

Tổng hợp kiến thức: Mẫu nguyên tử Bo và Sự chuyển mức năng lượng

Mẫu nguyên tử của Rutherford-Bohr là một bước tiến quan trọng trong việc mô tả cấu trúc nguyên tử, đặc biệt là nguyên tử Hidrô. Nó giải thích được sự tồn tại của các quang phổ vạch, điều mà mẫu hành tinh nguyên tử của Rutherford không làm được.

1. Mẫu nguyên tử Bo

Mẫu nguyên tử Bo được xây dựng dựa trên mẫu hành tinh nguyên tử của Rutherford nhưng có bổ sung thêm hai tiên đề để giải thích tính bền vững của nguyên tử và sự tạo thành quang phổ vạch của các nguyên tử.

- **Nội dung cơ bản:** Electron chuyển động trên các quỹ đạo tròn quanh hạt nhân dưới tác dụng của lực tĩnh điện Coulomb.
- **Hạn chế của mô hình cũ:** Theo vật lý cổ điển, một electron chuyển động có gia tốc quanh hạt nhân sẽ liên tục bức xạ năng lượng (sóng điện từ), mất dần năng lượng, rơi vào hạt nhân và nguyên tử bị phá hủy. Điều này trái với thực tế.

2. Các tiên đề của Bo về cấu tạo nguyên tử

Để khắc phục những hạn chế trên, Bo đã đề xuất hai tiên đề quan trọng áp dụng cho nguyên tử, đặc biệt là nguyên tử Hidrô.

a. Tiên đề về trạng thái dừng

- **Nội dung:** Nguyên tử chỉ tồn tại trong những trạng thái có năng lượng xác định, gọi là các trạng thái dừng. Khi ở trong các trạng thái dừng, nguyên tử không bức xạ năng lượng.
- **Giải thích:** Trong các trạng thái dừng của nguyên tử, electron chỉ chuyển động quanh hạt nhân trên những quỹ đạo có bán kính hoàn toàn xác định gọi là các quỹ đạo dừng.
- **Các quỹ đạo dừng:** Đối với nguyên tử Hidrô, các quỹ đạo dừng được đặt tên theo thứ tự từ trong ra ngoài là K, L, M, N, O, P,... tương ứng với các số lượng tử chính $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots$

Bán kính quỹ đạo dừng

Bán kính quỹ đạo dừng thứ n của electron trong nguyên tử Hidrô được xác định bởi công thức:

$$r_n = n^2 * r_0$$

- r_n : Bán kính quỹ đạo dừng thứ n .
- n : Số lượng tử chính ($n \in \mathbb{N}^*$, $n = 1, 2, 3, \dots$).
- r_0 : Bán kính Bo, là bán kính quỹ đạo K ($n=1$). $r_0 \approx 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$.

Ví dụ 1: Tính bán kính quỹ đạo L của electron trong nguyên tử Hidrô.

Giải: Quỹ đạo L ứng với $n = 2$. Áp dụng công thức, ta có: $r_L = 2^2 * r_0 = 4 * 5,3 \cdot 10^{-11} = 21,2 \cdot 10^{-11} \text{ m}$.

Ví dụ 2: Một electron đang ở quỹ đạo N. Bán kính quỹ đạo này lớn hơn bán kính Bo bao nhiêu lần?

Giải: Quỹ đạo N ứng với $n = 4$. Ta có $r_N = 4^2 * r_0 = 16 * r_0$. Vậy bán kính quỹ đạo N lớn hơn bán kính Bo 16 lần.

Năng lượng ở trạng thái dừng

Mỗi trạng thái dừng có một mức năng lượng hoàn toàn xác định. Đối với nguyên tử Hidrô, năng lượng của electron ở quỹ đạo dừng thứ n là:

$$E_n = -E_0 / n^2 = -13,6 / n^2 \text{ (eV)}$$

- E_n : Năng lượng của trạng thái dừng thứ n (đơn vị thường dùng là eV).
- n : Số lượng tử chính ($n = 1, 2, 3, \dots$).
- E_0 : Năng lượng ion hóa của nguyên tử Hidrô ở trạng thái cơ bản, $E_0 = 13,6$ eV.
- **Trạng thái cơ bản:** Là trạng thái dừng có năng lượng thấp nhất, ứng với $n = 1$ (quỹ đạo K). $E_1 = -13,6$ eV.
- **Trạng thái kích thích:** Là các trạng thái dừng có năng lượng cao hơn trạng thái cơ bản, ứng với $n > 1$.
- **Lưu ý:** Năng lượng E_n có giá trị âm vì đây là năng lượng của một hệ liên kết (electron liên kết với hạt nhân). Khi n tiến tới vô cùng, E_n tiến tới 0, tương ứng với trạng thái electron đã thoát khỏi nguyên tử (nguyên tử bị ion hóa).

