m).
- R_H : Hằng số Rydberg, $R_H \approx 1,097.10^7 \text{ m}^{-1}$.
- n : Số lượng tử chính của mức năng lượng cao mà electron chuyển từ đó về, với $n = 2, 3, 4, \dots$

Ví dụ 1: Tính bước sóng của vạch đầu tiên trong dãy Lyman (vạch Lyman-alpha, $L\alpha$).

Giải: Vạch đầu tiên tương ứng với sự chuyển mức từ $n=2$ về $n=1$. Áp dụng công thức:

$$1/\lambda_{21} = 1,097.10^7 * (1/1^2 - 1/2^2) = 1,097.10^7 * (3/4) \approx 8,2275.10^6 \text{ m}^{-1}.$$

$\Rightarrow \lambda_{21} \approx 1 / (8,2275.10^6) \approx 1,215.10^{-7} \text{ m} = 121,5 \text{ nm}$. Đây là bước sóng nằm trong vùng tử ngoại.

Ví dụ 2: Tính bước sóng của vạch thứ ba trong dãy Lyman (vạch Lyman-gamma, $L\gamma$).

Giải: Vạch thứ ba tương ứng với sự chuyển mức từ $n=4$ về $n=1$. Áp dụng công thức:

$$1/\lambda_{41} = 1,097.10^7 * (1/1^2 - 1/4^2) = 1,097.10^7 * (15/16) \approx 1,028.10^7 \text{ m}^{-1}.$$

$$\Rightarrow \lambda_{41} \approx 1 / (1,028.10^7) \approx 9,72.10^{-8} \text{ m} = 97,2 \text{ nm}.$$

b. Công thức tính năng lượng photon phát ra

Năng lượng của photon phát ra khi electron chuyển mức được tính bằng công thức:

$$\epsilon = hf = hc/\lambda = E_n - E_1$$

Trong đó, năng lượng của các mức dừng trong nguyên tử Hidro được xác định bởi:

$$E_n = -13,6 / n^2 \text{ (eV)} \text{ (với } n = 1, 2, 3, \dots)$$

$$\text{Lưu ý: } 1 \text{ eV} = 1,6.10^{-19} \text{ J. } h = 6,625.10^{-34} \text{ J.s; } c = 3.10^8 \text{ m/s.}$$

Ví dụ 1: Tính năng lượng của photon phát ra khi electron chuyển từ mức $n=2$ về mức $n=1$ (tạo ra vạch $L\alpha$).

Giải:

$$E_2 = -13,6 / 2^2 = -3,4 \text{ eV.}$$

$$E_1 = -13,6 / 1^2 = -13,6 \text{ eV.}$$

$$\text{Năng lượng photon: } \epsilon = E_2 - E_1 = (-3,4) - (-13,6) = 10,2 \text{ eV.}$$

Ví dụ 2: Một nguyên tử Hidro phát ra bức xạ có năng lượng 12,75 eV. Cho biết bức xạ này thuộc vạch nào trong dãy Lyman.

Giải: Bức xạ thuộc dãy Lyman nên $E_{\text{thấp}} = E_1 = -13,6 \text{ eV}$.

Ta có: $\epsilon = E_{\text{cao}} - E_{\text{thấp}} \Rightarrow 12,75 = E_n - (-13,6) \Rightarrow E_n = 12,75 - 13,6 = -0,85 \text{ eV}$.

Mặt khác, $E_n = -13,6 / n^2 \Rightarrow -0,85 = -13,6 / n^2 \Rightarrow n^2 = 16 \Rightarrow n = 4$.

Vậy đây là bức xạ ứng với vạch Lyman-gamma (L_γ), tạo ra khi electron chuyển từ mức N ($n=4$) về mức K ($n=1$).

