

## TÁC DỤNG CỦA TỪ TRƯỜNG LÊN QUANG PHỔ NGUYÊN TỬ ( HIỆU ỨNG ZEEMAN )

### I- Hiệu ứng Zeeman

#### 1/ Hiệu ứng Zeeman bình thường

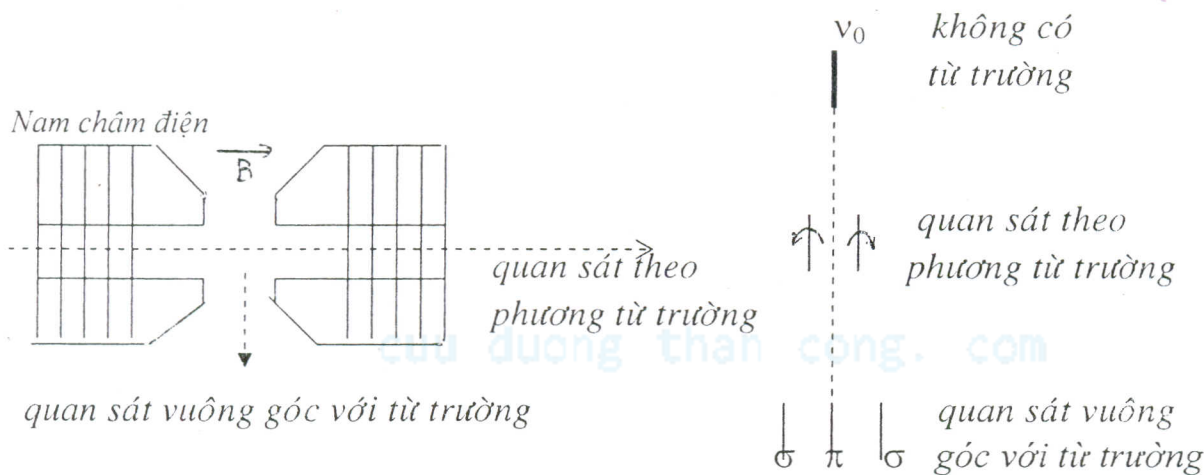
##### a)Thí nghiệm

Nguồn sáng đặt trong từ trường giữa 1 cực của 1 nam châm điện có cực từ rõ, cho phép quan sát theo phương của từ trường hoặc theo phương vuông góc với từ trường.

Dụng cụ quan sát là máy quang phổ có năng suất tán sắc cao hoặc giao thoa kế.

Xét bức xạ đơn sắc có tần số  $\nu_0$  do nguồn phát ra.

• Nếu quan sát theo phương từ trường thì vạch quang phổ bị phân tích ra 2 thành phần đối xứng với nhau qua vị trí ban đầu của vạch quang phổ, cả 2 đều là ánh sáng phân cực tròn (1 tròn trái và 1 tròn phải).



• Nếu quan sát theo phương vuông góc với từ trường thì thấy vạch quang phổ bị phân tích ra 3 vạch :

- ở giữa là vạch có cùng tần số  $\nu_0$  (gọi là vạch  $\pi$ ) có vectơ dao động song song với từ trường  $\vec{B}$

- ở 2 bên là 2 vạch có tần số  $\nu_{-1} = \nu_0 - \Delta\nu_0$  và  $\nu_{+1} = \nu_0 + \Delta\nu_0$  (gọi là 2 vạch  $\sigma$ ) ,có vectơ dao động vuông góc với từ trường  $\vec{B}$  , đối xứng nhau qua vạch  $\nu_0$

Trong đó hiệu tần số  $\Delta\nu_0 = \nu_{+1} - \nu_0 = \nu_0 - \nu_{-1}$  có giá trị phụ thuộc vào cảm ứng từ B :

