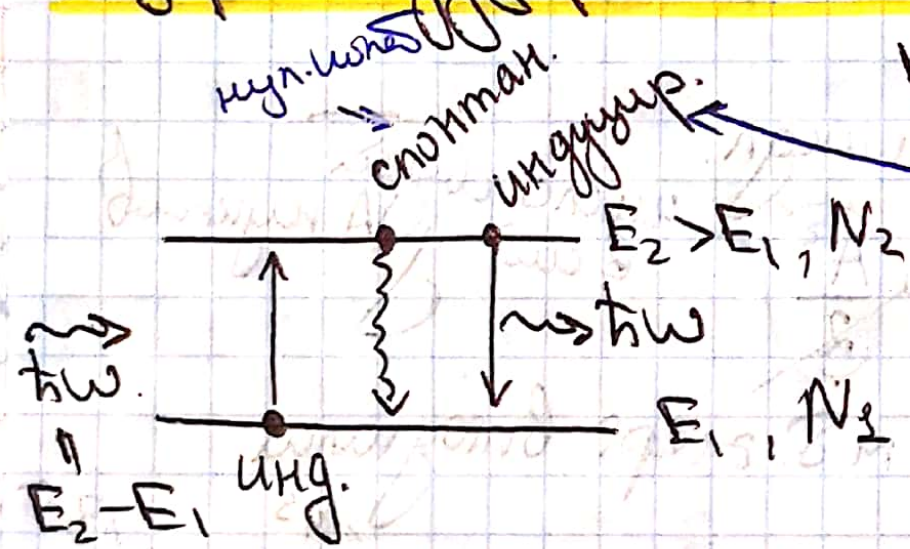


Лекция №11 (19.11.20)

Лазеры. Индуцированное излучение // Отступление //

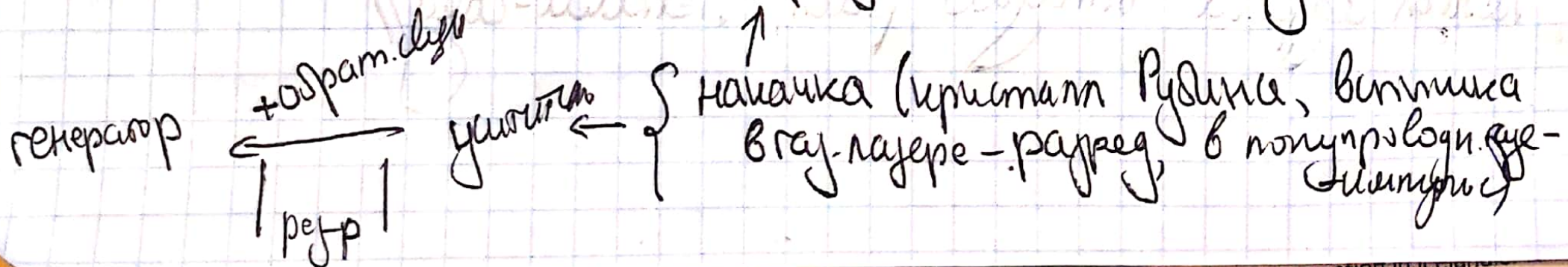


Атаи в газе - в 1 и 2 соб.

поддейств. эл волн на атаи \Rightarrow
 \Rightarrow рожд. фотоны, когор. над.
 излучению \Rightarrow
 $\Rightarrow R_{\text{инд.}} >> R_{\text{спонт.}}$

излуче
в рез-се с
сист.

Чтобы система стала усилителем (т.е. чтобы
рождались больше фотонов, чем погл.) надо
обеспечить инверс. зас-ть (в равн. из волн. числа N_1, N_2)



накачка (кристалл Рубина, впитывае
в газ-лазере - паразит, в полупроводни-
к-лазерах)

• В равновесии: $E_2 \rightleftharpoons E_1$ - числа переходов в равн. $E_2 \rightarrow E_1$: $A_{21}N_2 + B_{21}g_w \cdot N_2 = B_{12}g_w N_1 \leftarrow (E_1 \leftarrow E_2)$

спонт. \uparrow спектр. плотность энергии \uparrow верт. пер. \uparrow инд.

