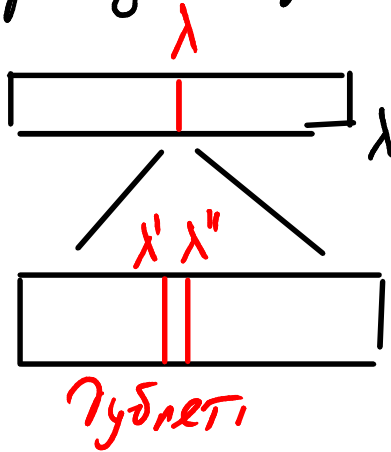


Глава 17. Спин-орбитальное взаимодействие.

Эффект Зеемана

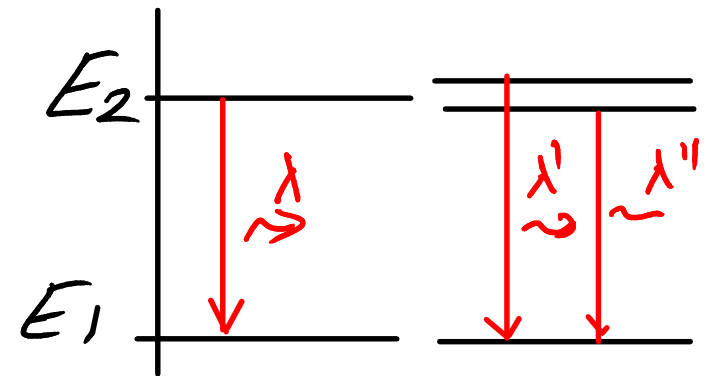
17.1. Спин-орбитальное взаимодействие

Спектр чужих чужих металлов



Тонкая
структ.
спектров

С г.з. кв. теории

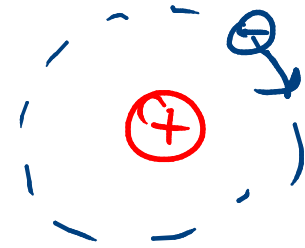


Расчетные уровни энергии обол. неким вз-ем:

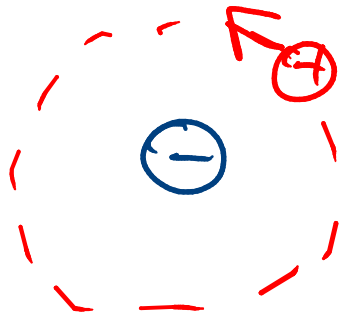
$$\underline{E_2' = E_2 + \Delta E'}$$

Рассм. эл-н, вращ. вокруг ядра.

У эл-на есть маг. мом. \vec{M}_S .



В СО эл-на;



Движение e^- - круговое так

\Rightarrow возникает эффект магн. поле

Взафф (зависит от орбиты)

$$\Rightarrow E_{MB} = - \vec{M}_S \vec{B}_{\text{эфф}}$$

Энергия вз-е
спинового магн. мом.
и эфф магн. поля, созд-
орб. Вывод.

⇓
Спин-орб. вз-е.

$$E_{nj} = - \left(\frac{E_0 Z^2}{n^2} + \frac{2^2 E_0 Z^4}{n^3} \left(\frac{2}{j+1/2} - \frac{3}{4n} \right) \right)$$

Формула Дирака для термов одного атома
с учетом спин-орб. вз-е.

Здесь Z - зарядовое число ядра, $E_0 = \underline{13,6 \text{ эВ}}$

n - квант. число, j - квант. число полн. мом.

$$\alpha = \frac{2\pi e^2}{hc} \quad (\text{CGS})$$

$$\alpha = \frac{e^2}{2hc\epsilon_0} \quad (\text{SI})$$

последняя точка структуры

$$\alpha \approx \frac{1}{137}$$

Для l^{th} я-ка $s = \frac{1}{2}$; $j = \underbrace{|l - \frac{1}{2}|, (l + \frac{1}{2})}$

\Rightarrow 2 значения E_{nj} ($l > 0$)

уровень расщепляется на 2 подуровня —
— дублет.

