

АЯР - часть II

(на самостоятельное изучение)

- 2 модуля: { 1. Статист. св-ва ядер. Общие св-та. Рез. основы работы детектора
 2. Динамич. св-ва ядер. частицы

Основа работы ускорителей частиц

12 задач - 1 модуль

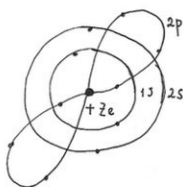
2 теор. вопр., 2 зад., 1 вопр. по самостоятельному изучению - 25 баллов
 по 5 баллов

10 б. - посыл.

Лит. ра:

1. Сивушин т. V, т. II
2. Вайнштейн, Залозодовский
"Ядерная физика"
3. Кристи и Питтс "Введение в совр. физику"
4. Акоста и Кован "физика"

I Исторические модели структуры ядра



$$r_1 = 0,53 \cdot 10^{-8} \text{ см}$$

1-я боровская радиус

$$R_A \sim 10^{-13} \text{ см}$$

2 структурные модели.

1. Протонно-электронная модель ядра

опыты по измерению масс ядер - явл. основанием для эт. модели

1919 г. Джон изобрел масс-спектрометр

была измерена масса p $m_p = 1836 m_e$

$$Z(\text{He}) = 2$$

$$Z(\text{Li}) = 3$$

$$Z(\text{N}) = 7$$

$$M(\text{He}) = 4 m_p$$

$$M(\text{Li}) = 6 m_p$$

$$M(\text{N}) = 14 m_p$$

массы ядер
оказались кратны
массе протона

ядро He

состоит из 4p и 2e

$$Q_A(\text{He}) = +4e - 2e = 2e$$

эфф. заряд

ядро Li состоит из 6p и 3e $Q_A(\text{Li}) = +6e - 3e = 3e$

ядро N сост. из 14p и 7e: $Q_\alpha(N) = +14e - 7e = 7e$

Ядро хар-са массовым числом A и зарядовым числом Z

A - число p

$$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X (\text{символ элемента})$$

Ядро состоит из A-p и (A-Z) - e

до 1925 года
p-e ядра существовала

$$Q_\alpha = +\frac{Ae}{p} - \frac{(A-Z)e}{e} = +Ze$$

2. Атомная катастрофа

$$S_e = \frac{1}{2} - \text{спин } e \quad 1925 \text{ г.}$$

$$S_p = \frac{1}{2} - \text{спин } p$$

(спиновое квант. число)

Система, состоящая из четного
числа частиц с полуцелым спином
будет иметь целый спин

-11 - из четного - полуцелый

${}^{14}_7\text{N}$ - сост. из 14p и 7e $\Rightarrow$ от пр-эл. ядра спин полуцелый

Однако эксперимент-но измеренный спин оказался - целым

21 частица с полуцелым спином

до 1932 г. Чагвик обнаружил n - нейтрон (была новая частица)

$$\text{Об-та: } M_n \sim M_p \quad Z_n = 0 \quad S = \frac{1}{2}$$

Была введена протонно-нейтр. модель ядра $\Rightarrow$ ядро состоит из
Z протонов и A-Z нейтронов $A-Z = N$

$$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X_N (\text{символ эл.})$$

3. Опыт Боме и Беккера. Открытие нейтрона Чадвиком.

(1932г. Н.пр. 1935г.)



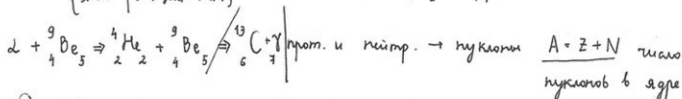
{этой реакцией нет}

$$R_\alpha \sim 10^{-13} \text{ см}$$

естествен. радиоакт. источник

Использовался $^{214}_{84}\text{Po} \rightarrow \alpha$ ($K_\alpha = 5,3 \text{ МэВ}$)

$$\alpha = {}^4_2\text{He} \quad \left(\begin{smallmatrix} A \\ Z \end{smallmatrix} X_N \right)$$



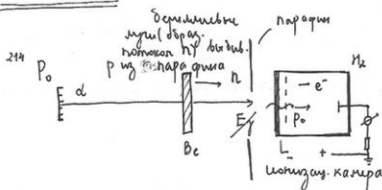
$$Q = 3 \text{ эВ на 1 молекулу} \quad 2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$$

экзотермич. реакция - хим.

$$\text{экзотермич. реакция - ядр.} \quad Q = [M({}^{13}_6\text{C}) - M({}^4_2\text{He}) - M({}^9_4\text{Be})] c^2$$

$$|Q| = E_\gamma \text{ энергия } \gamma\text{-кванта}$$

$$|Q| = E_\gamma = 10,6 \text{ МэВ}$$

Схема опыта:

стр. 232 Саврушин V-2.

использ. тока на электроде

из парфина выбиваются р. нейтроны

 P_0 протон отдачи

комптоновское рассеяние на протоне (нужно 13 промилли сечение)

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_p c} (1 - \cos \theta)$$

рассчитываем max энергию прот. отдачи

$$\theta = 180^\circ$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_p c} \cdot 2$$

$$\lambda = \frac{hc}{E_\varphi} \quad \left\| \begin{aligned} (1) \frac{hc}{E_\varphi'} - \frac{hc}{E_\varphi} &= \frac{2h}{m_p c} \\ (2) E_\varphi - E_\varphi' &= K_p \end{aligned} \right\| \Rightarrow$$

решить совместно 2 ур:

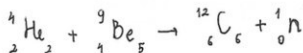
$$E_\varphi = \frac{K_p}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 + \frac{2m_p c^2}{K_p}} \right)$$

$$K_p = 5,7 \text{ МэВ (экспериментально)} \quad m_p c^2 = 1836 m_e c^2 = 938 \text{ МэВ}$$

$$E_\varphi = 55 \text{ МэВ, а энергия}$$

реакции составила 10,6 МэВ

реакция Чадвика:



$$K_n \approx 5,7 \text{ МэВ}$$

$$K_p \approx 5,7 \text{ МэВ}$$

$$\Rightarrow m_p \approx m_n$$

$$E_d \approx 8 \text{ МэВ} \quad (\text{эт. связь нейтронов в ядре})$$

вм. 5 пара - консультация

$$|Q| = 7 \text{ МэВ}$$

энергия урана на кинет. эн.
продуктов реакции

4. Ядерные взаимодействия. Потенциал Юкавы. (1935г. - н.п. 1949г.)

$$R_d \approx 10^{-13} \text{ см} \quad U_{\text{кул.}} = \frac{e^2}{R_d} = \frac{(4,8 \cdot 10^{-10})^2}{10^{-13} \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ В} = 1,5 \text{ МэВ}$$



энергия взаимог-я (отталкив. я) между двумя протонами
внутри ядра. (ядро разорвалось бы)

Ядерные взаимодействия

инфинитно потенс.

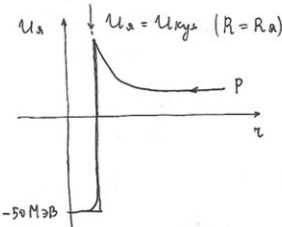
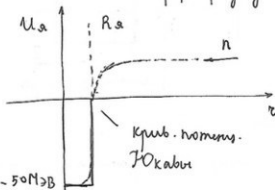
$$U_0 = 50 \text{ МэВ}$$

$$U_d^{(m)} \Big|_{r=R_d} = -50 \cdot e^{-1} \approx 20 \text{ МэВ}$$

$$\lambda_0 = 1,4 \cdot 10^{-13} \text{ см} \quad (\text{нар-р}) \text{ радиус яд-я взаимог-я}$$

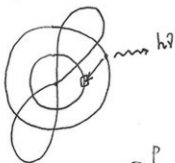
$$U_d^{(m)} = -U_0 \frac{\lambda_0}{r} e^{-\frac{r}{\lambda_0}}$$

потенс. взаимог-я
применяется
потенциал Юкавы



5. Обобщенный хар-р ядерных сил.

Излучение атома



Система в возбужд. состоянии взаимодей-т с э/м полем и рожд. квант э/м взаимодей-я.