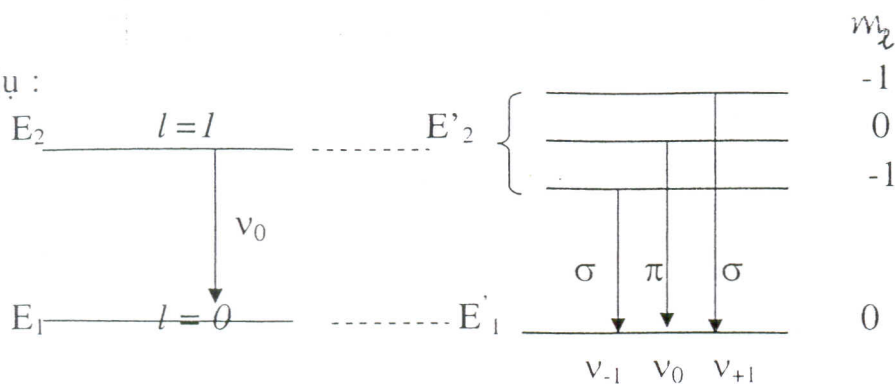
$$\Delta\nu_0 = \frac{\mu_B B}{h} \text{ (Hz)}$$

##### b) Giải thích

Hiện tượng này gọi là hiệu ứng Zeeman (bình thường) có thể giải thích theo thuyết lượng tử hóa trong không gian. Trong từ trường, mỗi mức năng lượng E sẽ bị phân tích thành  $2l + 1$  mức con có giá trị  $E + \Delta E$  , trong đó  $\Delta E$  phụ thuộc số lượng tử từ  $m_l$  :

$$\Delta E = m_l \mu_B B$$

Ví dụ :



không có từ trường

có từ trường

$$\nu_0 = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad \text{và} \quad \nu = \frac{E'_2 - E'_1}{h} = \frac{(E_2 + m_l \mu_B B) - (E_1 + m_l \mu_B B)}{h}$$

$$= \frac{E_2 - E_1}{h} + \Delta m_l \left( \frac{\mu_B B}{h} \right) = \nu_0 + \Delta m_l \Delta \nu_0$$

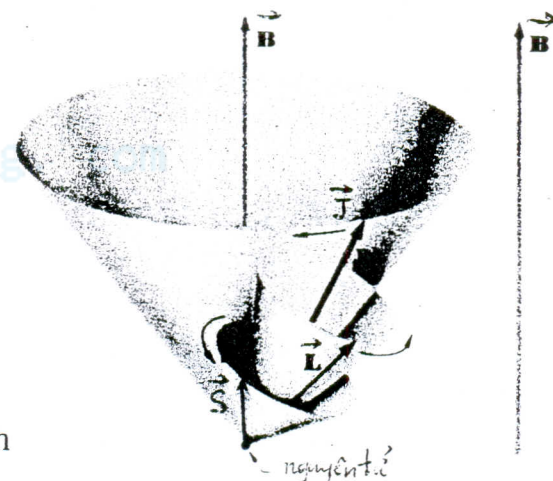
Qui tắc lựa chọn cho các chuyển dời trong trường hợp này là :

$$\Delta m_l = \begin{cases} 0 & (\text{vạch } \pi) \\ \pm 1 & (\text{vạch } \sigma) \end{cases}$$

Do đó tần số của các vạch bị tách ra là  $\nu = \nu_0 ; \nu_0 \pm \Delta \nu_0$

## 2/ Hiệu ứng Zeeman trong từ trường yếu

Từ trường được coi là yếu nếu năng lượng phụ  $\Delta E$  gây ra bởi từ trường nhỏ hơn năng lượng gây ra do tương tác spin quỹ đạo  $\Delta E_{s_0}$ . Trong trường hợp này có xét tới spin electron (trong khi trong hiệu ứng bình thường không có xét tới spin); liên kết L-S tạo ra vectơ  $\vec{J}$  chuyển động tuế sai xung quanh hướng của từ trường



Trong trường hợp này  $\Delta E = g m_J \mu_B B$  với  $m_J = -J, -J+1, \dots, +J$ , nghĩa là trạng thái dừng có số lượng tử J (ứng với 1 mức năng lượng) sẽ bị phân tích thành  $2J+1$  mức con trong từ trường yếu.

