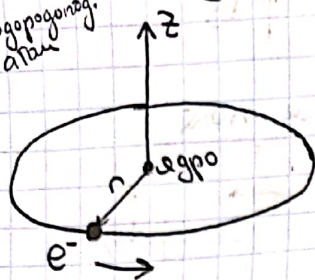


# 1 Спин фотона

водородная атом



квазиинерция:  $\frac{m_e v^2}{r} \equiv m_e \omega^2 r = \frac{e^2}{r^2}$

$\omega = \sqrt{\frac{e^2}{m_e r^3}}$  - частота излучения

• Полная энергия  $E = \frac{m_e v^2}{2} - \frac{e^2}{r} = -\frac{e^2}{2r}$

• За счет изм-я энергии  $E \Rightarrow r$  изм  $\Rightarrow dE = -\frac{e^2}{2r^2} dr$

• Момент импульса  $L = m_e v r = m_e \omega^2 r = m_e r^2 \sqrt{\frac{e^2}{m_e r^3}} = \sqrt{m_e e^2 r}$

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

$\boxed{\frac{dE}{dL} = \sqrt{\frac{e^2}{m_e r^3}} = \omega}$

Полная энергия и момент импульса системы "эл-н-свет" сохр  
 $\Rightarrow$  свет уносит  $E$  и  $L$ , следовательно  $\omega$  опр. частоту изм.  $d \leftrightarrow$

$\hookrightarrow dE = \hbar \omega \Rightarrow dL = \hbar, L_z = m \hbar$

( $\Rightarrow$  при излучении фотона проекция орб. момента  $\hbar$  на  $\hbar$ )

$\Rightarrow$  при эл. дипол. изм-и испуск. фотон с  $S = 1$ .

$\uparrow$   
 min вкл. в орб.  $L$ ,  
 ком. приращив  $\uparrow$  уносит  
 фотон



## 2) Правила отбора.

• Излучение или поглощение фотона. — излучение волн. эл-да (возм. при глук. эл. атома с квант.  $j$ )

• Дипол. изл-е:  $\bar{W}_L = \frac{2}{3} \frac{|\ddot{d}|^2}{c^3}$ ,  $d = er$   
магн. дипол. изл-е

• Поворот магн. мом та:  $\bar{W}_S = \frac{2}{3} \frac{|\ddot{\mu}|^2}{c^3}$

•  $\mu = \frac{e}{2mc} L_{\text{магн}} = \frac{emVr}{2mc} \sim \frac{V}{c} \Rightarrow \mu \ll d \Rightarrow$  излучение, чей с магн. мом — о. слабее

①  $\Delta S = 0$ . — не очень строгое, верно для сильных полей

② Свет ушел в напр.  $\vec{J}$  (поляризов. и т.)  $\rightarrow$  унес.  $\hbar$  в этом напр  $\rightarrow \Delta J = \pm 1$

③ Свет ушел  $\perp \vec{J} \Rightarrow \Delta J = 0$ .

④  $\Delta J = 0, \pm 1$  — когда  $L_{\text{нач}} \neq 0, L_{\text{кон}} \neq 0$

$\Delta J = \pm 1$  — когда  $L_{\text{нач}} = 0$  или  $L_{\text{кон}} = 0$

//  $\Delta L = 0$  — не реально, когда на орбите 1 вал. эл-н. //

Итого

$\Delta J = 0, \pm 1, \Delta m_J = 0, \pm 1$   
 $\Delta L = 0, \pm 1, \Delta m_L = 0, \pm 1$   
 $\Delta S = 0$ .