квантование полей (вводится)

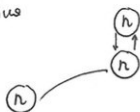


обычн квантами поля
э/м взаимодействия

виртуальные
кванты

$$U_k = \frac{e^2}{r} \quad \text{кулоновское
взаимог.}$$

(дальнодействующие)



$\sim 10^{-13}$
10 см

обычн квантами ядерного
взаимог-я
(виртуальные)

5. Объяснить хар-р ядерных взаимодействий

Класс. физ. с помощью полей

1) Методом

$$U \sim \frac{m_1 m_2}{r}$$



Земля

Гравитацион. поле

гравитон - квант
гравитацион. поля

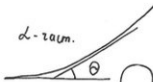
Каждому полю соотв. квант поля (квантизация)

обмен квантами поля соотв. взаимодействия

аналитич. форма потенциал
взаимодействия

$$U_a = -U_0 \frac{\lambda_0}{r} e^{-\frac{r}{\lambda_0}}$$

2)



адро

+Ze

$$U_{Кул.} \sim \frac{q_1 q_2}{r}$$

фотон - Кулоновское
взаимодействие опис. посредством
обмена фотонами

λ_0 - радиус действия ядерных сил

$$\Delta E \cdot \Delta t \sim \hbar$$

пр. н неопред. Гейзенберга

$$\Delta E = m_{к.т.} \cdot c^2, \quad \Delta t = \frac{\hbar}{m_{к.т.} \cdot c^2}$$

ядро



обычн виртуальные
кванты ядерного взаимодей.
(также квазигит. $m_{кв}$)

б. м.ч. бр. Δt кв. гит. угнет на
расст. λ_0

$$\lambda_0 = c \cdot \Delta t = \frac{\hbar}{m_{к.т.} \cdot c} \Rightarrow m_{к.т.} = \frac{\hbar}{\lambda_0 \cdot c} = \frac{10^{-27}}{1,4 \cdot 10^{13} \cdot 3 \cdot 10^{10}} \text{ г}$$

$$\approx 240 \cdot 10^{-27} \text{ г}$$

if на интерв. действ.
возник. б. м.ч. бр. Δt ,
то б. м.ч. возник. перх.
между ядрами б. интерв.
 ΔE

$$m_e = 0,91 \cdot 10^{-27} \text{ г} \quad m_{к.т.} = \frac{240 \cdot 10^{-27} \text{ г}}{0,91 \cdot 10^{-27}} = 270 m_e \quad \text{расчитан Юкава}$$

μ -мезоны $m_\mu = 207 m_e$ открыты в космич. лучах

π -мезоны $m_\pi \approx 270 m_e$

6. Методы энергии, расстояний и времени в яд. физике

Атом

энергия $1 \text{ Rg} = 13,6 \text{ эВ}$

расст. $1 \text{ Б.р.} = 0,51 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 0,51 \text{ \AA}$

время взаимодействия $\sim 10^{-12} \div 10^{-15} \text{ с}$

Ядро

удельная эн. связи нуклона в ядре $\sim 8 \text{ МэВ}$

$10^{-13} \text{ см} = 1 \text{ ферми}$

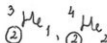
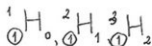
$$\Delta t = \frac{\hbar}{270 \text{ МэВ}} = \frac{10^{-27}}{270 \cdot 0,91 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{-20}} \approx 10^{-23} \text{ с}$$

II. Основы (сначала) об-ва ядер

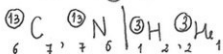
7. Классификация ядер. Запад ядра и методы эксперим. изучения



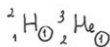
Ядра с $Z = \text{const}$ наз. изотопами



Ядра с $A = \text{const}$ - изобары
(число нуклонов)



Ядра с $N = \text{const}$ - изотоны
(число нейтронов)



Класс по природе нуклонов:

целые - целые ${}^4_2\text{He}_2$ стабильные ядра 162

целые - нечетные ${}^3_2\text{He}_1$ - 56

нечетные - четные ${}^{13}_7\text{N}_6$ - 52

нечетные - нечетные ${}^{14}_7\text{N}_7$ - 5 $\left[{}^2_1\text{H}_1, {}^6_3\text{Li}_3, {}^{10}_5\text{B}_5, {}^{14}_7\text{N}_7, {}^{50}_{23}\text{V}_{27} \right]$

1) из рассеяния заряд. частиц

определение зар. ядра

$$P_{\text{Резерфорд}}: B = \frac{\Delta N_p}{N_{\text{наб}}} = n_a \left(\frac{ze^2}{2K_e} \right)^2 \frac{\Delta \Omega}{\sin^4 \frac{\Theta}{2}}, \quad z = \left(\frac{B \cdot \sin^4 \frac{\Theta}{2}}{\Delta \Omega \cdot n_a} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{2K_e}{e^2}$$

2) ф-ла Мозли $h\nu_{K\alpha} = 10.2 \text{ эВ} (z-1)^2, \quad z = \sqrt{\frac{h\nu_{K\alpha}}{10.2 \text{ эВ}}} + 1$

3) Оме-эффект

$$K_A = (E_{cb}^K - E_{cb}^L) - E_{cb}^L \quad \text{KLL - Оме электрон}$$

п.3 опыт Рез.

п.50 прир. рентг. излуч.

$$\frac{eH}{c} = \frac{MA^2}{R} \quad v^2 = \frac{2eV_{\text{усл}}}{MA}$$

$$\frac{e^2 H^2 R^2}{c^2 v^2} = MA^2 \quad \frac{e^2 H^2 R^2 MA}{c^2 2eV_{\text{усл}}} = MA^2$$

$$MA = \frac{e H^2 R^2}{2c^2 V_{\text{усл}}}$$

8. Масса ядра. Эксперимент. путь ее измерения

Масса ядра излуч. б $1 \text{ а.е.м.} = \frac{1}{12} M_{\text{атм.}} ({}^{12}_6\text{C}_6) \quad 1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} \Rightarrow 931,5 \text{ МэВ}$

$$M_{\text{атм.}} = M_{\text{я}} + Zme - E_{cb}^{\text{электр.}}$$

масс-спектрометры или масс-спектрографы (1919г., 1922 г. н.нр.)



б/з разряд $\left[\begin{array}{c} \text{л} \\ \text{А}^+ \end{array} \right]$ ионный источник (Аи^+) $\frac{e \cdot \Omega \cdot H}{c} = \frac{MA^2 v^2}{R}$ упр. с гравит. с

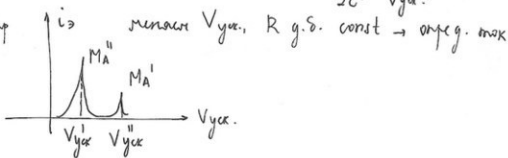
однополюсное магнитное поле A^+ R H^+ $(-V_{\text{усл}})$ $eV_{\text{усл}} = \frac{MA^2 v^2}{2}$

$MA = \frac{e H^2 R^2}{2c^2 V_{\text{усл}}}$

if $R = \text{const} \Rightarrow$ масс-спектрометр

$$MA = \frac{e H^2 R^2}{2c^2} \cdot \frac{1}{V_{\text{усл}}}$$

Масс-спектрометр
и электрометра



8. Масса ядра. Эксперимент. методы ее опред. (измерения) - осконч.

$$M_a = \frac{eH^2 R^2}{2c^2 V_{yк}}$$

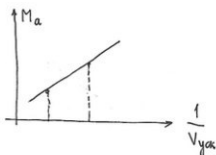
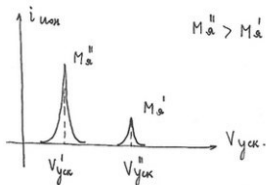
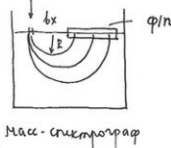
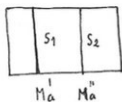
$R = \text{const}$
это упр-е работает.

$$M_a = B \cdot \frac{1}{V_{yк}}$$

$$M_a = M_a - Z(m_e)$$

$$V_{yк} = \text{const}$$

$$M_a = \frac{eH^2}{2c^2 V_{yк}} R^2 = A \cdot R^2$$



S - параметр. изомера в естеств. смеси данного элемента

Изотопы водорода: $^1_1\text{H}_0$, $^2_1\text{H}_1$, $\textcircled{^3_1\text{H}_2}$ - радиоакт.

Гелия: $^3_2\text{He}_1$, $^4_2\text{He}_2$

49 In $A = 111, 113$

индий

50 Sn $A = 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 124$ 10 стабильных изотопов

олово

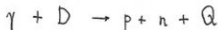
51 Sb $A = 123, 125$

сурьма

9. Масса нейтрона. Экспер. мет. ее определения

Использ. эксперим. баланс реакции фотодиссоц. дейтерия $^2_1\text{H}_1$

(фотодиссоциация)



$$Q = K_p + K_n$$

$$\left. \begin{array}{l} E_\gamma = 2,22 \text{ МэВ} \\ E_d(D) = 2,2 \text{ МэВ} \end{array} \right\} E_\gamma > E_d$$

Энергия. Баланс реакции:

$$E_\gamma + m(D)c^2 = m_p c^2 + \underbrace{m_n c^2}_{\text{rest energy}} + K_p + K_n$$

такой размер массы нейтрона использовать.

камера Вильсона



увеличение конденсации пересыщенного пара на
зарядках

трековий детектор

по длине следа опред. Кр - энерг. протона

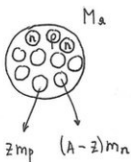
Вампер, Замбодовский "Яг. физика" взять книгу

$$K_p' \text{ при } \text{огранич. ком. расч. на } \text{базисе} \quad K_p = K_p' = K_n$$

$$K_p' = \frac{4m_p m_n}{(m_p + m_n)^2} K_n \approx K_p' = K_n \Rightarrow \frac{4m_p m_n}{(m_p + m_n)^2} \approx 1 \quad \text{коэф. пропорции } m_n \approx m_p$$

$$\left. \begin{array}{l} m_p = 1,67(26) \text{ а.е.м.} \\ m_n = 1,67(49) \text{ а.е.м.} \end{array} \right\} \frac{m_n}{m_p} \text{ нейтрон атом. нуклон. составованен}$$

10. Энергия связи ядра. Зависимость удельной эн. св. от A (мас. число)


$$\begin{matrix} A \\ \diagdown & \diagup \\ Z & N \end{matrix}$$

ΔW - энергия связи нуклонов в ядре

ядро нужно разбить на составляющие, необход.

