

1. Передісторія ядерної фізики. Основні властивості стабільних ядер.
2. Енергетичні співвідношення в ядерній фізиці.
3. Властивості ядер.
4. Моделі ядерної матерії.
 - 4.1. Гідродинамічна (краплинна) модель ядра.
 - 4.2. Модель ядра у формі виродженого Фермі-газу.
 - 4.3. Оболонкова (магічна) модель ядра.
 - 4.4. Узагальнена модель ядра.
5. Характеристика внутрішньоядерних сил.
 - 5.1. Електронно-магнітна взаємодія.
 - 5.2. Сильна взаємодія.
 - 5.3. Ефект Казіміра.
 - 5.4. Слабка взаємодія.
6. Радіоактивні перетворення ядер.
7. Спонтанний α -розпад.
8. Врахування екранування для α -розпаду.
9. Спонтанний поділ ядер.
10. Умови ділення важких ядер на основі динамічної моделі.
11. β -розпад ядер.
12. Ефект Мессбауера.
13. Ядерні реакції.
14. Закони збереження для ядерних реакцій.
15. Резонансні ядерні реакції за участі γ -квантів.
16. Ядерні реакції під дією нейтронів.
17. Взаємодія нейтронів з різними ядрами.
18. Ланцюгова реакція ділення важких ядер.
19. Ядерні реактори.
20. Реактор біжучої хвилі.
21. Некерований ядерний вибух.
22. Керований та некерований ядерний синтез.
23. Критерій Лоусона.
24. Шляхи реалізації керованого термоядерного синтезу.
25. Систематика та природа елементарних частинок.
26. Кваркова структура елементарних частинок.
27. Струнна теорія елементарних частинок.
28. Еволюція Всесвіту.
29. Сценарій розвитку гарячого Всесвіту.
30. Зірковий етап еволюції Всесвіту.
31. Схема еволюції зірок в залежності від маси.

Представлення ядерної фізики та
основні властивості стабільних ядер.

04.09.12.

Характеристики протона:

$$M_p = 938,2 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-24} \text{ г} = 1836,1 m_e$$

$$M_p = 2,49 \mu\text{н}, \quad M_n = \frac{e\hbar}{2m_p c} - \text{ядерний магнетон}$$

$$J_n = 10^{-23} \text{ CGSE (од. вим. од. моменту)}$$

1919р - модель ядра

Маса ядра: $M_{\text{яд}} \approx A \cdot M_p$ (м. од. протонів, маса протона відрізняє на декілька %)

$A = 5 \quad 5p$
 $Z = 2e \quad 3e^-$ } така модель ядра

1932р. - було з'ясовано чому ця модель не вилон, саме почали рознімати сили частинки.

дейтон: $D \quad A=2$ - бозон мнн \bar{h}
 $q=e$

Було встановлено, що м. мом. в ядрі має з'являтися мнн. мом. \bar{e} , але м. мом. ядра $\approx 2000 \cdot m_e$ мнн мнн \bar{e} .

Точка не вилон. свідч. невизначеності.

1932р., Чадвік, Бете, Бехерель - встановили, що з ядр вилітаю мнн ядр з мнн. крісе p .

Це невідоме. виміром. крісе. на м. н., але вони не крісували на мнн. ноне - це нейтрони.

Нейтрон:

$$m_n = 939,5 \text{ MeV} = 1,6726 \text{ me} = 1,6 \cdot 10^{-24} \text{ z}$$

Нейтрон важчий за протон на 2,5 ме.

1933р. - протон-нейтронна модель ядра,

Званенко-Бейденберг.



A = сума к-сть нейтронів
і протонів = масова

Z = к-сть протонів (p)



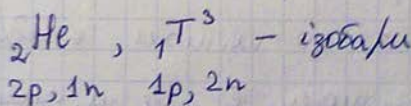
A - це ще масове число

Нукліди - узгадальника назва ядра.

Ядра (в залежності від p і n):

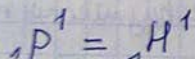
1). $A = \text{const}$ - ізобари

Пр.

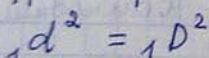


2). $Z = \text{const}$ - ізотопи

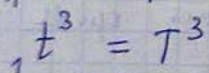
Пр.



(протій)



(дейтерій)



(третій)

стабільні

ізотопи атомів водню

Fe^{56} Fe^{57} Fe^{58} - ізотопи феруму

92% 2,2% 0,2

3) ізотопи : $A - Z = \text{const}$

4) ізотопи : $A = \text{const}$
 $Z = \text{const}$

ідеї едфа вогню м. фобз, сарароеф. (мас. момент, міле, форма, тас міттал),

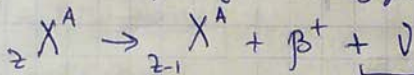
Sn^{119} , Sn^{119m}

 256 μeV
(тас міттал)

$$Z_{opt} = \frac{A}{1,098 + 0,015 A^{2/3}}$$

- при цьому співвідношення едфа найбільш стабільні

• $Z > Z_{opt}$ - в едфа заввиш заряд;

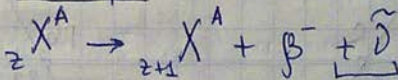


де зберетиме нового спону - нейтрально

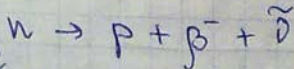
β^+ - позитрон

β^- - електрон

• $Z < Z_{opt}$



активітально



тас міттал

2000 с в він наму
тросор

Энергетическое связывание в ядре магния

* Энергия связи:

$$E_{\text{св}} = Z m_p c^2 + (A - Z) m_n c^2 - X(A, Z) m c^2$$

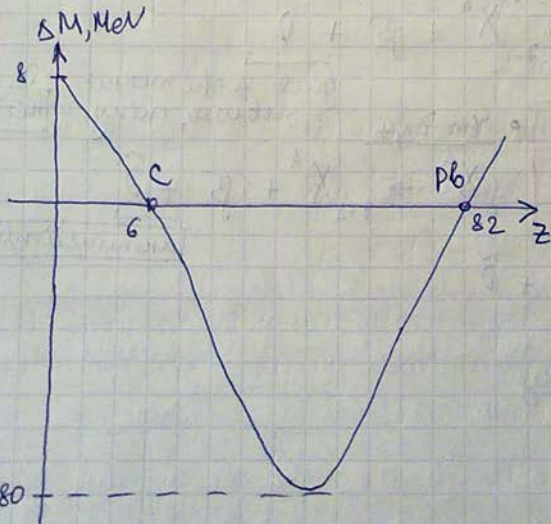
* Дефект масс: $\Delta M = M(A, Z) c^2 - A \frac{M({}_6\text{C}^{12})}{12} c^2$, Мев

$$1 \text{ а.о.м.} = \frac{1}{12} M({}_6\text{C}^{12}) \quad \swarrow \text{энергия покоя ядра}$$

$$\Delta = \frac{\Delta M}{\frac{1}{12} M({}_6\text{C}^{12}) c^2} = \frac{M(A, Z)}{\frac{1}{12} M({}_6\text{C}^{12})} - A$$

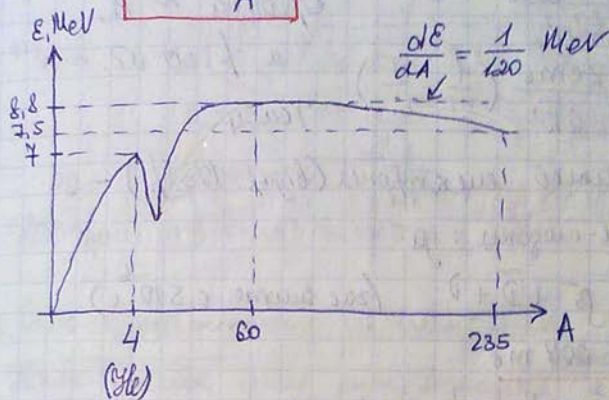
где нейтрона: $\Delta M_n = 8041,43 \text{ Кев}$ $\Delta_n = 0,008665$

где протона: $\Delta M_p = 7288,03 \text{ Кев}$ $\Delta_p = 0,007276$



* Питома енергія збізку

$$\epsilon = \frac{\Delta E_{зб}}{A}$$



${}^4_2\text{He}$ - сильно збізана система

${}^4_3\text{Li}$: $\epsilon = 7,1$ MeV

${}^4_2\text{He}$: $\epsilon = 7,07$ MeV

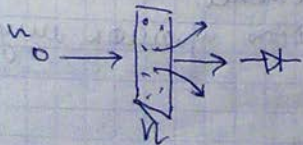
${}^3_3\text{Li}$: $\epsilon = 5,6$ MeV

Властивості ядер

1. Розподіл ядер

а) Визнає - балбардув. шв. нейтронами (але цих $\lambda = \frac{2\pi\hbar}{mv} \leq \sqrt{\sigma}$ може бути менше радіус. ядра).

К-сть розсіятих ядер



$$dN = -N\sigma n dx \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N = N_0 \exp(-\sigma n x)$$

1.1
□

8). метод шевротинів

вперед.
що відно
тільки

$$E_n = \frac{Z^2 e^4 m e}{2 \hbar^2 n^2}$$

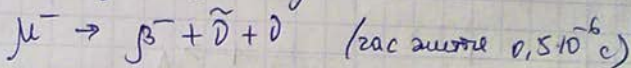
$$\omega_{km} = \frac{Z e^2 m e}{2 \hbar^2} \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Орбіта $\sim A$,

а ρ . ос. від. $\sim 10^{13}$

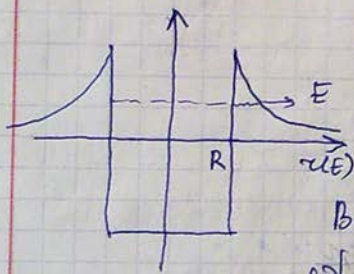
Тому

Беруться вивести електрони (вигляд. 1938 р.) - це
вигляди μ -мезони: μ^-



$$M_{\mu} = 204 m e$$

$$Z_n = \frac{\hbar^2}{Z m e^2} n^2 \quad - \text{кож. бол. орбіти}$$



Фізично/ісб: $Z(E)$

$$D = \exp\left[-\frac{2}{\hbar} \int_R \sqrt{2m(V(r)-E)} dr\right]$$

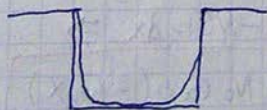
Встановили, що радіус

$$\text{одна: } R = R_0 A^{1/3}$$

$$R_0 = 1,2 \div 1,3 \cdot 10^{-13} \text{ см}$$

Формула вказує, що центри нуклонів
рівномірно, тому кабіллена.

У новітній приклад. мму



Формула Ферми - характеризует состояние свободных нуклонов в ядре.

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \exp\left(\frac{\epsilon - \mu}{a}\right)}$$

$a = 5,5 \cdot 10^{-14}$ м - гиродинамическая длина

$$\rho_0 = 1,8 \cdot 10^{38} \frac{1}{\text{м}^3}$$

Состояние нуклонов в ядре.

11.09.12.

2. Спин и магнитный момент ядра.

Ядро нуклонов имеет спин (власный ^{спин} \vec{S} и орбитальный момент).

$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$ - суммарный момент

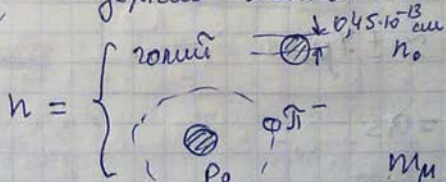
$$J_z = \hbar \sqrt{j(j+1)}$$

$$\mu_z = \frac{e\hbar}{2m_n c}$$

$$j = \begin{cases} l + \frac{1}{2}, & (\vec{S} \vec{L}) > 0 \\ l - \frac{1}{2}, & (\vec{S} \vec{L}) < 0 \end{cases}$$

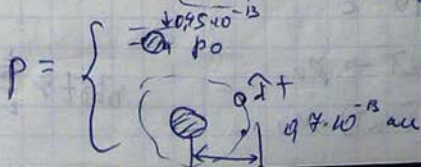
$\mu_n = \frac{e\hbar}{2m_n c}$ - ядерный магнетон

Нейтрон



$$m_n = 249 m_e$$

Протон



квант	$S_z(j)$	M
(n) нейтрон	$\hbar/2$	$-1,91 \mu_n$
p	$\hbar/2$	$2,49 \mu_n$
$d \equiv \frac{2}{1} \mu$	\hbar	$0,86 \mu_n$
$t \equiv \frac{3}{1} \mu$	$\frac{\hbar}{2}$	$3 \mu_n$
$d \equiv \frac{4}{2} \mu$	0	0
115μ $49 \mu_n$	$9\hbar/2$	$5,5 \mu_n$

Магнітний момент нейтрона:

$$\bar{M}_n = \left(1 - \frac{t}{T}\right) M_{n_0} + \frac{t}{T} (M_{p_0} - M_{\pi^-}) = -1,91 \mu_n$$

0 μ_n гігант. злістий.

Фотон: $\bar{M}_p = \frac{t}{T} M_{\pi^+} + \left(1 - \frac{t}{T}\right) M_{p_0} = 2,49 \mu_n$

μ_0 - ядерний магнетон

$$M_{\pi^+} \approx \pm 4 \mu_0$$

$$\frac{t}{T} = 0,3$$

$$T = 10^{-23} \text{ c}$$

$$dT \rightarrow p_0$$

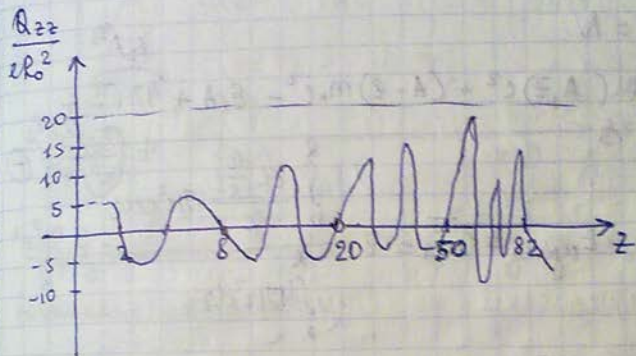
$$(1-dT) \rightarrow n_0$$

$$\text{BEST} \geq \frac{\hbar}{2}$$

3. Дипольный момент и квадрупольный мом.

$$\vec{D} = \sum_i e_i \vec{z}_i = \int \vec{z} \rho_e(\vec{r}) dV$$

$$Q_{ij} = \sum_a q_a (3x_i x_j^{(a)} - \delta_{ij} z_a^2) = \int (3x_i x_j - \delta_{ij} z^2) \rho_e dV$$



$$R = R_0 A^{1/2}$$

Барионный заряд n и $p = 1$, в активах минус -1:

$$n_n = n_p = 1 \quad n_{\beta^\pm} = n_\gamma = 0$$

$$n_{\bar{n}} = n_{\bar{p}} = -1$$

33 Барион. заряды: $\sum_i n_i = \text{const.}$

$$p + \bar{p} \neq 2\beta^+ + \gamma$$

Модели ядерной материи или конденсата
мезонов.

(I) Гидродинамика (спинислит) мезонная жидк.
(Бор, Френкель, Уильямс).

$z, A-z = N$

$E_{\text{ядр}} = M(A, z)c^2 + (A-z)m_{\pi}c^2 - E_1 A + \frac{4\pi R^2 \sigma}{A^{1/3}} + \frac{3E_2 z^2}{5A^{1/3}} + \frac{3E_3 z^2}{5A^{1/3}} + \frac{3E_4 z^2}{5A^{1/3}}$
 $S \approx A^{2/3}$



$E_{\text{ядр}} = z \bar{E}_1 = z \frac{\int_0^R \frac{zr^2}{R^3} \pi^2 dr}{\int_0^R \pi r^2 dr} = \frac{3}{5} \frac{z^2 r^2}{R}$

$\oplus E_4 \frac{(\frac{A}{2} - z)^2}{A} + \frac{\delta}{A^{1/3}}, \delta = \begin{cases} -|\delta|, \text{ мн} \\ 0, \text{ мн} \\ |\delta|, \text{ мн} \end{cases}$

$E_{z\pi} = z m_{\pi} c^2 + (A-z)m_{\pi} c^2 - M(A, z) =$

$= E_1 A^{1/3} - E_2 A^{2/3} - E_3 \frac{z^2}{A^{1/3}} - E_4 \frac{(\frac{A}{2} - z)^2}{A} - \frac{\delta}{A^{1/3}}$

Взаимодействие мезонов с нуклонами. Диполь. симметрия. $\frac{\delta}{A^{1/3}}$ — поправка.

Плотность кн. зв.

$E = \frac{E_{z\pi}}{A} = E_1 - E_2 A^{-1/3} - E_3 \frac{z^2}{A^{4/3}} - E_4 \frac{(\frac{A}{2} - z)^2}{A^2} - \frac{\delta}{A^{7/3}}$

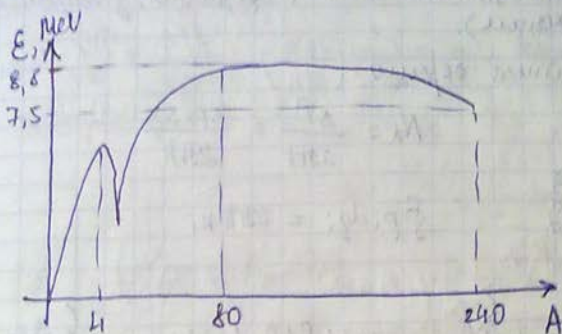
$E_1 = 15,75 \text{ MeV}$

$E_3 = 0,41 \text{ MeV}$

$E_2 = 17,8 \text{ MeV}$

$E_4 = 94,8 \text{ MeV} \quad |\delta| = 34 \text{ MeV}$

${}^4_2\text{He}$ $n(p) = 2$ $n(n) = 2$ парные - парные (ин)



для малых I - ровная кривая. враще, при
враще поверхности,

Знайдем I_{opt} :

$$\frac{\partial E}{\partial z} = -\frac{2E_3 z}{A^{1/3}} + \frac{2E_4 \left(\frac{A}{2} - z\right)}{A^2} = 0 \quad | \cdot \frac{A^2}{2}$$

$$-E_3 z A^{2/3} + E_4 \left(\frac{A}{2} - z\right) = 0$$

$$z \left(E_4 + E_3 A^{2/3}\right) = \frac{E_4 A}{2} \quad | \cdot \frac{2}{E_4}$$

$$I_{\text{opt}} = \frac{A}{2 \left(1 + \frac{E_3 A^{2/3}}{E_4}\right)} = \frac{A}{2 + 0,015 A^{2/3}}$$

- наиболее
стабильны!

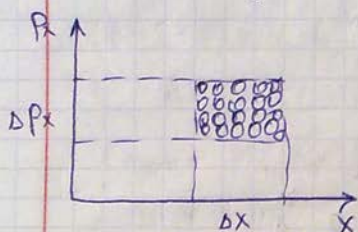
$$A = 125.$$

$$I_{\text{opt}} = \frac{A}{2 + 0,4}$$

8.09.12.