для  $L_{\text{кон}} \neq 0$   
 $L_{\text{нач}} \neq 0$

$J_{\text{кон}} = 0$

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

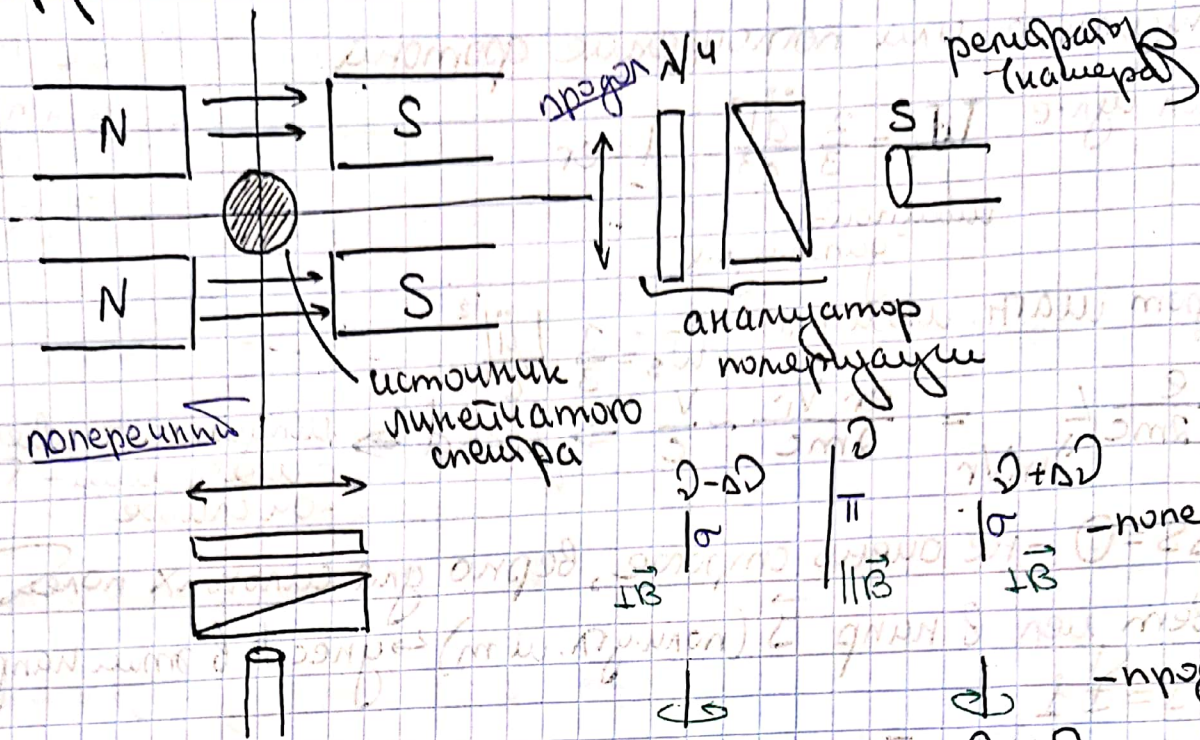
$J_{\text{нач}} = 0$

$\Delta J = \pm 1$   
 $\Delta m_J = 0, \pm 1$

возмож. (магн. не 0, проекция 0)



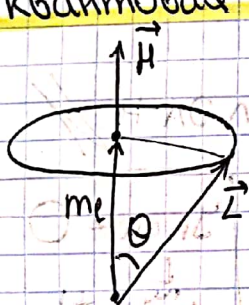
### 3. Эксперимент Зеемана



$$H \rightarrow 0 \Rightarrow \Delta D \rightarrow 0.$$

$$I_{\sigma} = \frac{I_H}{2}$$

### 4. Квантовая трактовка эффекта Зеемана



обр-е эл-на  $\leftrightarrow$  круг. ток  $\leftrightarrow$  магн. диполь  $\vec{\mu}$   
 $\vec{L}$  - прецесс. (не мен. по величине)

$$\vec{\mu}_e = -\frac{e}{2mc} \vec{L} = -\mu_B \frac{\vec{L}}{\hbar}$$

$$\frac{e\hbar}{2mc} = \mu_B \quad \frac{\vec{L}}{\hbar} - \text{опр.}$$

$E_{\text{магн}} = +\mu_B m H$  - под. энергия, приобрет. атомом в  $H \leftrightarrow$  серия эллипс-ур.