преодолеть эн. сб. ΔW

$$\Delta W = [z m_p + (A - z) m_n - M_a] c^2 \quad \boxed{\Delta M = z m_p + (A - z) m_n - M_a}$$

гипермасс

$$\Delta W({}^4_2\text{He}) = 28 \text{ MeV}$$

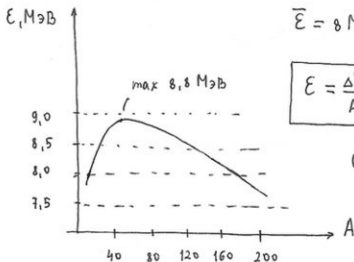
$$\Delta W({}^{12}_6C_6) = 92 \text{ MeV}$$

E - удельная энергия связи на 1 нуклон

$$\varepsilon = \frac{\Delta W}{A}, \text{ где } A - \text{масс. число } \varepsilon({}_2^4\text{He}_2) = 7 \text{ МэВ}$$

$$\varepsilon \left({}^{12}_6C_6 \right) = 7,2 \text{ MeV}$$

График зал.-ми уд. энергии нуклона, от массового числа.



$\bar{E} = 8 \text{ МэВ}$ (средняя энерг. на 1 нуклон)

$$E = \frac{\Delta W}{A}$$

$$\Delta W = \bar{E} A = 8 A \text{ МэВ}$$

① Отсюда следует что-то о ядерной энергии. Энерг. связи на 1 нуклон сост. 8 МэВ (Ядерн. энергия на нуклон)

② $\Delta W \sim A$ следует короткодейств. д-я сил

т.е. к-да нуклон взаимодейств. со всеми нуклонами:

$$\Delta W \sim \frac{A(A-1)}{2} \sim A^2$$

На самом деле: $\Delta W \sim A$



нуклон подобен камню ядерной энергии

Пот. камне-из-за наличия периметр. слоев

③ Ядерные взаимодейств. облад. св-ми насыщения (вытекают из св-ва короткодействия)

④ Яд. силы инвариантны относ. зар. взаимодейств. частиц (не зав-т от заряда)

13.03.12 11. Капельная модель ядра. Полуэмпирич. ф-ла Вейцзекера для вычисления энергии связи ядра

$$\Delta W = 8 A \text{ МэВ} \quad \text{энергия} \quad R_2 = r_0 \cdot A^{1/3} \quad r_0 = R_0 = 1,4 \cdot 10^{-13} \text{ см} \quad V_A = \frac{4}{3} \pi r_0^3 A$$

объем ядра $\sim$ кол-ву нуклонов $\nearrow$

Ядро можно описать, в виде капли яд. р-ка.

Св-ва яд. р-ка:

1. кол-во нуклонов $n = \frac{A}{V_A} = \frac{A}{\frac{4}{3} \pi r_0^3 A} = \frac{1}{\frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (1,4 \cdot 10^{-13})^3} = 10^{38} \frac{\text{нуклон}}{\text{см}^3}$

2. плотность яд. р-ка. $\rho_A = n \cdot m_N = 10^{38} \frac{\text{нуклон}}{\text{см}^3} \cdot 1,67 \cdot 10^{-24} \frac{\text{г}}{\text{нуклон}} = 1,67 \cdot 10^{14} \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1,67 \text{ млн тонн / см}^3$

11 б. Полярность. ф. 1а

I предполож. $\Delta W_I = \alpha A, \quad \alpha = \text{const}$

II предполож. при поперечном движении вращающегося и вращающегося $E_{\text{rot}} = 4\pi R_A^2 \cdot \sigma =$
 $= 4\pi \cdot r_0^2 \cdot A^{2/3} \cdot \sigma = \beta \cdot A^{2/3} \quad \beta = 4\pi \cdot r_0^2 \cdot \sigma$

$\Delta W_{II} = \alpha A - \beta \cdot A^{2/3}$

III предполож. при квантовом движении вращающегося и вращающегося: $E_{PP} = \frac{6}{5} \frac{e^2}{R_A}$

число вращающегося пар $N_{\text{par}} = \frac{Z(Z-1)}{2}$

энерг. вращающегося 2-х протонов

$E_{\text{кв.л.}} = \frac{3}{5} \frac{e^2}{R_A} \cdot \frac{Z(Z-1)}{2} = \frac{3e^2}{5 \cdot 70} \frac{1}{A^{1/3}} \cdot Z^2$ округлим 1 (для ср. и малых Z)

$E_{\text{кв.л.}} = \gamma \frac{Z^2}{A^{1/3}}$

$\gamma = \frac{3e^2}{5r_0}$

$\Delta W_{III} = \alpha A - \beta A^{1/3} - \gamma \frac{Z^2}{A^{1/3}}$

IV предполож. если найдем энергию при взаимодействии между протонами и нейтронами

при взаимодействии и взаимодействии между $E_{\text{ин}} = \frac{(\frac{A}{2} - Z)^2}{A} \cdot \alpha$

$Z = N = \frac{A}{2}$ - наиб. энерг. между

$\Delta W_{IV} = \alpha A - \beta A^{1/3} - \gamma \frac{Z^2}{A^{1/3}} - \alpha \frac{(\frac{A}{2} - Z)^2}{A}$

V при взаимодействии протонов

прот. - прот. 162

прот. - нейтр. 56

нейтр. - прот. 52

нейтр. - нейтр. 5

$E_{\text{пар}} = \begin{cases} +33,5 A^{3/4} & M \geq B \quad \text{прот. - прот.} \\ 0 & \text{прот. - нейтр., нейтр. - прот.} \\ -33,5 A^{3/4} & M \geq B \quad \text{нейтр. - нейтр.} \end{cases}$

стр. 53-55

Вальтер - Зальцбургский

$\Delta W_{\text{I}} = \alpha A - \beta A^{1/3} - \gamma \frac{Z^2}{A^{1/3}} - \alpha \frac{(\frac{A}{2} - Z)^2}{A} + E_{\text{пар}}(A) \quad \Delta W = [Zm_p + (A-Z)m_n - M_A] c^2$

$M_A = Zm_p + (A-Z)m_n - \frac{\Delta W}{c^2}$

$M_A^T = Zm_p + (A-Z)m_n - \frac{1}{c^2} [\alpha A - \beta A^{1/3} - \gamma \frac{Z^2}{A^{1/3}} - \alpha \frac{(\frac{A}{2} - Z)^2}{A} + E_{\text{пар}}]$

$M_A^{\text{эксп.}}(Z, A) \rightarrow M_A^T$

теорет. масса ядра

$$\left. \begin{aligned} d &= 14 \text{ МэВ} \\ g &= 13 \text{ МэВ} \\ \gamma &= 0,75 \text{ МэВ} \\ x &= 100 \text{ МэВ} \end{aligned} \right\}$$

знаем const для найденных констант. M_A^3 и M_A^T

12. Определение стабильного изотопа ($A = \text{const}$)

$$A = 56 \quad \begin{matrix} 56 \\ 24 \end{matrix} \text{Cr} \quad \begin{matrix} 56 \\ 25 \end{matrix} \text{Mn} \quad \begin{matrix} 56 \\ 26 \end{matrix} \text{Fe} \quad \begin{matrix} 56 \\ 27 \end{matrix} \text{Co} \quad \begin{matrix} 56 \\ 28 \end{matrix} \text{Ni}$$

$p \uparrow$ — это протонный уклон.

M_A ↑

$$\begin{array}{c} \text{--- } M_{Cr} \text{ ---} \\ \text{--- } M_{Mn} \text{ ---} \\ \text{--- } M_{Fe} \text{ ---} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{--- } M_{Ni} \text{ ---} \end{array}$$

$$\left. \frac{\partial M_A}{\partial Z} \right|_{A=\text{const}} = 0 \quad E_{\text{нук}}(A)$$

$$\mu_p - \mu_n - \frac{1}{c^2} \left[-\gamma \frac{d^2}{A^{1/3}} - 2x \left(\frac{A}{2} - Z \right) (-1) \right] = 0$$

$$-\frac{\gamma Z}{A^{1/3}} + \frac{x}{2} - \frac{xZ}{A} = 0$$

$$Z_{\text{стаб.}} = \frac{A}{(2 + 2 \frac{\gamma}{x} A^{1/3})} = \frac{A}{2 + 0,015 A^{1/3}}$$

13. Радиус ядра. Эксперим. методы его опред.

$$R_A = r_0 \cdot A^{1/3} \quad \text{Опред. } r_0 \text{ из экспериментов} \quad \gamma = \frac{3}{5} \frac{e^2}{r_0} \quad \gamma = 0,75 \text{ МэВ}$$

$$r_0 = \frac{3e^2}{5\gamma} = \frac{3 \cdot 4,8 \cdot 10^{-20}}{5 \cdot 0,75 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}} = \frac{3 \cdot 23}{8 \cdot 0,75} \cdot 10^{-14} \approx 1,3 \cdot 10^{-13} \text{ см} \quad ? \quad \text{Правильно (1,45)}$$

Радиус действ. яг. сдл. определяют r_0

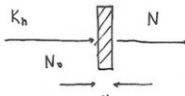
r_0 — опред. радиус ядерной материи

13. Радиус ядра. Эксперимент. методы его измерения. (Г₀)

$$R_s = r_0 \cdot A^{1/3}$$

1) Из анализа позитрон. ф-ии Вейсзекера: $\gamma = \frac{2}{5} \frac{e^2}{r_0}$, $r_0 = 1,15 \cdot 10^{-13}$ см

2) Из рас-я быстрой нейтронов (н.2 опыта Мэнгард)



