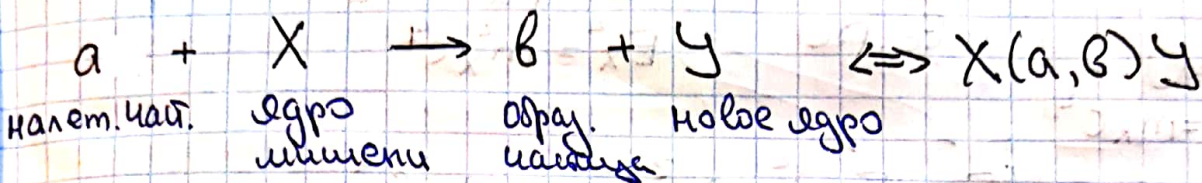


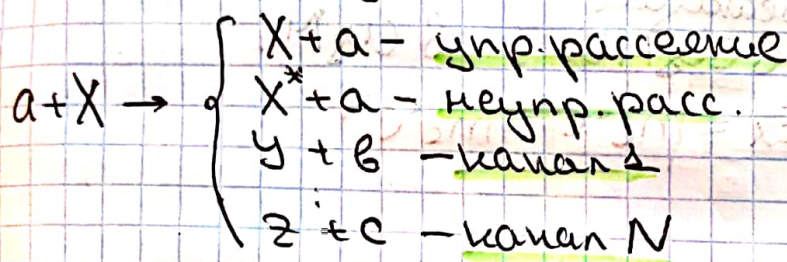
Лекция №3. (02.12.20)

I Ядерные реакции.

Описание в-ва пучком ускор. частиц. Описание на примере
 → преобр-е столкн. частиц.

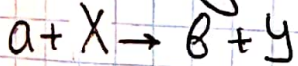


$b=a, Y=X$ - упругий процесс.



II Законы сохранения в ядерных реакциях

Расс-я и-у ядрами атомов крист. $\Rightarrow (\sim 10^4 \text{ рад})$ р-в ядер \Rightarrow
 \Rightarrow сист. 2 ядр. ядер - замкн. (сохр. p, E)



$$\text{ЗЗЭ: } \underbrace{E_a}_{m_a c^2} + \underbrace{E_x}_{m_x c^2} + \underbrace{T_{\text{нач}}}_{T_a + T_x} = \underbrace{E_b}_{m_b c^2} + \underbrace{E_y}_{m_y c^2} + \underbrace{T_{\text{кон}}}_{T_b + T_y}$$

В общем случае: $E_{\text{полн. нач}} \neq E_{\text{полн. кон.}} \Rightarrow$

энергия реакции

$$Q = E_{\text{полн. нач}} - E_{\text{полн. кон.}}$$

$Q > 0$ - экзотерм.

$\downarrow \downarrow E_{\text{полн. нач.}}$

$\uparrow \uparrow T$
идет при $\uparrow T_{\text{исх. частиц}}$

$Q < 0$ - эндотерм.

$\uparrow \uparrow E_{\text{полн. нач.}}$ $\downarrow \downarrow T$

Порог реакции - мин. $T_{\text{нач.}}$ частиц, при кот. реакция

Порог реакции: $K = K_{ум} + K_{отн}$

полная иш.
м.сид.

двух ч.м.

отн. ч.м.

выпада в
протекание
рн не дает
(т.к. по 3 си

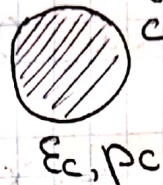
для эндотермич
должна быть больше Q

Рам сохр
⇒ кум сохр

E_a, p_a
a



$p_x = 0$
 $E_{x0} = m_x c^2$



$\vec{p}_a = \vec{p}_c$

$$E_a^2 = p_a^2 c^2 + m_a^2 c^4$$

$$E_x^2 = m_x^2 c^4$$

Релат. инвариант
(относ. иш-я ск и
относ. протек-е рн)

$$(E_a + E_x)^2 - p_a^2 c^2 = m_c^2 c^4$$

до реакции в ЛабСО после рн в СЦМ.

$$p_a^2 c^2 + m_a^2 c^4 + m_x^2 c^4 + 2E_a E_x - p_a^2 c^2 = m_c^2 c^4$$

$$T_a = E_a - m_a c^2 \Rightarrow$$

$$m_a^2 c^4 + m_x^2 c^4 + 2E_x (T_a + m_a c^2) = m_c^2 c^4$$

$$T_a = \frac{m_c^2 - m_a^2 - m_x^2}{2m_x} c^2 - m_a c^2 = \frac{m_c^2 - (m_a + m_x)^2}{2m_x} c^2$$

$$Q = (m_a + m_x - m_c) c^2 \quad T_a \geq Q$$

$$T_{пор.} = -Q \frac{(m_c + m_a + m_x)}{2m_x} \quad \text{рен.}$$

В предельн клас. мех: $m_c \approx m_a + m_x \Rightarrow T_{пор. a} = |Q| \left(1 + \frac{m_a}{m_x}\right)$ клас.