Hệ số g gọi là thừa số Landé : 
$$g = \frac{3}{2} + \frac{S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}$$

Sự phân tích vạch quang phổ cũng giải thích tương tự như trong hiệu ứng Zeeman bình thường, với qui tắc lựa chọn là

$$\Delta m_J = \begin{cases} 0 & (\text{thành phần } \pi) \\ \pm 1 & (\text{thành phần } \sigma) \end{cases}$$

Đồng thời thỏa mãn 2 định luật thực nghiệm :

1/ Định luật Runge : Các vạch quang phổ có cùng kí hiệu số sóng sẽ bị phân tích ra số thành phần như nhau mà không phụ thuộc số lượng tử chính

2/ Định luật Preston : Độ tách vạch  $\Delta \nu$  là 1 phân số hữu tỉ của  $\Delta \nu_0$

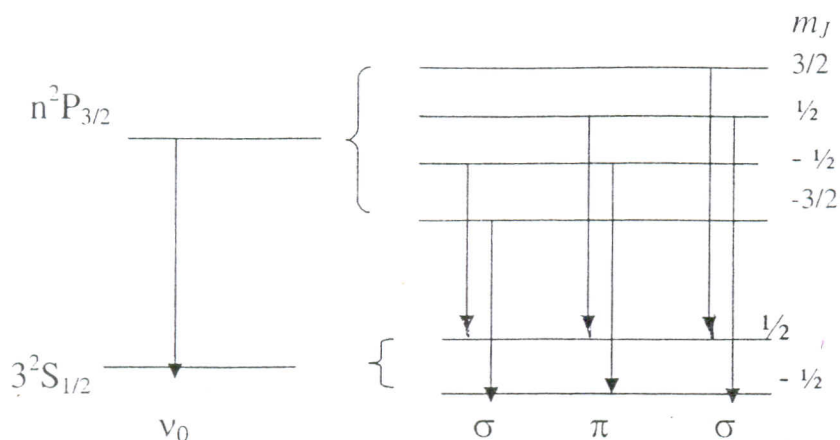
$$\Delta \nu = \frac{p}{q} \Delta \nu_0$$

Ví dụ : Các vạch trong dãy chính của Li ,Na,K đều bị phân tích ra các thành phần giống nhau.

Hãy xét vạch quang phổ có kí hiệu số sóng  $\bar{\nu} = 3^2S_{1/2} - n^2P_{3/2}$  của Na bị phân tích thế nào trong từ trường yếu.

Mức trên  $n^2P_{3/2}$  có  $S = 1/2$  ;  $L = 1$  ;  $J = 3/2$  nên có  $g = 4/3$  và  $m_J = -3/2 ; -1/2 ; 1/2 ; 3/2$  nên sẽ bị tách ra 4 mức con

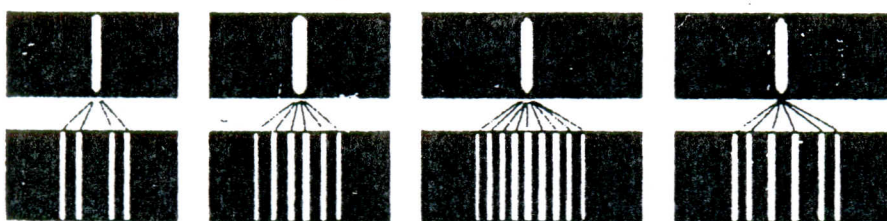
Mức dưới  $3^2S_{1/2}$  có  $S = 1/2$  ;  $L = 0$  ;  $J = 1/2$  nên có  $g = 2$  và  $m_J = -1/2 ; 1/2$  nên sẽ bị tách ra 2 mức con



Áp dụng qui tắc lựa chọn, suy ra vạch quang phổ nói trên bị phân tích ra 6 vạch trong từ trường yếu , có độ tách vạch là :

$$\Delta\nu = \pm \frac{1}{3} \Delta\nu_0 \quad (\text{thành phần } \pi)$$

$$\Delta\nu = \pm \frac{5}{3} \Delta\nu_0 ; \pm \Delta\nu_0 \quad (\text{thành phần } \sigma)$$



Hiệu ứng Zeeman trong từ trường yếu của 1 số vạch quang phổ

### 3/ Hiệu ứng Zeeman trong từ trường mạnh (hiệu ứng Paschen– Back)

Năm 1912 Paschen và Back phát hiện ra rằng các qui luật trên chỉ đúng khi từ trường B tương đối yếu. Nếu tăng B lên thì sự phân tích vạch trở nên bất đối xứng ; độ tách vạch  $\Delta\nu$  tăng gây ra sự di chuyển của thành phần : 1 số thành phần sẽ phủ lên nhau, cường độ của 1 số thành phần sẽ thay đổi . Cuối cùng khi B đủ lớn thì chỉ còn 3 thành phần như trong hiệu ứng Zeeman bình thường . Đó là hiệu ứng Paschen - Back .