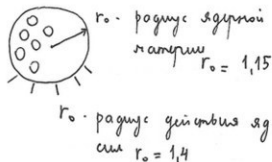
$$N = N_0 \cdot e^{-\alpha x}, \quad \alpha = n\sigma; \quad \sigma = 2\pi R_s^2$$

$$K_n = 14 - 25 \text{ МэВ} \Rightarrow \lambda_n = \frac{h}{2m_n K_n} = \frac{6,6 \cdot 10^{-27}}{\sqrt{2 \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}}} = 6 \cdot 10^{-13} \text{ см}$$

гипр. Трапезофера $\rightarrow \sigma = 2\pi R_s^2, \quad \alpha = n \cdot 2\pi R_s^2, \quad \ln \frac{N_0}{N} = 2\pi n R_s^2$

$$R_s = \sqrt{\frac{1}{2\pi n \ln \frac{N_0}{N}}}$$

$r_0 = 1,4 \cdot 10^{-13}$ см
Это радиус гелия.
сг. см



Нейтронный убит. радиус гелия сг. см

r_0 - радиус гелия сг. см $r_0 = 1,4$

14. Рассеяние релятивистских электронов (Хоффмангер, 1961г)

Максимум электр. ускор. $K_e = 1 \text{ ГэВ}$

Ускорение абс. гипр. электр. (гг-Бр.) бонн на ядрах



$\lambda_e(K_e)$

$$K_e = p c$$

$$\lambda_e = \frac{h c}{K_e} = \frac{1240}{1;10^9 \text{ эВ}} = 1,2 \cdot 10^{-13} \text{ см}$$

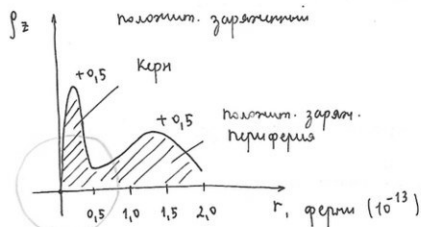
$$d \sin \theta = n \lambda$$

$$1-\text{й max: } 2 R_s \sin \theta = \lambda_e \quad R_e \sim \frac{\lambda_e}{2\theta} \quad (\sin \theta \sim \theta)$$

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

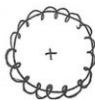
э не убит. сг. безмозг-и

148. Распределение заряда в нуклонах (p, n)

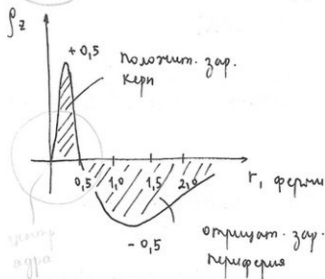


$$\bar{e} \rightarrow H_2$$

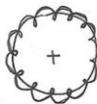
$$q_p = +1e$$



π^+ -мезон



$$q_n = 0$$



π^- -мезон

ρ_z - относит. плотность заряда

15. Магнетизм атомов

Модель



$$I = \frac{e}{2m_e c} (m_e \omega r_e^2) = \frac{e}{2m_e c} L_{KB}$$

$$I = e \frac{\omega}{2\pi c} \cdot \pi r_e^2 \cdot \frac{m_e}{m_e}$$

$$\vec{M}_{KB} = \vec{B} \cdot \frac{I}{c}$$

ω - крив. част.

B - вектор магн. поля на контур тока

I - крив. ток

$$M_{KB} = \frac{e}{2m_e c} L_{KB}, \quad L_{KB} = \sqrt{l(l+1)} \cdot \hbar$$

$$M_e = \frac{e\hbar}{2m_e c} \sqrt{l(l+1)} \quad l - \text{орбит. кв. число}$$

$$\boxed{M_B = \frac{e\hbar}{2m_e c}} - \text{магнитон Бора}$$

ед. измр. атомного магнетизма

$\bar{e}$ обладает собств. маг. мом. - спин $\Rightarrow$ должен обладать магн. моментом

$$M_s = 2 \frac{e\hbar}{2m_e c} \sqrt{s(s+1)}$$

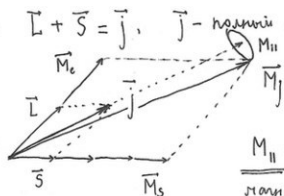
$$\begin{cases} M_L = \mu_B \sqrt{l(l+1)}, & \overline{M}_L \sim \overline{L} \\ M_S = 2\mu_B \sqrt{s(s+1)}, & \overline{M}_S \sim \overline{S} \end{cases}$$

одноэлектронный атом $\overline{L} + \overline{S} = \overline{J}$, $\overline{J}$ - полный магн. момент электр. (ат.)

$$\overline{M}_S + \overline{M}_L = \overline{M}_J$$

$\overline{J}$ абс. определен
направлением, а

$\overline{M}_J$ может прецессировать вокруг $\overline{J}$



$\overline{M}_{||}$ - проекция полного
магн. мом. атома на напр.
вект. $\overline{J}$

$$\overline{M}_{||} \Rightarrow \overline{H}_e \quad \overline{H}_e = -a \frac{\overline{J}}{|\overline{J}|} \quad a \sim \mu_B$$

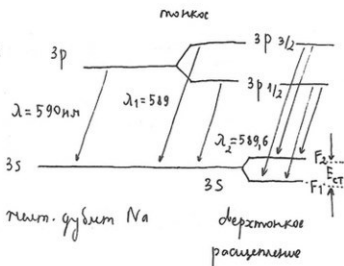
16. Спин и магн. момент атома. Сверхтонкое расщепление спектров

$$3p, \quad l=1, \quad s=\frac{1}{2} \quad \overline{J} = \overline{L} + \overline{S} \quad \frac{1}{2} \leq j \leq \frac{3}{2}$$

$$\Delta\lambda_2 = 0,0023 \text{ нм}$$

$$\Delta\lambda_1 = 0,0021 \text{ нм}$$

сверхтонкое расщепление связано с
взаимод. спина атома с полн. магн. мом. атома



$$3s: \quad l=0; \quad s=\frac{1}{2}; \quad j=\frac{1}{2}$$

Полный момент электр. оболочки:

25.03.12

$$\overline{J} = \sum_{i=1}^Z \overline{j}_i, \quad \overline{J} = \overline{L} + \overline{S} \quad \boxed{\overline{J} = \overline{J}} \quad \text{на кн. обол. 12}$$

Полный момент атома: $\overline{F} = \overline{J} + \overline{I}$, $\overline{I}$ - вектор спина ядра

I - кб. число спина ядра (спин ядра)

$\vec{F} \rightarrow F$ - кв. число полного мом. атома

j - полный мех. мом. ат. (электр)

$$|j - I| \leq F \leq j + I \quad 3S \quad l=0, s=\frac{1}{2} \quad \underline{j = \frac{1}{2}}$$

На: $|\frac{1}{2} - I| \leq F \leq \frac{1}{2} + I$

$$F_1 = I + \frac{1}{2}$$

$$F_2 = I - \frac{1}{2}$$

$\vec{j} \Rightarrow \vec{M}_{||} \Rightarrow \vec{H}_e = -a \frac{\vec{j}}{|\vec{j}|}$

a - const, зависит от единицы магнитона

Бора $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e c}$

мех. мом. атома $M_a = b \frac{\vec{I}}{|\vec{I}|}$

- а, м.е. e отрицат. зарядом, поэтому $\vec{H}_e$ направ. против $\vec{j}$

b извр. в единицах ядерного магнетона $\mu_K = \frac{e\hbar}{2m_p c}$ ядерный магнетон

$\mu_K \approx 1836 \mu_B$

$\mu_B = 9.1 \cdot 10^{-24} \frac{\text{эрг}}{\text{Гаусс}}$

$\mu_K = 5 \cdot 10^{-24} \frac{\text{эрг}}{\text{Гаусс}}$

магнетон атома в 1836 р. < магнетон ядра

Энергия сверхтонкого расщепления:

$E_{ct} = -(\vec{M}_a \vec{H}_e) = ba \frac{(\vec{j} \vec{I})}{|\vec{j}| |\vec{I}|} = E_{ct}$

будет опред. двумя const, а и b, и скаляр. произведением спинов

сверх тонкое

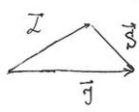
$$F^2 = j^2 + I^2 + 2(\vec{j} \vec{I}) \quad (\vec{j} \vec{I}) = \frac{F(F+1)\hbar^2 - j(j+1)\hbar^2 - I(I+1)\hbar^2}{2}$$

$$E_{ct} = \frac{ab}{2} \frac{F(F+1) - j(j+1) - I(I+1)}{\sqrt{I(I+1)} \cdot \sqrt{j(j+1)}}$$

L-S связь: $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$

число ядр: $N_j = 2L+1$, if $L < S$

$(^{23}\text{Na}) \quad N_j = 2S+1$, if $S < L$



На: $j = \frac{1}{2}, I = \frac{3}{2}$

if $I < j$ то число расщепл. будет равно $(2I+1)$

17. Магнитный момент нуклона. Систематика магн. мом. и

спин s ядер

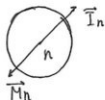
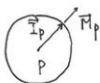
$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e c}, \quad \mu_N = \mu_B \quad \text{атомный магнетон}$$

$$\mu_K = \frac{e\hbar}{2m_p c}, \quad \mu_p \neq \mu_K, \quad \mu_p = +2,79 \mu_K \quad \text{ядро магнетон}$$

$$\mu_n \neq 0, \quad \mu_n = -1,91 \mu_K$$

спин $I_p = \frac{1}{2}$

$I_n = \frac{1}{2}$



протон:



π^+ мезон

нейтр.



