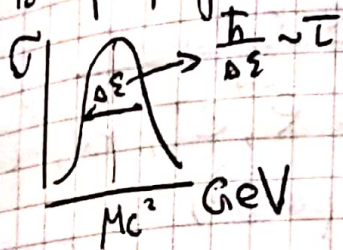


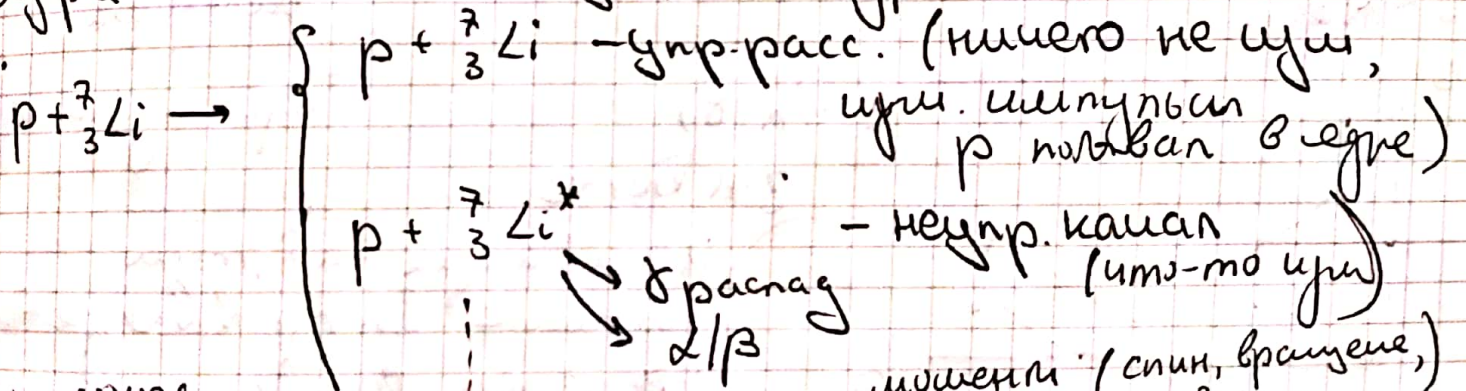
Семинар 12 (23.11.20)

① Вспом. функции открытие новых частиц — тах в σ -рег-с.
 // Нобел. — Z бозон //



② Каналы реакции и парусечения ($E \sim M \text{ GeV}$)

яд. р-я — сблиз-е частиц на $\sim R_{\text{ядра}}$



Законы сохр:

Z, A, S, C, \dots масс, Z, S, \dots , четность, B ,
 A ($E \ll m_{\text{ядер}}$)

число барионов
 $n - p + e + \bar{\nu}$
 вписан в B ,
 но так не пишется

- Сеч. р-и - верает хар-р протекание р-и:

$$\frac{dN}{dt} = j n \sigma_{\text{ср}} \varphi$$

числен

число ян. $\omega \Delta t$

в ед. вр. в ед. V.

канал

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{упр}} + \underbrace{\sigma_1 + \sigma_2 + \dots}_{\sigma_{\text{неупр}}} - \text{аналог. вертели (не-обитие)}$$

что-то произошло

ри

ЭМ фаше

оруж

$$\frac{I_{\text{упр}}}{I_{\text{супр}}} \sim 10^{-2} \left\{ \begin{array}{l} \text{супр-} \\ \text{супр-} \end{array} \right.$$

$$\tau \sim 10^{-20} - 10^{-10} \text{ с}$$

слабое фаше

ор-е $e^-, e^+, \nu_e, \bar{\nu}_e$

(врасп-)

$$\tau \gg \tau_{\text{сд}}$$

"чистильщик вселенной"

Термод. на $\nu_{\text{инт}}$

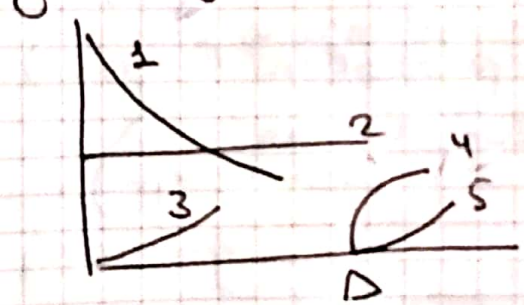
сдерживание

$$\tau \sim 10^{-20} \text{ с}$$

д. н. д. у. ядра

Нет e, γ на выходе

$$\sigma \sim \pi R^2_{\text{ядра}}$$



1 - (n, γ)