Модель: потенциальная яма (сферичная, с непрерывными стенками).

n, p - квантовые числа

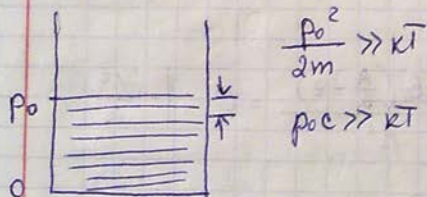


$$N_x = \frac{\Delta \Gamma}{2\pi\hbar} = \frac{\Delta p_x \Delta x}{2\pi\hbar}$$

$$\oint p_i dq_i = 2\pi\hbar n_i$$

$$N = g \frac{\int d^3p d^3q}{(2\pi\hbar)^3} = \frac{2V \int d^3p \int_0^p p^2 dp}{(2\pi\hbar)^3} = V \int_0^p \frac{p^2 dp}{\pi^2 \hbar^3}$$

Кванте безразмерные по ширине: $g = 2j+1$



$$P_P = \frac{\partial N}{\partial P} = \frac{V P^2}{\pi^2 \hbar^3}$$

$$P_E = \frac{\partial N}{\partial E} = \frac{dN}{dp} \frac{dp}{dE} = P_P \frac{1}{(\partial E / \partial p)} \quad \text{- упрощена модель}$$

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$$

$$\frac{dE}{dp} = \frac{2pc^2}{2E} = \frac{pc^2}{2E} \quad E = mc^2 \Rightarrow \frac{dE}{dp} = \frac{p}{m}$$

$$\rho_F = \frac{\partial N}{\partial E} = \frac{V p^2 m}{\pi^2 \hbar^3 p} = \frac{p m V}{\pi^2 \hbar^3}$$

$$\delta E = \frac{\partial E}{\partial N} = \frac{\pi^2 \hbar^3}{V p m} \text{ — наименьшее сер. значение интегральной}$$

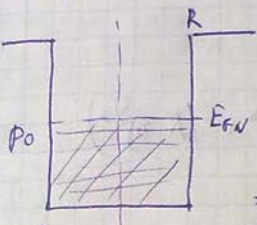
нейтроны

$$N = A - Z$$

$$N = \frac{V p_0^3}{3\pi^2 \hbar^3} \Rightarrow \rho_{0N} = \sqrt[3]{\frac{3\pi^2 \hbar^3 N}{V}}$$

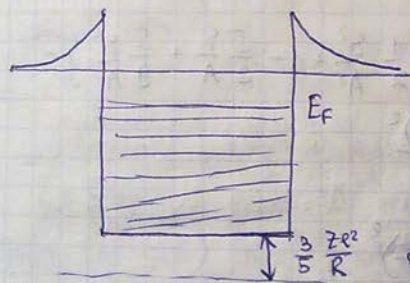
$$E_{FN} = \frac{\rho_{0N}^2}{2m} = \left(\frac{3\pi^2 N}{V} \right)^{2/3} \frac{\hbar^2}{2m} =$$

$$= \left(\frac{3\pi^2 N}{20 \cdot 10^24} \right)^{2/3} \cdot \frac{\hbar^2}{2m} \approx 32 \text{ МэВ}$$



$$N = \frac{A}{2}$$

$$E_K = \frac{3}{5} \frac{Ze^2}{R}$$



$$\rho_{0z} = \sqrt[3]{\frac{3\pi^2 \hbar^3 Z}{V}}$$

$$T_{Fz} = \frac{\rho_{0z}^2}{2m} = \left(\frac{3\pi^2 Z}{4A} \right)^{2/3} \frac{\hbar^2}{2m}$$

$$T_{Fz} = 82 \text{ МэВ}$$

$$\xi = \frac{A}{2}$$

$$\Delta E_{Kz} = \frac{3}{5} \frac{Ze^2}{20A^{1/3} \cdot \frac{23800}{82}} \approx 0,6 \cdot \frac{0,92 \cdot 10^{-2} \cdot 2,5 \cdot 10^{-19}}{1,3 \cdot 10^{-13} \cdot 6,3} \approx 0,15 \frac{10^{-27}}{10^{-13}} \Rightarrow \frac{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 7}{1,6 \cdot 10^{11}} \approx \sqrt{\text{МэВ}}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ eV}$$

$$\bar{T} = \frac{\int_0^{p_0} T(p) \frac{dN}{dp} dp}{\int_0^{p_0} \frac{dN}{dp} dp} = \frac{\int_0^{p_0} \frac{p^2}{2m} \frac{V p^2}{\pi^2 \hbar^3} dp}{\int_0^{p_0} \frac{V p^2}{\pi^2 \hbar^3} dp} = \frac{1}{2m} \frac{\rho_0^5 \cdot 3}{5 \rho_0^3} = \frac{3}{5} \frac{\rho_0^2}{2m} = \frac{3}{5} E_F$$

Значение работы E_R уменьши:

$$T_{\Sigma} = N \cdot \bar{T}_N + z \cdot \bar{T}_z = \frac{3}{5} \frac{h^2}{2m\omega_0^2} \left(\frac{9\pi}{4A} \right)^{2/3} \left\{ N^{5/3} + z^{5/3} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} N-z = \delta \\ N+z = A \end{array} \right\} \begin{array}{l} N = \frac{A+\delta}{2} \\ z = \frac{A-\delta}{2} \end{array}$$

$$T_{\Sigma} = \frac{3h^2}{10m\omega_0^2} \left(\frac{9\pi}{4A} \right)^{2/3} \frac{1}{2^{5/3}} \left((A+\delta)^{5/3} + (A-\delta)^{5/3} \right)$$

$$(1+x)^3 \approx 1 + 3x + \frac{9x^2}{2} \dots$$

$$T_{\Sigma} = \frac{3h^2}{10m\omega_0^2} \left(\frac{9\pi}{4A} \right)^{2/3} \frac{1}{A^{5/3}} \left\{ \left(1 + \frac{\delta}{A} \right)^{5/3} + \left(1 - \frac{\delta}{A} \right)^{5/3} \right\} =$$

$$= SA \left\{ 1 + \frac{\delta}{A} \frac{5}{3} + \frac{5}{3} \frac{2}{3} \frac{1}{2} \frac{\delta^2}{A^2} + 1 - \frac{5}{3} \frac{\delta}{A} + \frac{5}{9} \frac{\delta^2}{A^2} \right\} =$$

$$= 2SA + \frac{10}{9} S \frac{(N-z)^2}{A}$$

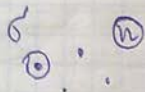
$$\frac{T_{\Sigma}}{A} = 2S + \left(\frac{10}{9} S \right) \left(\frac{N-z}{A} \right)^2 = E_4$$

Обобщенная модель ядра

Атом

1. В организующей части - ядро.
2. В кулонов. кабл. не образ. взаимодействие с электронами.
3. Не применим Паули.
4. j-j зв'язок
L-S зв'язок

Востокі ел. рух. незалежно один від одного



$$\sigma = \frac{\lambda^2}{2\pi} \quad \bar{E} = \frac{3}{5} E_{max} \approx 20 \text{ MeV}$$

$$\lambda = 10^{-12} \text{ см} \quad - \text{де Файнманова довжина хвилі.}$$

$$\bar{v} = \frac{1}{\sigma n}$$

$$\sigma = 10^{-25} \text{ см}^2$$

(давн. вим. пр. об.) $n = 1,8 \cdot 10^{38} \text{ см}^{-3} \quad \bar{v} = \frac{1}{2 \cdot 10^{38} \cdot 10^{-25}} = 0,5 \cdot 10^{13} \text{ см.}$

Метал: $n_i = 10^{23} \text{ см}^{-3}$

$$\sigma = 10^{-16} \text{ см}^2$$

$$\Rightarrow \bar{v}_{метал} = 10^4 \text{ см}$$

$$\bar{v} = 10 \div 30 \text{ см.}$$

Ядро

1. Являть такого центру.
 2. Сильна взаимодействие с нуклонами.
 3. Не применим Паули.
 4. Димен j-j зв'язок.
(Сильна или обитательна взаимодействие)
- нуклоны сильно взаимодейств. с нуклонами

2, 8, 20, 28, 52, 82, 126 - магічні лінії

${}^4_2\text{He}$, ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{40}_{20}\text{Ca}$, ${}^{48}_{20}\text{Ca}$, ${}^{82}_{34}\text{Se}$

${}^3_2\text{He}$ - 99,9988%

${}^{16}_8\text{O}$ - 99,76%

${}^4_2\text{He}$ - 0,00013%

${}^{17}_8\text{O}$ - 0,038%

${}^2_2\text{He}$, ${}^5_2\text{He}$ - не стаб.

${}^{15}_8\text{O}$ - не стаб.

Fe^{54} - 92,3%

Fe^{55} - не стаб.

Fe^{57} - 2,2%

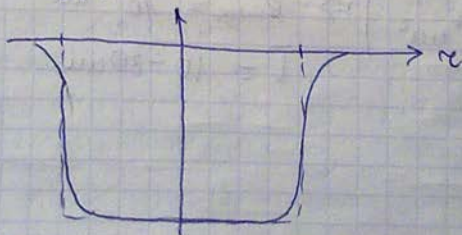
Fe^{58} - 0,01%

25.09.12.

виповсюг потенціалу
вони будуть нульові

Потенціал електричного сегру: $V = U_0 \left(U_{1s}(r) + U_0(r) \right)$

$$U = \frac{V_0}{1 + e^{-\frac{r-R}{a}}}, \quad R = R_0 \cdot A^{1/3}, \quad a \approx 0,5 \cdot 10^{-13} \text{ см}$$



$$U_{ls}(r) = \frac{\hbar^2}{2m^2 a^2} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \vec{S} \cdot \vec{L}) - \text{взаимодействие спинорных и орбит. хар.-ов}$$

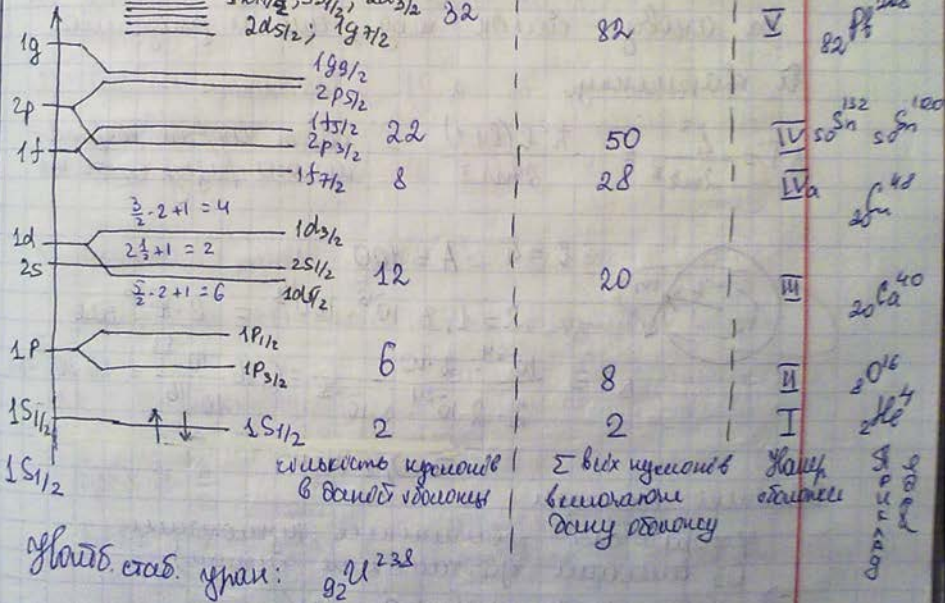
$U_{ls}(r)$ - кулоновская энергия;

$$U_{ls}(r) = \begin{cases} \frac{(\gamma-1)e^2}{R} \left\{ \frac{3}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right\}, & r < R \\ \frac{(\gamma-1)e^2}{r}, & r > R \end{cases}$$

Решение Шредингера:

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V(r) \right) \Psi(r, \theta, \varphi) = E \Psi(r, \theta, \varphi)$$

$$\Psi = R_{nl}(r) P_l^m(\cos\theta) e^{im\varphi}$$



эф. стоб. уран: 92^{238}

Сферички обложковий термі:

- 1). Спостереження показують порушення ригідності. заповнення ядра.
- 2). Деякі термі - термі ядра мають зовн. оболонку, яка замінює від сферичальної оболонки.
- 3). Модель для замкненої сист. квадратичн. потенціалу.

$$\langle R^2 \rangle = N \langle r^2 \rangle$$

④. Узгоджені модель ядра

За основу - оболон. мод., але її заповнення частинкою.

$$\Delta T = \frac{L^2}{2mr^2} = \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2mr^2} - \text{квант. енергія обертового руху част. м.}$$



$$l = 4 \quad A = 100$$

$$R = 1,3 \cdot 10^{-13} \cdot 100^{1/3} = 6 \cdot 10^{-13} \text{ м}$$

$$\Delta T = \frac{10^{-54} \cdot 2 \cdot 10}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-24} \cdot 3 \cdot 10^{-23}} = 0,16 \frac{10^{-53}}{10^{-47}} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ ерз.}$$
$$= 0,1 \text{ Мев.}$$

Зовнішні оболонки

деформовано зовнішніми протонами (з великими орбітальними моментами)

⇒ ядро не має форми кулі.

ядро перетворюється в "циліндр".

Хвильова функція ядра:

$$\Psi = \frac{1}{\sqrt{N}} \begin{vmatrix} \Psi_{n_1}(z_1) & \Psi_{n_1}(z_2) & \dots & \Psi_{n_1}(z_n) \\ \Psi_{n_2}(z_1) & \dots & \dots & \Psi_{n_2}(z_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Psi_{n_n}(z_1) & \Psi_{n_n}(z_2) & \dots & \Psi_{n_n}(z_n) \end{vmatrix}$$

- хвильова функція антисиметрична

Ядра матерія має в. магніт, заряд, масу.

Характеристика внутрішніх ядерних сил.

- | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1). <u>Гравітаційна</u> | $\frac{\Delta t}{10^{25} \text{ c}}$ | $\frac{\text{K}}{10^{-33}}$ |
| 2). <u>Сильна взаємодія</u> | 10^{-10} c | 10^{-14} |
| 3). <u>Електромагнітна</u> | 10^{-21} c | 10^{-3} |
| 4). <u>Сильна</u> | 10^{-24} c | 1 |

Заряд - це об'єкт, який може породжувати фотони

$$E = 1 \text{ eV}$$

Δt - характеристичний час процесу взаємодії

Енергоємність

$$\Delta p \Delta x \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2} \quad - \text{ЗЗЕ вказує на можливість } \Delta E \text{ на інтервалу } \Delta t.$$

- За час Δt заряд може породити фотон з ен. $\Delta E = \hbar \Delta \omega = \frac{\hbar}{2\Delta t}$. Фотон відрізняється від заряду $\Delta t = \frac{c \Delta t}{2}$ порівняно з часом Δt .

Фотон имеет массу покоя равную нулю на заре!
 Чем больше част. фотона тем на меньш. волн. длин
 он излучает.

$$\delta t \approx \frac{1}{2\delta\omega} \rightarrow \infty$$

Е. поле имеет вырв. фотон с кинетической энергией

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4} \Big|_{m_0=0} = pc$$

$$E^2 = p^2 c^2$$

$$E = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \quad p = -i\hbar \nabla$$

$$\Delta \psi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0 \quad \text{— волн. уравнение (без источника)}$$

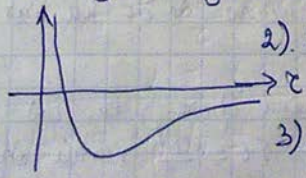
$$\Delta \psi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 4\pi r \quad \text{— волн. уравнение}$$

$$\omega = 0 \quad \frac{\partial}{\partial t} = 0 \Rightarrow \Delta \psi = 4\pi r = 4\pi q \delta(\vec{r})$$

$$\psi = \frac{e}{r} \quad V = q\psi = \frac{e^2}{r}$$

Синхронизация

1). Энергия имеет квант. на велич. $\hbar\omega$.
 и взаимодействует на макс.



2). Все имеет квантовый?

3). Знаем больше за квантовую

4). Сильная вл. зам. вог вращающейся орбитальной спирали
↑ о/б. масса.

5). Не замечать вог за негрв расстояния.

6). Характериз. внешним космическим (использ. небна к-то з'являе)
1938 г., Юкава - (1934 г. - идея Хоффи)
самая теория.

Фотон - частица, яка приходить у часту в шпильці
вращаючої.

$Z_0 = c \cdot t$ $Z_0 \approx 1,3$ фм - масшта. радіус вихідний

$$\delta E = \frac{h \cdot c}{2 Z_0} = \delta m \cdot c^2 \Rightarrow \text{маса полю к-то вращаючої}$$

$$\begin{cases} \delta m = 200 - 250 \text{ мє} \\ \text{спин} = 0 \quad S_2 = 0. \end{cases} \text{расширяе бозон}$$

1936-37 г. - вихідна част. з масою $m_\mu = 207 m_e$

$$p + p + \rho + \Delta E = p + n + \bar{\mu} + \tilde{\nu}_\mu \quad \begin{matrix} (\text{мюон}) \\ (\mu\text{-нейтрон}) \end{matrix}$$

Мюон - не стоб. част. з часом життя $\tau_\mu = 2 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$

$$\mu^\pm \rightarrow \beta^\pm + \bar{\nu}_e + \tilde{\nu}_\mu$$

1949 - 50 гг. - фактуйване рашинки, що утб. по
спини

$$p + p + \Delta E \rightarrow 2p + X$$

$$X = \pi^\pm, \pi^0 \text{ мезони}$$

$$S_z = 0$$

$$q = \pm e$$

$$m_\pi = 273 m_e.$$

$$g_{\pm}^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \left\{ \frac{\hbar \mu}{M} + \tau = 2,6 \cdot 10^{-8} \text{ c} \right. \text{ зал мистре}$$

$$g^0 \rightarrow 2\delta \quad \tau = 2,8 \cdot 10^{-16} \text{ c}$$

02.10.12.

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

$$E \rightarrow i\hbar \frac{\partial}{\partial t}, \quad p \rightarrow -i\hbar \nabla$$

$$-\hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi = -\hbar^2 c^2 \Delta \psi + m^2 c^4 \psi \quad \left| \frac{\psi}{\hbar^2 c^2} \right.$$

$$\Delta \psi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi + \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} \psi = 0 \quad (= 4\pi \delta_{\mathbf{r}}(r))$$

$$g_{\pm}^{\pm} = g_{\pm}^{\pm} \delta(\vec{r})$$

Две сильной взаимосвязи: $g_{\pm}^{\pm} = \sqrt{10} \tau c$

$$\frac{g_{\pm}^{\pm}}{\tau c} = 10$$

$$\frac{g_{\pm}^{\pm}}{e} = \sqrt{1370} \approx 35$$

$$\frac{e^2}{\tau c} = \frac{1}{137}$$

Две макс. $\frac{\partial}{\partial t} = 0$

$$\frac{m^2 c^2}{\hbar^2} = k^2 = \frac{1}{\lambda^2}$$

Промежуток где можно найти:

$$\psi_{\pi} = \frac{g_{\pm}^{\pm}}{c} e^{-\psi/\lambda} \Leftrightarrow \psi_{\pi} = \frac{e}{c}$$

← взаим. промежуток

$$\lambda = 1,3 \cdot 10^{13} \text{ ае}$$

$$W_{\pm}^{\pm} = g_{\pm}^{\pm} \psi_{\pi} = \frac{g_{\pm}^{\pm}}{c} e^{-\psi/\lambda} \quad \left. \right\} \text{ — энергия сильной связи}$$

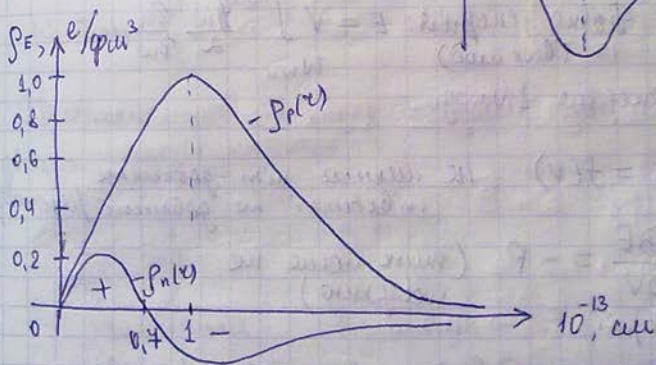
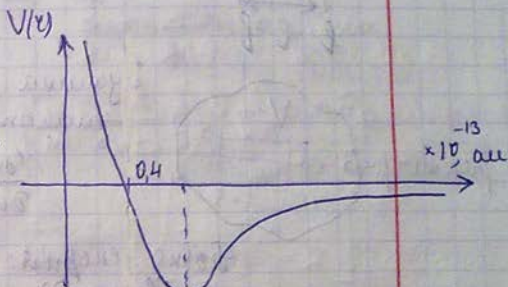
где χ имеет значения $\chi > 0,4 \cdot 10^{-13}$ см),
 где $\chi < 0,4 \cdot 10^{-13}$ см.

η -мезон: $m_\eta = 549 \text{ МэВ}$
 $\lambda_\eta = 0,36 \cdot 10^{-13} \text{ см}$

ρ -мезон: $m_\rho = 745 \text{ МэВ}$
 $\lambda_\rho = 0,25 \cdot 10^{-13} \text{ см}$

ω -мезон: $m_\omega = 782 \text{ МэВ}$
 $\lambda_\omega = 0,25 \cdot 10^{-13} \text{ см}$

Э разности η -мезон
 ρ -мезон
 ω -мезон



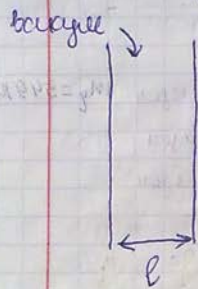
Электр. заряд: $\sqrt{\langle \chi_e^2 \rangle_p} = (0,86 \pm 0,01) \text{ фем}$

$\sqrt{\langle \chi_e^2 \rangle_n} = (0,1 \pm 0,01) \text{ фем}$

Для малых χ $\sqrt{\langle \chi_{\text{пл}}^2 \rangle_p} = (0,86 \pm 0,06) \text{ фем}$

(радиус локализации) $\sqrt{\langle \chi_{\text{пл}}^2 \rangle_n} = (0,89 \pm 0,04) \text{ фем}$

Эффект Казимира



$$p = - \frac{\partial W}{\partial x} = \frac{F}{S} = - \frac{\pi^2 \hbar c}{240 l^4}$$

← металлическая поверхность



Энергия мод на определенной частоте:

$$\frac{\partial n}{\partial \omega} = \frac{V \omega^2}{\pi^2 c^3}$$

Энергия мод (всех мод): $E = V \int_{\omega_{min}}^{\omega_{max}} \frac{\hbar \omega}{2} \frac{\partial n}{\partial \omega} d\omega$

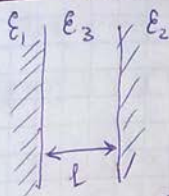
$\frac{\hbar \omega}{2}$ - энергия 1 моды.