• распределение Больцмана: $N_1 = A g_1 e^{-E_1/kT}$ $N_2 = A g_2 e^{-E_2/kT}$

кратная вырождение g (число квант. сост. с данной E)

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{(-E_2 + E_1)/kT} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\hbar\omega/kT}$$

$$g_w = \frac{A_{21}N_2}{B_{12}N_1 - B_{21}N_2} = \frac{A_{21}}{B_{12} \frac{N_1}{N_2} - B_{21}} = \frac{A_{21}}{B_{12} \frac{g_1}{g_2} e^{+\hbar\omega/kT} - B_{21}}$$

• $kT \gg \hbar\omega$ - высокие T - много фотонов, $g_w \uparrow \Rightarrow \Rightarrow B_{21}g_w, B_{12}g_w \gg A_{21}$

B_{12}, B_{21}, A_{21} - квант. функции

$$B_{21}g_w N_2 = B_{12}g_w N_1$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{B_{12}}{B_{21}} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\hbar\omega/kT} \rightarrow \frac{g_2}{g_1}$$

$$\boxed{g_1 B_{12} = g_2 B_{21}}$$

$$g_w = \frac{A_{12}}{B_{21}} \frac{1}{e^{\hbar\omega/kT} - 1} = \frac{A_{12}}{B_{21}} \frac{kT}{\hbar\omega}$$

\uparrow при T - выс. рад. расн. Р. Дн.

Рейн-Джонс: $g_w = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} kT \rightarrow \boxed{\frac{A_{12}}{B_{21}} = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \hbar\omega}$

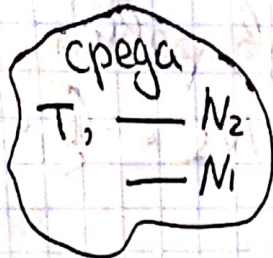
$$\Rightarrow g_w = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \frac{\hbar\omega}{e^{\hbar\omega/kT} - 1}$$

сред. число заполнения (планк)

$$\text{т.о. } \left| \frac{W_{выпуск}}{W_{св}} = \frac{g_w B_{21}}{A_{21}} = \frac{1}{e^{\hbar\omega/kT} - 1} = \bar{n}_\omega \right|$$

\Rightarrow не м.д. $W = 0$

I, W
→



$$N_1 + N_2 = N_{\text{атомов}}$$

$$dI = - \underset{\substack{\text{вер. норт. 1 фотона}}}{W_{\text{ном}}^{(1)}} I N_1 dz + \underset{\substack{\text{вер. норт. 1 фотона}}}{W_{\text{ном}}^{(1)}} I N_2 dz + W_{\text{en}} N_2 dz.$$

I велики: $\frac{dI}{I} = W_{\text{ном}}^{(1)} (N_2 - N_1) dz$

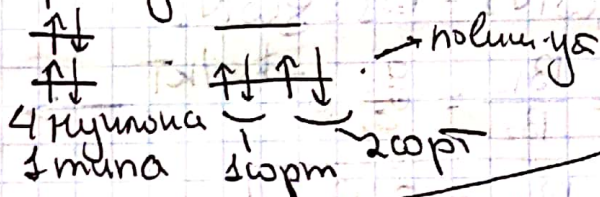
3-й Бутера: $I = I_0 \exp[W_{\text{ном}}^{(1)} (N_2 - N_1) z]$

инвер. яс. $N_2 > N_1 \Rightarrow$ усиление.

Удра. Продолжение

для Вайцзенкера $E_{\text{св}} = \alpha_v A - \alpha_s A^{2/3} - \alpha_c \frac{z^2}{A^{1/3}} - \alpha_T \frac{(A - z)^2}{A} + \alpha_p \frac{\delta}{A^2}$

$E_{\text{св}} \text{ с } N = z \text{ устойчивее}$
нулоны-герионы \Rightarrow
всц.ост. они распр. согласно
пр. Паули.