3-н бете

чем сильнее наб, тем меньше вр. пров. в ядре \Rightarrow меньше вер фаше с ядром

$$\sigma = \pi (\lambda + R)^2 D(E)$$

$$4\sqrt{E/u}$$

(2) (n, n)

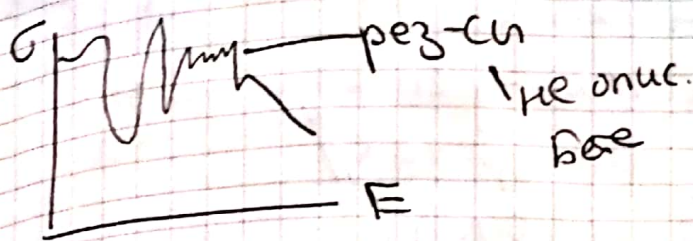
3 - (p, α) - сост. ядро

экзотери/экзотери) ре

ри отруж. упр.

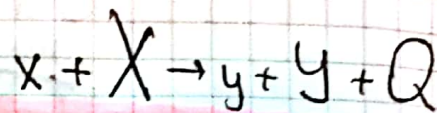
и, s \rightarrow (x, p) (x, n) - эндотери

Бете $\sigma \sim \frac{1}{V} \sim \frac{1}{\sqrt{E}}$



$\sigma = \pi (\lambda + R)^2 Q(E)$
 ↑
 max геом. фактор (max непрому. барьер)
 ↑
 прилож. барьер

③ Рез-сн опис. Брейте-Витнер



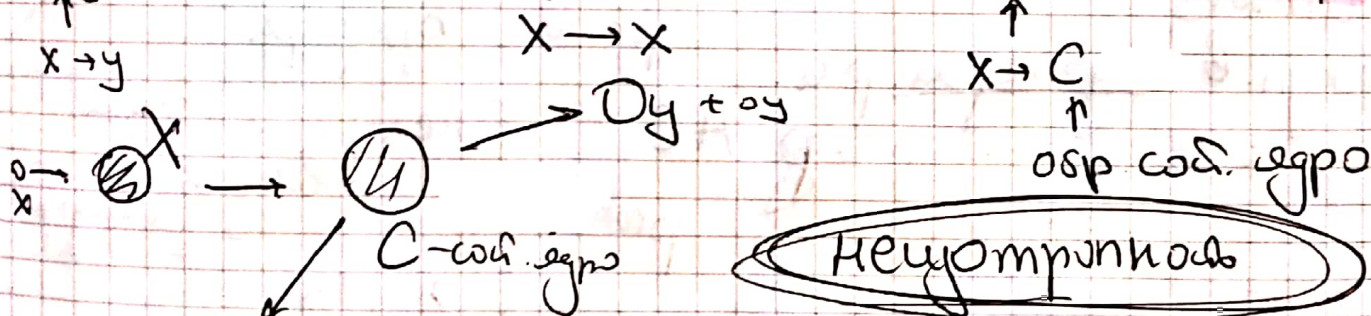
$\sigma_{xy} = \pi (\lambda + R)^2 \cdot \frac{\Gamma_x \Gamma_y}{(E - E_0)^2 + \Gamma^2/4}$, $\Gamma = \Gamma_x + \Gamma_y + \dots$

Γ_{xy} - полуширина линии $\frac{1}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_x} + \frac{1}{\Gamma_y} + \dots$ Лоренц. кривая

$\frac{\sigma_{xx}}{\sigma_{yy}} = \frac{\Gamma_x}{\Gamma_y} = \frac{\Gamma_y}{\Gamma_x}$

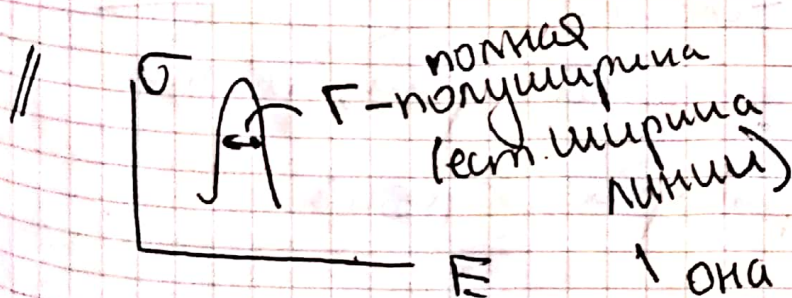
при $R \ll \lambda$ ($E < \text{МэВ}$ - медл. нуклоны) $E = E_0$

$\sigma_{xy} = 4\pi\lambda^2 \frac{\Gamma_x \Gamma_y}{\Gamma^2}$, $\sigma_{xx} = 4\pi\lambda^2 \frac{\Gamma_x^2}{\Gamma^2}$, $\sigma_{xc} = 4\pi\lambda^2 \frac{\Gamma_x}{\Gamma}$



Нецелотрпность

$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \sigma(\theta)$ - диф. сеч. рас.