Hiện tượng này được giải thích là khi B lớn, năng lượng phụ gây ra bởi từ trường khá lớn sẽ làm phá vỡ liên kết L-S , nên các vectơ momen động lượng  $\vec{L}$  và  $\vec{S}$  sẽ chuyển động tuế sai



độc lập xung quanh phương của từ trường (phương z). Khi đó vectơ  $\vec{L}$  được định hướng sao cho hình chiếu  $L_Z$  của nó bị lượng tử hóa :

$$L_Z = m_L h \quad \text{với } m_L = -L; -L+1; \dots; L$$

Và năng lượng phụ nhận được là  $\Delta E_L = m_L h \nu_L$ ; trong đó  $\nu_L = \frac{eB}{4\pi m}$  : tần số tuế sai Larmor

Tương tự vectơ  $\vec{S}$  được định hướng sao cho hình chiếu  $S_Z$  của nó bị lượng tử hóa :

$$S_Z = m_S h \quad \text{với } m_S = -S; -S+1; \dots; S$$

Và năng lượng phụ nhận được là  $\Delta E_S = 2 m_S h \nu_L$

Vậy năng lượng phụ tổng cộng mà nguyên tử nhận được là :

$$\Delta E = \Delta E_L + \Delta E_S = (m_L + 2m_S) h \nu_L$$

trong đó  $m = m_L + 2m_S$  luôn luôn có giá trị nguyên (dù  $m_S$  có thể là số  $\frac{1}{2}$  nguyên)

Ví dụ : Mức  $^2S_{1/2}$  có  $L = 0$  và  $S = \frac{1}{2}$  nên  $m_L = 0$ ;  $m_S = \pm \frac{1}{2}$ ,

Suy ra  $m = \pm 1$  tức là mức  $^2S_{1/2}$  bị tách ra 2 mức con và  $\Delta E = m h \nu_L = \pm h \nu_L$

Mức  $^2P_{1/2}$  và  $^2P_{3/2}$  trùng nhau (vì không có liên kết L-S) có  $L = 1$  và  $S = \frac{1}{2}$  nên  $m_L = -1; 0$  và  $1$ ;  $m_S = \pm \frac{1}{2}$ .

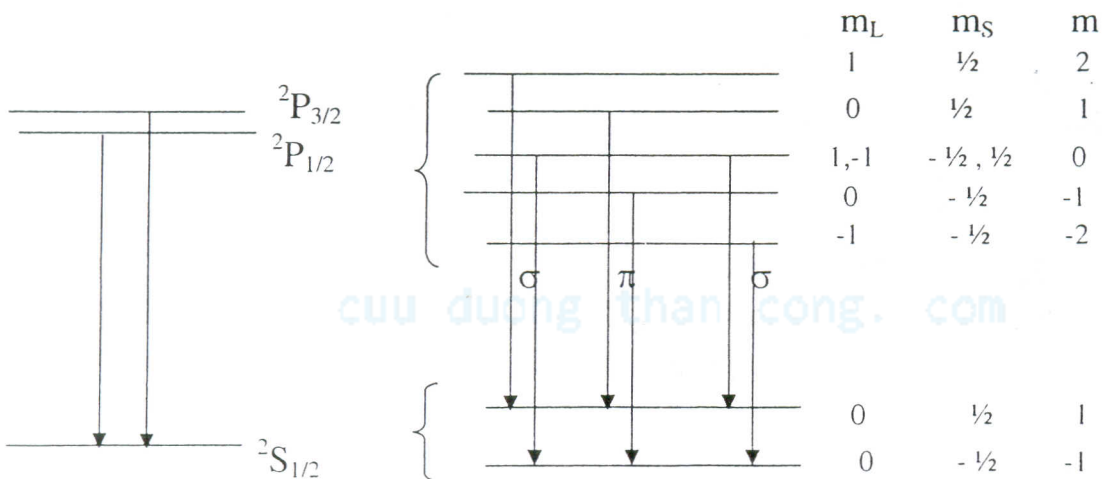
Suy ra  $m = 0; \pm 1; \pm 2$ , tức là mức  $^2P_{1/2}$  (hoặc  $^2P_{3/2}$ ) bị tách ra 5 mức con và  $\Delta E = m h \nu_L = 0; \pm h \nu_L; \pm 2 h \nu_L$

