

Семинар 10 (09.11.20)

Классика - эл-н прецессир. в г ядра?

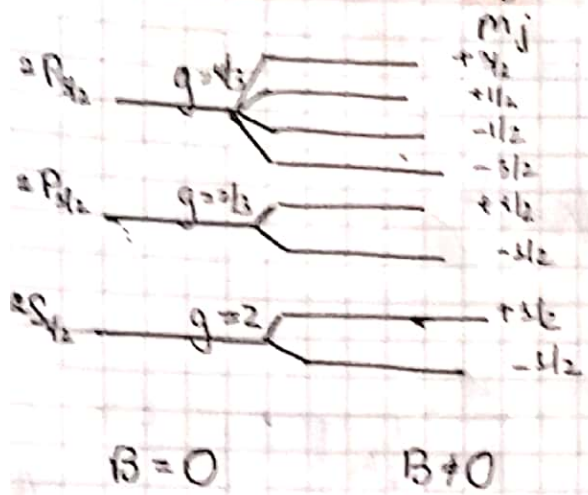
Сильное поле - простой (норм. эдт Яемена) - 3 линии

Слабое поле - аном. эдт Яемена - много линий

Желтый дублет Na в слабом поле (аном. эдт Яемена)

2 лев. уровня \hookrightarrow спин. орб. вращ.-е

Слабое поле $m_s B \ll E_{SL}$



$$g = 1 + \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)}$$

когда L и S вращ. в г J ?

когда поле слабое (не разруш. спин-орб. вращ.-е)

правила отбора: $\Delta j = \pm 1, 0$
 $\Delta s = 0$

Квази-класс: фотон имеет энергию

$$m\omega^2 r = \frac{e^2}{r^2}, \omega = \sqrt{\frac{e^2}{mr^3}}$$

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{e^2}{r} = \frac{e^2}{2r}$$

$$dE = \frac{e^2}{2r^2} dr$$

$$L = m\omega r^2 = \sqrt{\frac{me^2 r}{1}}$$

$$dL = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{me^2}{r}} dr$$

$$\left. \begin{aligned} dE &= \frac{e^2}{2r^2} dr \\ dL &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{me^2}{r}} dr \end{aligned} \right\} \frac{dE}{dL} = \sqrt{\frac{e^2}{mr^3}} = \omega$$

энергия: $E = \pm \hbar\omega \hookrightarrow L = \pm \hbar \hookrightarrow$ спин фотона ± 1 ($\pm \hbar$)

Висим. науга: коэфф. спиральности фотона

$$\chi = \frac{1}{p} (\vec{s}, \vec{p}) = \pm 1$$

(левовинт. и правовинт. фотоны)

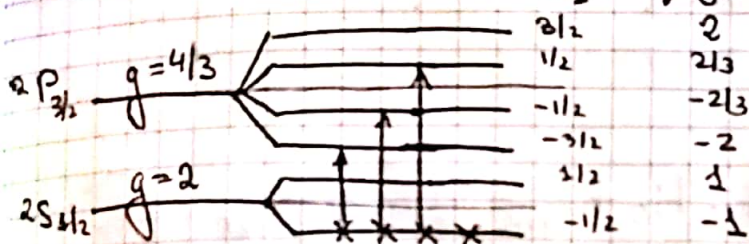
6.21 $p \rightarrow s$ $\lambda_1 = 455,1 \text{ нм}$, $\lambda_2 = 458,9 \text{ нм}$. - дублет.
 какие линии перехода $2S_{1/2} \rightarrow 2P_{3/2}$ - ? $B = 50 \text{ кГс}$
 $T = 0,5 \text{ К}$.

① Сравним энерг. эрст вленид:

$$E_{fs} = \frac{hc}{\lambda_1} - \frac{hc}{\lambda_2} = \frac{hc}{\lambda} \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \underset{\text{сГС}}{=} \frac{6,67 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{10}}{4,6 \cdot 10^{-5} \cdot 100 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ эВ}$$

$$\mu_B B = \frac{9 \cdot 10^{-21} \cdot 5 \cdot 10^4}{1,6 \cdot 10^{-12}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}$$

\Rightarrow слабое поле ($E_{fs} \gg \mu_B B$) \Rightarrow спок эрст J и m_J



$$kT = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 0,5}{1,6 \cdot 10^{-15}} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ эВ} \ll \mu_B B \ll E_{fs}$$

\Rightarrow все э-ны в додву сот- на ниж. уровне (Тих не ~~являются~~ на верх. уровне) \Rightarrow квантн пот.

Излуче квадрупол. флота порождо менее вер, чем дипол //

$$\textcircled{2} \Delta E = \mu_B B (g_{m_J \text{ конеч}} - g_{m_J \text{ нач}}) = \mu_B B \begin{cases} 5/3 \\ 1/3 \\ -1 \end{cases}$$

добавля

$$= \hbar \omega_0 + \Delta E.$$

455 нм.