π^- мезон

Эмпирические правила для опред-я спинов и магн. мом-в ~~ядер~~ ядер

1. Ядра с четн. зпар. а имеют целые спины,
а с нечетн. зпар. А - полуцелые

2. Нейтр. и протоны в ядре располн. п.обор., что
их магн. моменты взаимно компенсиру-ся, а спины
складыв-ся

спин опред.
нукл. п

Ядра	n	p	${}^2_1\text{H}_1$	${}^3_1\text{H}_2$	2n комплес. др-зр. спин опред p	${}^3_2\text{He}_1$	${}^4_2\text{He}_2$	${}^6_3\text{Li}_3$	${}^{12}_6\text{C}_6$	${}^{13}_6\text{C}_7$
спин $I(\hbar)\pi$	$\frac{1}{2}^+$	$\frac{1}{2}^+$	1^+	$\frac{1}{2}^+$	$\frac{1}{2}^+$	0^+	1^+	0^+	$\frac{1}{2}^-$	$\frac{1}{2}^-$
магн. Ма(μK) нукл.	-1,91	+2,79	+0,86	+2,96	-2,13	0	+0,8	0	-1,91 + 0,7	-1,91 + 0,7

* аддит. модель работ. только
для легких ядер, для ${}^{13}_6\text{C}_7$ отклонение
спин $(-0,7)$ нуклонов -1,91
↑
оболочечная структура ядра

спин опред.
нукл. п

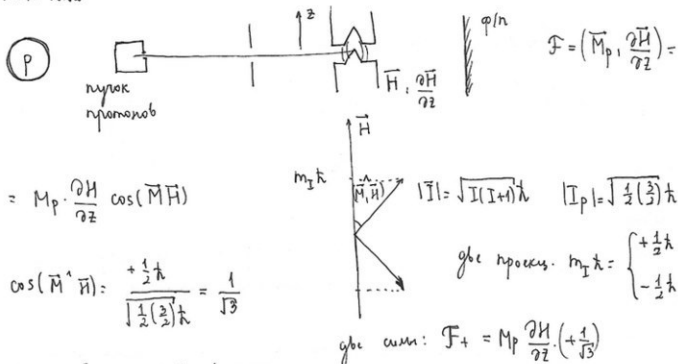
2n и 2p бр.
комплекс.
нукл. p и нукл. n
дают спин 1

оболочечная
структ. ядра

18. Эксперим. методы опред. магн. мом. в ядрах

18а Метод Штерна-Герлаха (Н. пр. 1943)

Метод основан на исследовании отклонения зар. частиц, движ. в неоднор. магн. поле



пучок будет раздвигаться;

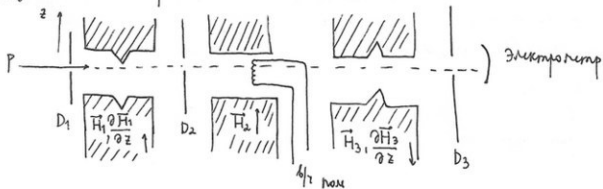
где составляющие, разделение на Δl

$\Delta l \sim F \sim M_p \Rightarrow$ измерая Δl можно измерить магн. мом. p

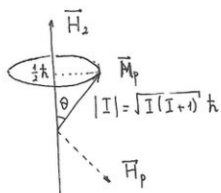
$\Delta l = 0,004$ мм (при тах неоднор. магн. поля)

18б. Метод Раби, высокочастотный метод, метод магнитного резонанса.

Метод Раби заключ. в измерении частоты преципитации магн. момента ядра резонансным электромагн. высокочастотным полем



- 1) максимальные выключения $\Rightarrow$ регистрируется ток i_{max}
- 2) выключает Шунта и Тер. (теодур. плав.) $\Rightarrow$ регистрир. ток $\approx \frac{1}{2} i_{max}$
(выбирает одну компоненту расщепления)
- 3) выключ. $10/2$ плав и H_2



за ум $\vec{H}_2$ $\vec{H}_p$ преиспунује, а за ум $b/2$ нов
поворачавање

$$E_{\text{int}} = - (\vec{M}_p \cdot \vec{H}_2) = - M_p \cdot H_2 \cos(\hat{\vec{H}}_p \cdot \vec{H}_2)$$

$$\cos \theta = \frac{m \hbar}{\sqrt{I(I+1)} \hbar} \quad m_I = \pm \frac{1}{2} \Rightarrow$$

$$\Delta E_{H\alpha} = E_{H\alpha 2}(m_I) - E_{H\alpha 2}(m_I - 1) = M_p H_2 \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2}(\frac{3}{2})}}$$

$$\Delta E_{\text{max}} = M_p H_2 \frac{2}{\sqrt{3}}$$

С гр. энергии $\Delta E_{\text{пер.}} = \hbar \omega_L \Rightarrow$

$$\hbar \omega_L = H_p H_2 \frac{2}{\sqrt{3}} \Rightarrow M_p = \frac{\hbar \omega_L \sqrt{3}}{2 H_2}$$

разности энергии поч.
взаимодействия поч. поч. р
с поч. поч. полем $\vec{H}_2$

При этом все на выходе получим 1 пока $(\leq \frac{i_{\max}}{2})$

Пр.о при бккн. $\vec{H}_2$ и $1/2$ раз при уаствн $\Delta E = k\omega_L$ наблюдается
сдвиг интенс. протонног пика из-за различия гнма и маг. жесткости

пересчитать первые 45 мин. парн!

24 апр. модуль ~1

18. Эксперимент. методы опред. мом. мом. эдвр

А. Метод Штерна и Терлаха

Б. Метод Раби, высокочастотный метод, метод мом. резонанса

19. Чётность волновых функций эдвр

$$|\psi(x, y, z)|^2 = |\psi(-x, -y, -z)|^2 \quad \text{ДСК}$$

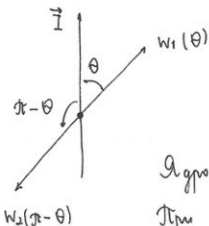
$$|\psi(r, \theta, \varphi)|^2 = |\psi(r, \pi - \theta, \pi + \varphi)|^2 \quad \text{сфер. ск}$$

$$\psi(r, \theta, \varphi) = \pm \psi(r, \pi - \theta, \pi + \varphi) \quad \boxed{\hat{\Pi} = \pm 1} \quad \text{1) в эдврных процессах чётность}$$

волн. ф-ции сохраняется:

$$\hat{\Pi} = \pm 1$$

ли сфер. чётности: $\hat{\Pi} \neq \pm 1$



Ядро состоит из нулей.

При отсутствии взаимог. между составляющими данной сист. (2-х частиц)

$$\boxed{\Psi_{A+B} = \Psi_A \cdot \Psi_B \Psi_{\epsilon A} \cdot \Psi_{\epsilon B}}$$

внутр. волн. ф.
частиц А и В

$\Psi_{\epsilon A}, \Psi_{\epsilon B}$ - волн. ф. относительности
частиц А, В относ. ч. масс

$$\Pi_{A+B} = \Pi_A \Pi_B \Pi_{\epsilon A} \Pi_{\epsilon B}$$

$$\Pi_{A+B} = \Pi_A \Pi_B (-1)^{\epsilon_A} \cdot (-1)^{\epsilon_B}$$

для полного описания кб-мех. сист. ядра используется параметр ядра:

состоит из спина и чётности (I и четн.) $\frac{1}{2}^+, \frac{3}{2}^-$

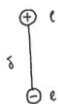
$I^\pi (h)$	n	p	D	$^3_1\text{H}_2$	$^3_2\text{He}_1$	$^4_2\text{He}_2$	$^6_3\text{Li}_3$	$^{12}_6\text{C}_6$	$^{13}_6\text{C}_7$
	$\frac{1}{2}^+$	$\frac{1}{2}^+$	$\frac{1}{2}^+$	$\frac{1}{2}^+$	$\frac{1}{2}^+$	0^+	1^+	0^+	$\frac{1}{2}^-$

П- четность

Ядра бывают в осн. сост. и возбужденном.

20. Распределение заряда в ядре. Квадруп. момент ядра

1) опис. распред. зар. ядра с помощью диполя



$$D = \delta e$$

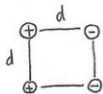


б осн. состоянии ядра
имеет дип. момент $D = 0$

при больш. возб. момент становится протонно-массу относ. нейтр.

2) опис. заряд ядра с помощью квадруполья Q квадруп. момент, квант. хар-м перу отклонения распределения заряда ядра от сферич. симметрии.