$\omega_{min} = f(V)$ не меньше чем добротность микроволн по добротности резонатора

\downarrow
 $\rho = \frac{\partial E}{\partial V} = -P$ (сила на единицу поверхности)
 ↓
 давление энергии

Энергия см. в среднем и зовит резонатор через резонатор ω_{min} .

Зовит тем сильнее, тем сильнее в среднем.



$$l > \lambda_0: P = - \frac{\kappa T (\epsilon_{10} - \epsilon_{20})(\epsilon_{20} - \epsilon_{30})}{8\pi l (\epsilon_{10} + \epsilon_{20})(\epsilon_{20} + \epsilon_{30})}$$

$$\epsilon_{20} - \epsilon_{30} \text{ при } \omega = 0.$$

В вакууме заряды не взаимодействуют, в средах есть диполь-дипольные взаимодействия в зависимости от ϵ_{20} .

(аналогично для случая ван-дер-Ваальса)

$l < \lambda_0$:

$$P = - \frac{\hbar}{8\pi^2 l^3} \int_{\omega_{min}}^{\omega_{max}} S(\omega) d\omega, \text{ где } S(\omega) = \frac{(\epsilon_1(i\omega) - \epsilon_3(i\omega))(\epsilon_2(i\omega) - \epsilon_3(i\omega))}{(\epsilon_1(i\omega) + \epsilon_3(i\omega))(\epsilon_2(i\omega) + \epsilon_3(i\omega))}$$

$$\omega_{max} = \frac{2\pi c}{l}$$

Флуктуации или ван-дер-Ваальса и не совсем верно говоря об отражении.



взаимодействие

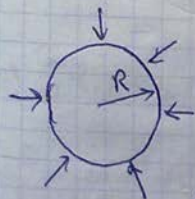


взаимодействие

Найдем ΔF для сферы:

Зависит от радиуса R и ω .

Таким образом $\omega_{min} = 0 \Rightarrow$ берем интеграл



$$U|_{R > R} = - \frac{\partial V}{\partial V} \int_{\omega_{min}}^{\omega_{max}} \frac{\hbar \omega}{2} \frac{\partial n}{\partial \omega} d\omega \quad \kappa > R$$

$$U|_{R < R} = - \frac{\partial V}{\partial V} \int_{\omega_{min}}^{\omega_{max}} \frac{\hbar \omega}{2} \frac{\partial n}{\partial \omega} d\omega$$

$$\Delta F = -\frac{\partial}{\partial V} V \int_0^{\omega_{max}} \frac{\hbar \omega}{2} \frac{\omega^2}{4\pi^2 c^3} d\omega$$

$$\frac{\partial U}{\partial \omega} = S(\omega) \sim \omega^2$$

_____ ω_{max} ?

$\omega_{max} \rightarrow$ граница классической физики по длине волны.

$$\omega_{max} = \frac{2\pi c}{2\pi R} = \frac{c}{R}$$

$$\Delta F = -\frac{\partial}{\partial V} V \left(\frac{\hbar}{2\pi^2 c^3} \frac{\omega^4}{4} \Big|_0^{c/R} \right) = -\frac{\partial}{\partial V} \left(V \frac{\hbar}{8\pi^2 c^3} \frac{c^4}{R^4} \right)$$

$$= \left[\begin{array}{l} V = \frac{4}{3}\pi R^3 \\ R = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} \end{array} \right] = -\frac{\partial}{\partial V} \left(V \frac{\hbar c}{8\pi^2} \left(\frac{4\pi}{3V} \right)^{4/3} \right)$$

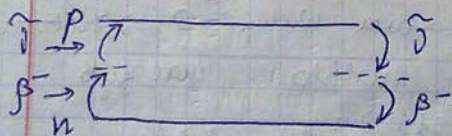
2 Слабкая взаимодействие (на 10^{15} масштабе, как сильная).

$$n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu}$$

$$m_n = m_p + 2,5 m_e$$

$$p + \beta^- + \Delta E \rightarrow n + \bar{\nu}$$

$$p + \bar{\nu} + \Delta E \rightarrow n + \beta^+$$

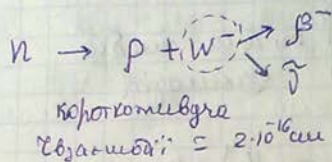


внешний

спонтанный

Поведення слабкої взаємодії є прямим взаємодією

Скорелі: Z^0, W^\pm $R_{03} = 2 \cdot 10^{-16}$ см



$M_{Z^0} = 91,1$ GeV

$m_{W^\pm} = 80,2$ GeV

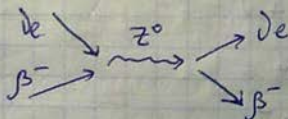
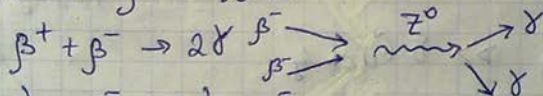
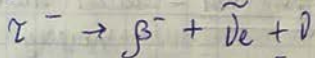
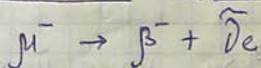
Лептони - не приєдн. у часті в сильній взаємодії

Слабкі: $\beta^\pm, \nu, \bar{\nu}_e$

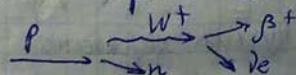
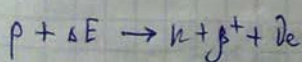
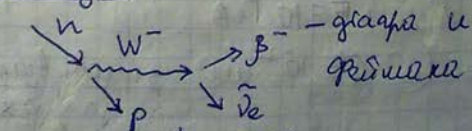
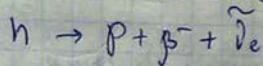
$\mu^\pm, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$
 $\tau^\pm, \nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$ ← лептони

Слабкі взаємодії з кві.

1) Лептонна взаємодія

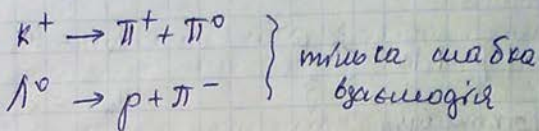


2) Ділептонна взаємодія



3) Ядерная масса взаимодейст

нейтрин: K^+, Λ^0



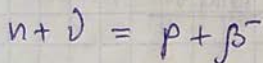
а) сильная взаимодействие: $d + t = He^4 + n$

$$E = 100 \text{ keV}$$

$$\sigma = 5 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2 = 5 \text{ бн (барн)}$$

б) слабая:

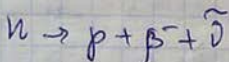
$$1 \text{ барн} = 10^{-24} \text{ см}^2$$



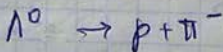
$$E = 1 \text{ MeV}$$

$$\sigma = 10^{-43} \text{ см}^2 = \underline{\underline{10^{-19} \text{ бн}}} \text{ - малая вероятность процесса.}$$

$$\sigma_{\text{силь. в.}} \gg \sigma_{\text{слаб. в.}}$$



$$\tau = 10^{-3} \text{ с}$$



$$\Delta E = 10 \text{ GeV}$$

$$\sigma = 10^{-27} \text{ см}^2 \text{ - слаб. взаимодейст: сильная за рах. сильной анни.$$

Слабая взаимодействие.

$$\begin{aligned} \gamma &= B^0 \cos \theta_w + w^0 \sin \theta_w \\ \xi^0 &= B^0 \sin \theta_w + w^0 \cos \theta_w \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{переносимый} \\ \text{дх метри} \end{array} \right\}$$

θ_w - угол Вайндера а

$\theta_w = 0$ где симметри

9.10.12.

Радиоактивный неустойчивый адрон.

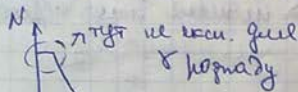
α, β, γ частицы; спонтанный распад; протонная неустойчивая радиоактивность

Устойчивость адрона берётся учась в к/а перес.

$N(t)$

$$\Delta N = -N(t) \lambda \Delta t$$

$$\Delta t \rightarrow 0 \quad dN = -N(t) \lambda dt \Rightarrow N(t) = N(0) e^{-\lambda t} \quad \text{— спонтанный распад.}$$



Средний распад:

$$\tau = \bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t \frac{dN}{dt} dt}{\int_0^{\infty} \frac{dN}{dt} dt} = \frac{1}{\lambda} \quad \text{— среднее значение}$$

т-ой адрон в е разв.

Значение τ — это адрон в 2 раза:

$$\frac{2R}{V_{max}}$$

$$T_{1/2} = \ln 2 \cdot \tau = \frac{\ln 2}{\lambda} < \tau$$

$$10^{-22} \approx \frac{2R}{V_{max}} < \tau < 10^{-11} \text{ секунд} = 10^{18} \text{ сек.}$$

$$\frac{\tau_{max}}{\tau_{min}} = 10^{40}$$

Кто-то говорит не обмениваться

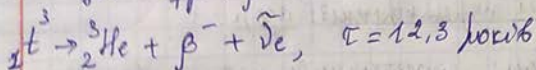
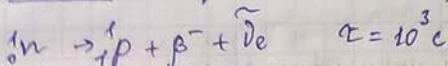
$$\tau_{max}, \tau = 7 \cdot 10^9 \text{ секунд} = 2,4 \cdot 10^{17} \text{ с.}$$

Приведение такого внешнего интервала: $10^{-22} < \tau < 10^{12} \text{ с}$

1). наличие ядерного барьера (для зарезанных частиц)

2). малая интенсивность сил, из-за чего не происходит реакции;

силы - короткой радиуса действия; барьер - внешний;

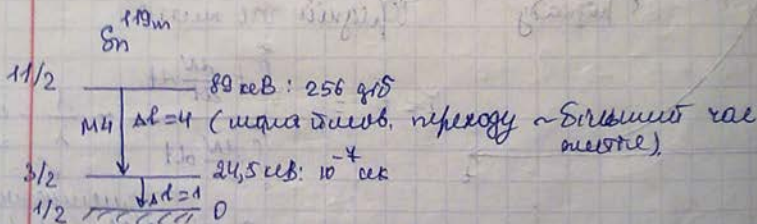


3). малая энергия, если выделяется при реакции

- тем меньше энергии, тем выг. тем больше рас. энергия.

4). велика разница между миди и станами или между разными видами ядерных реакций.

Большая разница миди \rightarrow меньше темп. переходу



Активность герения

$$a = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \frac{N}{\tau}$$

Беккерель (Ci) $\{ \text{Bк} = 1 \text{ возн/с}$

Кюри $\{ \text{Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ возн/с}$
(д. акт. Ra^{226})

// Конец з нас в гнереиоие активноати: тие. бг

Стохастичкий д-кознаг.

$$\lg \tau = c + \frac{B}{\sqrt{E}} \quad \tau \sim e^{B/\sqrt{E}}$$

- Значимости д-кознаду:

1). макс импакт гур 2x пилв дхр: $Z > 82, A > 210$

i бид $100 < A < 120$ (гиперзаменики Sm, Dy, Ho, Eu)

2). при д-козн. вифраидностиае застипие з енергиии

$$E_d = 4 \div 9 \text{ МэВ} \quad \text{при } A > 210$$

$$E_d = 2 \div 4 \text{ МэВ} \quad \text{при } 100 < A < 120.$$

3). рас пилта: $10^{-7} \text{ сек} < \tau_d < 10^{14} \text{ сек.}$

значимости $\frac{\Delta E_d}{E_d} = 1\%$ приводит до гуриве $\frac{\Delta Z}{Z} = 2 \div 3 \text{ кэи.}$

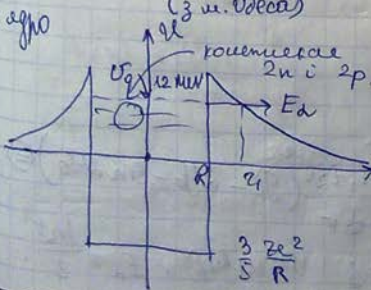
4). би д-рас. в монохроматичкии (дначола импакт)

$$E_d = \text{const}$$

- Модели

1929 г., Раиов - теория д-кознаду.

(з м. Одеса)



нейтроне

$$\lambda = \frac{1}{r} = \left(\frac{ZR}{150} \right)^{-1} D [c^{-1}]$$

имобилизация

^{235}U

$$\tau = 92 \quad R = 1,3 \cdot 10^{13} \cdot 235^{1/3}$$

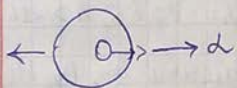
$$u = \frac{3}{5} \frac{2e^2}{R} = 20 \text{ MeV}$$



Классический туннель. В квант. механике сила
необходим.

Амплитуда туннельного эффекта:

$$D = \exp \left\{ -\frac{2}{\hbar} \int_R \sqrt{2\mu(V(z)-E)} dz \right\}$$



$$\begin{matrix} z & X^A & \rightarrow & Y^{A-4} & + & z^d \\ & & & z-2 & & 2^d \end{matrix}$$

материальное тело непрерывное.

$$P_{A-4} = P_4$$

$$T_d = \frac{P_d^2}{2m_d} ; \quad T_{A-4, z-2} = \frac{P_{A-4}^2}{2M(A-4, z-2)}$$

$\mu_{m(z,4)}$

Кинетическая энергия передается массе $T_d \gg T_y$.

$$\int_R^y \sqrt{2m_d \left(\frac{z_1 z_2 e^2}{r} - E_d \right)} dz = \sqrt{2m_d E_d} \cdot x \int_R^y \sqrt{\frac{y}{z} - 1} dz$$

$$\mu = \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} = \frac{\mu_2}{1 + \frac{\mu_2}{\mu_1}} = \mu_2$$

$$\mu_1 \gg \mu_2$$

$$E_d = U(z_1) = \frac{z_1 z_2 e^2}{z_1}$$

$$\frac{2}{\hbar} \int_R^y \sqrt{2m(V-E)} dz = \frac{2z_1 z_2 e^2}{\hbar v} \left(\frac{\pi}{2} - 2\theta - \sin 2\theta \right) \ominus$$

$$\sin \theta_0 = \frac{E_d R}{z_1 z_2 e^2} ; \quad \text{V-убавок. } E_d = \frac{m v^2}{2}$$

$$\sin \varphi_0 \ll 1$$

$$\Rightarrow \frac{2\pi z_1 z_2 e^2}{h v}$$

$$1) E_\alpha = 8 \text{ MeV} \quad z = 92$$

$$v_p = 1,7 \cdot 10^9 \text{ см/с}$$

$$v_0 \approx 10^{10} \text{ см/с}$$

$$\lambda = \frac{v_0}{2R} \cdot D = \frac{10^{10}}{10^{-12}} \exp\left\{-\frac{2 \cdot 3 \cdot 2,9 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 10^{-19}}{10^{-24} \cdot 1,8 \cdot 10^9}\right\} =$$

$$= 10^{22} \exp(-160) =$$

$$= 10^{22} \cdot 10^{-62} = 10^{-40} \text{ с}^{-1}$$

$$\tau = 10^{40} \text{ сек} \approx 10^{33} \text{ годов}$$

$$E_\alpha = 8 \text{ MeV}; \tau = 10^{15}$$

$$E = 4 \text{ MeV} \quad \tau = 10^{40} \text{ сек};$$

→ и значения грав. "размер" едк.

примерно эти значения. экранировка!

$$P V = \frac{e^2}{r} = \frac{2,5 \cdot 10^{-19}}{0,7 \cdot 10^{-8}} = 3,5 \cdot 10^{-11} \text{ эрг} = 20 \text{ эВ}$$

$$V(r) = \frac{e^2}{r} e^{-\frac{r}{a}} \quad \left| \begin{array}{l} \text{экранировка} \\ r \ll a \end{array} \right. = \frac{e^2}{r} \left(1 - \frac{r}{a}\right) = \frac{e^2}{r} - \frac{e^2}{a}$$

$$\frac{e^2}{a} = \frac{2,5 \cdot 10^{-19}}{0,5 \cdot 10^{-8}} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ эрг} = 30 \text{ эВ}$$

Фрагменты экранировки



$$V(r) = \frac{z_1 z_2 e^2}{r} e^{-\kappa r}$$

радиус экранировки в жидких средах (вещество):
маквелл:

$$\kappa = \begin{cases} \sqrt{\frac{\kappa T}{4\pi n_0 e^2}} & \text{- не вырожденный газ} \\ \sqrt{\frac{E_F}{3T}} & \text{- вырожденный газ} \end{cases}$$

$$D = \exp\left\{-\frac{2}{\hbar} \int_R^{r_0} \sqrt{2m(V(r)-E)} dr\right\} =$$

$$= \exp\left\{-\frac{2}{\hbar} \langle \sqrt{2m(V(r)-E)} \rangle (r_0 - R)\right\}$$

↓
ширина бар'ера
Винштейна.

Важно то, как изменит
механизм, бар'ера \Rightarrow все

средствие E_d^+ (меньше работает в 2-3 раза).

Тогда все показатели можно изменить в 10 раз

$$E_d \rightarrow E_d^* = 3E_d$$

$$v \rightarrow v^* = 1,7v$$

$$E_d = 4 \text{ MeV} \quad \lambda = 10^{22} \cdot 10^{-6 \cdot 1,7} = 10^{-16} \quad \tau = 10^{16} \text{ сек} = 10^9 \text{ лет}$$

$$E_d = 8 \text{ MeV} \quad \lambda = 10^{22} \cdot 10^{-3 \cdot 1,7} = 1 \quad \tau = 1 \text{ сек}$$

Экранирование на $15 \div 20$ порядков уменьше-
ет время.

↙ брахована экранировка

Для ионизованных атомов α разряд неощутимый.
Значит для защиты можно было бы уменьшать
время \Rightarrow уменьше радиационность.

Стохастический подход к ядер

- ↓ двухканальный
- ① кв-мех модель ② классическая модель

$$\textcircled{1} \quad z X^A \rightarrow z_1 X^{A_1} + z_2 Y^{A-A_1}$$

$$\lambda = \frac{v_0}{2R} \exp \left\{ -\frac{2Z_1 Z_2 e^2}{h v} \right\}$$

v - скорость относительного движения

Энергия относительного движения: $E = \frac{\mu v^2}{2} = \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \frac{v^2}{2} = \frac{z_1 z_2 e^2}{r_{12}}$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2Z_1 Z_2 e^2}{r_{12}} \frac{(\mu_1 + \mu_2)}{\mu_1 \mu_2}}$$

r_{12} - расстояние между ядрами

Для всех z_1, z_2, μ_1, μ_2 найдены численные значения.

$$\lambda = \frac{v_0}{2R} \exp \left\{ - \frac{\sqrt{z_1 z_2} e^{\pi} \sqrt{\mu_1 \mu_2} \gamma}{\hbar \sqrt{\mu_1 + \mu_2}} \right\}$$

$$z_1 = z \left(\frac{1}{2} + d \right)$$

$$z_2 = z \left(\frac{1}{2} - d \right)$$

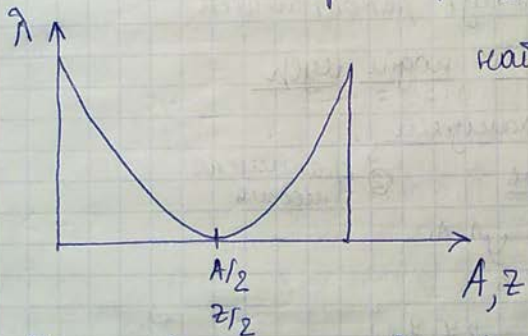
$$\mu_1 = \mu \left(\frac{1}{2} + \delta \right)$$

$$\mu_2 = \mu \left(\frac{1}{2} - \delta \right)$$

μ
 амплитуды:

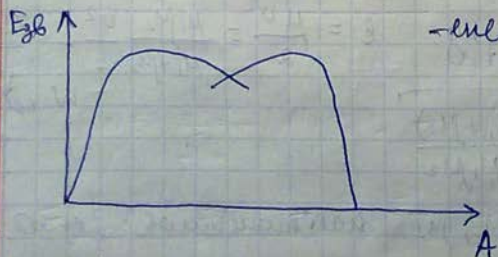
$$\lambda \sim \exp \left\{ - \frac{e^{\pi}}{\hbar} \sqrt{\left(\frac{1}{4} - d^2 \right) \left(\frac{1}{4} - \delta^2 \right)} \times \sqrt{2m z \gamma} \right\}$$

Услов. макс. $d_{opt} = \delta_{opt} = \frac{1}{2}$.