Мелкий дублет Na в сильном поле (норм/против) Зееман-подобные процессы (μ)

$\mu_B \Rightarrow E_L \Rightarrow$ рауруш. L S валии-е \Rightarrow
 \Rightarrow нет g -фактора, наблюд. 3 линии

L и S не

$$\vec{\mu} = \mu_B (L + 2\vec{S})$$

правила отбора: $\Delta L_z = \pm 1, 0$
 $\Delta S_z = 0$

цм. спин-спинное - переверт стия

Теория

$$H = \frac{1}{2m} (\vec{p} - \frac{q}{c} \vec{A})^2 + q\varphi, \quad \hat{H} = H_0 + \frac{e}{mc} \sum_a \vec{A}_a \vec{p}_a + \frac{e^2}{2mc^2} \sum_a \vec{A}_a^2 \approx H_0 + \mu_B \hat{L}$$

Какие бывают фотоны?

Мультипол. разн-е ЭМ поля

$$q = \sum q_i$$

$$\vec{d} = \sum q_i \vec{r}_i$$

$$Q_{\alpha\beta} = \sum q_i (3r_{i\alpha}r_{i\beta} - r_i^2 \delta_{\alpha\beta})$$

$= 0 \Rightarrow$ цм. квадруп. фотон и т.д.

Тип фотона \leftrightarrow четность

в центр асим. поле $\psi(r) = R(r) Y_{lm}(\theta, \varphi)$
 кривр радиус углов.

$$Y_{lm}(\pi - \theta, \varphi + \pi) = (-1)^l Y_{lm}(\theta, \varphi)$$

Закон сохр-я четности

$$P = P_A P_B (-1)^l$$

чет. $\frac{1}{2\pi}$ по отг

длин. 1 этап в π и 2π

$$E_1(1^-), E_2(2^+), E_3(3^-) \dots$$

$$M_1(1^+), M_2(2^-), M_3(3^+) \dots$$

\leftarrow изм. Δl - мен. монориг-я Δl \rightarrow

\leftarrow мен. спин. (ток)

E1 M1 E2 M2 ...

T3 $\lambda = 5577 \text{ \AA}$ $^1S_0 \rightarrow ^1D_2$ нейтр. O // Наблюд. на
 $a = 1,25 \text{ \AA}$, $\tau = 10^{-7} \text{ c}$ Земле
 запрещ. пр. отбора

• Е2 протон
цм. вка 2 ил. дит. ил. $\tau_2 - ?$
поле вк. при 0
не ст. уи.

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^2 = \left(\frac{ea E_0}{ea^2 \cdot \frac{E_0}{\lambda}} \right)^2 = \left(\frac{\lambda}{a} \right)^2 = 2 \cdot 10^7$$

отбрас. все числ. подер (т.к. оцужина)

$\tau_2 \sim 10^\circ \text{C}$
// хорошо сов. с точ. изм.
 $\sim 0,7 \text{c}$ //

$$\frac{\tau_{M1}}{\tau_{E1}} = \frac{I_{E1}}{I_{M2}} = \left(\frac{C}{V} \right)^2 = 10^4 \quad \text{в ядре} \quad \begin{matrix} 10^6 \text{ M1} \\ 10^5 \text{ E2} \end{matrix} \quad \text{менее } \tau_{p, \text{new B}}$$

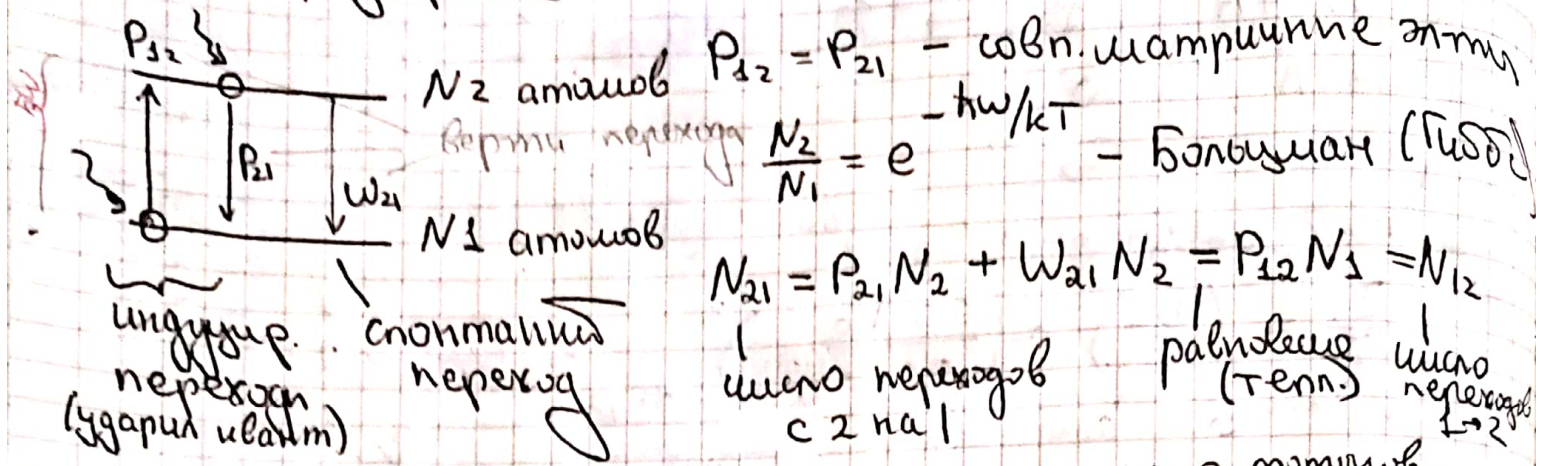
ЭПР и ЯМР как примеры генерации магн. фотоннов