Класс. квадруполь Модем:



$$Q = D^2 d = 2 d \delta e$$

различают 2 типа квадруполья

моментов ядра: Q_0 - внутр. квадруп. мом. ядра

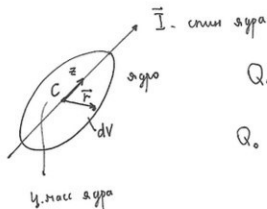
Q_H - наблюдаемый квадруп. момент ядра

Для хар-ки формы ядра используется выражение (обобщение тензоров)

$$Q_0 = \int_V (3z^2 - r^2) \rho_q(\vec{r}) dV$$

z - проекция $\vec{r}$ по внутр. ось симметрии
(или z - компонента квадруп. мом.)

z - проекция б-ра $\vec{F}$ на внутр. ось симметр. эдро



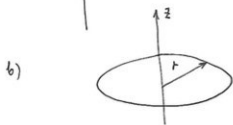
$$Q_0 = \frac{1}{\epsilon} \int_V (3z^2 - \vec{r}^2) \rho_g(\vec{r}) dV$$

Q_0 - изгибается в ед. плоскости

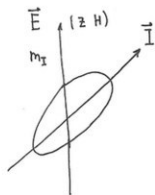
а) для сферич. эдро: $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$; $x=y=z \Rightarrow 3z^2 = r^2 \Rightarrow Q_0 = 0$



б) $z > x, y \Rightarrow 3z^2 > r^2 \Rightarrow Q_0 > 0$ эдро - вытянутой эллипсоид вращения



в) $z < x, y; 3z^2 < r^2 \Rightarrow Q_0 < 0$ эдро - сплюснутый эллипсоид вращения



Q_H - нормальная координ. мом.

$$Q_H = \frac{I(2I-1)}{(I+1)(2I+3)} Q_0$$

если $I=0, \frac{1}{2}$, то $Q_H=0$

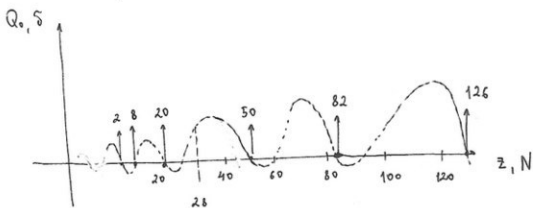
$I=1$, то $Q_H = \frac{1}{10} Q_0$

Ед. измер. коэфф. мом. изм. в барнах: 1 барн = 10^{-24} см²

плановое значение Q_0 для эдр. долей. $Q_0 \left(\begin{smallmatrix} 17 \\ 8 \end{smallmatrix} 0_9 \right) = -0,027 \delta$

$$Q_0 \left(\begin{smallmatrix} 135 \\ 57 \end{smallmatrix} 1_{16} \right) = 5,9 \delta$$

Эмпирический график



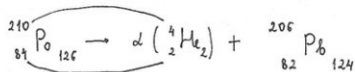
аппарат с $Q \neq 0$ наз. геогоризонт. аппарат

2, 8, 20, 50, 82, 126 - магнитные числа (2) $\Leftrightarrow {}^4_2\text{He}_2$ м.е.
 $N = Z = 2$

III. Радиоактивность ядер

раг-ты - это сб.ба ядер превращ. гр. в группа с излуч. частиц

α, β, γ - радиоакт.



Исчуж. α -луч. с кин. эн.
 $K_\alpha = 5,3 \text{ МэВ}$

платинское ядро

свинцовое ядро



α -луч.
формиру.

$$E_{\text{нукл.}} = 7,5 \text{ МэВ}$$

та энерг. ком. нуклонов
перемещается подобно отп. нуклонов из ядра

из z -на соэр. числа нуклонов

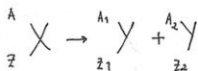
Внутри ядра формиру. α -луч.

$$\Delta W({}_4^9\text{Be}_5) = 58 \text{ МэВ} - \text{эн. ком. нуклонов зажат, подобн разгнаны Be на } 4p \text{ и } 5n$$

$$\Delta W({}_4^9\text{Be} \rightarrow 4p, 5n) = 58 \text{ МэВ}$$

$$\Delta W({}_4^9\text{Be} \rightarrow 2\alpha, 1n) = 2 \text{ МэВ} \quad (\text{на } 2\alpha\text{-луч. и } 1n) \quad \text{отн. эн. сб. соэр. } \alpha\text{-луч. нуклонов}$$

$$\Delta W({}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow \alpha, {}_{82}^{206}\text{Pb}) = -5,3 \text{ МэВ} - \text{энергия выделяется}$$

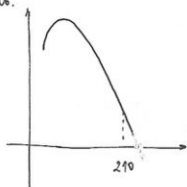


$$A = A_1 + A_2 \\ Z = Z_1 + Z_2$$

$$\Delta W(M_A(z_1, A_1) + M_B(z_2, A_2) - M_C(z, A))c^2 < 0$$

z -н соэр. нуклонов

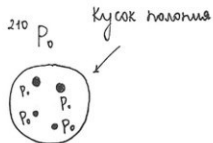
Э.сб.



Возможность радиоакт. распада (α -луч.) абс. выпущ.
эн. сб. по отнош. к продуктам реакции

3-й период. реакция:

процесс деления брзг. сб. на 2 ядра
с образованием осколков



$$dt \rightarrow -dN - \text{ядро}$$

$$dN = -\lambda N dt \quad \lambda - \text{период. распада}$$

N_0 - количество ядер

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

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad 3\text{-й период. реакция}$$

Ср. бр. энергии ядра - бр. б. м. кин. энергии паг. яг. ↓ б. энерг

$$\frac{N_0}{N} = e \quad e^{-1} = e^{-\lambda \tau}$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

период полураспада $T_{1/2}$ - бр., б. м. кин. к-то период. яг. ↓ б. 2р.

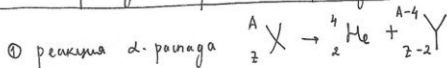
$$\frac{N_0}{N} = 2 \quad \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

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

$$^{210}\text{Po} \quad T_{1/2} = 138 \text{ дней}$$

17.04.12.

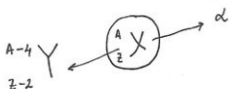
22. д-реакция. Энергия д-реакции



② энергетическая выгода д-реакции: $\Delta W_d = [M_d(A-4, Z-2) + M_d(^4_2\text{He}) - M_d(A, Z)] c^2$

③ энергия д-реакции: $E_d = |\Delta W_d| = [M_d(A, Z) - M_d(A-4, Z-2) - M(^4_2\text{He})] c^2$

④ кинет. энергия д-реакции: $E_d = K_d + K_\alpha(A-4, Z-2)$



$$3\text{-й закон. сохранения } |\vec{p}_\alpha| = |\vec{p}_d| \Rightarrow$$

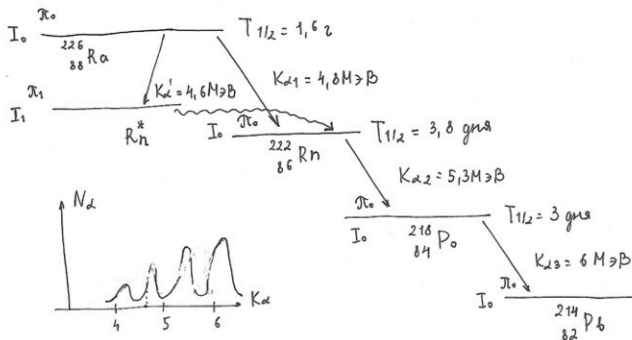
$$M_\alpha v_\alpha = m_d v_d \Rightarrow M_\alpha K_\alpha = m_d K_d \Rightarrow K_\alpha = \frac{m_d}{M_\alpha} K_d \Rightarrow$$

$$E_d = K_d + \frac{m_d}{M_\alpha} K_d = K_d \left(1 + \frac{m_d}{M_\alpha}\right)$$

$$K_d = E_d \left(1 + \frac{m_d}{M_\alpha}\right)^{-1}$$

22. α -распад. Эпиритика α -распада23. α -распад. Механизм α -распада: Пунтлен. эфф. 3-й Тейлора-Ниттолаb. обычно $M_\alpha \gg m_\alpha \Rightarrow K_\alpha \approx E_\alpha$

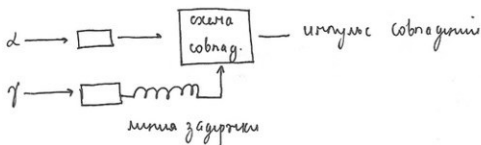
⑤ Эпиритическая гитратина (испа распада)



$$K'_\alpha = 4,6 \text{ МэВ}$$

↓
т.к. Ra распадается по 2-м каналам

Поним. излуч. α и γ частиц было доказано Боте (Н.бр. 1954г.) с помощью схемы совпадений.

23. α -распад. Механизм α -распада. Пунтлен. эфф. 3-й Тейлора-Ниттола

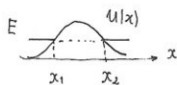
потенциал ядра (для зар. част.). Внутри ядра образуются α -частицы и энергия связи этой част. будет по отношению к ядру отриц. $\Rightarrow$ она хочет выйти наружу, и если конечная вер. такого выхода:

$$\text{Взаимодейств. } \alpha\text{-частиц с ядром кулоновское: } U_{\text{кул.}} = \frac{Zze^2}{r}$$

Внутрен. барьер:

$$B = \frac{Ze^2}{R_s}$$

$$E_d = K_d = \frac{Ze^2}{r_1} = U(r_1)$$



$$D = e^{-\frac{2}{\hbar} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{2m[U(x) - E]} dx} \quad - \text{внутрен. б. в. Я-7}$$

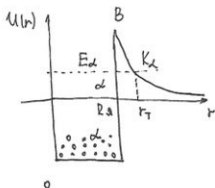
29h.