Реш в ед. р-х сохр: заряд, число нуклонов

• ишность, мш

• четность

← свойства ВФ при $\vec{r} \rightarrow -\vec{r}$ — универс. коорд.

$$\hat{I} \psi(\vec{r}) = \psi(-\vec{r}), \quad \lambda = \pm 1$$

\hat{I} не иш. при $\hat{I} \Rightarrow$ сохр. четьность

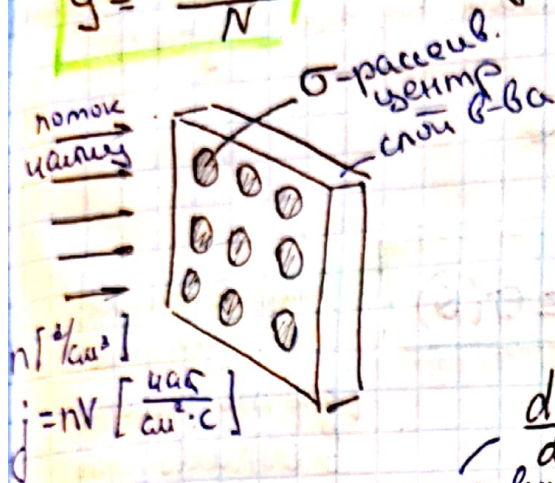
7.58 из задания

Эффективное сечение

Площадь, в кот. должны попасть центры ядра, чтобы реакция шла ← из терм-ки

Выход реакции - отношение числа актов реакции в ед. вр. к числу пад. частиц в ед. вр.

$$Y = \frac{dN/dt}{N} \leftarrow \text{его число}$$



Частица попала в $\sigma \Rightarrow$ р-я произошла иначе нет.

$n \cdot \sigma V$
число актов
о объема пад. частиц
на σ в ед. вр.

конус-я едет вперед

$$\frac{dN}{dt} = n \sigma V \cdot n_m \Rightarrow \sigma = \frac{dN/dt}{j n_m} [\text{см}^2]$$

число актов в ед. вр. в ед. объема $\left[\frac{1}{\text{см}^3 \cdot \text{с}} \right]$

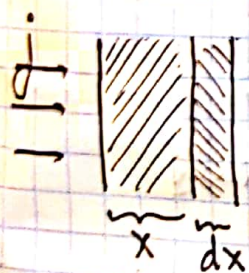
эфф. сечение при $[\text{барн}, 1 \text{ барн} = 10^{-24} \text{ см}^2]$

В большинстве случаев $\sigma \neq \pi r_{\text{ядра}}^2$!!!

Если несколько каналов: $\dot{N} = \sum_i \dot{N}_i$ (по каналам)

Парциальное сечение: $\sigma_i = \frac{\dot{N}_i}{j n_m}$
(для V канала)

Полное сечение: $\sigma = \sum_i \sigma_i = \sigma_{\text{упр}} + \sigma_r$



$$dj = -j(x) \cdot \frac{dx}{\lambda}$$

видим в ед. вр.

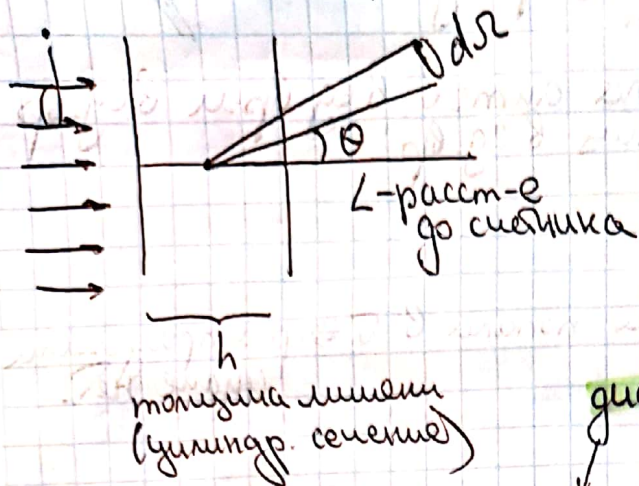
вероятность (что частица впадет в поперек)

глубина свобод. прох.

$\lambda n_m \sigma = 1$

$$j(x) = j_0 e^{-n_m \sigma x}$$

Опыт: показ, что часто продукты вылетают с разной веро в разных направлениях.



Счетчик ловит только то, что летит в пределах $d\Omega$ (узда конен. р в)
 $L \rightarrow h$ - от положения рассеивающего атома ничего не зависит

$$\frac{dN(\theta)}{dt} \equiv \dot{N}(\theta) = j n_m \cdot d\sigma$$

число сб. в ед.вр $\left[\frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{с}} \right]$

$$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \equiv \sigma(\theta) \right]$$

- диф. сечение рассеяния
 (верто рас-е в однако мен. угла $d\Omega$)

$$\dot{N}(\theta) = j n_m \cdot \sigma(\theta) d\Omega = 2\pi \sin\theta d\theta$$

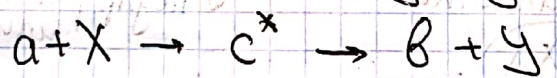
Интегральное сечение

$$\sigma = 2\pi \int_0^{\pi} \sigma(\theta) \sin\theta d\theta$$

Пример - ф-ла Резерфорда: $\sigma(\theta) = \frac{Ze^2}{4\pi \sin^2 \theta/2}$ (формула)
 мм. Е накл. чаш.

