

Семинар 7 (19.10.20)

СГС

Магнитный момент. Спин. Обменное взаимодействие.

Сложные атомы. Тонкая и сверхтонкая структура.

В класс. физ.

$$\vec{\mu} = \frac{e}{2m} \vec{L}, \quad S = \pi r^2, \quad I = \frac{eV}{2\pi r} \approx \frac{q}{t}$$



$$\vec{L} = m [\vec{r} \times \vec{v}] \text{ - мом-т ин-ва движ.}$$

$$\Rightarrow \vec{\mu} = \frac{e}{2m} \vec{L}$$

g-фактор (Ланде):

парамагн. соот.

В квант. мех

$$\vec{\mu} = g \cdot \frac{e\hbar}{2mc} \cdot \vec{L}$$

магнетон Бора

$$g_e = 1$$

ядерный магнетон

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2mc} = 9,71 \cdot 10^{-21} \frac{\text{эрг}}{\text{эрг/степ}}$$

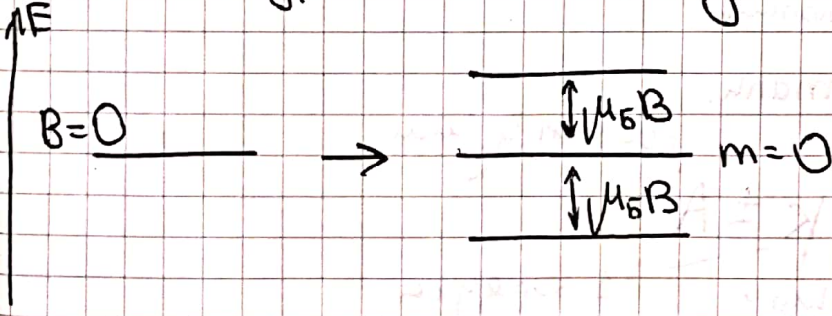
$$\mu_N = \frac{e\hbar}{2m_p c} = 5 \cdot 10^{-24} \frac{\text{эрг}}{\text{эрг/степ}}$$

яд. магнетон не уч. по сравнению с электр.

Спин-собств. магн. ин-ва движ. частиц

$B=0 \Rightarrow$ уровни с l вырожд.

Штерн, Герлах
2 линии



$$S_z = +1/2$$

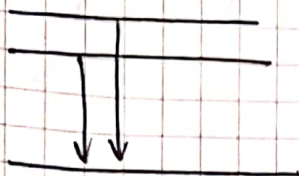
$$S_z = -1/2$$

$B \neq 0$

в ф. прох. и/л $2\hbar$,
ост. совпад

$$S = \frac{1}{2} \leftarrow -\frac{1}{2}$$

• Дублетт спектров атомов щел. Мет



Na - желт.

• Диаметр де Гау
модель цилиндра



$L \sim ?$

$$g_s = 2$$

• Обменное взаимодействие \leftarrow проявл. спин

$$\hat{H} = A \langle \vec{s}_1, \vec{s}_2 \rangle \leftarrow \text{теорема}$$

Гам-и обмен. в. в. в.

1 набор в. в. в. слабо в. в. в.

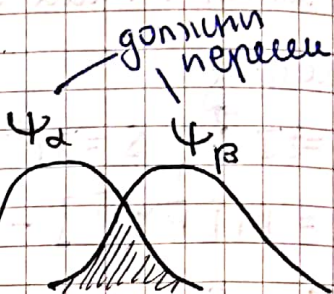
$s \in \mathbb{Z}$ бозоны: фотон, ^4He

$$\Psi(x_1, x_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} (\Psi_\alpha(x_1) \Psi_\beta(x_2) \pm \Psi_\alpha(x_2) \Psi_\beta(x_1))$$

фермионы $e, p, n, ^3\text{He}$

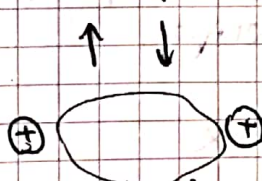
$$\Psi_\alpha = \Psi_\beta \Rightarrow \Psi = 0$$

принцип Паули: 2е не м. наход. в 1 квант. сост в 1 м. пр-ва (n, l, m, s)

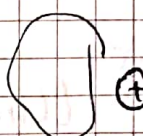


- симм. отн. перестановки $x_1 \leftrightarrow x_2$ (не м. различ. е)

2е с разн. спинами.



общее эл. облако притяж.



м.м. Паули запрещ. эл. притяж. отталки.



обмен. в. в. в.

$$\mathcal{E} = \iint \Psi^* \frac{e^2}{(r_1 - r_2)} \Psi d^3r_1 d^3r_2 = K \pm A$$

кулон. интеграл

1 порядка в атом. в. в. в.