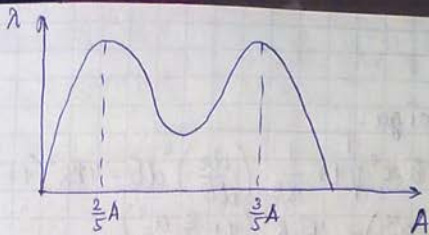
макс. макс. граница
 выше & ниже
 равны.

Не называем макс., до края своей модели
 здесь макс. берет ядерной материи.



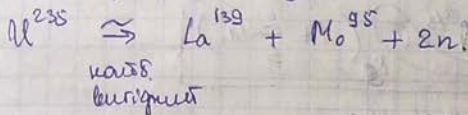
- энергетическо вел. по
 E_0 .

Дифференциальная с 2 графиками.



$$\lambda_{opt} = \delta_{opt} = \frac{1}{10}$$

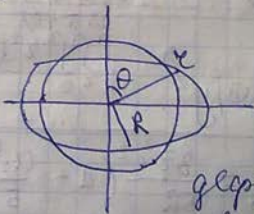
Гладко. велике зменшення з зміщенням 2:3.



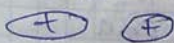
②. Умови формування вантажів для на основі гидродинамічних моделі (кренування).

16.10.12.

Умов - не велике зб. поверхні



великого з м. розр. ступ. силе, але не великого з м. розр. умов.



геометричне зб. у вимірах сферичних еліпсоїдів.

$$z(\theta) = R(1 + a_0 + a_2 P_2(\cos\theta) + a_4 P_4(\cos\theta) + \dots)$$

$$\Rightarrow V_{\text{геометр. зб.}} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \int_0^R z^2 \sin\theta \, d\theta \, d\phi \, dr = \frac{4\pi R^3}{3} \left(1 + 3a_0 + \frac{3}{5}a_2^2\right) = \frac{4}{3}\pi R^3$$

ос'як геометр. зб. у вимірах еліпсоїда

$$\Rightarrow \left| \alpha_0 = -\frac{a_2^2}{5} \right|$$

Энергия ноб. электрона:

$$S = 2\pi \cdot \int_0^\pi \sin\theta r^2 \sqrt{1 + \frac{1}{c^2} \left(\frac{dr}{d\theta}\right)^2} d\theta = 4\pi R^2 \left(1 + 2\alpha_0 + \frac{4}{5}\alpha_2^2\right) = 4\pi R^2 \left(1 + \frac{2}{5}\alpha_2^2\right)$$

Потенциальная энергия:

$$\begin{aligned} W_s &= \sigma \cdot S = 4\pi R^2 \sigma \left(1 + \frac{2}{5}\alpha_2^2\right) = \\ &= \left(4\pi R_0^2 \cdot A^{2/3} \sigma\right) \left(1 + \frac{2}{5}\alpha_2^2\right) \end{aligned}$$

Кинетическая энергия:

$$W_q = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^Z \frac{e^2}{|z_j|} = \frac{1}{2} Z(Z-1) e^2 \left\langle \frac{1}{r} \right\rangle \approx \frac{Z^2 e^2}{2} \left\langle \frac{1}{r} \right\rangle$$

$$\left\langle \frac{1}{r} \right\rangle = \frac{\int_0^\pi \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \frac{1}{r} r^2 \sin\theta d\alpha d\theta dr}{\int_0^\pi \int_0^\pi \int_0^{2\pi} r^2 \sin\theta d\alpha d\theta dr} = \frac{6}{5R} \left(1 - \frac{\alpha_2^2}{5}\right)$$

уменьшается
но больше α_2^2

$$W_q = \frac{3Z^2 e^2}{5R} \left(1 - \frac{\alpha_2^2}{5}\right) = \left(\frac{3e^2 Z^2}{5R_0 A^{1/3}}\right) \left(1 - \frac{\alpha_2^2}{5}\right)$$

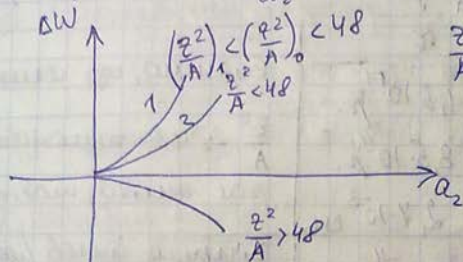
Энергия электрона при заданном атомном числе:

$$\begin{aligned} \Delta W &= (W_q + W_s - W_q(a_2=0) - W_s(a_2=0)) = \\ &= \epsilon_s A^{2/3} \frac{2}{5} \alpha_2^2 - \epsilon_q \frac{Z^2}{A^{1/3}} \frac{\alpha_2^2}{5} = \frac{2}{5} \epsilon_s A^{2/3} \left(1 - \frac{Z^2/A}{2\epsilon_s/\epsilon_q}\right) \alpha_2^2 \end{aligned}$$

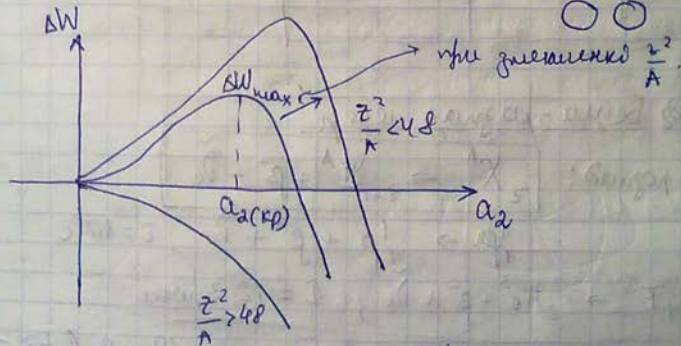
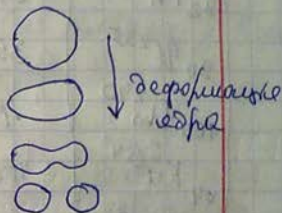
$$\left. \begin{aligned} E_s &= 17,8 \text{ MeB} \\ E_q &= 0,41 \text{ MeB} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta W = \frac{2}{5} E_s A^{2/3} \left(1 - \frac{z^2/A}{48} \right) a_2^2$$

$$\frac{2E_s}{E_q} \approx 48 \div 50$$

$$\frac{z^2}{A} < 48 \quad \frac{\partial \Delta W}{\partial a_2} > 0 \rightarrow \text{энергия возрастает}$$



$$\frac{z^2}{A} > 48 \quad \frac{\partial \Delta W}{\partial a_2} < 0$$



$$W_s = E_s A^{2/3} \left(1 + \frac{2a_2^2}{5} - \frac{4a_2^3}{105} \right)$$

$$W_q = E_q \frac{z^2}{A^{1/2}} \cdot \left(1 - \frac{a_2^2}{3} - \frac{4a_2^3}{105} \right)$$

$$\Delta W = \frac{2}{5} a_2^2 E_s A^{2/3} \left\{ 1 - \frac{z^2/A}{2E_s/E_q} \left(1 + \frac{2a_2}{35} \right) - \frac{2a_2}{35} \right\}$$

при величині деформации ядра енергія збільшується до max. а потім зменшується.

$$\alpha_{2(\text{кр})} = \gamma \frac{l-x}{1+2x}, \quad x = \frac{z^2/A}{2\varepsilon_s/\varepsilon_0}; \quad \alpha_{2(\text{кр})} \approx$$

$$\Delta W_{\text{max}} = \frac{98}{15} \varepsilon_s A^{2/3} \frac{(1-x)^3}{(1+2x)} \approx 116,3 A^{2/3} \frac{(1-x)^3}{(1+2x)}$$

Эта сумма $\frac{z^2}{A}$ до 48 или больше дивов. разн

	z^2/A	τ
82 Th ²³⁰	35	$1,5 \cdot 10^{14}$ г.
90 U ²³⁵	35,6	$3,5 \cdot 10^9$ г.
100 Fm ²⁴⁰	41	$2,4 \cdot 10^{-3}$ сек
104 Pu ²⁵⁴	43	$5 \cdot 10^{-4}$ сек

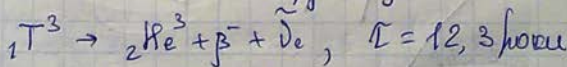
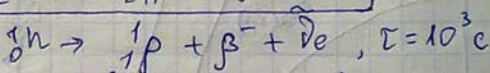
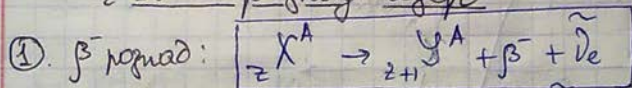
Видно, что если

$\frac{z^2}{A} \rightarrow 48$ или меньше

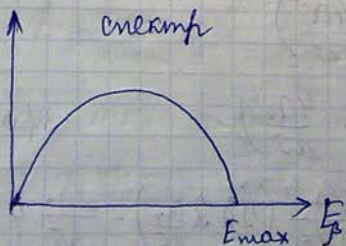
за счет, можно

добавить дивов. разн

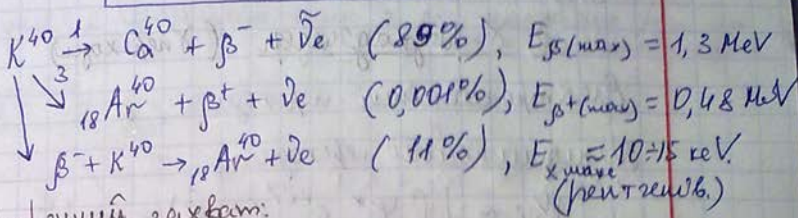
2 Бета-разряд ядер



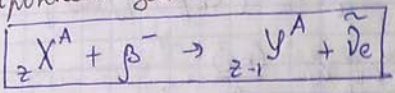
$$E_{\beta(\text{max})} = 19 \text{ кеВ} \quad (E_{\tilde{\nu}_e} = 0)$$



② β^+ розпад: ${}_z X^A > {}_{z-1} Y^A + \beta^+ + \bar{\nu}_e$

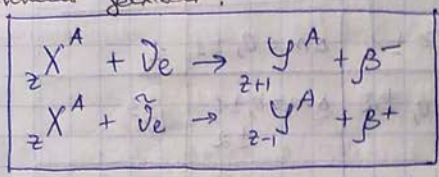


③ електронний захват:



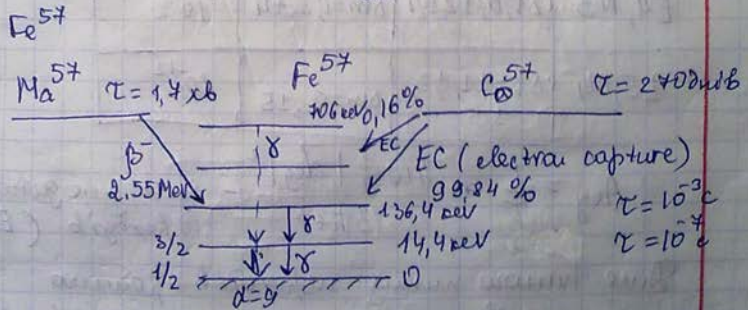
ядро захоплює е-и зі своєї орбіти (неправильно з Кішфу)

④ нейтронний захват:



Далі швидко перетворюється на нейтринно-електронний захват.

Зафіксувати всі процеси будуть паралельно.



⑤ електронна конверсія (ядро з збудж. в осн. і перетворюється на електрон). (аналог е-захвату)

l - квантовое число

δ - переходы

Электронный переход.

Мультипольный переход

$$W_{ij} \sim \left| \int \Psi_i^* e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} (\vec{e}_k \cdot \vec{p}) \Psi_j dV \right|^2$$

$$e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} = 1 + i\vec{k}\cdot\vec{r} - \frac{(kr)^2}{2} + \dots$$

$$\left| \frac{a}{\lambda} \right| \ll 1$$

			числ. н/ч.
E_1	$\Delta l = \pm 1$	$\Delta m = 0, \pm 1$	1
$E_2, M1$	$\Delta l = 0, \pm 2$	$\Delta m = 0, \pm 1, \pm 2$	10^{-3}
$E_3, M2$	$\Delta l = \pm 1, \pm 3$	$\Delta m = 0, \dots, \pm 3$	10^{-6}
$E_4, M3$	$\Delta l = 0, \pm 2, \pm 4$	$\Delta m = 0, \dots, \pm 4$	10^{-9}
$E_5, M4$	$\Delta l = \pm 1, \pm 3, \pm 5$	$\Delta m = 0, \dots, \pm 5$	10^{-12}

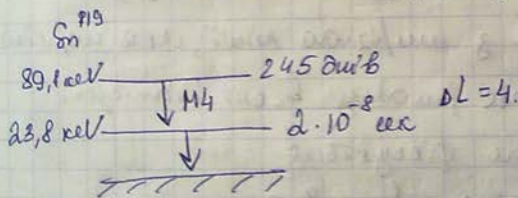
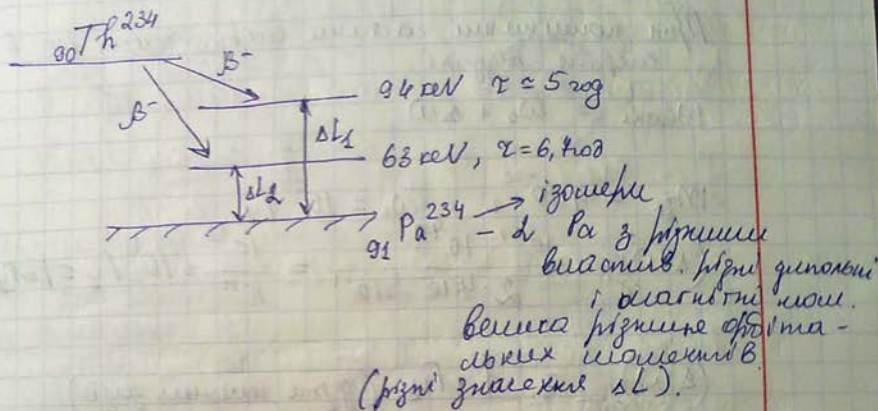
$$A_{eg} = \frac{1}{\tau} = \frac{4\omega_{eg}^3 |\langle e|eg\rangle|^2}{3\hbar c^3} - \text{числ. для дипольных переходов (E1)}$$

Для многого числа переходов получим

$$\text{суммарно: } |\langle e|eg\rangle|^2 \approx \left\{ \frac{6\pi(1+L)}{L(2L+1)!!} \left(\frac{\omega_{eg}}{c} \right)^{2L-2} |A_{eg}| \right\} - \text{для мультипольных } E_L$$

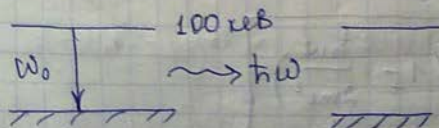
1921 р. - Оммо Пах - госидгыбал логнаг Th

3 Th ymb. 2 физик хив. елви з оди. масоо, аие физикши
визитивостемши.



Эфект Месбауера

^{101}Ir $E_\gamma = 100 \text{ keV}$ резонансе ноние хане явста



Енергие явста менше $h\omega_0$ ϵ менше $h\omega_0$,
бозгери'.

$$\omega_{\text{випр}} = \omega_0 - \Delta\omega, \quad \Delta\omega = \frac{(\hbar\omega_0)^2}{2mc^2\hbar}$$

$$\omega_{\text{випр}} < \omega_0$$

При понижении частота испускаемого света в спектре возрастает.

$$\omega_{\text{погл}} = \omega_0 + \Delta\omega$$

$$m_{\text{Tr}} = 4 \cdot 10^{-22} \quad \omega_0 = 10^{20} \text{ Гц}$$

$$(\Delta\omega)_{\text{ф}} = \frac{10^{-27} \cdot 10^{40}}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-22} \cdot 10^{21}} = \frac{10^{13}}{10^7} = 10^6 \text{ Гц}$$

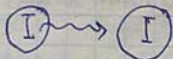
$$(\Delta\omega)_{\text{опт}} = 1 \text{ кГц (длина волны зрел.)}$$

Розширення з ширшою ліній, все нормальне
мГц і більше, менше в опт. діаметрі
це ефект не фікційний.

$$\text{Ширша ліній} \quad \Gamma = \frac{1}{\tau} = 10^9 \text{ Гц.}$$

23.10.12.

квант.
next time
10 кл.



$$\omega_{\text{випр.}} = \omega_0 \left(1 - \frac{\hbar\omega}{2mc^2} \right)$$

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\hbar\omega}{2mc^2}$$

$$\omega_0 = 10^{10} \text{ с}^{-1} \quad \Delta\omega = 10^{-2} \text{ с}^{-1}$$

$$\omega_0 = 10^{15} \text{ c}^{-1} \quad \Delta\omega = 10^3 \text{ c}^{-1}$$

$$\omega_0 = 10^{20} \text{ c}^{-1} \quad \Delta\omega = 10^{13} \text{ c}^{-1}$$



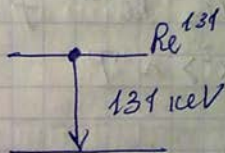
$$\frac{v}{c} \omega_0 = \Delta\omega \Rightarrow \frac{v}{c} = 10^{-4}$$

Зеркальная линия имеет ^α забегание:

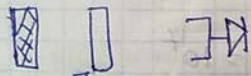
- 1). Эффект Доплера
- 2). забегание t^0

$$\Delta\omega_D = \omega_0 \sqrt{\frac{vT \ln 2}{mc^2}}$$

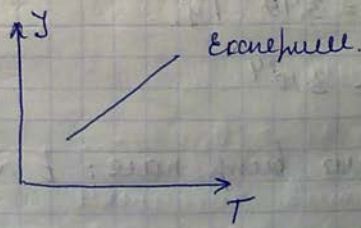
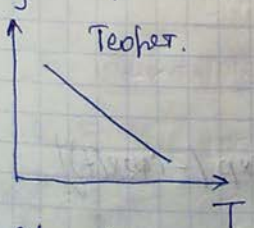
$$D_s \rightarrow Re^{131} + \beta + \tilde{v}e$$



Вм. Поглощает λ^0 .



↑
направ. → зб. ширина → зб. ширина линии неферности



Для вз. з частотою меншею передаючої частоти,
а ефект не перед. $\delta_0 \rightarrow \infty \Rightarrow \lambda \ll \lambda_0$.



Энергия вытормоза ишла на разрыв фонов фононов.

$$f \sim \exp\left(-\frac{\hbar^2 k^2}{\langle x^2 \rangle}\right) = \frac{\hbar^2}{\lambda}$$

$$= \exp\left(-\frac{\hbar^2}{\lambda} \langle x^2 \rangle\right) \quad \text{— фактор Мессбаэра}$$

$$T = 4K \text{ Re}^{191} \quad f = 3\%$$

$$\langle x^2 \rangle \sim T$$

$$\text{Fe}^{57} \quad \hbar\omega_0 = 14,4 \text{ кеВ}, \quad \tau = 10^{-7} \text{ с}$$

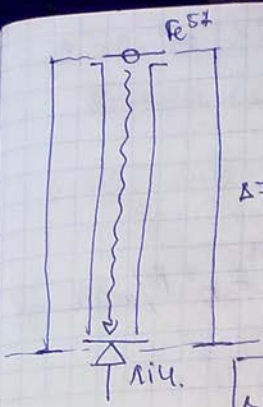
$$\frac{f}{243} \approx 0,5. \quad \Gamma = \frac{1}{\tau} = 10^7$$

$$\omega_0 = 3 \cdot 10^{19} \text{ Гц.}$$

$$\frac{\Gamma}{\omega_0} = 3 \cdot 10^{-4}$$

Дифференц bump. noise: $E \sim \exp(-iKx(t))$

Скорости производим по вертикальному движению фотона.



$$\Delta W = W \frac{g \Delta z}{c^2}$$



$$\Delta t = \frac{\Delta z}{c} \text{ - рас } | \text{ по } y \text{ или } T.1 \text{ и } T.2.$$

$$\Delta v = g \Delta t$$

$$\Delta W = W \frac{\Delta v}{c}$$

эмалон - переход в угн.