$$D_d = e^{-\frac{2}{\hbar} \int_{R_s}^{r_1} \sqrt{2m[U(r) - E]} dr} \quad , E_d \ll B$$

$$D_d = e^{-\frac{2}{\hbar} \int_{R_s}^{r_1} \sqrt{2m_d \left(\frac{Ze^2}{r} - E_d \right)} dr} = e^{-\frac{2}{\hbar} f(B, K_d)}$$

$$D_d = e^{-\frac{\pi}{\hbar} \sqrt{2m_d} \frac{Ze^2}{\sqrt{K_d}}}$$

- барьерность 2-го зом.
применяя эту формулу при
определ. угад. о барьер



$$\Delta x \cdot \Delta p_x \sim \hbar$$

$$\Delta p_x \approx p \quad 2R_s \cdot p_d \sim \hbar$$



$$2R_s \cdot m_d \cdot v_d \sim \hbar$$

$$v_d = \frac{\hbar}{2m_d R_s}$$

- скорость зом.
в ядре ядра

$$n = \frac{v_d}{R_s} = \frac{\hbar}{2m_d R_s^2}$$

$$dN = -\lambda N \cdot dt \quad \lambda - \text{вер. распада 1 ядра в} \\ \text{ед. времени}$$

n. число угад. о энергии
барьера зом. в ед. вр.

$$\lambda = n \cdot D_d \quad - \text{вероятн. распада}$$

кажд. вероятн. распада.
угад. зом. при угад.

$$\lambda_d = \frac{\hbar}{2m_d R_s^2} \cdot e^{-\frac{\pi}{\hbar} \sqrt{2m_d} \frac{Ze^2}{\sqrt{K_d}}}$$

$$\ln \lambda_d = \ln \frac{\hbar}{2m_d R_s^2} - \frac{\pi}{\hbar} \sqrt{2m_d} \frac{Ze^2}{\sqrt{K_d}} \quad C$$

$$\ln \lambda_d = A - \frac{C}{\sqrt{K_d}}$$

3-й Теорема-
Менделеева

$$\begin{array}{l} {}^{235}\text{U} \quad T_{1/2} = 7 \cdot 10^8 \text{ лет} \\ {}^{238}\text{U} \quad T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ лет} \end{array}$$

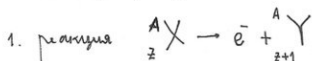
Вопросы 3-на Т-Н.

- 1) if известно R_α и K_α , то опрег. λ_α ($T_{1/2}$ α -расп.)
- 2) if известно λ_α и K_α , то опрег. R_α

24. β -преобразование ядр. При буга β -распада

def. β -распадом наз. процесс самопроизвольного преобразования ядра.
ядро в ядро-изобар ($A = \text{const}$) с зарядом отличающ на $\Delta Z = \pm 1$
за счет испускания $\bar{e}$ (β^- -распад), позитрона e^+ (β^+ -распад),
или захвата орбитального $\bar{e}$ (К-захват или e^- -захват)

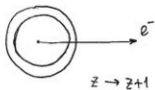
Ⓐ β^- -распад



2. энергетическая возможность: $M_A(A, z) > M_A(A, z+1) + m_e$
 $\quad \quad \quad + z m_e \quad \quad \quad + z m_e$

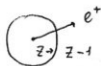
$$M_A(A, z) > M_A(A, z+1)$$

24.04.12.

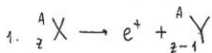


3. энергия β^- преобразования

$$E_{\beta^-} = [M_A(A, z) - M_A(A, z+1)] c^2$$



б. β^+ -распад

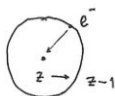


$$E_{\beta^+} = [M_A(A, z) - M_A(A, z-1) - 2m_e] c^2$$

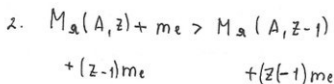
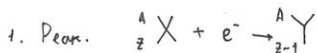
2. $M_A(A, z) > M_A(A, z-1) + m_e$
 $\quad \quad \quad + z m_e \quad \quad \quad + z m_e$

$$M_{\text{atom}}(A, z) > M_{\text{atom}}(A, z-1) + 2m_e$$

B. K-захват. E, e, E - захват



огромно из задрзгов δ δ где компиру. за сума тана, что
1 e^- захв. адром

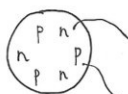


$$M_A(A, Z) > M_A(A, Z-1)$$

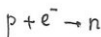
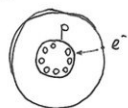
3. $E_K = [M_A(A, Z) - M_A(A, Z-1)]c^2$

$E_K < E_d^{Kos}$ e^- -захват не будет
могет рроне. захват e^- с
L-оболочки

25. Механизм β -преобразования. Примеры



K-захват



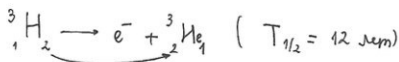
большо ограну из n бугру где претр.
 δ p и нугруе δ

β^+ -рачег

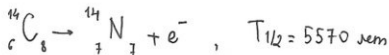
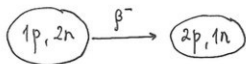
где нугруе δ min энурму

$$M_A = Zm_p + (A-Z)m_n - \frac{1}{c^2} [ZA - \rho A^{1/3} -$$

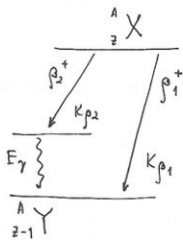
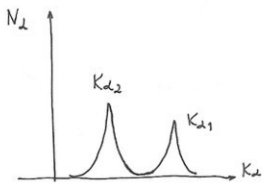
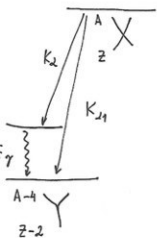
$$- \gamma \frac{Z^2}{A^{1/3}} - \frac{2(\frac{A}{2} - Z)^2}{A}]$$



огромно из n претр. δ p

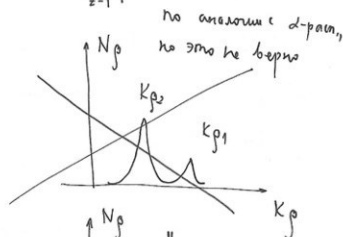


26. Характер β -спектров. Типы β и нейтрино.



$$E_\beta \approx (K_\beta)_{\max}$$

$$\bar{K}_\beta = \left(\frac{1}{3} \pm \frac{1}{2}\right) (K_\beta)_{\max} = \left(\frac{1}{3} \pm \frac{1}{2}\right) E_\beta$$



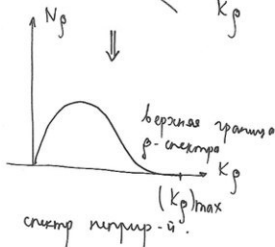
Типы β и нейтрино: β -преобразование $\rightarrow$
используется еще одна частица - нейтрино

$$K_{\nu_e} = E_\beta - K_\beta$$

$$E_\beta = K_{\nu_e} + K_\beta$$

Кин. эн. нейтрино, Кин. эн. β -частицы

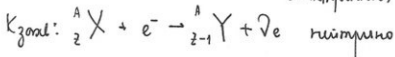
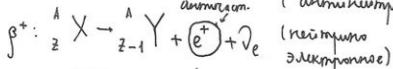
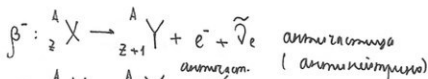
нейтрино β -частицы + полная добавка $\rightarrow$ энергия отдачи ядра ($\approx 1 \approx 10$ у.е.)



Заряд нейтрино: $Z_\nu = 0$

Масса нейтрино: $m_\nu \approx 0$

Спин нейтрино: $S = 1/2$

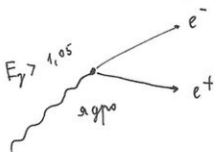


Зам.

Зам.

27. 3-й закон сохранения.

Частицы и античастицы.



атом: e^- - частица, e^+ - античастица.

Отличаются зарядом

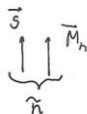
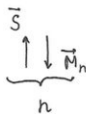
ядро: π^+ - мезон - частица, π^- - мезон античастица. Отлич. зарядом

БЭВ: $p, \bar{p}$ - антипротон (заряд отриц.)

10^9 ЭВ $n, \bar{n}$ - антинейтрон $M_n = -1,67 \text{ мк}$

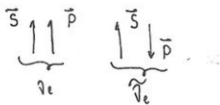
ускоритель "Бэватрон"

заряд нулевой.



β -превращ.: $\bar{\nu}_e$ - нейтрино электронное, $\tilde{\nu}_e$ - антинейтрино электр.

Отлич. взаимн. напр. вектора спина и вектора импульса.



превращения частиц

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

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

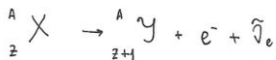
нейтрино
электронное

частица.