она состоит из Γ_x, Γ_y

④ Деление ядер под действием n . Ядр. реакции.

$n \rightarrow$ медл.
быстрые

тепл.

оч. больш.

// Росатом-реакторы на тепл. нейтронах

0-не пот. n .

упр. расщ. эндотерм. (радиохват)

цепные реакции
 $k \geq 1$ - ат. бомба (e^k раз)
коэф. размн.

для управления реактором

замедл. нейтроны (у-и β расп.)

$$\frac{dN}{dt} = \frac{k-1}{T} N, \quad T \approx T_0 + \beta T_3$$

$\sim 10^{-3}$ - число замедл. n
 D - время n

будущее
> 0,1 МэВ

вступ. в эндотерм. рн.
2015 год - Белоярский АС.

режим Бригера

problems...
нельзя исп. тем. воду как замедл.
мгн N_{th} ...

Совсем будущее:

термояд. $\rightarrow \alpha$ - сполно
нуклеосинтез

Дейтерий, Тритий

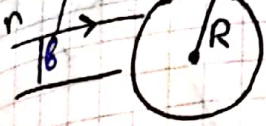
критерий Лоусона

Токкамаки

Задача 1 ← не из Овч.

из 1х принципах ввести max возможное сечение
 $\sigma_{\text{geom}} = \pi(\lambda + R)^2$ // все, что попало в ядро, исчерпано внешн
 длина волны де Бройля орб. число

присл. параметр
 частоты, $\forall \epsilon \in [0, R]$



в ядрах: $\hbar l$ — проекция
 импульса,
 попер. сеч.

$$\hbar l = p b = \frac{\hbar}{\lambda} b.$$

началь.

$$l = \frac{b}{\lambda} \Rightarrow l_{\text{max}} = \frac{R}{\lambda}$$

при таком
возмущении ядра

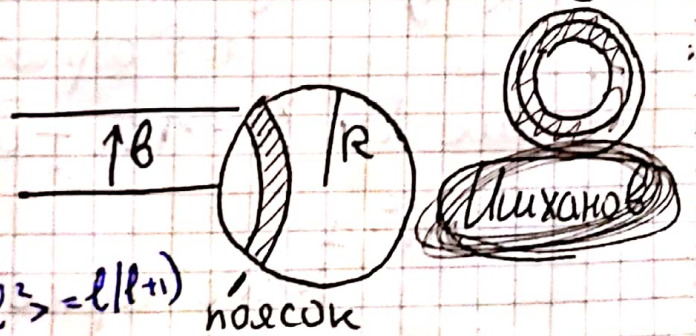
• если энергия небольшая $E_n \sim 0,1 \text{ МэВ} \Rightarrow l_{\text{max}} < 1 \Rightarrow$
 \Rightarrow не и. "завращать" ядро (s-нейтр. волна) \Rightarrow
 $\Rightarrow \sigma_{\text{max}} = \pi R^2$

• $E_n \sim \text{МэВ} \Rightarrow R/\lambda \gtrsim 1$ — p-волна (волна п, вращ. ядро)

$$\sigma_{\text{geom}} = \sum_{l=0}^{l_{\text{max}}} \sigma_l$$

парц.

$$\sigma_l = \underbrace{(\underbrace{b_{l+1}^2 - b_{l-1}^2}_{\text{ш/у } l-1 \text{ и } l+1}}_{\text{круга}}) \cdot \pi \cdot \frac{1}{2} =$$



$$\langle l^2 \rangle = l(l+1)$$

насос

$$= \frac{\pi \lambda^2}{2} (\langle (l+1)^2 \rangle - \langle (l-1)^2 \rangle) = \frac{\pi \lambda^2}{2} ((l+1)(l+2) - (l-1)l)$$

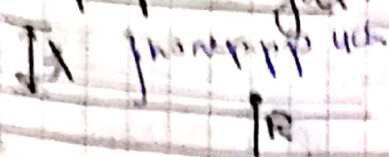
$$= \frac{\pi \lambda^2}{2} (l^2 + 3l + 2 - l^2 - l) = \pi \lambda^2 (2l+1)$$

