

Лекция №10 (12.11.20)

Что было в прош. раз:

Атом в магн. поле приобр. доп. энергию $\Delta E = -\mu_B B$

пренебреж. магн. магн. атом на напряж.

$$E = E_0 + \mu_B g B m_y, \quad m_y \in [-j, +j]$$

энерг. уровни в $B \neq 0$ энерг. уровни в $B = 0$

в B линии расщ. на $2j+1$ квант.

$\Delta E \sim g$ м.у. уровней.

$$g = \frac{3}{2} + \frac{S(S+1) - L(L+1)}{2j(j+1)}$$

$\Delta m_y = 0, \pm 1$
наблюдение: $\perp B, \parallel B, \perp B$
 \parallel не видно $\parallel B \parallel$.

Зееман. смещение (относ. к наимен. квант.)

$$\Delta W = (m_2 g_2 - m_1 g_1) \left(\frac{\mu_B B}{h} \right) \quad \text{Лоренцовское смещение}$$

• Простой (норм.) эр-т Зеемана - расщ. е симмет. ур.

$$S=0, j=L, m_y=m_z, g=1.$$

$$\Delta W = \Delta m_z \quad \pm 1, 0 \quad - 3 \text{ квант.}$$

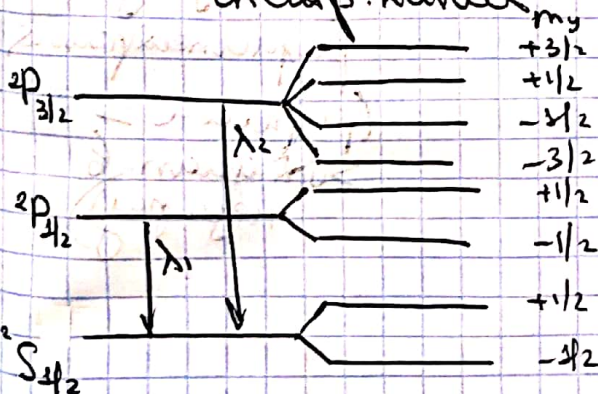
• Сложный эр-т Зеемана - расщ. на > 3 квант.

работ. $\angle S$ слеж / схема Расена-Аундгера:

все спинн $\downarrow M_S$ все орб. $\downarrow M_L$

$$M_y = h \sqrt{j(j+1)}$$

$B=0 \leftarrow$ тонк. структура спец. линии



$B \neq 0$

B -слабое \leftrightarrow расщ. м.у. ур. (расщ.)

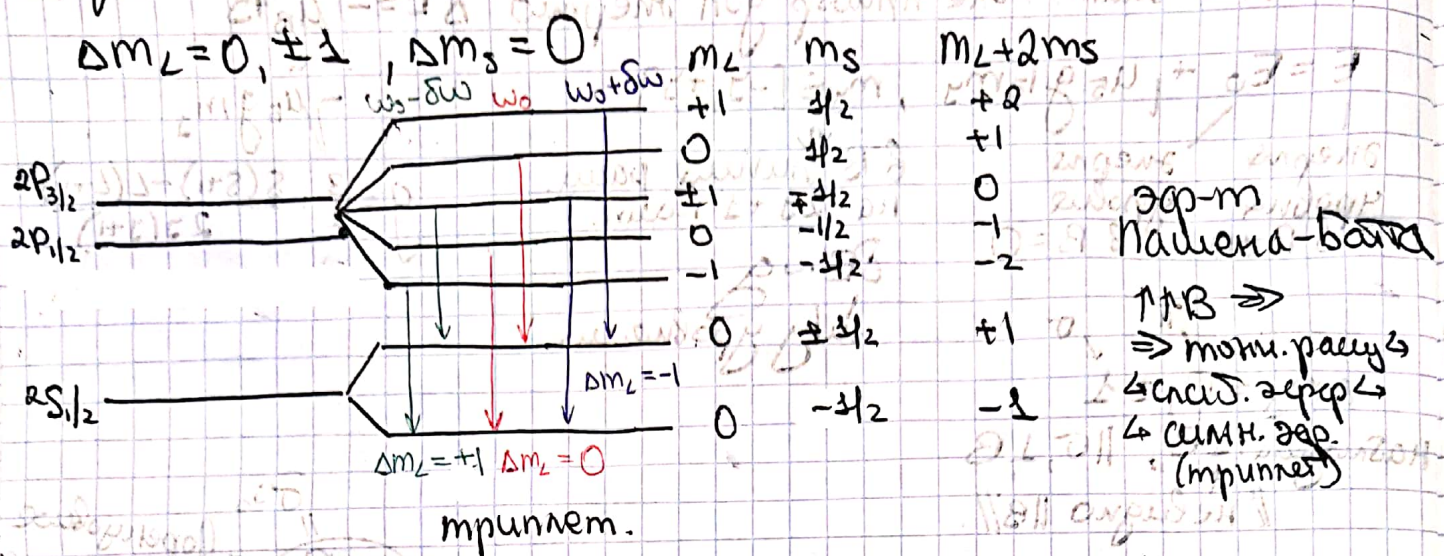
\ll тонк. структура м.у.