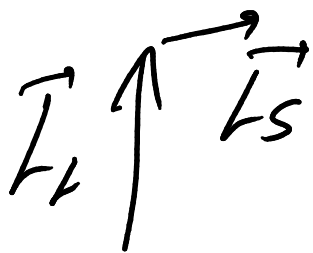
В общ. случае L-S связи.

\vec{L}_S - сумм. спин. мом.; \vec{L}_O - полный мом. а; для

\vec{L}_L - сумм. орб. мом.;

числ. взаимных ориентиров \vec{L}_S и \vec{L}_L -

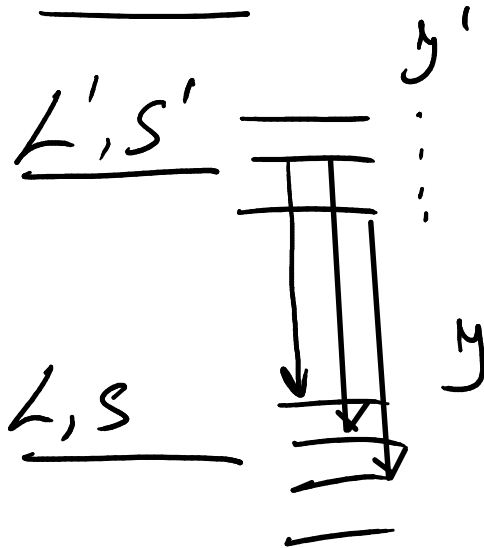
- опре. число возможных знан. эн. сям. - орб. вз-я.



$$\vec{L}_O = \vec{L}_S + \vec{L}_L$$

↓
числ. возм. в-ров \vec{L}_O
- $L_O = \pm \sqrt{y(y+1)}$

Т.о. число комп. на кб. рассчитывается
уровень энергии от-ва квант-й γ .



Правила отбора кв.-чисел
для оптич. переходов:

$$\Delta L = \pm 1;$$

$$\Delta S = 0;$$

$$\Delta \gamma = 0, \pm 1 \quad (\gamma = 0 \not\rightarrow \gamma = 0)$$

Мультиплет —

— сложная линия (сост. из нескольких компонент.)

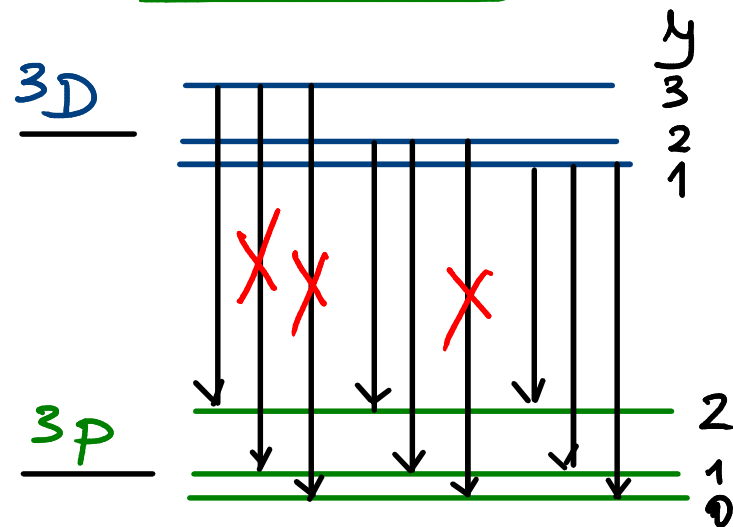
Число компонент	2	3	4	5	...
название	дублет	триплет	квартет	квинтет	...