$\alpha_p = 34 \text{ МэВ}$

энергия спаривание

$\frac{1}{3} < \nu < 1$ - в зависимости от способа аннотации

$$\delta = \begin{cases} -1, & \text{неч. неч. } N, Z \\ 0, & \text{неч. } Z + N \\ +1, & \text{чет. } Z, N \end{cases} \text{ - наиб. уст.}$$

След. с нулон-нулон. взаимодействия (нулоны в паре \rightarrow
 \rightarrow брэн \rightarrow сплн. на низк. уровне \leftarrow Паули)

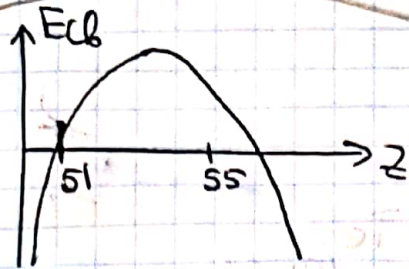
VII. Устойчивый изобар.

Фикс. $A \Rightarrow E_{cb} = E_{cb}(Z)$

$A=127$

неч.

$\delta=0$



$$\frac{dE_{cb}}{dZ} = -\alpha_c \frac{2Z}{A^{1/3}} + 2\alpha_T \frac{2(A-2Z)}{A} \approx 0$$

$$Z = \frac{A}{2 + \frac{\alpha_c}{2\alpha_T} A^{2/3}} \approx \frac{A}{2 + 0.015 A^{2/3}}$$

\Rightarrow в легких ядрах: $N \approx Z \approx A/2$

в тяж. ядрах ($A \gg 1$) $\Rightarrow N > Z$.

(наиб. уст. с $A=237$ $Z=92$)

Возникло ядро с некот. числом $N, Z \leftrightarrow$ распади

VIII. Бета-распад

радиоактивность

γ -сброс возбужденных ядер

α
 ${}^4_2\text{He}$

β^-
 e^-

β^+
 e^+ - позитрон

κ -захват

э-и и позит. об-ки захват. ядрами

Необх. усл-е β^- -распада:

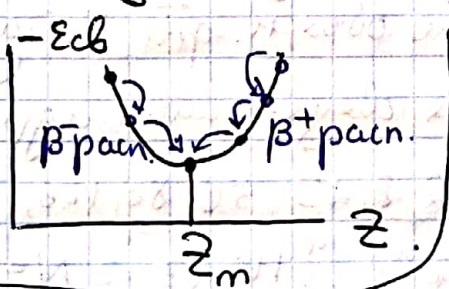
$\uparrow \uparrow E_{cb} \Rightarrow$ много "масс" (mc^2) ушло на обр. масс $\Rightarrow m$

$$M(A, Z) > M(A, Z+1) + m_e$$

$$E_{cb}(A, Z) < E_{cb}(A, Z+1) - m_e c^2$$

Необх. усл-е β^+ -распада: $M(A, Z) > M(A, Z-1) + m_e$

$\delta=0$ - неч. A .



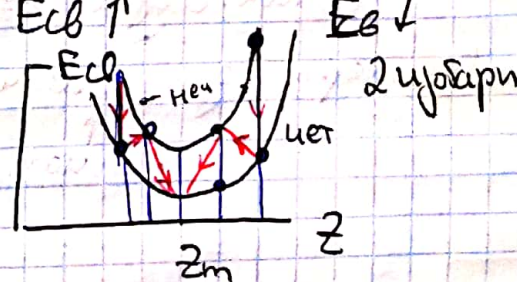
A - чет

$\delta = +1$
(чет. чет)

$E_{cb} \uparrow$

$\delta = -1$
(неч. неч)