B -сильное \leftrightarrow большие расщ. м.у. ур. (расщ.)

$\angle S$ слеж рвется,
 $\angle LS$ неж
 $\vec{\mu}_y = \vec{\mu}_S + \vec{\mu}_L$

B -сильное \Rightarrow рваные $\angle S$ черз $\Rightarrow \vec{\mu} = \vec{\mu}_S + \vec{\mu}_L$

$$\vec{\mu} = -\frac{e\hbar}{2mc} (\vec{L} + 2\vec{S})$$



ЭПР - Забейский, 1914

- Парамагнетик - атом, обладающий собственными магнитными моментами.
 \hookrightarrow в ур. (и х з) расщ. на $2S+1$ подуровней.
или уровней $g\mu_B B = \delta E, |\Delta m_S| = 1$
- Направляем на пар-к волну с частотой $\omega = \frac{\delta E}{\hbar} \hookrightarrow$
 \hookrightarrow возн. переходы между подуровнями (рез-д).
- Верть перехода сверху вниз и снизу вверх один, но в ТДК равн-и внизу больше эл. $\frac{N_2 - N_1}{N_1} \hookrightarrow$
 \hookrightarrow наблюд. поглощение.
- Оценим: $B = 10^4$ Гс, $g \sim 1 \hookrightarrow \omega \sim 10^{10}$ Гц, $\lambda \sim 1$ см - СВЧ излуч. (радиодиагностика)

\hookrightarrow эксп. опред. $g/\mu_B/B$ по 2 данным.

радиотехника
(радиометры)
 $>$ чем в
норм. раб.

Ядерная физика

I Состав ядра

• 1911, Резерфорд - рассеяние α -частиц на фольге \leftarrow

\leftarrow атом: компакт: ядро + е на больших расст.

$$R \approx r_0 A^{1/3}$$

$$r_0 = 1,3 \cdot 10^{-13} \text{ см} = 1,3 \text{ фм}$$

$$\| r_0 = 5,3 \cdot 10^{-9} \text{ см} \| \quad \leftarrow 4 \text{ пор.}$$

радиус
ядра

атом. вес
(а.е.м.)

Вид ядра: длина 1 ферми = 10^{-13} см

Кулоны

• Установл., что атом. ядро сост. из протонов и нейтронов

$$m_p c^2 = 938,3 \text{ МэВ} = 1836,2 m_e$$

$$m_n c^2 = 939,6 \text{ МэВ} = 1838 m_e$$

$$\Rightarrow m_n - m_p \approx 2,5 m_e$$

$$\uparrow m_e = 0,511 \text{ МэВ}$$

Мат. моменты:

$$\mu_p = 2,8 \mu_N$$

$$\mu_n = -1,9 \mu_N$$

$$\mu_N = \frac{e\hbar}{2m_p c} = 5,0508 \cdot 10^{-24} \frac{\text{эрг}}{\text{Гс}} \quad \leftarrow \mu_N = -\frac{3}{2}$$

ядерный магнетон

• Ядро содержит

$$\text{Акулонов} \equiv Z_{\text{протонов}} + N_{\text{нейтронов}}, N = A - Z$$



• Одн. Z \rightarrow изотопы $\left({}^3_2 \text{He}, {}^3_1 \text{T} \right)$

Одн. A \rightarrow изобары

• Чет. Z, чет. N - четно-чет. ядра

Чет. Z, неч. N - четно-неч. ядра

II Почему не "p-e"?

// Почему ядро из p и n (а не, напр, p и e) //

Оценим E ядра в ядре \hookrightarrow в обл. $2R \sim 6 \cdot 10^{-13}$ см.