кратное вращ

$$\sigma_{\text{geom}} = \sum_{l=0}^{l_{\text{max}}} \pi \lambda^2 (2l+1) = \pi \lambda^2 \cdot \frac{1 + \frac{2R}{\lambda} + 1}{2} \cdot \left(\frac{R}{\lambda} + 1\right) =$$

$$= \pi \lambda^2 \left(\frac{R}{\lambda} + 1\right)^2 = \pi (R^2 + \lambda^2)$$

Цилиндрическая:



пересек. \Rightarrow есть фаши-е

если $раса < X+R$, то фаши-е

// в ягании предел. X, R

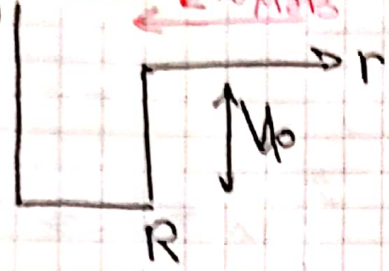
$X < R$ - грани. $\sigma_{гран} \sim \pi R^2$

(как реан.онт.)

$X > R$ - манне E $\sigma_{гран} = \pi X^2$

Задача 2

$E \sim 10^8$ ном. ед. и попал в ядро



от в ядре вынесло

коэф. проницаемости

$$D = \frac{4k_1 k_2}{(k_1 + k_2)^2}, \quad k_1 = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$$

$$k_2 = \frac{\sqrt{2m(E+U_0)}}{\hbar}$$

сост. ядра

$$\sigma_c = \sigma_{гран} \cdot D \cdot j$$

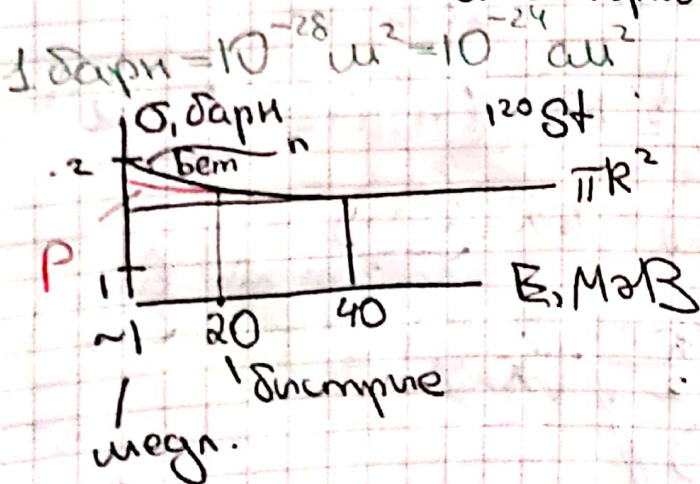
$$\pi(R+X)^2$$

вер, что застрял в ядре, над. отр. от ядра $j \geq 1$

1) вышше E: $X \ll R$ - дырка в ядре и $E \gg U_0, k_1 = k_2$

$$\sigma_c = \pi R^2 \cdot 1$$

адс. черное ядро (и обая ном. и сяд. с ядро)



медл. E $\sigma_c = \pi X^2$
не все при вож.
если р.то $\sigma \downarrow$ уза Кул.
отт. при малых E
при больших E все равно

2) $\lambda \gg R$ - тепловые нейтроны $k_2 \rightarrow k_1$

$$\sigma_c = \pi \lambda^2 \cdot \frac{4k_1}{k_2} = \pi \cdot \frac{4}{k_1 k_2} \sim \frac{1}{vE} \sim \frac{1}{v} \quad \text{(З-Н Беттме)}$$

const

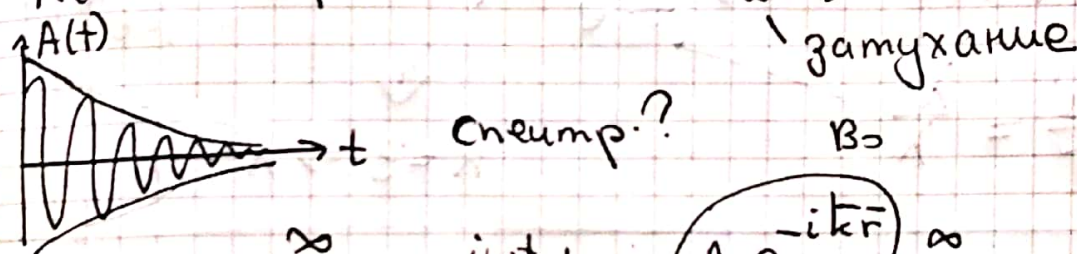
$V_{\text{бол.}} \Rightarrow \sigma_{\text{мал}}$
(мало в-в ядра)
 \hookrightarrow мал. в-в р-н

Задача 3 Излучение вольфа Брета-Витнера
какая кривая опис. потоку?