$E_{cb} \downarrow$



вер-ть вылет. 2-х нукл. оч. мала

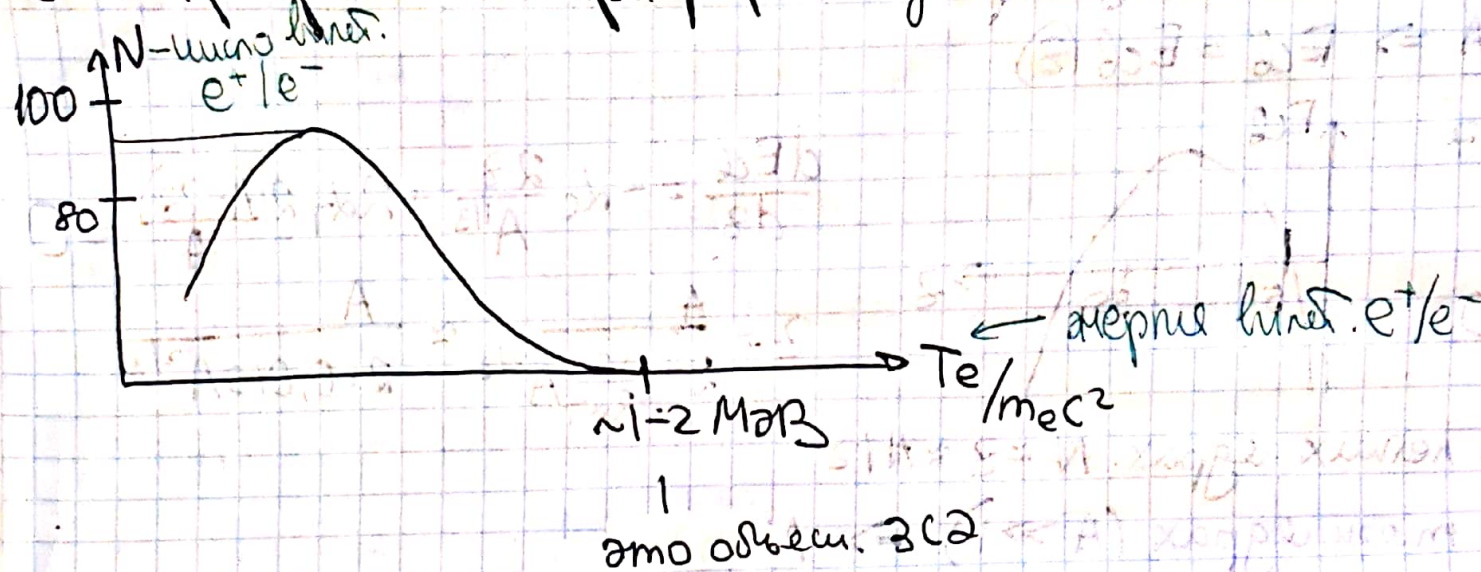
В завис. от N и Z образ. 1-3 разл. ядра

$$E_{cb}(A, Z) - 3W$$

долина стабильности атомных ядер

ид. стабил. по β расп., не стабил. по α

Эксп. график спектра в распаде:



① Граничная энергия:

$$T_{\text{гран}} \approx M(A, Z) c^2 - [M(A, Z+1) + m_e] c^2 - m_e c^2$$

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

$$T_{\text{гр}} \approx 1,5 m_e c^2 \approx 0,76 \text{ МэВ} //$$

в реал. больше, т.к. n в ядре одна. Т.ч. часть ее и перед. e

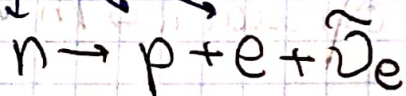
② Непрерывность спектра:

Паули: e вылет. вместе с ней. частицей, с кот.

он делается энергией в произв. пропорции \leftrightarrow

$s=1/2$
фермионы

\hookrightarrow спектр непрерыв.



$s=1/2$ у $\bar{\nu}_e$ и $m_{\bar{\nu}_e} < m_e$ (иначе $T_{\text{гр}}$!!)