6.78

$$4s^1 2s^2$$

$$S = \begin{cases} 1, \text{ орто} & W_0 = 59,2 \text{ эВ} \\ 0, \text{ пара} & W_0 = 58,4 \text{ эВ} \end{cases}$$

$$V = -\frac{A}{2}(1 + 4\langle \vec{S}_1, \vec{S}_2 \rangle)$$

орто

$$W_0 = W - K + A$$

без вращ., возмущающ. атом

$$W = R_\infty (1 + Z^2) = 68 \text{ эВ}$$

$$K \sim 10 \text{ эВ}$$

$$A \sim 0,5 \text{ эВ}$$

пара

$$W_0 = W - K - A$$

известно: $\vec{S} = \vec{S}_1 + \vec{S}_2$. Вращ. сплс \vec{S}_1 и \vec{S}_2 не \perp к ввр. баз. ВР

$$\langle S^2 \rangle = \langle S_1^2 \rangle + \langle S_2^2 \rangle + 2\langle \vec{S}_1, \vec{S}_2 \rangle$$

спин-
орбит.
интеракция
(с. 3.)

$$S(S+1)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2}$$

$$\frac{3}{4}$$

$$\langle \vec{S}_1, \vec{S}_2 \rangle = \frac{1}{2} \left(S(S+1) - \frac{3}{2} \right)$$

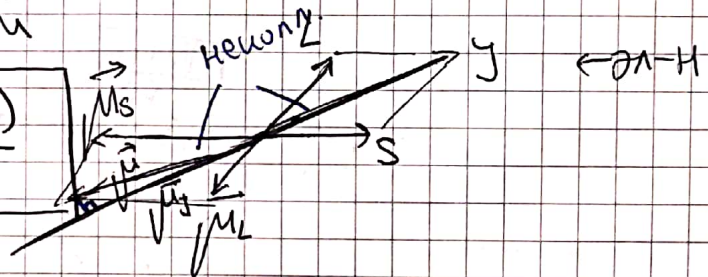
$$\begin{cases} \text{орто: } S=1 \rightarrow +\frac{1}{4} \\ \text{пара: } S=0 \rightarrow -\frac{3}{4} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V = \begin{cases} +A \\ -A \end{cases}$$

отсюда можно
выбрать

$$g_J = \frac{3}{2} + \frac{S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}$$

$$\vec{\mu}_J = g_J \vec{J}$$



← эл-н

Описание спон. атомов ду рещ. УМ.

Схема Рашена-Саундерса

$$\vec{L} = \sum_i \vec{l}_i$$

орб. момент атома

орб. момент атома

CoSeNo

$$\vec{S} = \sum_i \vec{s}_i$$

спин. момент атома

где $2s+1$ — мультиплетность

$$\vec{J} = \vec{S} + \vec{L}$$

полный момент импульса атома.

эл. конфигурация

$1s_{1/2}$

$(1s_{1/2})^2$

$(1s_{1/2})^2 2s_{1/2}$

атом

$1H$

$2He$

$3Li$

ион. терм

$2S_{1/2}$

$1S_0$

$2S_{1/2}$

$(1s_{1/2})^2 (2s_{1/2})^2 (2p_{1/2})^2$

$6C$

$3p_0$

2p $\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow$

наим. энергия

T2

$1D$
 $3P$
 $1S$

правильно Хунда
Ступни в Δ см.

обращ. мультиплет

обращ. мультиплет

правильно Хунда E_{min} при

- $S \rightarrow max$
- $L \rightarrow max$ при $S = const$
- $S, L \rightarrow const \rightarrow J \rightarrow min$, если орб. момент $< 1/2$

вспомогат. числа
вращ. в одну ст. \rightarrow считаем
как упр. $\uparrow \uparrow \rightarrow$ неопт.

J_{max} при $> 1/2$
маленькая ступня

Тонкое взаимодействие — s с орб.

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

спин орб. вращ.

то, что е. маг.

$$\vec{B} = \frac{1}{c} [\vec{E} \times \vec{v}]$$

$$U = \frac{e\hbar}{2mc} \cdot \frac{1}{c} \cdot \frac{e^2}{a^2} \cdot \alpha c = \left(\frac{e^2}{\hbar c} \right)^2 \cdot \frac{me^4}{2\hbar^2}$$

норм. маг. момент

$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c}$ — пер. постоянная

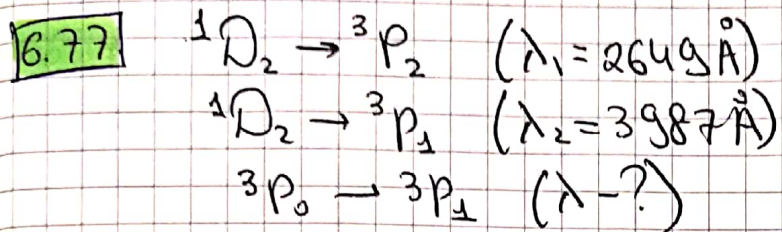
$Ry = 13.6$

$$\approx \frac{13.6}{137^2} = 10^{-3} \text{ эВ}$$

• Сверхтонкое расщепление ← расщепление спектр. линий, случ. с
 с ядрами.

$$\epsilon_{\text{сверх}} = \frac{\mu_B \mu_N}{r^3} \approx R_{\infty} \alpha^2 \frac{m}{M} \sim 10^{-6} \text{ эВ}$$

2 маг. дип. м.
 ядро μ_N ядро μ_N



в схеме Рассел-Саунда
 (LS-схема)

$$\epsilon_{SL} = A \langle \vec{L}, \vec{S} \rangle$$

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$$

$$\epsilon_{SL} = A \langle \vec{L}, \vec{S} \rangle = \frac{A}{2} (J(J+1) - L(L+1) - S(S+1))$$

$$^1D_2: J=2, L=2, S=0 \quad \epsilon=0$$

$$^3P_2: J=2, L=1, S=1, \quad \epsilon=-A$$

$$^3P_1: J=1, L=1, S=1, \quad \epsilon=-2A$$

$$^3P_0: J=0, L=1, S=1, \quad \epsilon=-4A$$

$$\frac{2}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}, \quad \lambda = \frac{2\lambda_1\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