$$\Delta E_{\text{магн}} = \mu_B H = \frac{e\hbar}{2mc} H - \text{расст-е уровней}$$

$$\Delta \omega = \frac{eH}{2mc}, \quad \nu = \frac{eH}{4\pi mc} = 1,4 \cdot 10^6 \text{ Гц/Гаусс}$$

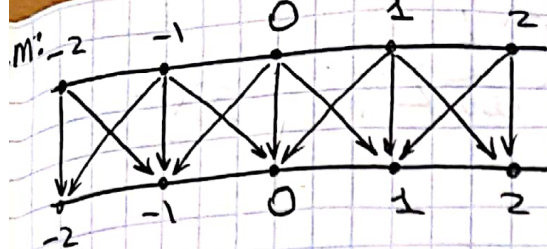
Терм  $\rightarrow 2l+1$  терм.

Цу правил отбора: каждая линия - только на 3 комп-та

$$\begin{aligned} \Delta j &= 0, \pm 1 & \Delta m_j &= 0, \pm 1 \\ \Delta l &= 0, \pm 1 & \Delta m_l &= 0, \pm 1 \\ \Delta s &= 0. \end{aligned}$$

$$\Delta m = 0, \pm 1 \Rightarrow \text{триплет}$$





нечетное  
четное

нечетное

нечетное

$$E_1 + E_{\text{магн}}^{(1)}$$

$$E_2 + E_{\text{магн}}^{(2)}$$

- энергия уровня (полная) в МП

$$\hbar\omega = \Delta E = \underbrace{\Delta E^{(0)}}_{E_2 - E_1} + \underbrace{\frac{e\hbar H}{2m_e c}}_{0, \pm 1} (m_2 - m_1)$$

- в отсутствие магн. поля

триплет!

Поляризация: вдоль поля:  $\Delta m = \pm 1 \leftrightarrow$  проекция  $\vec{L}$  на напр. поля  $\pm 1$   
 $\Delta m = 0 \leftrightarrow$  пропад.  $\uparrow \leftarrow$  т.к. в напр.  $\perp$  поля, упр. и н.д., то сред. линия пропадает

## 5. Аномальный эффект Зеемана

расщепление линий в  $\nabla$  случае ( $\Delta S = 0$  или  $\neq 0$ )

$$\hat{H} \equiv \hat{E} = \underbrace{\hat{T}}_{\text{кин}} + \underbrace{\hat{U}_{\text{Кулон}}}_{\sim e^2/r} + \underbrace{\hat{U}_{\text{SL}}}_{\substack{\text{спин-орб.} \\ \text{взаим.е.} \\ \frac{me^4 \alpha^2}{2\hbar^2} = E_1 \alpha^2 \\ \text{водород}}} + \underbrace{\hat{U}_{\text{SB}}}_{\substack{\text{с} \\ \text{внеш.} \\ \text{полем B}}} + \underbrace{\hat{U}_{\text{LB}}}_{\text{L с B}} + \underbrace{\hat{O}}_{\substack{\text{спин-спин.} \\ \text{взаим.е.}}} \quad (\text{всего})$$

1) Слабое B ( $10^3 - 10^4$  Гс):

$$U_{\text{SB}} \sim U_{\text{LB}} \sim m_B B < \frac{me^4}{2\hbar^2} \alpha^2 \approx U_{\text{SL}} \rightarrow \vec{L} \text{ и } \vec{S} \text{ склад. в 1 магн. т.}$$