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{20 \cdot 10^7}{8 \cdot 10^{16}} \approx 2 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{\Delta v}{c} W \approx \frac{\Gamma}{2} \quad \Delta v = \frac{\Gamma c}{2W} = \frac{10^7 \cdot 3 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 3 \cdot 10^{19}} \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ (ау)} \frac{c}{c} = 20 \text{ км/с}$$

$$W = W_0 \frac{1}{\gamma(1 - \beta \cos \theta)} = \frac{W_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \left(1 - \frac{v}{c} n(\omega) \cos \theta\right)}$$

$v \ll c$

$$W = W_0 \left(1 + \frac{v}{c} n \cos \theta\right) \left(1 + \frac{v^2}{2c^2}\right)$$

$$\bar{W} = W_0 \left(1 + \frac{v^2}{2c^2}\right) \ominus$$

\bar{v}^2 - ср. кв. уб. радиуса амплитуды у фот.

$$\frac{m v^2}{2} = \frac{3}{2} \Gamma T \ominus W_0 \left(1 + \frac{3 \Gamma T}{2 m c^2}\right)$$

$T \uparrow \Rightarrow$ частота \downarrow ; c больше - то известно по формуле фотона.

Разгн. симметричный эффект \Rightarrow выкорост, у шимп, симонит, и др. K и $n(\omega)$.

$$\tau \sim \frac{1}{\omega^3}$$



$$\Delta t < \tau$$

$$r_1 > \frac{h\omega}{c} \sim \omega^4$$

$$\lambda = \lambda_A = 10^{19} \text{ c}^{-1}$$

$$\tau \sim 10^{-15}$$

$$r_1 > \frac{10^{-24} \cdot 10^{13}}{10^{-15}} = 10^4 \text{ fm/atom}$$

Ядерні реакції

я.р. - процес перетворення ядра при взаємодії з іншими ядрами або частинками.

Типи я.р.:

- 1). з нейтральними част. (нейтрони)
- 2). з зарядженими част.
- 3). з γ квантами.

Класи я.р.:

I. Фізики

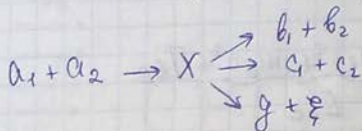
$$a_1 + a_2 \rightarrow b_1 + b_2 + \dots$$

- ренетив. частинки
- неовна взаємодія частинки

II. Через стадію проміжного, складового (кошпаунду) ядра.

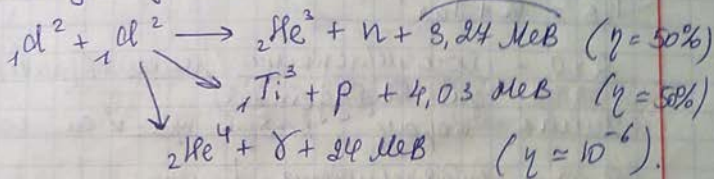
$a_1 + a_2 \rightarrow X \rightarrow b_1 + b_2 + \dots$ (где b_1, b_2, \dots и т.д.)

Канали (мощности реакции) Q (реакции).



Пр. Возможные варианты:

Единица.

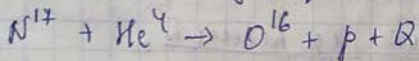


Энергия реакции: $Q = W_{a_1, a_2} - W_{b_1, b_2}$

$$\underbrace{W_{a_1, a_2} + T_{a_1, a_2}}_{m_{a_1}c^2 + m_{a_2}c^2} = \underbrace{W_{b_1, b_2} + T_{b_1, b_2}}_{m_{b_1}c^2 + m_{b_2}c^2} \quad (\text{баланс энергии})$$

$Q > 0$ - экзоэнергетическая р. (з. выделяется тепло)

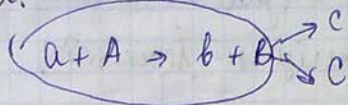
$Q < 0$ - эндоэнергетическая р. (з. поглощается тепло).



$$Q = (m_{\text{N}} + m_{\text{He}} - m_{\text{O}} - m_p)c^2 < 0$$

$$Q = -1,193 \text{ МэВ} \quad (\text{поэтому надо ввести тепло (энергия) для реакции}).$$

30.10.12.



$$\underbrace{m_A c^2 + m_A c^2}_{E_{0A}} + T_{0A} = \underbrace{m_b c^2 + m_B c^2}_{E_{0B}} + T_{0B}$$

$Q = E_{0A} - E_{0B}$ - энергия реакции.

$$T_{0B} = Q + T_{0A}$$

$Q > 0$ - экзотермическая реакция (реакция замедления порогу, бюджет. при \forall сн. зам.

$Q < 0$ - эндотермическая μ -я

$$T_{0B} = Q + T_{0A} \quad - \text{? не имеет порога}$$

Програда: $T_{min} = T_{0A}^* = \frac{m_b + m_B}{m_A} |Q|$ - не имеет порога.

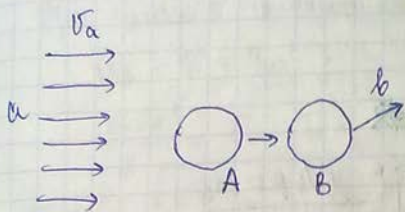
$$N^{14} + He^{4} = O^{16} + p + Q, \quad Q = -1,193 \text{ MeV}$$

За

Закон сохранения энергии

- 1) энергия
- 2) импульс
- 3) масс. импульс
- 4) заряд
- 5) μ -число нуклонов
- 6) паритет

Течение в щели



↙ нестационарное течение

$$n_a = \frac{1}{v_a}$$

$$dW_{AA, BB} = \int v_a n_a dt$$

$$\sigma = \frac{dW_{AA, BB}}{dt} \frac{1}{v_a n_a} \quad \text{— коэффициент рассеяния}$$

$$\frac{dW}{dt} = \frac{2\pi}{h} |H_{AA, BB}|^2 \delta((E_{AA} + T_{AA}) - (E_{BB} + T_{BB}))$$

$$H_{AA, BB} = \int \psi_a^* \psi_A \hat{H} \psi_B \psi_B dt$$

↘ вращение вектора z

$$\psi_a = \frac{B}{\sqrt{v_a}} e^{-i \vec{p}_a \vec{r} / \hbar}$$

то есть b
инвариант

$$\psi_b = \frac{D}{\sqrt{v_b}} e^{-i \vec{p}_b \vec{r} / \hbar}$$

Течение инел. → уравн. по обеим сторонам, как за греб. 33E.

$$\rightarrow \frac{dW_{AA, BB}}{dt} = \int \frac{dW_{AA, BB}(E_B)}{dt} \rho(E_B) dE_B \quad (\Rightarrow)$$

$$N \rho = g \frac{\int d^3 p \int d^3 q}{(2\pi \hbar)^3}$$

$$\rho = \frac{\partial N}{\partial p_b} = g \cdot v_b \cdot p_b^2 \cdot \frac{4\pi}{8\pi^3 \hbar^3} \Rightarrow dN = \frac{\rho_b v_b p_b^2}{2\pi^2 \hbar^3} dp_b$$

$$E_b = \frac{p_b^2}{2m_b} \quad dE_b = \frac{p_b}{m_b} \cdot 2 dp_b$$

$$dW = \frac{g V_b p_b}{2\pi^2 k^3} \frac{m_b}{p_b} dE_b$$

$$\rho(E_b) = \frac{g V_b p_b m_b}{2\pi^2 k^3};$$

$$\Rightarrow \frac{2\pi}{h} |K_{A,B}(E)|^2 \frac{g V_b p_b m_b}{2\pi^2 k^3}$$

$$\sigma_{A,B} = |K_{A,B}|^2 \cdot \frac{g V_b V_b m_b^2 V_a}{\pi h^4 v_a}$$

V_a, V_b - об'ємні константи;

$$H = \int \frac{1}{\sqrt{V_a}} e^{-i \vec{p}_a \vec{r} / \hbar} \psi_A^* \hat{H} \frac{1}{\sqrt{V_b}} e^{i \vec{p}_b \vec{r} / \hbar} \psi_B d\vec{r}$$

$g = (2J_B + 1)(2J_A + 1)$ - шматок об'єму
всього станів

$$\sigma_{A,B} = \frac{N_a V_b |K_{A,B}|^2 m_b^2}{\pi h^4 g}$$

$$\sigma_{A,B} = \sigma_0 \frac{V_b}{V_a}$$

①. Якщо розглянути $a=b$ $V_a=V_b$
 $A=B$

$$\sigma = \sigma_0 \neq 1$$

Якщо розглянути не сам б'язок

② Эргонепротивная реакция ($Q > 0$)

Для малой скорости $T_{aA} \ll Q$

$$T_{bB} = Q + T_{aA};$$

$$\frac{m_b v_b^2}{2} = Q + T_{aA}$$

$$v_b^2 = \sqrt{\frac{2}{m_b}(Q + T_{aA})}$$

$$\sigma = \sigma_0 \frac{\sqrt{2Q + \frac{m_a v_a^2}{2}}}{v_a v_{mb}}$$

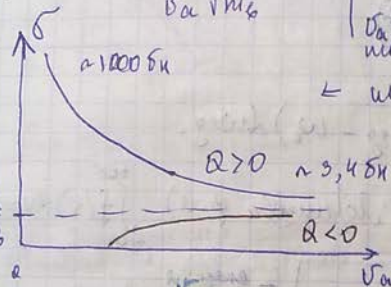
$$= \sigma_0 \frac{\sqrt{2Q}}{v_a v_{mb}}$$

σ_a мале

← ибугао зростае при пад. до нуля.

Зуб. зростае при набл.

$$\sigma_0 \frac{m_a}{m_b}$$



или α -частицы до 0.

Для низких энергий нейтронов v_{aA} и v_{bB} отсюда следует велика малы в реакторах \rightarrow тепловые нейтроны.

$$1 \text{ барн} = 1 \text{ бн} = 10^{-24} \text{ см}^2$$

③ Эргонепротивная реакция ($Q < 0$)

Может быть порождена энергия: $T_a > T_a^* = \frac{m_a + m_b}{m_a} |Q|$

Размеренно породе бивае порогу.

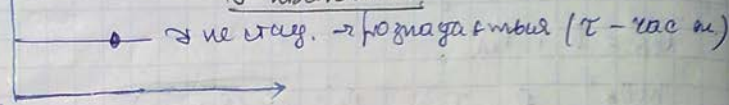
$$\sigma_a: \frac{v_a^2 m_a}{2} = T_a - T_a^* = T_a^* \left(\frac{T_a}{T_a^*} - 1 \right); \quad \frac{m_b v_b^2}{2} = T_a - T_a^*;$$

$$\sigma = \sigma_0 \frac{\sqrt{2(T_a - T_a^*)}}{\sqrt{2T_a^*} m_a} \quad (\text{обл. пил. } \sigma = f(T_a)) \rightarrow$$

Резонанс електричких променљивих за угради

δ квадрат

збојим. е
 $\delta \rightarrow$
 очк. g
 нагањено
 покр.



$$\frac{dW}{dt} = P_{\text{eg}} = \frac{4\pi^2 \gamma}{3h^2 c} |\bar{d}_{eg}|^2 \delta(\omega_{eg} - \omega)$$

$$\tau = \frac{3hc^3}{4\omega_{eg}^3 |\bar{d}_{eg}|^2}$$

$$\frac{d\bar{W}}{dt} = \int \frac{dW}{dt}(\omega_{eg}) f(\omega_{eg} - \omega_0) d\omega_{eg}$$

$$f(x) = \frac{\Gamma/2\pi}{x^2 + \Gamma^2/4} \quad (\text{Лоренцова ф-ца}) \quad \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$$

$$\frac{d\bar{W}}{dt} = \frac{\pi \gamma c^2}{h \omega_0^3 \tau} \frac{\Gamma/2\pi}{(\omega - \omega_0)^2 + \Gamma^2/4}$$

-- непознато
 -- њива. проводи брзо
 -- се направи њива
 -- монотонно γ .

$$\gamma = h \omega I \left[\frac{1}{c \omega^2} \right] \quad I - \text{с-сво кв. за ог. радијације ог. микроволна}$$

$$\frac{d\bar{W}}{dt} = P = \frac{\pi h \omega I c^2}{h \omega_0^2 \tau} \frac{\Gamma/2\pi}{(\omega - \omega_0)^2 + \Gamma^2/4} =$$

$$= N a c \frac{\pi c^2}{4\pi^2 c^2} \frac{\lambda^2}{2\pi \tau} \frac{\Gamma}{(\omega - \omega_0)^2 + \Gamma^2/4} = N a c \left(\frac{\lambda^2}{2\pi^2} \frac{1}{\left[2 \left(\frac{\omega - \omega_0}{\Gamma} \right)^2 + 1 \right]} \right)$$

Γ_{eg} - непознато збојим. асиметрија

Γ - ширини линије

Γ_{eg}

$$f(x) = \frac{\Gamma/2\pi}{x^2 + \Gamma^2/4} \Big|_{\Gamma=2\pi} = \delta(x)$$

$\Gamma = \Gamma_0 = \frac{1}{\tau}$ - ширини линије

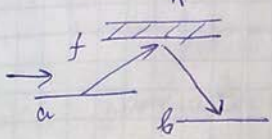
$$\Gamma = \Gamma_0 + \Delta \Gamma$$

при при таких механизмах.

$$\gamma \rightarrow n$$

$$\lambda \rightarrow \lambda = \frac{2\pi h}{mv}$$

$$W \rightarrow \frac{E}{h}$$



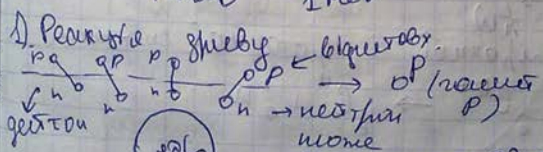
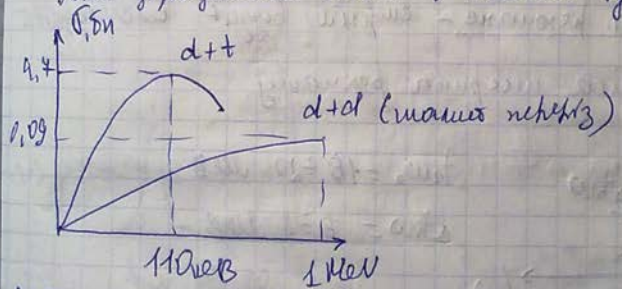
$$\Gamma = \Gamma_{\text{ф}} = \sum \Gamma_i$$

ширина волны - ее длина.

$$P_{\text{ав}} = N_{\text{а}} V_{\text{а}} \sigma_{\text{ат}} \frac{\Gamma_0}{\Gamma}$$

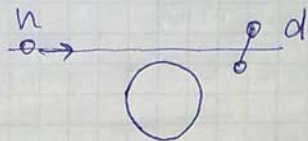
$\sigma_{\text{ат}}$ - вычисляется
 $\sigma_{\text{бв}}$ - манганитом.

Для заданных част. ϵ и λ в. уравнения Дирака/у.



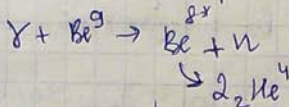
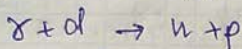
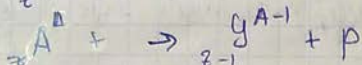
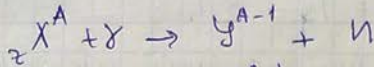
Уже реакция имеет $\sigma_{\text{ф}} \approx \sigma_{\text{бв}}$ при малых энергиях.

2). Реакция захвата



n-у не нужно близко подходить к ядру, для взаимодействия с ядром.

06.11.12.



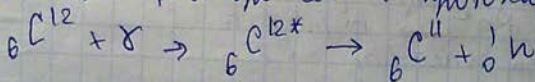
Гигантский резонанс - сфера бьют. в 0 секунд
излучения.
Тут велика вероятность.



$$h\omega_0 = 10 \div 20 \text{ МэВ}$$

$$\Delta h\omega = 6 \div 8 \text{ МэВ}$$

Кремний, реакция и фотокамера



Джерело носіїв? від якого нейтронів

и немаломірні за розміром, де не має невеликої швидкості.

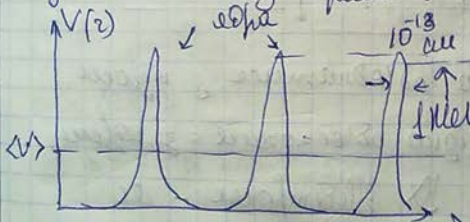
У	теплові нейтрони	резонанс-нейтрони	швидкі нейтрони	інтегрований нейтрон	решетивітські н.
10^{-7}	$0,025 \text{ eV}$	$2,5 \text{ eV}$	1 MeV	$0,1 \text{ MeV}$	1 eV
10^3 A	2 A	$0,3 \text{ A}$	10^{-10} ш	10^{-11} ш	$0,5 \cdot 10^{-13} \text{ ш}$

УХН - ультранизкоенергетичні нейтрони

1) Взаємодія н (УХН) при $E_n < 10^{-4} \text{ eV}$

Вони проникають крізь захисну оболонку реактора, створюючи потім вторинні нейтрони.

Взаємодія н з ядрами.



Ультранизкоенергетичні нейтрони сильно розсіюються на ядрах, у середньому на одну частину.

$$V_n \sim 10^{-38} \text{ см}^3$$

$$V_{\text{ядро}} \sim 10^{-24} \text{ см}^3$$

За кожну велику частину

пролетів з усередненням по частоті.

Результат для УХН: $V(\vec{r}) = \frac{\hbar^2}{2m} \delta(x) \delta(y) \delta(z)$

$[\frac{1}{m^2}]$ в-характеристика - довжина розсіювання

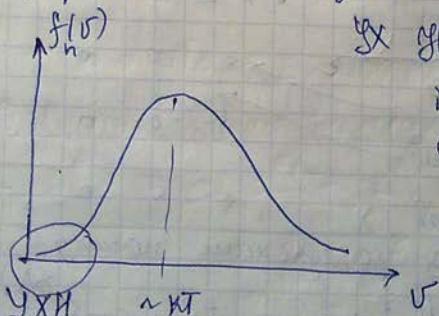
$$\langle V \rangle = \frac{\hbar^2}{2m} \nu \cdot n \quad (n - \text{концентрация в д.е.})$$

$$\sigma_{\text{проз}} = 4516^2 \quad \langle V \rangle = \sigma_{\text{пр}}^2 m / 2$$

Дро	$\langle V \rangle$ кэВ	λ	$\nu_{\text{пр}}$
N_i^{58}	380	464 \AA	8,5 мкс
Fe	80	1011 \AA	3,9 мкс
D_2O	166	4,03	4,03 мкс
H_2O	-84,8		
Cu	168		5,66 мкс

где n
е конц, а
не бар'ар

Диа - и видно объединение с др. м.
бар'ар - если и видно объединение с др. м.

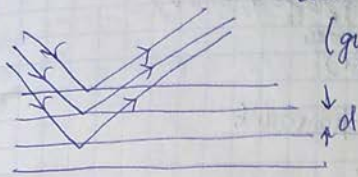


визуально
масса их
2-силь

и флуктуации - не

идеальный газ
(в них с вл. вращатель-
ности 1/2 газу).

$2d \sin \theta = n\lambda$ - це умова висхідності для менше-вих нейтронів.



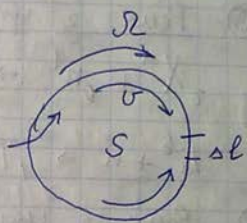
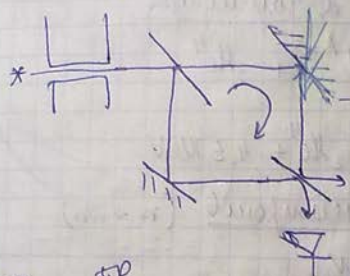
(дисперсія на борів.)



(дисп. на прох.)