Излучение резонатора при ЭПР в установившейся кинетике хим. реакции

ЛМР - отлич. по массе и длине

$$M_z^{\text{eg}} = g \mu_{\text{eg}} I_z$$

Лазеры: спонтанная и индуцированная схемы



$P_{12} = P_{21}$ - совп. матричные элементы
 $\frac{N_2}{N_1} = e^{-\hbar\omega/kT}$ - Больцман (Гиббс)

$N_{21} = P_{21}N_2 + W_{21}N_2 = P_{12}N_1 = N_{12}$
 число переходов с 2 на 1 равно числу переходов с 1 на 2

сред. число фотонов в данной моде по статистике Бозе-Эйнштейна
 $\langle n \rangle = \frac{1}{e^{\hbar\omega/kT} - 1}$
 $\frac{P_{21}}{W_{21}} = \frac{1}{\frac{N_1}{N_2} - 1} = \frac{1}{e^{\hbar\omega/kT} - 1} = \langle n \rangle$
 $U_{21} = \frac{\hbar\omega^3}{\pi c^3} \frac{1}{e^{\hbar\omega/kT} - 1}$
 $U \approx \frac{\pi c^3}{2\hbar\omega^3}$

зат.
 $N_{12} = B_{12}N_1 U_{21} t$
 $N_{21} = B_{21}N_2 U_{21} t + A_{21}N_2 t$
 спонтан.

$B_{21} = B_{12}$
 $A_{21} = \frac{2}{\pi} \frac{\hbar\omega^3}{c} B_{21}$

1.57

Тенн. разл-е
 ϵ_2
 ϵ_1
 $\omega = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\hbar}$
 $\omega_0(T=0)$
 из Бугера (отр. и ине. потока фотонов)

поток
 $dj = -j dx \sigma_{12} n_1$
 сечение
 поглощ-я
 (1 → 2)

излуч-е: $dj = j dx \sigma_{21} n_2$
 $\sigma_{12} = \sigma_{21} = \sigma_0$
 $\omega_0 = \sigma_0 n_0 = \sigma_0 (n_1 + n_2)$
 изобр. Эйнштейна
 знае-ть излуч (при $T=0$ все е на 0 ур)

$$\alpha = -\frac{dj}{jdx} = \alpha_0 \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} = \alpha_0 \frac{1 - n_2/n_1}{1 + n_2/n_1} = \alpha_0 \frac{1 - e^{-\hbar\omega/kT}}{1 + e^{-\hbar\omega/kT}}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = e^{-\hbar\omega/kT}$$

$$\alpha = \alpha_0 \tanh\left(\frac{\hbar\omega}{2kT}\right)$$

$$1) kT \gg \hbar\omega \quad \alpha = \alpha_0 \frac{\hbar\omega}{2kT}$$

$$2) kT \ll \hbar\omega \quad \alpha = \alpha_0 (1 - e^{-\hbar\omega/kT}) (1 - e^{-\hbar\omega/kT} + \dots) \approx \alpha_0 (1 - 2e^{-\hbar\omega/kT})$$

1.59

свд. инверс. населенность ($N_2 > N_1$)

$$I(x) = I(0) e^{\alpha x}, \alpha > 0 \quad - \text{бустр.}$$

потенциал в резонаторе — сильно теряется энергии

я 1 прохвд

$$\frac{I(2l)}{I_0} = \underbrace{R_1 R_2}_{\text{прозрачность}} e^{\underbrace{\sigma(n_2 - n_1)}_{\text{наст. мб/см}^2} \cdot 2l}$$

$$\geq 1$$

условие самовозбуждения лазера.

$$\underbrace{R_1}_{\text{}} \underbrace{2l}_{\text{}} R_2$$