Qui tắc lựa chọn cho chuyển dời giữa các mức trong từ trường mạnh :

$$\begin{cases} \Delta m_L = 0 & (\text{vạch } \pi) \\ \Delta m_L = \pm 1 & (\text{vạch } \sigma) \\ \Delta m_S = 0 \end{cases}$$

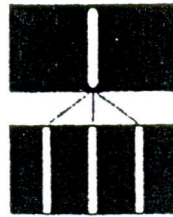
Độ tách vạch  $\Delta \nu = 0; \pm \Delta \nu_0$  (giống như hiệu ứng bình thường)

Ví dụ : Xét sự phân tích vạch kép sau đây trong từ trường mạnh



Có 6 chuyển dời được phép (thỏa qui tắc lựa chọn) trong đó có 2 chuyển dời  $\pi$  (nhưng chỉ ứng với 1 vạch) và 4 chuyển dời  $\sigma$  (ứng với 2 vạch).

Như vậy số thành phần bị phân tích là 3 tương tự như trong hiệu ứng bình thường



### CÂU HỎI THẢO LUẬN

- 1/ Thí nghiệm về hiệu ứng Zeeman. Giải thích hiệu ứng Zeeman bình thường bằng thuyết lượng tử hóa trong không gian
- 2/ Các định luật liên quan tới hiệu ứng Zeeman trong từ trường yếu
- 3/ Giải thích hiệu ứng Paschen - Back

### BÀI TẬP

- 1/ Mức năng lượng  $^3F_4$  và  $^2D_{5/2}$  bị tách ra bao nhiêu mức con trong từ trường yếu?
- 2/ Khảo sát sự phân tích các vạch quang phổ có kí hiệu :
  - a)  $\bar{\nu} = ^3P_1 - ^3D_2$
  - b)  $\bar{\nu} = 2\ ^2P_{1/2} - 3\ ^2S_{1/2}$trong từ trường yếu
- 3/ Mức năng lượng  $^3F_4$  và  $^2P_{3/2}$  bị tách ra bao nhiêu mức con trong từ trường mạnh?
- 4/ Khảo sát sự phân tích trong từ trường mạnh của vạch quang phổ có số sóng :
$$\bar{\nu} = ^1S_1 - ^1P_2$$

### HƯỚNG DẪN & ĐÁP SỐ

- 1/ a) Mức  $^3F_4$  có  $J = 4 \Rightarrow m_J = -4 ; -3 ; \dots ; 4$  sẽ bị tách ra 9 mức con  
b) Mức  $^2D_{5/2}$  có  $J = 5/2 \Rightarrow m_J = -5/2 ; -3/2 ; -1/2 ; 1/2 ; 3/2$  và  $5/2$  sẽ bị tách ra 6 mức con
- 2/ a) Vạch phổ bị tách ra 9 vạch trong từ trường yếu (3 vạch  $\pi$  ; 6 vạch  $\sigma$  )  
b) Vạch phổ bị tách ra 4 vạch trong từ trường yếu (2 vạch  $\pi$  và 2 vạch  $\sigma$  )
- 3) Mức  $^3F_4$  tách ra 11 mức . Mức  $^2P_{3/2}$  tách ra 5 mức
- 4) Vạch quang phổ bị tách ra 3 vạch (2 vạch  $\sigma$  ; 1 vạch  $\pi$  )

cuu duong than cong. com