2) Сильное B

$$\sim 10^5 \text{ Гс}$$

$$U_{\text{SB}} \sim U_{\text{LB}} > U_{\text{SL}}$$

$\vec{S}, \vec{L}, \vec{J}$  - прецессир. в  $\vec{J}$

$$\vec{\mu}_J = -g m_B \vec{J}, \quad g = 1 + \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)}$$

$$U_B = -(\vec{\mu}_J, \vec{B}) = g m_B (\vec{J}, \vec{B}) = g m_B m_J B$$

нечетное  $2j+1$  и четное  $2j+2$  магн.  $\Rightarrow$  расщепление на  $2j+1$  и  $2j+2$  линий.

$$E = E_0 + U_B = E + g m_B B m_J \leftarrow \text{энергия расщепления уровней}$$

$$J = \frac{1}{2} \rightarrow 2 \text{ ур.}$$

$$J = 1 \rightarrow 3 \text{ ур.}$$

$$\Rightarrow \frac{E_2 - E_1}{\hbar} = \frac{E_{02} - E_{01}}{\hbar} + \frac{\mu_B B}{\hbar} (g_2 m_{J2} - g_1 m_{J1})$$



Пример Na в магн. поле

$2S+1 L_J$

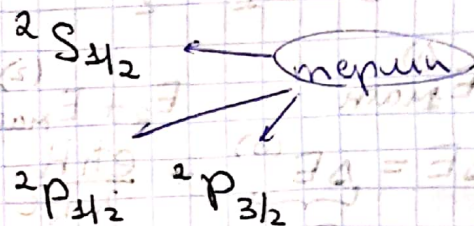
Na:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$  - 1 вал. эл.н. (в л.с. под  $\rightarrow$  на p o.s.)

Для о.н. волн-а:

$l=0, s=1/2 \Rightarrow j=l+s=1/2$

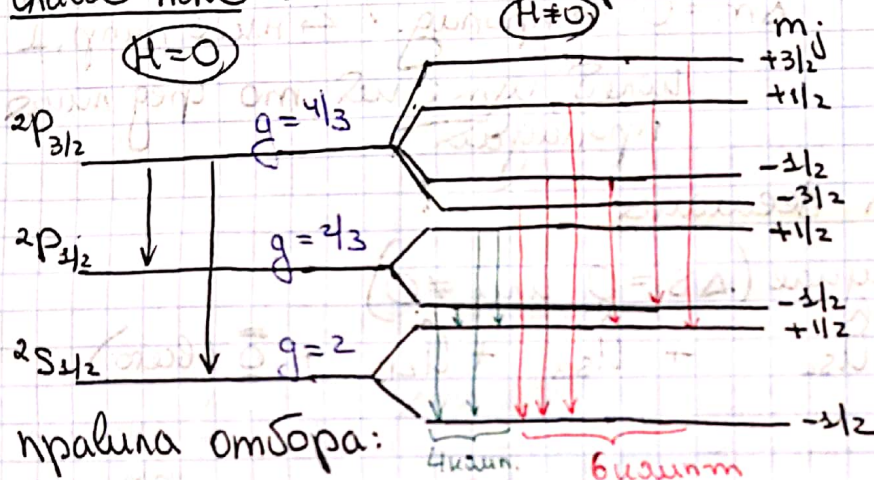
Для л.с. волн-а:

$l=1, s=1/2 \Rightarrow j = \begin{cases} l-s=1/2 \\ l+s=3/2 \end{cases}$



Поме нет:  $2P_{1/2} \rightarrow 2S_{1/2}$   
 $3P_{3/2} \rightarrow 2S_{1/2}$  } желтый душет

Слабое поле  $\Rightarrow$  сложная эрт Земле  $\Rightarrow 2S+1$  подуровней  
 $H=0$   $H \neq 0$



10 переходов

правила отбора:

$\Delta Y = \pm 1, \Delta L = \pm 1$   
 $\Delta S = 0, \Delta m_Y = 0, \pm 1$

Сильное поле  $\rightarrow$  эрт Ланде-Баха - рвется LS связь  $\rightarrow$   
 $\rightarrow \bar{S}$  и  $\bar{L}$  - независ.