Ví dụ 1: Tính năng lượng của nguyên tử Hidrô ở trạng thái cơ bản.

Giải: Trạng thái cơ bản ứng với $n = 1$. Ta có: $E_1 = -13,6 / 1^2 = -13,6$ eV.

Ví dụ 2: Tính năng lượng của nguyên tử Hidrô ở trạng thái kích thích thứ hai.

Giải: Trạng thái kích thích thứ hai ứng với $n = 3$ ($n=1$ là cơ bản, $n=2$ là kích thích thứ nhất). Ta có: $E_3 = -13,6 / 3^2 \approx -1,51 \text{ eV}$.

b. Tiên đề về sự bức xạ và hấp thụ năng lượng

Tiên đề này giải thích cách nguyên tử chuyển đổi giữa các trạng thái dừng.

Sự bức xạ (phát xạ) năng lượng

- **Nội dung:** Khi nguyên tử chuyển từ trạng thái dừng có năng lượng cao (E_{cao}) xuống 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.
- **Công thức:** $\epsilon = hf = hc/\lambda = E_{\text{cao}} - E_{\text{thấp}}$
- **Giải thích:** Electron "nhảy" từ quỹ đạo ngoài vào quỹ đạo trong, năng lượng dư thừa được giải phóng dưới dạng một hạt ánh sáng (photon). Mỗi photon ứng với một vạch quang phổ có tần số f (hoặc bước sóng λ) xác định.

Ví dụ 1: Electron trong nguyên tử Hidrô chuyển từ quỹ đạo M ($n=3$) về quỹ đạo K ($n=1$). Tính năng lượng và bước sóng của photon phát ra. (Cho $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$).

Giải:

Năng lượng ở quỹ đạo M: $E_3 = -13,6 / 3^2 \approx -1,51 \text{ eV}$.

Năng lượng ở quỹ đạo K: $E_1 = -13,6 / 1^2 = -13,6 \text{ eV}$.

Năng lượng photon phát ra: $\epsilon = E_3 - E_1 = -1,51 - (-13,6) = 12,09 \text{ eV}$.

Đổi ra Joule: $\epsilon = 12,09 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \approx 1,934 \cdot 10^{-18} \text{ J}$.

Bước sóng photon: $\lambda = hc/\epsilon = (6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8) / (1,934 \cdot 10^{-18}) \approx 1,027 \cdot 10^{-7}$

$m = 102,7 \text{ nm}$ (vùng tử ngoại).

Sự hấp thụ năng lượng

- **Nội dung:** Khi nguyên tử đang ở trạng thái dừng có năng lượng thấp ($E_{\text{thấp}}$), để chuyển lên trạng thái dừng có năng lượng cao hơn (E_{cao}), nó phải hấp thụ một photon có năng lượng đúng bằng hiệu hai mức năng lượng đó.
- **Công thức:** $\varepsilon = hf = hc/\lambda = E_{\text{cao}} - E_{\text{thấp}}$
- **Giải thích:** Electron chỉ "nhảy" lên quỹ đạo ngoài nếu nhận được một photon có năng lượng chính xác bằng khoảng cách năng lượng giữa hai quỹ đạo. Nếu năng lượng photon không phù hợp, nguyên tử sẽ không hấp thụ.

Ví dụ 1: Nguyên tử Hidrô ở trạng thái cơ bản ($n=1$) cần hấp thụ một photon có năng lượng bằng bao nhiêu để chuyển lên trạng thái kích thích đầu tiên ($n=2$)?

Giải:

Năng lượng cần hấp thụ: $\varepsilon = E_2 - E_1$.

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

$$E_1 = -13,6 \text{ eV.}$$

$\varepsilon = -3,4 - (-13,6) = 10,2 \text{ eV}$. Nguyên tử cần hấp thụ một photon có năng lượng chính xác là $10,2 \text{ eV}$.

Ví dụ 2: Một nguyên tử Hidrô ở trạng thái cơ bản hấp thụ một photon có năng lượng $12,5 \text{ eV}$. Điều gì sẽ xảy ra?

Giải: Ta tính các hiệu năng lượng:

$$E_2 - E_1 = 10,2 \text{ eV.}$$

$$E_3 - E_1 = 12,09 \text{ eV.}$$

$E_4 - E_1 = 12,75 \text{ eV}.$

Năng lượng 12,5 eV không bằng bất kỳ hiệu $E_n - E_1$ nào. Do đó, nguyên tử không hấp thụ photon này và vẫn ở trạng thái cơ bản.

3. Quang phổ vạch của nguyên tử Hidrô

Mẫu nguyên tử Bo giải thích rất thành công sự hình thành các dãy quang phổ vạch của nguyên tử Hidrô. Mỗi dãy quang phổ ứng với các vạch bức xạ khi electron chuyển từ các mức năng lượng cao về cùng một mức năng lượng thấp xác định.