Рассм. спектр орто-гелия. (линии λ -нов сонаур)

$\Rightarrow J = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$; Переход: $3D \rightarrow 3P$

$3D$. $L_1 = 2$; $J_1 = 1$;
 $J_1 = |L_1 - S_1|, \dots, (L_1 + S_1) = 1, 2, 3$

$3P$. $L_2 = 1$; $J_2 = 1$;
 $J_2 = 0, 1, 2$



$\Delta J = 0, \pm 1$

Всего 6 переходов — 6 линий:

3 группы: 1) одна линия
2) 2 линии
3) 3 линии

} СЛОЖНЫЙ
прилет

| || |||

17.2. Эффект Зеемана

1896г. Зееман

расщепление спектральных
линий
из-за в магн. поле

Эффект Зеемана

Энергия атома

в магн. поле:

$$E = \underbrace{E_0} + \underbrace{E_{MB}}$$

вн. энт.

энт. вза. с магн. полем,

$$E_{MB} = - \vec{M} \cdot \vec{B}$$

Если маг. поле не велико, то L-S связь в атоме не разрушается и маг. мом. атома определяется полным мом \vec{L}_J .

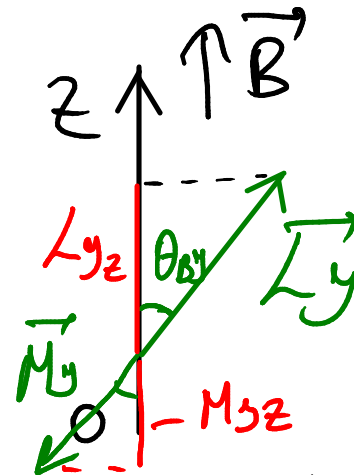
① J — кв. число квант. мом.

Число ориентаций \vec{L}_J отн. к напр. \vec{B}

— число знач. \vec{E}_{MB}

$$M_J = \mu_B \sqrt{J(J+1)} g_J$$

$$M_{Jz} = \mu_B \cdot M_J g_J$$



$$E_{MB} = - \vec{M}_J \vec{B} = - M_{Jz} B \cos \theta_{JB}$$

$$= - M_{Jz} B$$

$$E_{MB} = - \mu_B \cdot m_y \cdot B ;$$

$$m_y = -y, \dots, 0, \dots, y - \text{ всего } (2y+1) \text{ значений.}$$

Т.о. в магн. поле уровень с y расщепится на $(2y+1)$ подуровней.

Правила отбора:

$$\Delta L = \pm 1$$

$$\Delta S = 0 \quad \Delta m_y = 0, \pm 1$$

$$\Delta y = 0, \pm 1$$

Эффект Зеемана:

- 1) Простой. линия расщепл. на 3 части.
- 2) Сложный (аномальный) —
— число компонент $\neq 3$

Аномальный эффект Зеемана

$$E = E_0 + E_{MB} = E - \mu_B m_j B g_j$$

При переходе $E_{02} \rightarrow E_{01}$ или $B=0$

из-за квант $\hbar \omega_0 = E_{02} - E_{01}$

В магн. поле ($B \neq 0$): $E_1 = E_{01} - \mu_B m_{j1} \cdot B g_j$

$$E_2 = E_{02} - \mu_B m_{j2} \cdot B g_j$$

m_{j1} и m_{j2} — кв. числа для уровней E_1 и E_2

B маг. поле,

$$\Rightarrow \hbar\omega = E_2 - E_1 = E_{02} - \mu_B m_{y_2} B g_{y_1} -$$

$$- (E_{01} - \mu_B m_{y_1} B g_{y_2})$$

$$= \underbrace{(E_{02} - E_{01})}_{\hbar\omega_0} - \mu_B B (m_{y_2} g_{y_2} - m_{y_1} g_{y_1})$$

$$\Rightarrow \omega = \omega_0 - \left(\frac{\mu_B \cdot B}{\hbar} \right) (m_{y_2} g_{y_2} - m_{y_1} g_{y_1})$$

$$\frac{\mu_B \cdot B}{\hbar} = \frac{e\hbar}{2m_0} \cdot \frac{B}{\hbar} = \frac{eB}{2m_0} = \omega_L$$