Бреґа

Ефект Салверка -



$$\Delta l = 2R \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

$$\Delta \varphi = K \Delta l = \frac{2\pi}{\lambda} 2 \frac{R \Delta R}{R} = \frac{4\pi R \Delta R}{\lambda R}$$

$$\lambda = 0,5 \mu \quad S = 10^{-8} \text{ м}^2$$

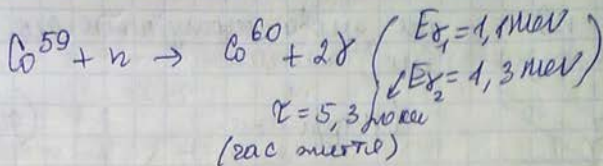
$$v = c_z$$

Взаємодія нейтронів з різницею швидкості → Тунелі

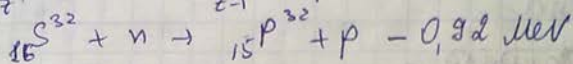
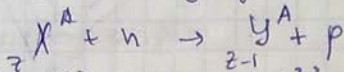
1) Радіоактивний захват нейтрона

$$Z X^A + n \rightarrow Z Y^{A+1} + \gamma$$

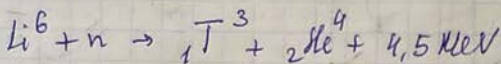
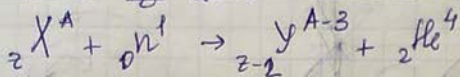
$$49 \text{In}^{115} + n \rightarrow 49 \text{In}^{116*} + \gamma, 49 \text{In}^{116*} \rightarrow 50 \text{Sn}^{116} + \beta^- + \bar{\nu}$$



②. Реакция з γ-излучения

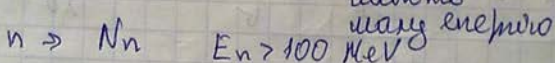
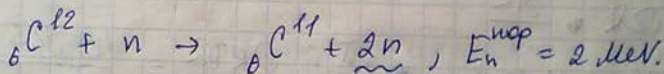


③. Реак. з γ-излуч. д-радионук

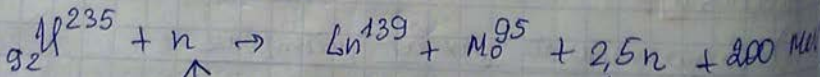
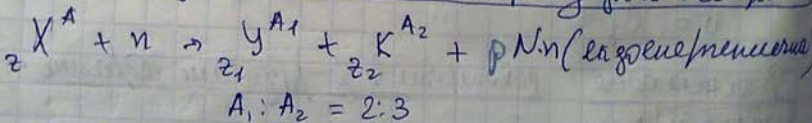


④. Реак. з γ-излуч. нейтронов ($n \rightarrow 2n$)

Тумано $E_n \geq 10 \text{ MeV}$

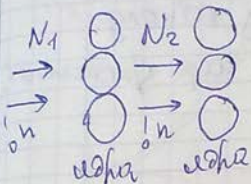


⑤. Реакция гигантских колебаний ядер ниже границы нейтронов



шансы реакции

Лангмювска реакција делення Вапких ядра



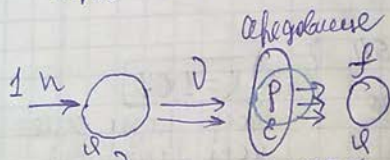
коэф. размножения

$$k = \frac{N_2}{N_1}$$

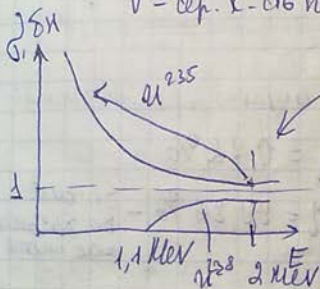
$k > 1$ - надкритический процесс

$k = 1$ - критический процесс

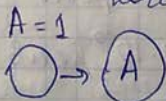
$k < 1$ - подкритический процесс.



ν - ср. к-сть нейтр., что выделяются при делении ядра.



иногда нейтроны поглощаются
окислителями.
Может быть середовище, что
добре регулирует и можно
попытался.



$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{4A}{(A+1)^2}$$

выделил энергии
меньше или
большее A

Потребно великие количества
великий (вот так). \rightarrow легче элементу (A мал -

H_2O : $\tau_{\text{пол}} = 20,4 \text{ дн}$
 $\sigma_{\text{погл}} = 0,33 \text{ дн}$

какая вода: D_2O

$\tau_{\text{пол}} = 3,4 \text{ дн}$

$\sigma_{\text{погл}} = 0,3 \cdot 10^3 \text{ дн}$

p-тип. того, что в процессе замедления и деления
E-коэф. подвешивание с-ст нейтронов за счет
длиннее и выделены нейтронами.

$f = \frac{\sigma_f \downarrow \text{длина (Ангстрем)}}{\sigma_f + \sigma_{nr}}$ - шанс того, что ядро ударится по необходимому каналу.

$\kappa = \nu p \epsilon f$ - κ -фактор вторично - сред. критическая формула 4х параметров.

Тепловое поле U^{235} :

$$\lambda = 2,47 \quad \rho = 0,54$$

$$\epsilon = 1,02 \quad f = 0,88$$

$$\Rightarrow \kappa = 1,04$$

вер. разг. поле
крит. реактора

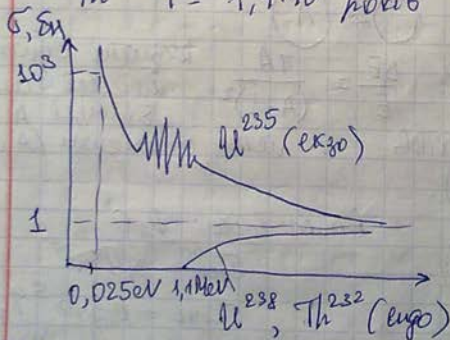
13.11.12.

3 изотома, что выделены специально при делении:

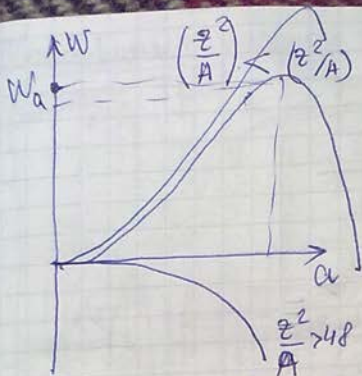
$$^{235}\text{U} \quad T = 0,711 \cdot 10^9 \text{ год} \quad \gamma = 0,72\%$$

$$^{238}\text{U} \quad T = 4,5 \cdot 10^9 \text{ год} \quad \gamma = 99,27\% \text{ - больше во времени рас. плоть}$$

$$^{232}\text{Th} \quad T = 1,4 \cdot 10^{10} \text{ год}$$



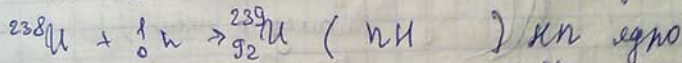
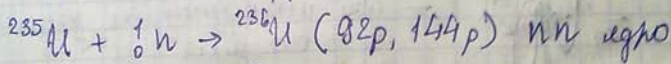
Тепловое поле в реакторе: $\frac{Z^2}{A} > 48$.



→ при увеличении $\frac{z^2}{A}$ пика
идет выше.

для ^{235}U $\frac{z^2}{A} = 35,9$ $W_a = 6,1$ MeV

^{238}U $\frac{z^2}{A} = 35,4$ $W_a = 7,1$ MeV



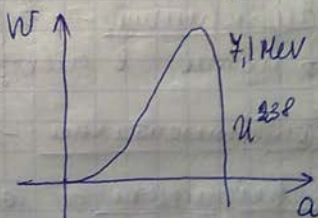
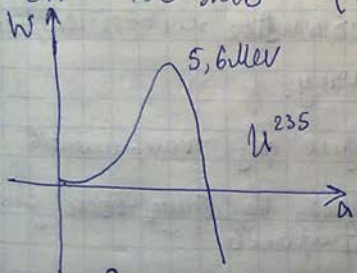
$$E = m_{\alpha} c^2 (A - z) + m_p c^2 z - E_1 A + E_2 A^{2/3} + E_3 \frac{z^2}{A^{1/3}} + E_4 \frac{(A - z)^2}{A} -$$

$-\delta A^{3/4}$, где $\delta = \begin{cases} +34, \text{ нн} \\ 0, \text{ нн} \\ -34, \text{ нн} \end{cases}$

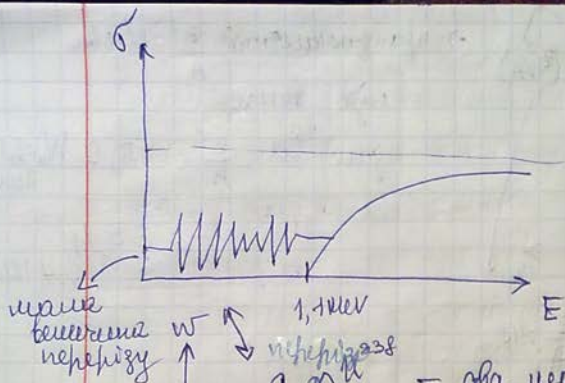
$\delta A^{3/4} \approx 0,56 \text{ MeV}$ (^{236}U)

$\delta A^{3/4} \approx 0 \text{ MeV}$ (^{239}U)

+ еще 0,5 MeV за различие кно
догадки.



Энергия достаточна за фак. нейтрона 6 MeV и
5,6 MeV - не энергии достаточны, чтоб активировать
 ^{235}U и недостаточны, чтоб активировать ^{238}U
аналогично для Th^{232}



— два независимых значения
 одного для U^{238} →
 малые & невид. резонансы,
 для которых было вычислено
 через нестационарные
 методы подходы.

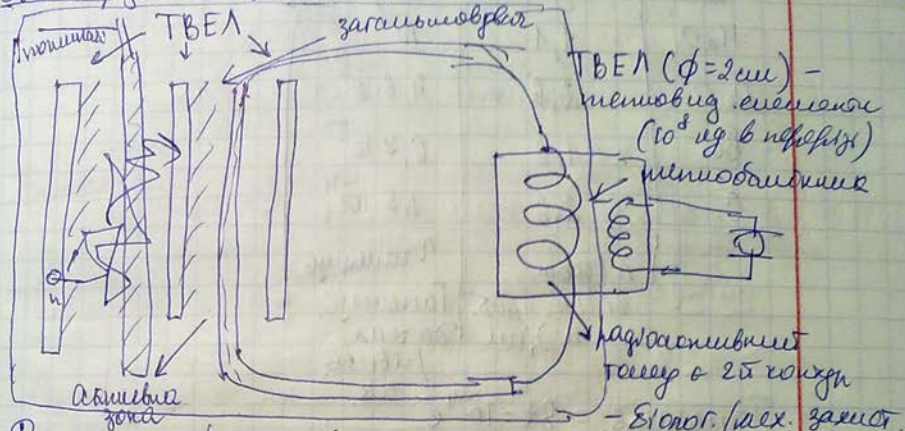
Всего 2 варианта выбора
 реакции.

Для U^{238} реакции не вычисляются.

Реактор - с-ма для нейтроновых реакций.

- 1). Энергетический - выработка тепловой энергии → тепло & электричество.
- 2). Экспериментальный - для физ. исследований.
- 3). Демонстрационный - с проб. выработки тепла для исследований.
- 4). Технологический - выработка новых изотопов (для ядерной).

Конструкция ядерного реактора



Розподіл енергії, що виділяється при дії n^{235} .

- 1). Кінетична енергія уламків 167 MeV / на α -кв.
- 2). Нейтрони швидкості 5.6 MeV .
- 3). β^- промені 5 MeV . (при розпаді радіоактивних уламків).
- 4). антинейтрини (10 MeV)
- 5). Методом γ випромінювання (7 MeV)
- 6). γ випромінювання фотонів

$$\Sigma \approx 200 \text{ MeV}$$

Випромінювання не можна, воно проходить; інші методи випромінювання

Эквивалентные n.

H_2O	1,1	10^{-6}
D_2O	2,6	$9,6 \cdot 10^{-5}$
Be	1,6	$6,4 \cdot 10^{-5}$
C	2,6	$1,5 \cdot 10^{-4}$

λ (вект. длины волн n), см

λ (вект. длины волн до тем. флюидов ак.)

Температура $\Delta t = 10^{-4}$ с.

Где $\Delta t = 1$ с $\frac{N}{N(0)} = K^{\Delta t / \delta t}$ - зб. к-во n.

$$\frac{N}{N(0)} = (1 + (K-1))^{\Delta t / \delta t} = \left(1 + \frac{(K-1)(\Delta t / \delta t)}{\delta t / \delta t}\right)^{\Delta t / \delta t} \quad \text{①}$$

$$\left\| \left(1 + \frac{a}{N}\right)^N \right\|_{N \gg 1} = e^a$$

$$\text{② } \exp\left\{(K-1) \frac{\Delta t}{\delta t}\right\} \quad K = 1,01$$

$$\frac{N}{N(0)} = e^{100} \approx 10^{40} \text{ (за 1 сек.)}$$

Другие величины в-сть нейтронов, поглощаются реактив. системы (покидают нейтронов).

Среднеарифметическая Ca^{112} ($\sigma_n = 2 \cdot 10^4 \text{ бн}$)

B^{10} ($\sigma_n = 4 \cdot 10^2 \text{ бн}$).

Исч + 3-4% захваченных нейтронов.

U^{235}

$$\Sigma = 1,98\%$$

0,4% - 0,23 сек
40% - 2,3 сек
2,2% - 0,2 сек

} самые задержанные нейтроны от распада

Преимущества - высокая температура
всего берется не токсичный
 H_2O не идет на образование
 CO_2, He

Проблема - высокая стоимость
воды.

Размеры реактора $\Phi = 10 м, h = 20 м.$

то 1 в $U^{235} \Rightarrow 24 МВт \cdot год = 10^{11} Аи.$

$$\left. \begin{array}{l} P_{ген} = 3000 МВт \\ P_{эл} = 1000 МВт \end{array} \right\} 0,032 \frac{U^{235}}{г} \sim 300 \frac{г}{год} = 100 кг/год.$$

Значимость U^{235} в $0,4\%$ 2,5%.

Чернобыль 200 тонн пригодно

5 тонн $U^{235} \rightarrow 50$ тонн.

Ресурсы 25 тонн (около 10%).

20. 11. 12.

1). Чи може реактивна властивість на цифровому ґрафі v на введеннях нейтронів?

$$k = \nu \epsilon p f$$

ν - к-сть вт. нейтронів; ϵp - втрата на гальмуван.
 f - вґи. пмв. реакту гґенер. вґрадно інших

$$99,28\% \quad U^{238}$$

$$0,72\% \quad U^{235}$$

$$k^{(235)} = \nu \bar{\sigma}_{nt}$$

ув. нейтрони

$$\bar{\sigma}_{nt}^{235} + \bar{\sigma}_{nt}^{238} + \left(\frac{99,28}{0,72} (\bar{\sigma}_{nt}^{238} + \bar{\sigma}_{nt}^{235}) \right) = 140 = 0,3$$

$$\nu^{235} = 2,05$$

$$\bar{\sigma}_{nt}^{235} = 1,3 \text{ бн}$$

$$\bar{\sigma}_{nt}^{238} = 0,6 \text{ бн}$$

$$\bar{\sigma}_{nt}^{238} = 0,2 \text{ бн}$$

$$k^{(238)} (\text{ув. нейтрони}) = \frac{\nu \bar{\sigma}_{nt}^{238} \cdot 140 \cdot \rho^{1,0,12}}{\bar{\sigma}_{nt}^{235} + \bar{\sigma}_{nt}^{238} + 140(\bar{\sigma}_{nt}^{238} + \bar{\sigma}_{nt}^{235})}$$

$$= 0,24$$

$$k_{\text{ув.}}^{\text{крит.}} = 0,3$$

ґра цифровому ґрафі ув. нейтр. не можна
 кваліф. реакту гґенер. вґрадно інших
 ґуб. ~~гґенер.~~ реакту гґенер.

для нейтронов n : $K_{\text{неб.}}^{(235)} = 0$

$K_{\text{неб.}}^{(235)} = 1,32$

$\rho^{235} = 2,47$ $\beta_{\text{нр}}^{235} = 2,88$

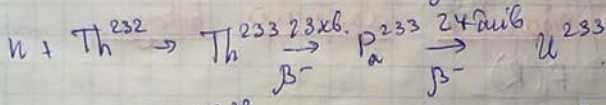
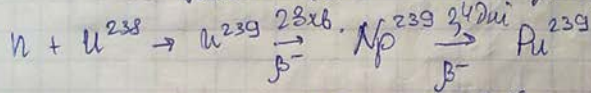
$\beta_{\text{нр}}^{235} = 580 \text{ сн}$ $\beta_{\text{нр}}^{238} = 0$

$\beta_{\text{нр}}^{235} = 119 \text{ сн}$

$K_{\text{критерий}}^{235} = 2,65 \cdot 0,7 \approx 1,8$

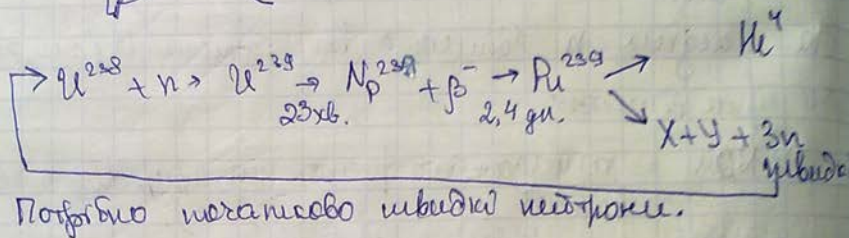
Для ускоренных n диаметр реактора изменяется $U(235, 238)$.
 Это влияет на коэффициент.

CANDU - реактор на тяжелой воде (или вода под давлением), аниверсивный



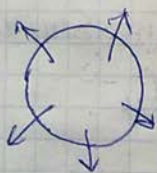
на U^{235} или U^{233} (используется больше)
 от U^{238} и Pu^{239}

Реактор связан хвост (н-роп семейства) або н-н магистрального



Генерирование сферическѣхъ вѣдѣж.

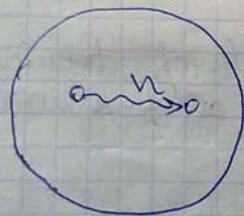
$$K = \bar{\nu} \cdot f \cdot F(R)$$



$F(R)$ - вѣдѣжа нейтрона, цѣло вѣдѣжѣ за цѣло сферѣ

$$F(R) < 1$$

$$f \approx 0,8$$



$$\bar{\nu} \approx \frac{1}{\sigma_{\text{нр}} \cdot Na}$$

$$\bar{\nu} = 2,47$$

$$\sigma_{\text{нр}} = 681$$

$$Na \approx 10^{22} \text{ см}^{-3}$$

$$\bar{\nu} = 0,8 \text{ см}$$

гла \bar{I} и выработка тока $i(t) \rightarrow$ максимальная мощность.

$R_{\text{кп}} = 8,5 \text{ м}\Omega$ $R_{\text{кп}} = 4,5 \text{ м}\Omega$

$M_{\text{кп}} = 4 \text{ Вт}$ $M_{\text{кп}} = 5 \text{ Вт}$

Работа $> R_{\text{кп}} \rightarrow$ вычисл. по формуле.

$\Delta t = \frac{\bar{I}}{I} (\text{норм. в норм. режиме}) = \frac{8 \text{ м}\Omega}{2 \cdot 10^{-4} \text{ м}\Omega} = 4 \text{ мс.}$



$I \approx \text{норм. режим} = 2000 \text{ Ам}$

$10 \text{ м}\Omega = 2 \cdot 10^{213} \text{ Ам.}$

Так вычисляем $\Delta t \approx 2 \Delta t \approx 10^{-8} \text{ сек.}$

$P_{\text{пот}} = \frac{2 \cdot 10^{13}}{10^{-8}} = 2 \cdot 10^{21} \text{ Вт}$ — мощность рассеивания в вых. цепи.

25% — ток. вычисл. вычисл.

в норм. режиме — 70% вычисл.

$P_{\text{х+онт}} = 20\% P_{\text{пот}} = 4 \cdot 10^{20} \text{ Вт}$ — мощность потерь и охл. вычисл.

$$R_{кр} = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{кр} n}}$$

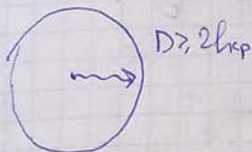
$$U^{235}$$

$$Pu^{239}$$

$$R_{кр} \approx 8,5 \text{ см}, \sigma_{кр} \approx 47 \text{ кг}$$

$$R_{кр} \approx 4,1 \text{ см}, \sigma_{кр} = 5 \text{ кг}$$

27.11.12



$$D \gg 2R_{кр}$$



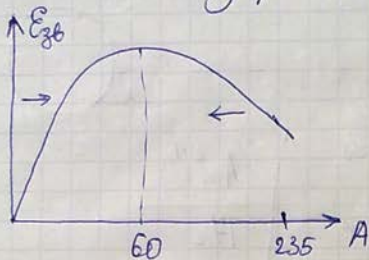
Изотоп	U^{235}	Pu^{239}	Am^{241}
$M_{кр}$	0,87 кг	0,51 кг	172
τ	$4 \cdot 10^8 \text{ с}$	$24 \cdot 10^3 \text{ с}$	16000 лет

$$M_{кр} = \frac{4}{3} \pi R_{кр}^3 \rho = \frac{4\pi}{3} \frac{A}{\sqrt{\sigma_{кр} n}}^3 \rho \sim \frac{1}{\rho^2}$$

$$R_{кр} = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{кр} n}} \quad n = \frac{\rho}{m_a}$$

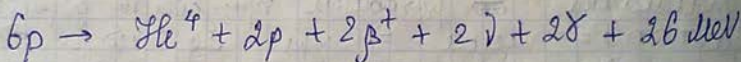
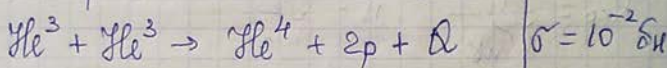
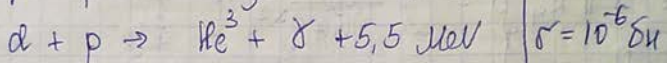
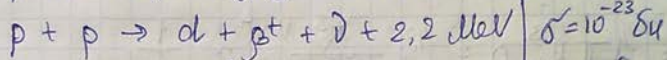
Понижение критической массы \Rightarrow при зад. геометрии \Rightarrow уменьшение интенсивности д. ядерного выгорания.