IV Механизм ядерных реакций

① Составное (композитное) ядро ← Бор.



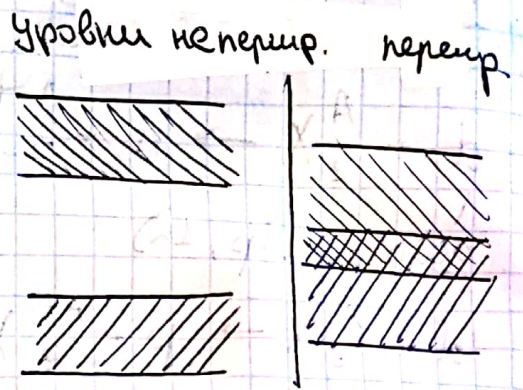
время жизни \rightarrow времени пролета нейтрон
 $10^{-21} - 10^{-23} \text{ с}$ чф ядро

(c^* захватывает всю энергию \leftarrow учено оно образовалось)

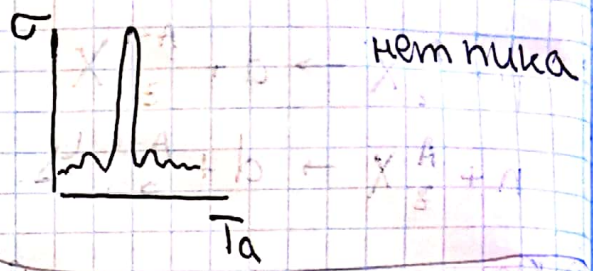
R и χ ω т. ядро \rightarrow резонансные / нерезонансные уровни непер. переп.

Ош. ω т. - Δ - 0 ширина.

Все ост. ω т.: $\Gamma \tau \approx \hbar$
 энерг. ширина уровня / время жизни уровня

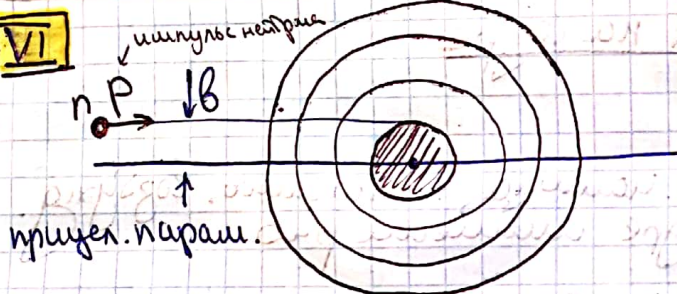


$\tau_{\text{em}} \cdot \tau_p \approx \tau_e = \frac{2R}{V} \sim 10^{-22}$ - прямая реакция
 время р-и / время пролета ч-а. в ядро



$\tau_p \gg \tau_e$ - составное ядро

VI



$p\hbar = \hbar \sqrt{l(l+1)}$ - МД и квант.

$p = \frac{\hbar}{\lambda}$ - нейтрона.

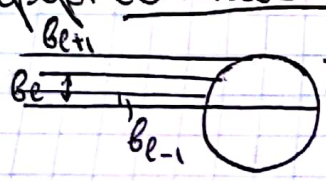
$\Rightarrow \hbar = \frac{\hbar \sqrt{l(l+1)}}{(\hbar/\lambda)} \sim \lambda l$
 радиус ядра

\Rightarrow предель. зн-е l , при кот. ч-а. попад. в ядро:

$l_{\text{max}} \approx \frac{R}{\lambda}$

- Если p мал ($E_n \approx 0.1 \text{ МэВ}$) $\Rightarrow \lambda \uparrow \Rightarrow$ малое l - нейтронное s -волна ($l \approx 0$)
- $E_n \sim 1 \text{ МэВ} \Rightarrow l \approx 1 \leftarrow p$.
- $E_n \gg 1 \text{ МэВ} \Rightarrow$ ш.д. радиус $l = 0 \dots l_{\text{max}}$.

Экспер. сечение попадания в ядро ч-а. с l (пары):



$\sigma_l = \frac{\pi}{2} (v_{e+1}^2 - v_{e-1}^2) = \dots = \pi \lambda^2 (2l+1)$

$\sigma_l = \pi \lambda^2 (2l+1)$

$\sigma_{\text{геом}} = \sum_{l=0}^{l_{\text{max}}} \sigma_l = \pi (R + \lambda^2)$

Верх. граница сече. ядра / ч-а. с l (пары) / ч-а. с l (пары) / ч-а. с l (пары)