4. Các vạch quang phổ đặc trưng trong dãy Lyman

Dãy Lyman có các vạch đặc trưng sau:

Tên vạch	Chuyển mức	Giá trị n	Đặc điểm
Vạch Lyman-alpha (L_α)	L ($n=2$) $\rightarrow$ K ($n=1$)	$n=2$	Vạch có bước sóng dài nhất (λ_{max}), tần số và năng lượng nhỏ nhất ($f_{\text{min}}, \epsilon_{\text{min}}$) trong dãy.
Vạch Lyman-beta (L_β)	M ($n=3$) $\rightarrow$ K ($n=1$)	$n=3$	Vạch có bước sóng dài thứ hai trong dãy.
Vạch Lyman-gamma (L_γ)	N ($n=4$) $\rightarrow$ K ($n=1$)	$n=4$	Vạch có bước sóng dài thứ ba trong dãy.
Vạch giới hạn dãy	$n=\infty \rightarrow$ K ($n=1$)	$n=\infty$	Vạch có bước sóng ngắn nhất (λ_{min}), tần số và năng lượng lớn nhất ($f_{\text{max}}, \epsilon_{\text{max}}$) trong dãy.

a. Vạch có bước sóng dài nhất ($\lambda_{\max}$)

Vạch có bước sóng dài nhất tương ứng với năng lượng photon nhỏ nhất. Trong dãy Lyman, đây là sự chuyển mức năng lượng gần nhất, tức là từ $n=2$ về $n=1$. Đây chính là vạch $L\alpha$.

$$1/\lambda_{\max} = R_H * (1/1^2 - 1/2^2) = 3R_H/4 \Rightarrow \lambda_{\max} = 4/(3R_H)$$

Ví dụ: Tính bước sóng dài nhất trong dãy Lyman.

Giải: $\lambda_{\max} = 4 / (3 * 1,097.10^7) \approx 1,215.10^{-7} \text{ m} = 121,5 \text{ nm}.$

b. Vạch có bước sóng ngắn nhất ($\lambda_{\min}$ - Giới hạn dãy)

Vạch có bước sóng ngắn nhất tương ứng với năng lượng photon lớn nhất. Điều này xảy ra khi electron chuyển từ mức năng lượng xa nhất ($n=\infty$) về mức $n=1$.

$$1/\lambda_{\min} = R_H * (1/1^2 - 1/\infty^2) = R_H \Rightarrow \lambda_{\min} = 1/R_H \text{ (Vì } 1/\infty \approx 0)$$

Ví dụ: Tính bước sóng ngắn nhất trong dãy Lyman.

Giải: $\lambda_{\min} = 1 / 1,097.10^7 \approx 9,116.10^{-8} \text{ m} = 91,16 \text{ nm}.$

5. Mối liên hệ giữa các dãy quang phổ

Năng lượng của các photon tuân theo nguyên lý cộng năng lượng. Năng lượng để chuyển từ mức n_3 về n_1 bằng tổng năng lượng để chuyển từ n_3 về n_2 và từ n_2 về n_1 .

$$E_{3 \rightarrow 1} = E_{3 \rightarrow 2} + E_{2 \rightarrow 1}$$

Từ đó suy ra mối liên hệ về tần số và bước sóng:

$$\bullet f_{31} = f_{32} + f_{21}$$

- $hc/\lambda_{31} = hc/\lambda_{32} + hc/\lambda_{21} \Rightarrow 1/\lambda_{31} = 1/\lambda_{32} + 1/\lambda_{21}$

Trong đó:

- λ_{31} là bước sóng của vạch $L\beta$ trong dãy Lyman.
- λ_{32} là bước sóng của vạch $H\alpha$ trong dãy Banme.
- λ_{21} là bước sóng của vạch $L\alpha$ trong dãy Lyman.

Ví dụ: Biết bước sóng vạch $L\alpha$ là 121,6 nm và vạch $H\alpha$ trong dãy Banme là 656,3 nm. Hãy tính bước sóng của vạch $L\beta$.

Giải: Áp dụng công thức liên hệ:

$$1/\lambda_{L\beta} = 1/\lambda_{L\alpha} + 1/\lambda_{H\alpha} = 1/121,6 + 1/656,3$$

$$1/\lambda_{L\beta} \approx 0,00822 + 0,00152 = 0,00974 \text{ nm}^{-1}$$

$\Rightarrow \lambda_{L\beta} \approx 1 / 0,00974 \approx 102,7 \text{ nm}$. Đây chính là bước sóng của vạch Lyman-beta.