Керований та некерований ядерний синтез.



Процеси, що відбуваються на Сонці (Сонце, 75% р)

слабка
взаєм.
сильна
сильна

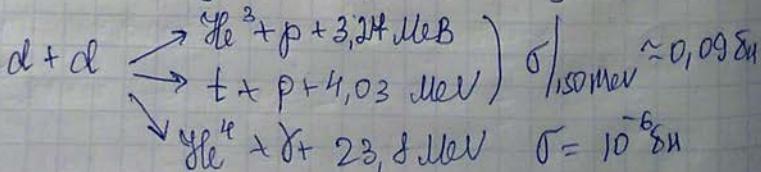


$$\frac{dW}{dm} = 20 \frac{\text{эрг}}{\text{с} \cdot \text{г}} = 2 \cdot 10^6 \text{ Вт/г} = 2 \cdot 10^3 \text{ Вт/кг}$$

(потоме виділення енергії на Сонці)

$$\frac{dW}{dm} \approx 2 \text{ Вт/кг} \quad (\text{потоме виділення енергії на Сонці})$$

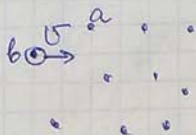
В земних умовах процес. з Сонця немож.



Кривелиннэ логсона - кривелиннэ елериберигонам
 ресисити.

N_a, N_b

$v \rightarrow$



Улов. мору, уро за нас
 & аоми в нровс. з а.а.

$$W_{ab} = \frac{v\tau}{l_a} = \frac{b_{ab} N_b v \tau}{l_a}$$

$Q_{ab} = W_{ab} Q$ - елериберигонам. бжасисити

Собна елериберигонам:

$$Q_{ab} = N_b \cdot Q_{ab} = N_a N_b v \tau Q$$

- кривелиннэ елериберигонам в елериберигонам за елериберигонам

Улов ресисити бжасисити бжасисити, уро

$$Q_{ab} \approx \frac{3}{2} kT \left\{ N_a (1+z_a) + N_b (1+z_b) \right\} + N_b N_a v_2 v \tau Q$$

messuriv ↓ 1 елериберигонам
 1 жасисити за елериберигонам

f-елериберигонам на
 бжасисити

вирисити
 $v \sim \sqrt{kT}$

v_2 - тем
 жасисити
 бжасисити

Уелериберигонам на ивирисити.

Уелериберигонам $z_a = z_b = 1$

$N_a = \frac{n}{2}$ $N_b = \frac{n}{2}$
 (огнонам. ивирисити)

$$\frac{n^2}{4} \overline{\sigma \sigma} \approx \frac{3}{2} kT \cdot 4 + \frac{n^2}{4} \overline{\sigma_n \sigma_n}$$

$$n \overline{(\sigma \sigma - \overline{\sigma_n \sigma_n})} \approx 12 kT$$

$$n \overline{\sigma} \approx \frac{12 kT}{\overline{\sigma \sigma} - \overline{\sigma_n \sigma_n}}$$

- загашивший
временной
поиском

$$\overline{\sigma_{ab}} \sim \frac{1}{v} \exp\left(-\frac{2\pi z_1 z_2 e^2}{h v}\right)$$

$$\overline{\sigma_{ab} v} = \int \overline{\sigma_{ab}(v)} f(v) dv \Rightarrow f(v) = A v^{-2} \quad \text{или } \frac{v^2}{kT}$$

$$\Rightarrow \overline{\sigma_{ab} v} \sim \frac{1}{T^{3/2}} \exp\left\{-\frac{3}{2} \left(\frac{4z_1 z_2 e^2 m}{h^2 kT}\right)\right\}$$

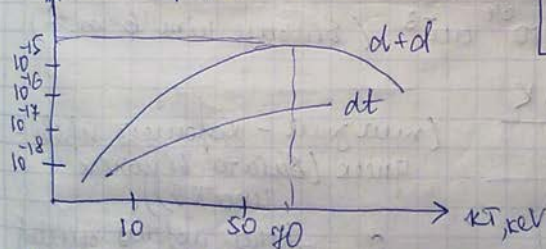
$\overline{\sigma_{ab} v}$, $\text{мкс}^2/\text{с}$

$$T \rightarrow 0 \rightarrow \overline{\sigma_{ab} v} \rightarrow 0$$

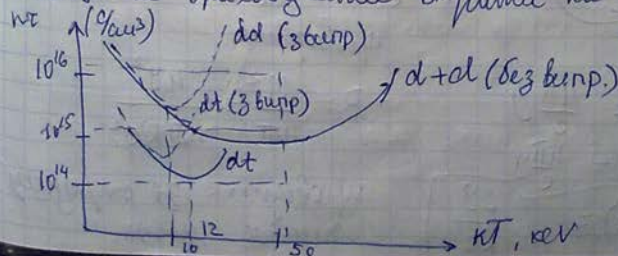
$$T \rightarrow \infty \rightarrow \overline{\sigma_{ab} v} \rightarrow 0$$

$$d = 5 \cdot 10^{-31} \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$$

(эквивалентно kT в кэВ)



досто не вращаются вправо на беспорядочности



$$d+d: n\sigma \approx 10^{15} \text{ см}^2$$

$$dt: n\sigma \approx 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^2$$

Кремень
поиском

Трёхмерный сепаратор - где надо, чтоб
 ионизовали сепаратор. → магнет, чтоб замкнули
 вращение.

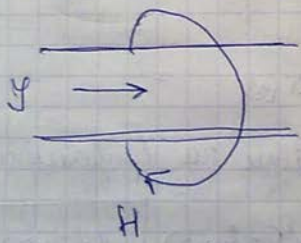
Условия реализации керованного
термоядерного синтеза.

$n \geq (10^{14} - 10^{15}) \text{ см}^{-3}$

1). $\tau \geq 1 \text{ с}$, $n = 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $kT = 10 \text{ keV}$
 удерживание плазмы при $kT = 10 \text{ keV}$
 выше барьера

2). непрерывное удержание - магнет не
 выдержит. значит. за час $\tau \leq 10^{-9} \text{ с}$
 тогда $n > 10^{24} \text{ см}^{-3}$ (большее чем в м.м)

①. ТОКАМАК



(магнет - компенсирует преоб-
 ладует (большое количество
 ионизации)).

Сила → (сила Лоренца) и н.
 преобладает

$$\oint H dl = \frac{4\pi}{c} I$$

$$2\pi R \cdot H = \frac{4\pi I}{c}$$

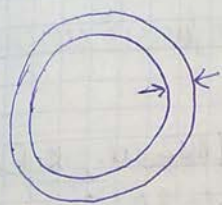
$$P = \frac{H^2}{4\pi} = \frac{4I^2}{4\pi R^2 c^2}$$

$$H(R) = \frac{2I}{Rc}$$

преобладает за счет силы
 тока и н.

объём нити - цилиндрическая часть цилиндра
 t^0 длина.

Сила натяжения нити $P_{задн} = P_{пер}$



$$\frac{J^2}{4\pi R^2 c^2} = \frac{3}{2} n k T$$

$$R^2 n^2 = \text{const}$$

$$R_0^2 n_0 = R^2 n$$

$$T \cdot V^{\gamma-1} = \text{const}$$

$$T \cdot R^{2(\gamma-1)} = T_0 \cdot R_0^{2(\gamma-1)}$$

$$n_0 = 10^{14} \text{ см}^{-3}$$

$$R_0 = 3 \text{ см}$$

$$kT_0 = 20 \text{ эВ}$$

$$kT = 10 \text{ эВ}$$

$$n = 10^{21} \text{ см}^{-3}$$

$$I = 3 \text{ МА}$$

н-е максимум энергии
 можно получить только
 t^0

Все удлиннение $\tau = 1 \text{ мкс}$



$H(t)$

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{S dH}{dt}$$

$$S = \pi r^2$$

$$\mathcal{E} = - \pi r^2 \frac{dH}{dt} = E \cdot 2\pi r$$

$$j = \sigma E$$

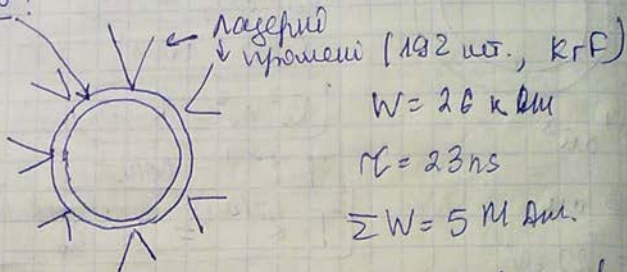
$$I = \pi R^2 j = \pi R^2 \sigma \frac{1}{2\pi r} \pi r^2 \frac{dH}{dt} \sim \frac{dH}{dt} \Rightarrow \frac{dI_0}{dt}$$

I_0 - надо ↑ удлиннение зазора.

Уже брахировали функцию, эти условия
распространяются кванте.

②. Информация теплопередачи снимки

Минимум:



аб. пелета - смещение за пол. прел.
пелета, вынашивание. ампуль.



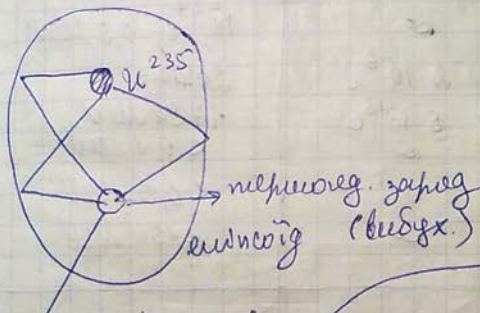
Решен. лазер подходит, а не имеет
такого сильного пазера.

Е е-и (за пол. конденсаторов)
летать в см. и результ., что пелета
полно, до летать см. не возвращает

миссиями.

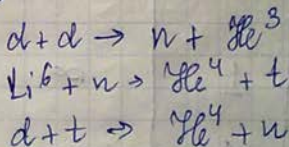
③. Множесий катализ

Термояд. реакция - миссия и катализ



LiD или дейтерий:

бензин
миссия катализ



04.12.22.

Систематика та природа елементарних частинок

Класифікація елемент. частинок:

①. не приносять урахувати в сильній взаєм.

Тип	Спін	Час життя	Маса
①. Лептони	$\frac{1}{2}$	∞	10^{-24} e, 0,5 MeV
β^\pm	$\frac{1}{2}$	$2 \cdot 10^{-6}$ c	$204 m_p^\pm$
μ^\pm	$\frac{1}{2}$	$5 \cdot 10^{-13}$ c	1784 MeV
τ^\pm	$\frac{1}{2}$	∞	$< 0,1$ MeV
$\nu_e, \bar{\nu}_e$	$\frac{1}{2}$	∞	$< 0,5$ MeV
$\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$	$\frac{1}{2}$	∞	< 150 MeV
$\nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$	$\frac{1}{2}$	∞	
②. Фермиони взаємодії			
γ (hv)	1	∞	$m_0 = 0$
фотон	1	∞	$m_0 = 0$
W^\pm	1	$3 \cdot 10^{-25}$ c	83 MeV
Z^0 (сильна взаєм.)	1	$3 \cdot 10^{-25}$ c	93 MeV
адрон	1	∞	?
(упрощено кварки взаємодіюють всіма)			
③. Адрони			
(найбільше урахувати в сильній взаєм.)			
Баріони:			

p^{\pm}	$1/2$	$> 10^{33} c$	938,24 MeV
n	$1/2$	$8,2 \pm 2 c$	939,57 MeV
Λ^{\pm} (линейон)	$1/2$	$2,6 \cdot 10^{10} c$	1,115 GeV
300 частинок			
<u>Мезоны:</u>			
π^{\pm}	0	$3,6 \cdot 10^{-8} c$	139,57 MeV
π^0	0	$2,4 \cdot 10^{-17} c$	134,98 MeV
ρ^{\pm}	1	$4,4 \cdot 10^{-24} c$	769 MeV
ρ^0	1	$4,4 \cdot 10^{-24} c$	769 MeV
ω	1	$7,8 \cdot 10^{-23} c$	783 MeV
η	1	$5,5 \cdot 10^{-19} c$	547 MeV

Все эти частинок имеют заряд $\pm e$ или 0.

Кварковая структура мезонных частинок.

1963 г. - Убейх, Теминан, теория кварков

		Spin	Q	m
1. \tilde{u}	u (up, верхний)	$1/2$	$\pm 2/3$	1-5 MeV
2. \tilde{d}	d (down, нижний)	$1/2$	$\mp 1/3$	5-7 MeV
3. \tilde{s}	s (charm, шарм)	$1/2$	$\pm 2/3$	1,1-1,3 MeV
4. \tilde{c}	s (strange, странный)		$\pm 2/3$	70-120 MeV
5. \tilde{b}	b (beauty, красивый)	$1/2$	$\mp 1/3$	4,1-4,9 MeV
6. \tilde{t}	t (truth, истинный)	$1/2$	$\pm 2/3$	170-175 MeV

Кварки имеют целый заряд.

Глава	Симметрия	Масса	Смеш
P \bar{P}	$u\bar{u}d$ $\bar{u}u\bar{d}$		
n	udd		
π^\pm	$u\bar{d}$ ($\bar{u}d$)	$139,57 \text{ MeV}$	
π^0	$u\bar{u}$		
η	$u\bar{u} - d\bar{d} - 2s\bar{s}$		
ρ^\pm	$u\bar{d}$ ($\bar{u}d$)		
ρ^0	$u\bar{u} - d\bar{d}$		
ω	$u\bar{u} + d\bar{d}$		

Кварки могут быть в 3х состояниях:

red (r) \bar{r}

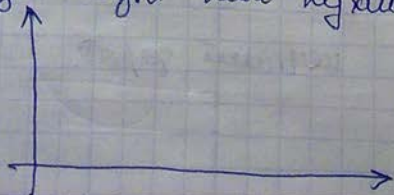
blue (b) \bar{b}

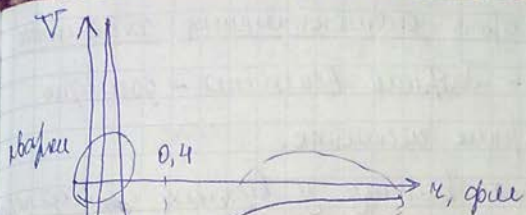
green (g) \bar{g}

Кварки в барионах имеют сумми 3х
цветов (белые); *

Глюоны - складываются из 2х кварков

Взаимодействие между кварками





$$V(r) = -\frac{g_N}{r} e^{-r/r_0}$$

$$g_N = e_n^2 = 10^4 \text{ ке}$$

$$r_0 = \frac{\hbar}{m\pi c}$$

$$V_{\text{кварк}}(r) \approx \frac{4\alpha(r)}{3r} + kr$$

k - константа сдвига

$$k = 1 \text{ бел/фем}$$



$V_{\text{об.}}(r)$

$$ds(r) = \begin{cases} 0, & r \rightarrow 0 \\ 0,3, & r > 0,2 \text{ фем} \end{cases}$$



при малых r кварки
мало не вь. в. в. в.
собао.

Возбуждение кварка прев.
до уничтожения новой гас. - барион.

Сингулярная теория элементарных частиц

1964-1969 гг. - Таффиус Велеско - госиздате.

ж-ки элементарных частиц.

Массы элем. част. вывед. у вызах ф-и сиперг
ур. бозонов. разб. з рассивание адронов.

Стандартная система единиц:

$$c, \hbar, G = 6 \cdot 10^{-8} \frac{\text{см}^3}{2 \cdot \text{с}^2}$$

$$l_{pl} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1,6 \cdot 10^{-33} \text{ см}$$

$$m_{pl} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = 2,2 \cdot 10^5 \text{ г}$$

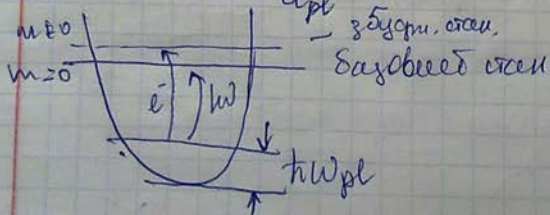
$$t_{pl} = \frac{l_{pl}}{c} = 0,5 \cdot 10^{-43} \text{ с}$$

$$E_{pl} = m_{pl} c^2 = 2 \cdot 10^6 \text{ эв} = 10^{19} \text{ эв}$$

$$\omega_{pl} = \frac{c}{l_{pl}} = 2 \cdot 10^{43} \text{ с}^{-1}$$

$$Q_{pl} = \sqrt{4\pi \hbar c} = 1,8 \cdot 10^{18} \text{ Кн}$$

$$W_{pl} = \frac{E_{pl}}{Q_{pl}} = 1,05 \cdot 10^{27} \text{ В}$$



10 буре. нростр
б меепрт адрон.
+ 44 нр беее
еас.

17.12.12

Еволюція Всесвіту

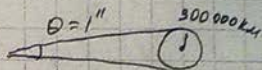
1926р. - Хаїл ван Лановіт, який
 вивів закон Хаббла:

$$\vec{v} = H \vec{R}, \quad H - \text{ стала Хаїла}$$

$$H_0 = 72 \frac{\text{км}}{\text{Мпс} \cdot \text{сек}} \approx 2 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$$

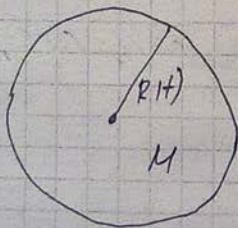
1. об. рік =

1 пк = відстань за якої кут $\theta = 1''$
 видно з діаметра Землі



$$1 \text{ пк} = 3,26 \text{ с.р.} = 3 \cdot 10^{16} \text{ м}$$

Важ. відомість: місцевина Всесвіту розширюється.