Tên dãy	Sự chuyển mức	Công thức	Vùng quang phổ
Dãy Laiman (Lyman)	Electron chuyển từ các mức $n > 1$ về mức $n = 1$ (quỹ đạo K).	$hc/\lambda = E_n - E_1$	Tử ngoại (Ultraviolet)
Dãy Banme (Balmer)	Electron chuyển từ các mức $n > 2$ về mức $n = 2$ (quỹ đạo L).	$hc/\lambda = E_n - E_2$	Một phần trong vùng khả kiến, một phần trong vùng tử ngoại
Dãy Pasen (Paschen)	Electron chuyển từ các mức $n > 3$ về mức $n = 3$ (quỹ đạo M).	$hc/\lambda = E_n - E_3$	Hồng ngoại (Infrared)

a. Dãy Laiman

Hình thành khi electron từ các mức năng lượng cao ($n=2, 3, 4, \dots$) nhảy về mức năng lượng cơ bản ($n=1$).

- **Vạch dài nhất (năng lượng nhỏ nhất):** Ứng với sự chuyển từ $n=2$ về $n=1$.
 λ_{21} .
- **Vạch ngắn nhất (năng lượng lớn nhất):** Ứng với sự chuyển từ $n=\infty$ về $n=1$. $\lambda_{\infty 1}$.

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

Giải: Bước sóng dài nhất ứng với năng lượng nhỏ nhất, tức là electron chuyển từ $n=2$ về $n=1$.

$$\varepsilon = E_2 - E_1 = 10,2 \text{ eV} = 10,2 * 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,632 \cdot 10^{-18} \text{ J}.$$

$$\lambda_{21} = hc/\varepsilon = (6,625 \cdot 10^{-34} * 3 \cdot 10^8) / (1,632 \cdot 10^{-18}) \approx 1,218 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 121,8 \text{ nm}.$$

b. Dãy Banme

Hình thành khi electron từ các mức năng lượng cao hơn ($n=3, 4, 5, \dots$) nhảy về mức năng lượng $n=2$.

- Bốn vạch đầu tiên của dãy Banme nằm trong vùng ánh sáng nhìn thấy: H_α (đỏ), H_β (lam), H_γ (chàm), H_δ (tím).
- **Vạch H_α (đỏ):** Chuyển từ $n=3$ về $n=2$.
- **Vạch H_β (lam):** Chuyển từ $n=4$ về $n=2$.
- **Vạch H_γ (chàm):** Chuyển từ $n=5$ về $n=2$.
- **Vạch H_δ (tím):** Chuyển từ $n=6$ về $n=2$.

Ví dụ: Tính bước sóng của vạch quang phổ H_{α} trong dãy Banme.

Giải: Vạch H_{α} ứng với sự chuyển mức từ $n=3$ về $n=2$.

$$E_3 = -13,6/3^2 \approx -1,51 \text{ eV.}$$

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

$$\varepsilon = E_3 - E_2 = -1,51 - (-3,4) = 1,89 \text{ eV} = 1,89 * 1,6.10^{-19} \text{ J} \approx 3,024.10^{-19} \text{ J.}$$

$$\lambda_{32} = hc/\varepsilon = (6,625.10^{-34} * 3.10^8) / (3,024.10^{-19}) \approx 6,575.10^{-7} \text{ m} = 657,5 \text{ nm}$$

(màu đỏ).

c. Dãy Pasen

Hình thành khi electron từ các mức năng lượng cao hơn ($n=4, 5, 6, \dots$) nhảy về mức năng lượng $n=3$.

- **Vạch dài nhất (năng lượng nhỏ nhất):** Ứng với sự chuyển từ $n=4$ về $n=3$.
- **Vạch ngắn nhất (năng lượng lớn nhất):** Ứng với sự chuyển từ $n=\infty$ về $n=3$.

Ví dụ: Tính bước sóng của vạch đầu tiên trong dãy Pasen.

Giải: Vạch đầu tiên ứng với sự chuyển từ $n=4$ về $n=3$.

$$E_4 = -13,6/4^2 = -0,85 \text{ eV.}$$

$$E_3 = -13,6/3^2 \approx -1,51 \text{ eV.}$$

$$\varepsilon = E_4 - E_3 = -0,85 - (-1,51) = 0,66 \text{ eV} = 0,66 * 1,6.10^{-19} \text{ J} \approx 1,056.10^{-19} \text{ J.}$$

$$\lambda_{43} = hc/\varepsilon = (6,625.10^{-34} * 3.10^8) / (1,056.10^{-19}) \approx 1,882.10^{-6} \text{ m} = 1882 \text{ nm}$$

(vùng hồng ngoại).