$$\omega_L = \frac{eB}{2m_0}$$

Ларморове частота

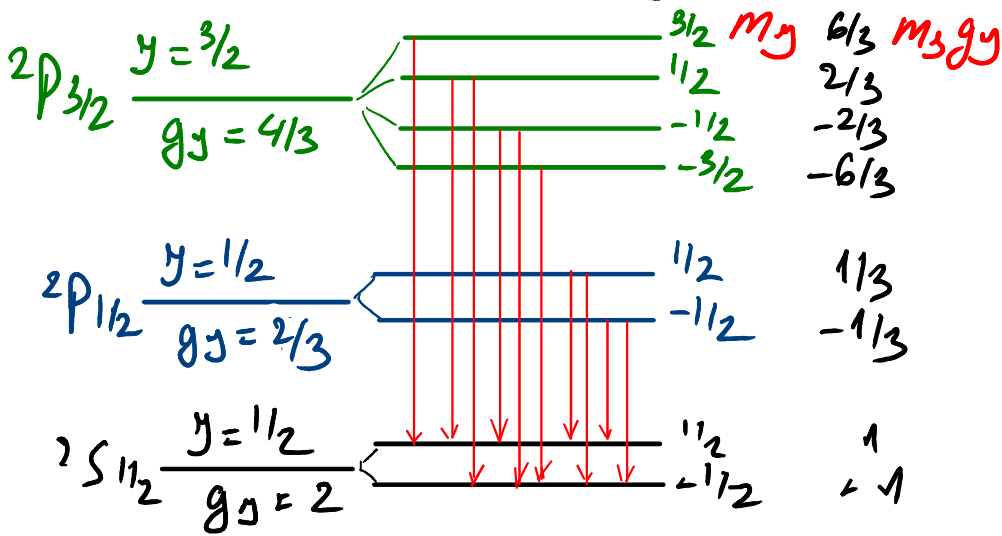
$$\Delta\omega = \omega_0 - \omega = \omega_L (m_{y2} g_{y2} - m_{y1} g_{y1})$$

Зеемановское расщепление спектра линии.

а) $\Delta\omega = \pm \omega_L$ — нормальное зееман. расщепл.

Рассм. дублет 21. серии Na. $2P \rightarrow 2S$; $2P_{1/2}$ $2P_{3/2}$ $2S_{1/2}$

$\Delta m_y = 0, \pm 1$



$$\frac{\Delta\omega}{\omega_L} = \left(\frac{5}{3}, \frac{4}{3}, \frac{3}{3}, \frac{2}{3}, \frac{1}{3}, -\frac{5}{3}, -\frac{4}{3}, -\frac{3}{3}, -\frac{2}{3}, -\frac{1}{3} \right)$$

10 компонент

Προσθήκη αλληλεπίδρασης Zeemana $S = 0$

$$\Rightarrow J = L; g_J = g_L = 1;$$

$$\Rightarrow \Delta\omega = \omega_L \cdot 1 \cdot \underbrace{(m_{Jz} - m_{Jz'})}_{\Delta m_J} = \underline{\omega_L \cdot \Delta m_J}$$

Τ.κ. $\Delta m_J = 0, \pm 1 \Rightarrow \Delta\omega = 0, \pm \omega_L$

Сильное поле. Связь L_z и h_S разрывается

— \vec{M}_L и \vec{M}_S в-ют с \vec{B} по-отдельности

$$\begin{aligned}\Rightarrow E_{MB} &= -B(M_{Lz} + M_{Sz}) = \\ &= -B \cdot (\mu_B g_L^1 m_L + \mu_B g_S^2 m_S) = \\ &= -\mu_B \cdot B (m_L + 2m_S) = \underline{-\hbar \omega_L (m_L + 2m_S)}\end{aligned}$$

$$\hbar \omega = \hbar \omega_0 + \underline{\hbar \omega_L (m_{L2} - m_{L1} + 2m_{S2} - 2m_{S1})}$$

При отборах:

$$\Delta m_L = 0, \pm 1$$

$$\Delta m_S = 0$$

} \Rightarrow

$$\Delta \omega = 0, \pm \omega_L$$

Нормальный Зееман. расщепл.

Эффект Ланжера - Бака.

В сильном магн. поле сложный эфф. Зеемана
превращается в крест