он-р ул. и пол-вдупак.

Амплитуда поле излучающего ядра?

$$A(t) = A_0 \exp(i \vec{k} \vec{r} - i \omega_0 t - \frac{\alpha}{2} t)$$



Спектр?

$$A(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} A(t) e^{i \omega t} dt = \frac{A_0 e^{-i \vec{k} \vec{r}}}{2\pi} \int_0^{\infty} \exp((i(\omega - \omega_0) - \frac{\alpha}{2})t) dt$$

$t < 0$ нет ул.

$$= B_0 \frac{-1}{i(\omega - \omega_0) - \alpha/2}$$

Спектр

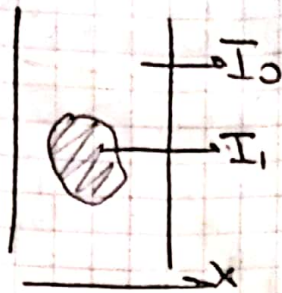
$$I(\omega) = I_0 \frac{(\alpha/2)^2}{(\omega - \omega_0)^2 + (\alpha/2)^2} \rightarrow \sigma_{ab} = \sigma_{\text{геом}} \cdot \frac{\Gamma_a \Gamma_b}{(E - E_0)^2 + (\Gamma/2)^2}$$

формула Б. В.

если $\Gamma_a = \Gamma_b = \Gamma/2$ - част. случай
обобщ. \hookrightarrow ОК.

рез. пот. - е - обратно излучаемо \Rightarrow все это верное
пот.

8.45. $\lambda = 1 \text{ \AA} \Rightarrow R_0 \Rightarrow \text{холод н.} \Rightarrow \text{Беттм.}$



$$\alpha = \frac{I_1}{I_0} = 1,26$$

$$\lambda' - ? \alpha' = 2.$$

нет рез-са

в обл. мен. н
нет рез.

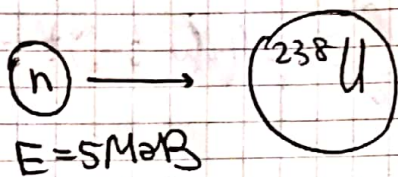
$$I(x) = I_0 e^{-j\sigma x}$$

$$\alpha = \frac{I_1}{I_0} = \frac{e^{-(n_1 \sigma_1 x)}}{e^{-n_0 \sigma_0 x}} = e^{-x(n_1 \sigma_1 - n_0 \sigma_0)} = 1,26$$

$$\alpha_1 = 2 = e^{-x(n_1 \sigma_1' - n_0 \sigma_0')} = e^{-xk(n_1 \sigma_1' - n_0 \sigma_0')} = 1,26^k$$

Беттм $k = \frac{\sigma_1'}{\sigma_0} = \frac{\lambda'}{\lambda} \Rightarrow k = 3 \Rightarrow \lambda' = 3 \text{ \AA}$

9.5.



$$\sigma_{(n,f)} = 0,5 \text{ барн}$$

$$U_0 = 50 \text{ МэВ}$$

$$\frac{\sigma_{(n,f)}}{\sigma_0} = \frac{\Gamma_f}{\Gamma} - ?$$

рад. ядра $R = 1,3 \sqrt[3]{238} = 8,1 \text{ ферми}$
 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} \sim 2 \text{ ферми}$ } нельзя пренебр. R или λ

$$\sigma_{\text{реал}} = \pi (\lambda + R)^2$$

$$\sigma_c = \pi (\lambda + R)^2 \frac{4k_1 k_2}{(k_1 + k_2)^2} \quad \text{①}$$

$$k_1 = \frac{1}{\lambda} = 5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-1}, k_2 = \frac{1}{h} \sqrt{2m(E + U_0)} = \sqrt{\frac{55}{5}} \approx 16 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-1}$$

$$\text{② } 2,3 \text{ барн.}$$

$$\Rightarrow \frac{\Gamma_f}{\Gamma} = \frac{0,5}{2,3} \approx 0,2 //$$

$\Rightarrow \geq 5n$ отрицател.
ген-след. ядра (подг. ген. пр.)
р-ри на ядр. н
большая интер. радиат.