Параметри, які описують розширення Всесвіту

$$M_0 \frac{d^2 R}{dt^2} = -G \frac{M M_0}{R^2}$$

$$\frac{d}{dt} H R = \frac{dH}{dt} R + H \frac{dR}{dt} =$$

$$= H^2 R + \frac{dH}{dt} R = - \frac{GH}{R}$$

$$\frac{dH}{dt} = H^2 - \frac{GH}{R} = \left(M = \frac{4\pi}{3} R^3 \rho \right) = H^2 - \frac{4\pi}{3} R \rho G$$

$$\rho \ll \frac{3H^2}{4\pi G} \rightarrow \frac{dH}{dt} = H^2 \quad H = \frac{1}{t}$$

$$t_0 = \frac{1}{H} = 2 \cdot 10^{10} \text{ років}$$

$$\frac{dR}{dt} \propto \frac{R^2}{R} = -G \frac{H}{R}$$

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dt} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = \frac{d}{dt} \left(G \frac{H}{R} \right);$$

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = G \frac{H}{R} - H$$

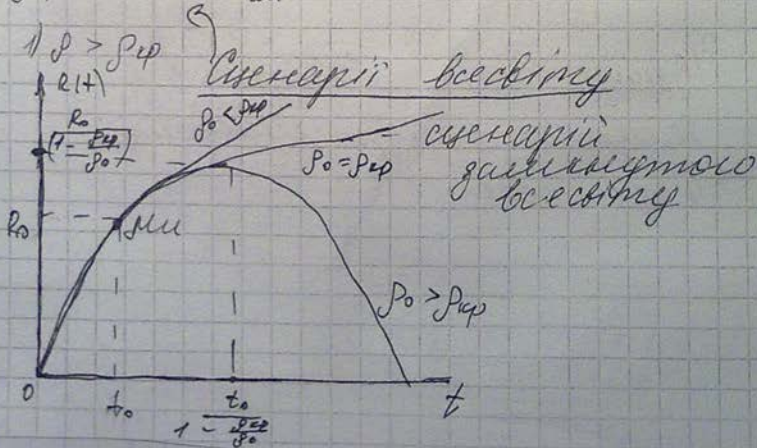
$$t = t_0; R = R_0, H = H_0$$

$$A = \frac{1}{2} \left(\frac{dR_0}{dt} \right)^2 - G \frac{H_0}{R_0} = \frac{1}{2} H_0^2 R_0^2 - G \frac{H_0}{R_0}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 &= 2G \frac{H}{R} + H_0^2 R_0^2 - 2G \frac{H_0}{R_0} = 2G \frac{4\pi R_0^3 \rho_0}{3 R} + \\ &+ H_0^2 R_0^2 - 2G \frac{4\pi R_0^3 \rho_0}{3} = \frac{8\pi G R_0^3 \rho_0}{R} - \frac{8\pi G R_0^2}{3} \left(\rho_0 \frac{3H_0^2}{8\pi G} \right) \end{aligned}$$

$$G = 6 \cdot 10^{-8} \frac{\text{см}^3}{\text{г} \cdot \text{с}^2}$$

$$\rho_{\text{cp}} = 0.7 \cdot 10^{28} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$



$$1) \rho_0 = \rho_{кр}$$

$$2) \rho_0 < \rho_{кр}$$

$$\frac{dR}{dt} \xrightarrow{t \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{8\pi \epsilon R_0}{3}} (\rho_0 - \rho_{кр})$$

10 2) якщо $\rho_0 = \rho_{кр}$

$$\begin{cases} \frac{dH}{dt} = -(H^2 + 6 \frac{4\pi}{3} \rho) \\ \left(\frac{dR}{dt}\right)^2 = \frac{8\pi \epsilon R_0^3 \rho_0}{R} \\ \rho R^3 = \rho_0 R_0^3 \end{cases}$$

$$R(t) = \sqrt[3]{6\pi \epsilon \rho_0 R_0^3} t^{2/3}$$

$$\rho(t) = \frac{1}{6\pi \epsilon t^2}$$

$$H(t) = \frac{2}{3t}$$

$$t_0 = \frac{1}{3H_0} \approx 14 \cdot 10^9 \text{ років}$$

$$\rho / \text{видимий об'єкт} = 3 \cdot 10^{-31} \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 4,5\% \rho$$

Резікативне випромінювання:

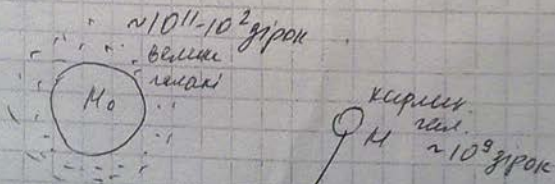
$$\alpha = 0,6 - \text{бали}$$

Спектр	Длина волны см/мкм	Концентрация 1/см ³
Радио $10^6 - 10^9$ Гц Космический; Микроволны 0,6 - 6 мкм	10^{-7} 0,25	~ 1 $450 \cdot 70 = 4 \cdot 10^{34}$ /см ³
Тепловое излучение $3 \cdot 10^{11} - 10^{14}$ Гц	10^{-2}	~ 1
Видимый $3 \cdot 10^{14} - 10^{16}$ Гц	$2 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
Ультрафиолет 1 - 10 кэВ	10^{-4}	10^{-8}
Рентген > 10 кэВ	$3 \cdot 10^{-5}$	10^{-11}

Нейтрон

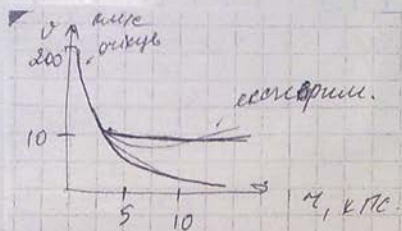
$$\rho_0 = 450 \frac{\text{г/см}^3}{\text{с}^2} \Big|_{v=10 \text{ м/с}} = \frac{4,5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}}{10^{21}} = 96 \cdot 10^{-23} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$C = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{см}}{\text{с}}$$



$$v \sim \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

$$\frac{mv^2}{2} = -\frac{GMm}{R^2}$$



Примем, что навело M_0 кинетическую энергию гравитационного поля.

$$\frac{M_0^2}{2} = + M_0 \left\{ \frac{M_0}{r^2} + \frac{1}{4\pi} \int_0^r \rho(r') 4\pi r'^2 dr' \right\}$$

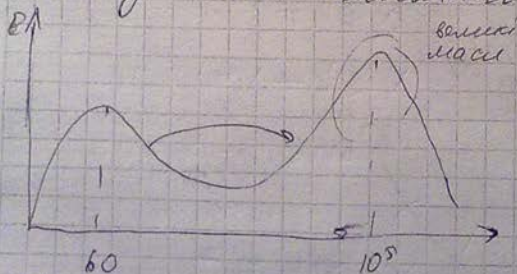
$$v^2 = -G \left\{ \frac{M_0}{r^2} + \frac{1}{2\pi} \int_0^r 4\pi r'^2 \rho(r') dr' \right\} =$$

$$= G \left\{ \frac{M_0}{r} + 4\pi \rho \frac{r^2 + r'^2}{2+3} \right\}$$

$$v_{\text{апп}} = \sqrt{4\pi \rho G}$$

$$\rho(r) = \frac{v_{\text{апп}}^2}{4\pi G r^2}$$

Из массы первичного (исходного) массы всей галактики M .



Масса энергии - энергии, что приближена к нулю, и кинетической энергии. Иными словами, это значит, что плотность у Вселенной.



Темна енергія діє на
всє, всєвим розширеннєм

видима матер.	4,5%
темна матер.	$(27 \pm 4)\%$
темна енерг.	$(73 \pm 4)\%$

$\rho_0 \approx 1,1 \text{ Дрр.}$ - на сьогодні. - флуктує
всєвим розширеннєм, але
ми при розширеннєм не все бачимо
то єсть да все буде розширеннєм.

Сценарій розвитку галактик Всєвим.

18.12.12.

$$R \sim 1,5 \cdot 10^{22} \text{ м} \approx 5 \cdot 10^9 \text{ пс} = 1,3 \cdot 10^{10} \text{ св. років}$$

$$M (\text{без темної матерії}) = 10^{54} \text{ з}$$

$$M_{\text{тем. енергії}} = 2 \cdot 10^{55} \text{ з}$$

видима частина (галактик. частина):

$$R_1 = 5 \cdot 10^9 \text{ пс}; \text{ містить } 10^9 \text{ галактик}$$

(кожна $10^{11} - 10^{12}$ зрок)

4,5% видима матерія

$$N_{\text{баріонів}} / N_{\text{т}} = N_{\text{бар}} / N_{\text{т}} = 10^{-9};$$

Антиперобики шмае!

①. $t = 0 \div 10^{-43}$ сек - стак перобики невогони

$$\rho_{\text{пл}} = 10^{93} \text{ г/см}^3$$

$$T_{\text{пл}} = 10^{31} \text{ К} = 10^{19} \text{ GeV}$$

$$R = r_{\text{пл}} = 1,6 \cdot 10^{-33} \text{ см}$$

$$t_{\text{пл}} = 10^{-43} \text{ с}$$

$$m_{\text{р}} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ г} - \text{максимон}$$

②. $t = 10^{-43} \div 10^{-36} \text{ с}$

$$T(\text{с}) = \frac{10^{10}}{\sqrt{t(\text{с})}}$$

x, y, z - векторни та скаларни божки

$$m_{\text{с}} = 10^{15} \text{ GeV}, m = 10^{-9} \text{ г}$$

$$t^0 \rightarrow 10^{19} \text{ GeV} \rightarrow 10^{15} \text{ GeV}$$

③. $t = 10^{-36} \div 10^{-6} \text{ с}$

$$10^{15} \text{ GeV} \div 1 \text{ GeV}$$

Розпад x -божика

$$x \rightarrow q + q + \gamma$$

$$\tilde{q} + \tilde{q} + \gamma$$

$$\tilde{x} \rightarrow \tilde{q} + \tilde{q} + \gamma$$

$$\rightarrow q + q + \gamma$$

(зараз таке ке монти-
то).

Ж-оны аннигируют в течение $6 \cdot 10^{-9}$ секунд
 меньше чем кварков, потому t^0 больше и масса
 больше став не коммутирует.

$$\frac{N_q - N_{\bar{q}}}{N_q} = 10^{-9}; \quad t = 10^{-20} \text{ с} \quad \rho = 10^{75} \text{ чсм}^3$$

$$p(uud) \quad n(udd) \quad \pi^+(u\bar{d})$$

$$\bar{p}(\bar{u}\bar{u}\bar{d}) \quad \bar{n}(\bar{u}\bar{d}\bar{d}) \quad \pi^-(\bar{u}d)$$

$$④ t = 10^{-6} + 10^{-3} \text{ сек}$$

$$t^0: 1 \text{ GeV} - 10 \text{ MeV}$$

Анализ: 1) $p(uud) + \bar{p}(\bar{u}\bar{u}\bar{d}) \rightarrow \pi^+(u\bar{d}) + \bar{\pi}^-(\bar{u}d) +$

2) $n(udd) + \bar{n}(\bar{u}\bar{d}\bar{d}) \rightarrow \pi^+(u\bar{d}) + \pi^-(\bar{u}d) + (dd)$
 барионы

$$3) \frac{u\bar{u} - d\bar{d}}{\sqrt{2}} = 2\pi^0$$

$$4) \pi^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu$$

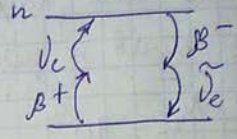
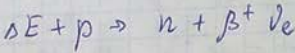
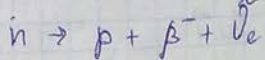
$$5) \pi^0 \rightarrow 2\gamma$$

$$6) \mu^\pm \rightarrow \beta^\pm + \bar{\nu}_e$$

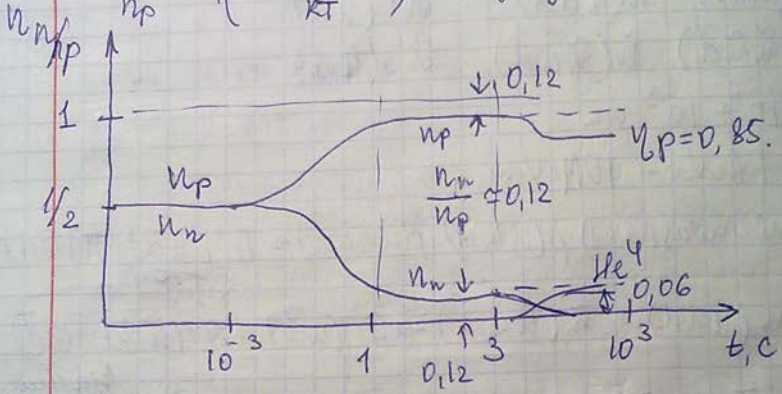
Жо $\frac{1}{2}$ сек все пролетит в одну сторону
 земля

⑤. $10^{-3} \div 3 \text{ c}$

$10 \text{ MeV} \rightarrow 200 \text{ keV}$



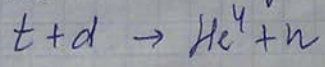
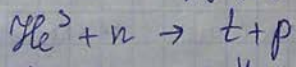
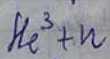
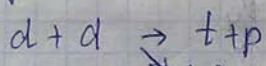
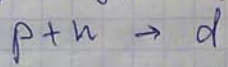
$\frac{n_n}{n_p} = \exp\left(\frac{(m_n - m_p)c^2}{kT}\right)$ - закон Гиббса Больцмана



⑥. $3 \text{ c} \div 1000 \text{ ас}$

$200 \text{ keV} \div 10 \text{ keV}$

Синтез гелия:



$\eta_{\text{H}} = 10^{-9} \%$

$\eta_p = 0.85$; $\eta_d = 3 \cdot 10^{-5} \%$

$\eta_{\text{He}^4} = 0.06$; $\eta_{\text{He}^3} = 2 \cdot 10^{-5} \%$

$$= + \frac{1}{5} \frac{M^2 G}{v^{4/3}} \left(\frac{4\pi}{3} \right)^{1/3} = \frac{1}{5} M^{2/3} G \left(\frac{4\pi}{3} \right)^{1/3} \rho^{4/3}$$

$$\rho = 2 n_p kT \frac{m_p}{m_p} = \frac{2kT}{m_p} \rho$$

Силы вырвутся, если:

$$M \geq M_{\text{гравитация}} = \left(\frac{3kT}{Gm_p} \right)^{3/2} \frac{1}{\rho^{1/2}}$$

Область инфракрасного излучения →
→

25.12.12.



Формируется инфракрасное излучение, в зависимости от t° не масса; масса все же уменьшается → увеличивается темп. центр. инфракрасное.

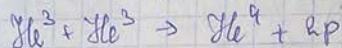
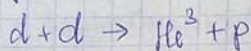
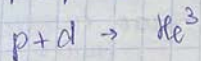
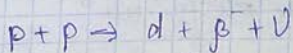
③. Зирковит отн. евоности.

$$M_\odot = 2 \cdot 10^{33} \text{ г} - \text{масса солнца}$$

$$0,08 M_\odot \quad \text{---} \quad (1,45 M_\odot) \quad \text{---} \quad 8 M_\odot$$

1). Если $M < 0,08 M_\odot$ - планета t° (~1000) - термод. план. не выдерживает, масса t° до малой массы - не не звезда.

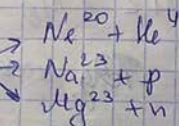
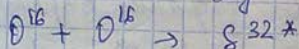
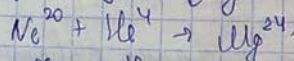
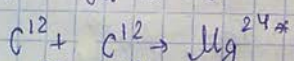
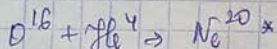
2). $0,001 < M < 1,45 M_{\odot}$ - Близкий к звездам, Близкая к звездам температура межзвезд. среды. ($kT \sim 10 \text{ эВ}$)



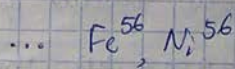
Элементарные акты не взаимоблокируются.

даже к температуре гелия, но прежде чем излучение излучит He^4 : $\text{He}^4 + \text{He}^4 \rightarrow \text{Be}^8 (\tau = 10^{-15} \text{ с}) \rightarrow \text{He}^4 + \text{He}^4$
 $+ \text{He}^4 \rightarrow \text{C}^{12}$

(прежде чем излучит He^4 и прежде к температуре, чтоб излучил He^4 излучит.)



чем ближе к звездам температура тем больше излучение излучит.



$$P_{\text{pp}} = \frac{6M^{2/3}}{5} \left(\frac{4\pi}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{m_p}{0,4} \right)^{1/3} n_e^{4/3} - \text{зав. темп}$$

$$P_{\text{F (нейтр.)}} = \frac{(3\pi^2)^{2/3}}{5m_e} \frac{1}{h^2} n_e^{5/3} - \text{мелк (квантовый)}$$



$$P_{\text{pp}} = P_{\text{F}} \Rightarrow \text{критич. темп } 1,45 M_{\odot}$$

Ближе карликⁿ - вырожденный газ; высокая
плотность; ²⁵ альтовый шмек.
0,08 M_⊙ → 1,45 M_⊙ $\rho = 10^{25} \text{ см}^{-3}$

Объемительная близки обвисла, ^{высокая}
Охлаждающая; → близки → землет → черв. → черн.
→ черн.

$$E_F^{(мет.)} = \frac{p_0^2}{2m} = \frac{(3\pi^2)^{2/3}}{2m} \frac{h^2}{2m} \rho^{2/3}$$

$$E_F^{(мет.)} = p_0 = (3\pi^2)^{1/2} \frac{h^2}{2m} \rho^{1/3}$$

$$p_F^{(мет.)} = \frac{3}{4} \frac{h^2}{2m} \rho^{1/3}$$

Для более низкой массы, чем средняя черная газ.

Для более массивной звезды → белый газ.

3). $1,45 M_{\odot} < M < 4 M_{\odot}$

Образующиеся реакции до Ne^{20} ;

нет черной ямы при зрелом возрасте.

Оболочка падает на цн. → $t^0 \uparrow \Rightarrow$ взрыв

ядерной реакции → Fe ядерный взрыв →

→ зворотный разрыв оболочки, вылет

оболочки. $E_{\text{взб.}} = 10^{53}$ эрг (взрыв ~ 1 сек)

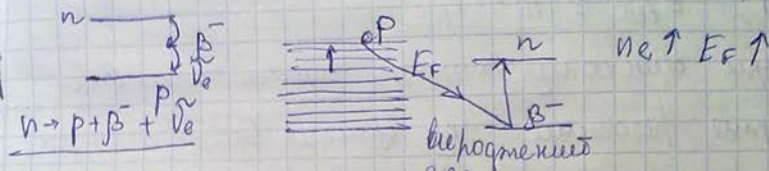
Взрыв надновой звезды (4 массы).

Для цн в цн. переходим в обл. 2
(близки карлик).

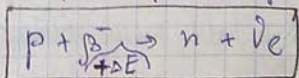
4) $4M_0 < M < 8M_0$

Резонанс, $\nu_{\text{нук}} \ll \nu_{\text{атом}} \ll \nu_{\text{ядр}} \ll \nu_{\text{Ф}} \ll \nu_{\text{Ф}} \ll \nu_{\text{Ф}}$ не выполняется

$\Delta E_{\text{нук}} = M_0 c^2 - M c^2 \approx 1,3 \text{ МэВ}$



$E_{\text{F}} \uparrow \Rightarrow E_{\text{F}} > \Delta E_{\text{нук}} - E_{\beta^-} = 0,8 \text{ МэВ} = \Delta E$



процесс не происходит ядер ($\text{нукл. } E_{\text{F}} > 1,3 \text{ МэВ}$)

затронут процесс

$\Delta E = 0,8 \text{ МэВ}$

Процесс не производится при таких ядрах:

Процесс	$E_{\text{F}}, \text{ МэВ}$	$n, \text{ см}^{-3}$
$p \rightarrow n$	0,483	$0,4 \cdot 10^{23}$
$\text{He}^4 \rightarrow \text{T}^3 + n$	30	$7 \cdot 10^{34}$
$\text{C}^{12} \rightarrow \text{B}^{12}$	13,4	$2 \cdot 10^{34}$
$\text{T} \rightarrow 3n$	9,26	
$\text{B}^{12} \rightarrow \text{Be}^{12}$	11,6	

I этап не производится

II этап

При смешку $n_e \downarrow$, то электроны закончатся
 Фрагменты оболочки будут, пока n_e не подвинуется;

$\neq 0$ падает \Rightarrow угловобъемная величина $\leq 10^6$ и
мало $\beta^{-1} \rho$ (\sim диаметр $\%$)

Вздох падной зорки 2 минуты (при зрительской
 $\neq 0$); $E_{\text{век}} \approx 10^{54}$ эрг.

Для всех остальных случаев смысл в том
исчислении вероятности, что объект выско-
/визирован. (\sim диаметр $\%$) \rightarrow менее $8M_{\odot}$.

4). $M > 8M_{\odot}$; угловобъемная величина ρ
 $\approx 10^{56}$;

Для вычисления смысла \rightarrow зорка зорка ($\approx 8M_{\odot}$)
 $\beta_{\text{II}} \text{ косин} = 0$; зоркий или манерный не
может быть за менее $8M_{\odot}$.

Будет-еже мало перек в том $8M_{\odot}$ при

формула:

$$\tau_g \leq \frac{2GM}{c^2}$$

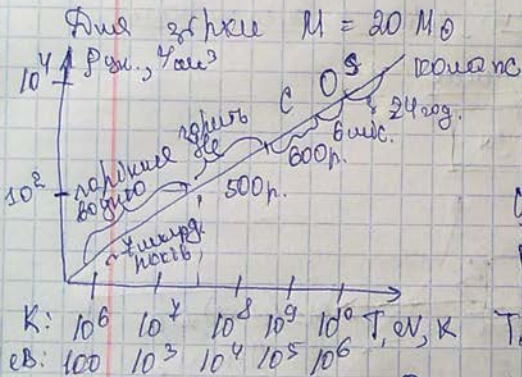
Формула зорка не багнито, до того не менее
никогда вычисленны;

Для зорки $\tau_g = 3 \text{ см}$.

Хотелось: з кв. зорки зорка $8M_{\odot}$ - в
поменьше $8M_{\odot}$, зорка менее вычислен

Используем разные комбинации звезд: голубые, белые и красные
 Звезда еволюционирует звезда заменить всю массу; звезда
 Солнце - не 10 млрд. лет.

А не берем ли в расчет асимметрию? Обложка ^{миссия} магнетической звезды
 имеет з вращением и вращением, вращением з не тривиально, тогда
 $p + \beta \rightarrow n + \beta^+$, то есть n ; \rightarrow реакция односторонней
 реакция n ^(вращение) образуются вазки β β .



Легко смещены вправо
 давая

Солнце звезда поперечной
 скорости вращения β .

Солнце: $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33} \text{ г}$

$P_{\Sigma} = 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$; $T_{\text{инт}} = 5700 \text{ К}$
 (0,5 eB)

$T_{\text{инт}} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ К}$ (1 eB)

$P_{\text{изм}} = 300 \text{ \% км}^2$; раз - невидимо
 вращением
 (180 град вращение 2 eB)

Можете представить пролонгированные звезды
 или наоборот у разогретых звезд
 This is not the end...