Зе-ультрарел.

$$E_e \sim p c \sim \frac{h c}{2R} \sim \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,6 \cdot 10^{-16} \text{ (эВ} \cdot \text{с)} \cdot 3 \cdot 10^{10} \text{ с}}{6 \cdot 10^{-13} \text{ см}} \sim \underline{\underline{200 \text{ МэВ}}}$$

$$p \sim \frac{h}{2R}$$

\hookrightarrow при β -распаде (вылет е из ядра) энергия е $\sim 200 \text{ МэВ}$ - ?
- в опыте $E_e \sim 1 \text{ МэВ} \hookrightarrow$ модель отброшена //

III "n-p" модель (ядра)

1932, Чедвик - открытие нейтрона

E_n в ядре - нерел. $2R \sim 6 \cdot 10^{-13}$ см

$$p \sim \frac{h}{2R}, \quad E_n \sim E_p \sim \frac{p^2}{2m} \sim \frac{h^2}{8m_p R^2} \sim 6 \text{ МэВ} \leftarrow \text{совп. с опытом} \Rightarrow \text{модель принята} //$$

IV Ядерные сил.

В ядре сил, удерж. нуклоны в ядре \Rightarrow Кулон. сил.

Свойства ядерных:

- 1) Короткодействие ($r \sim 10^{-13}$ см)
- 2) Насыщение: В ядре ядер. только с близк. соседями
- 3) Зарядовая независимость: p-p, p-n, n-n - эквив. ядер. силы
- 4) Не центральные
- 5) Зависит от \vec{V}, \vec{S} нуклонов.

✓ Энергия связи - энергия для развала ядра на отд. нуклоны

$$E = mc^2$$

$$E_{св} = c^2 [Zm_p + (A-Z)m_n - \underbrace{m_{я}(A, Z)}_{\text{масса ядра}}]$$

$$\Delta = \frac{E_{св}}{c^2} - \text{дефект массы}$$

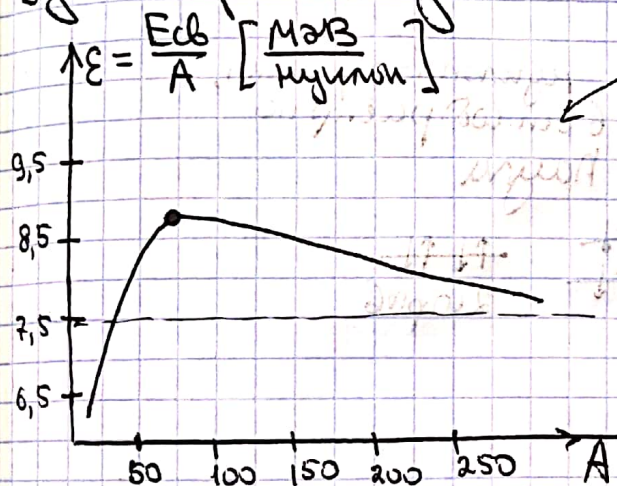
$$f = \frac{\Delta}{A} - \text{удельная энергия связи}$$

Пример:

• Дейтерий: $E_{св}({}^2_1\text{D}) \approx 2,25 \text{ МэВ}$

• α -частица: $E_{св}({}^4_2\text{He}) \approx 28,1 \text{ МэВ}$

Уд. энергия связи:



эксп. зависимость

на самом деле $\epsilon = \epsilon(A, Z)$

«магические ядра»

$$\epsilon_{\max} \Leftrightarrow A \sim \begin{matrix} 50 & 60 \\ \text{Cr} & \text{Zn} \end{matrix}$$

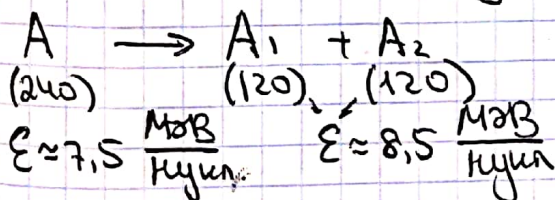
$$\epsilon_{\max} = 8,7 - \text{Fe.}$$

$$\epsilon({}^{238}\text{U}) \approx 7,5.$$

Выводы из графика:

① Энергия связи на нуклон ϵ макс. при $A \sim 50-60$ (магические ядра).
 $\epsilon \sim \frac{A^2}{2}$ (неверно, так как ϵ не зависит от A в первом приближении)

② $\epsilon(A)$ имеет max. \Rightarrow деление ядер м.д. энерг. выгодно



$$\Delta E = E_{\text{нов}} - E_{\text{нач}} = 2 \cdot 120 \cdot \epsilon_{120} - 240 \cdot \epsilon_{240} = 240 \text{ МэВ}$$

в 1 акте распада

в химии - на 5-7 пор. \downarrow

«Тяжелые ядра выгодно расп., легкие - соединяются»