античастица

28. Эксперим. опред. массы нейтрино

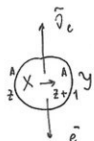
$$m_\nu \approx 0; \quad z_N = 0 \quad S = \frac{1}{2} \quad M_\nu = 0$$



antineutrino

$$E_{\beta^-} = [M_{\text{atom}}(A, Z) - M(A, Z+1)] c^2$$

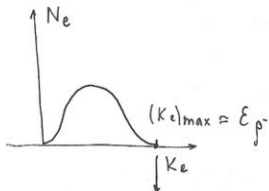
энергия β^- - распада



Энерг. β^- - распада уходит на кинетич. энерг. и созд. $\bar{\nu}_e$

$$E_{\beta^-} = K_{e^-} + K_{\nu_e} + K_Y + m_\nu c^2$$

Хар-р β^- - спектров:



в этой точке протек.
т.е. эн. E_{β^-} уходит на
кин. эн. $\bar{e}$

$$E_{\beta^-} = (K_{e^-})_{\text{max}} + m_\nu c^2 \Rightarrow$$

$$m_\nu = \frac{1}{c^2} [E_{\beta^-} - (K_{e^-})_{\text{max}}]$$

выражение для массы нейтрино
Для опы. и. нейтр. ного излучения
($K_{e^-})_{\text{max}}$

$$K_{\bar{e}} = (K_{e^-})_{\text{max}}$$

$$K_\nu = 0$$

как (в первом приближении), а
далее учитыв. K_Y

Очень маленькая доля

в с энергией $(K_{e^-})_{\text{max}}$. Считается $m_\nu c^2 < 2,2$ эВ

масса нейтрино (пока еще) отлична от нуля

Мера энергия E_{β^-} , $(K_{e^-})_{\text{max}} \rightarrow$ опред. массу нейтрино

29. Прямые гом-ба циклотрон. нейтроны

Сечение взаимог. нейтронов с бел.-м: $\sigma \approx 10^{-44} \text{ см}^2$ (оч. мало)

$$n \approx 10^{22} \text{ ат/см}^3$$

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

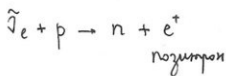
ср. гл. свобод. пробега $\bar{l} = \frac{1}{\sigma \cdot n} = \frac{1}{10^{-44} \cdot 10^{24}} \approx 10^{22} \text{ см} = 10^{20} \text{ м} = 10^{17} \text{ км}$

Эксперименты века

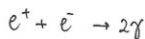
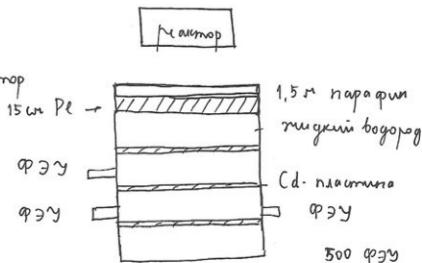
Доказано существование нейтронов: Кован (1956 год)

использ. радиотракционную реакцию: $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$ антинейтринное электронное

для регистрации нейтронов использ. обратная реакция:



Современ Рубер-реактор

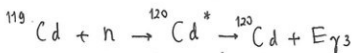


$$E_{\gamma 1}, E_{\gamma 2} = 0,51 \text{ МэВ}$$



1) $\exists$ позитрона регистрир. посыл.-м. гл. губ. нрмат. напр. γ -квантов

2) Cd захватывает n :



сх. совпадения



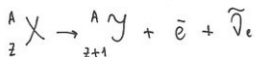
$E_{\gamma 3}$ сх. совпадения

считает 3-х совпадения $\Rightarrow$ Δt записано (200) 1500 зас.

Совсем показано, что нейтроны $\exists$

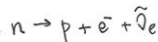
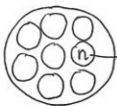
Кол-во

30. Понятие о механизме β -преобразования



внутри ядра нет электрона и антинейтрино.

Откуда они берутся?



Ядро не стаб. Оно имеет избыток эн. Это эн. концентрир. на 1n нейтр. балансог. с $\bar{e}$ - нейтральными полями и при некот. эн. разг. частица и антинейтрон. (физ. вакуум)

Вм. 15	3 пара
Гм 17	3 пара
Вм 22	1 пара

физ. вакуум - резервуар большой кол-ва частиц

$$\text{вероятн. } \beta \text{ преобраз. } W_{\beta} = \frac{2\pi}{\hbar} \left| \int \psi_k^* H' \psi_n d\tau \right|^2 \rho(E)$$

ψ_n (начальная в.ф. ядра)

ψ_k (конечная в.ф. ядра)

H' - оператор возмущ. под которым происх. β -преобраз.

$d\tau$ - элемент объема

$\rho(E)$ - плотн. конечн. состояний

Слабое взаимодействие.



ядр. взаим. $g_A = 1$ (const)

эл. квантн $g_{\beta n} = 10^{-2}$

W-бозон

гравитон

$g_{\beta n} = 10^{-13}$

$g_{\text{грав.}} \approx 10^{-38}$

относительная сила взаимодействия

классика: 4 взаим.

совр. теор: 3 взаимод. бозог. эл и слабое
электрослабое

$$\Psi_H = \Psi_{H,N} \text{ (нуклон)}$$

$$\Psi_K = \Psi_{K,N} \cdot \underbrace{\Psi_{\bar{e}} \cdot \Psi_{\nu_e}}_{\text{в протон. испр. заряд. испр.}} \text{ (мезонная в. ф.)}$$

$$\Psi_K = \Psi_{K,N}$$

е можно см. с в. част.

$$\left. \begin{aligned} \Psi_e &= \frac{1}{\sqrt{V}} e^{-\frac{i}{\hbar}(\vec{p}\vec{r})} \\ \Psi_{\bar{e}} &= \frac{1}{\sqrt{V}} e^{\frac{i}{\hbar}(\vec{p}\vec{r})} \end{aligned} \right\} \text{ плоские волны}$$

$$W_{\beta} = \frac{2\pi}{V_a \hbar} \left| \int_{V_a} \underbrace{\Psi_{K,N}^* \cdot g_{\alpha} \cdot \Psi_{H,N}}_{\text{адронная матриц. эл-м}} \cdot d\tau \right|^2 \rho(E)$$

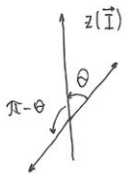
$$M_{\alpha} = \int_{V_a} \Psi_{K,N}^* \Psi_{H,N} d\tau$$

$$W_{\beta} = \frac{2\pi}{\hbar} g_{\alpha}^2 \frac{1}{V_a} |M_{\alpha}|^2 \rho(E)$$

вероятность β -распада
(проблема Бэте)

31. Не сохранение четности при β -превращении

Четн. в. ф. сохр. при пространственной инверсии $\Psi(r, \theta, \varphi) = \pm \Psi(r, \pi - \theta, \pi + \varphi)$
для адронных процессов соблюд. (для э. и н. тоже)



$$W_1 \sim |\Psi(r, \theta, \varphi)|^2$$

$$W_1 = W_2 \text{ (д-распад)}$$

$$\Pi = \pm 1$$

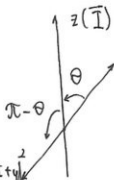
вероятность распада по выбранному нап. и протект равны

$$W_2 \sim |\Psi(r, \pi - \theta, \varphi + \pi)|^2$$

1956 год Ли и Гин выдвинули гипотезу, что в слабых взаимодействиях четн. не сохр.

1957 год. подтверждено. Нобелев. премия

При β -превращ.



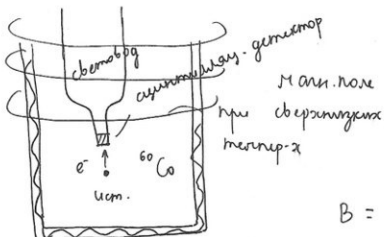
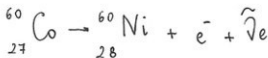
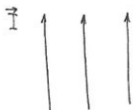
$$W_{\beta}' \sim |\Psi(r, \theta, \varphi)|^2$$

$$W_{\beta}' \neq W_{\beta}'' \Rightarrow$$

$$\boxed{\Pi \neq \pm 1}$$

$$W_{\beta}'' \sim |\Psi(r, \pi - \theta, \pi + \varphi)|^2$$

поляризованы адр:



рентг. кол-во $\tilde{\nu}_e$, излучаемых
 ${}^{60}\text{Co}$ при прямой напр.
 (адр. поляризов. вверх) и при
 обр. напр. (адр. поляризов. вниз)

$$B = \frac{W_{\uparrow\uparrow}}{W_{\downarrow\downarrow}} = \frac{0,8}{1,2}$$

асимметрия соотв.
 сдвинуто вверх.

0,8 и 1,2 отн. к сн. комнатной темп-ры

$\tilde{\nu}_e$ преимуществ. вылетают противоположно спину адра (против знака)

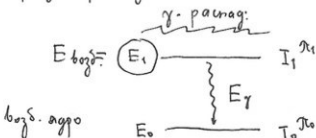
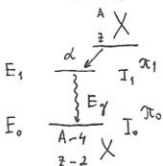
32. γ -излучение адр. Закон сохранения

механико-калорический эффект

γ -излучение адр - это процесс испускания жесткого γ -излучения возбужд. ядрами.

процесс самопроизв. распада не возб. адра (α, β -распад)

α -распад:



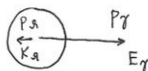
$$10 \text{ КэВ} \leq E_\gamma \leq 5 \text{ МэВ}$$

(не путать с
 рентг. излуч.
 ниже 10 КэВ)

X-излуч. рентген. облуч. переходов в электр. обол.

γ -излуч. облуч. переходов в ядрах

1) 3-й соур. энергии: и 2) 3-й соур. импульса



эпо в мт. ч.и. будет полнота импульс отдачи

$$|\vec{p}_A| = |\vec{p}_\gamma| \quad p_A = \sqrt{2M_A K_A} \quad p = \frac{E_\gamma}{c}$$

$$2M_A K_A = \frac{E_\gamma^2}{c^2}, \quad K_A = \frac{E_\gamma^2}{2M_A \cdot c^2} \quad 2) (3-й \text{ соур. мнн.})$$

$$E_1 = E_{\text{возб.}} = E_\gamma + K_A$$

$$E_\gamma = E_{\text{возб.}} - K_A$$

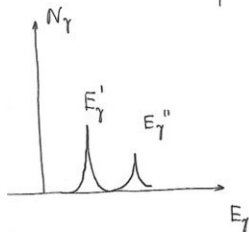
$$E_{\text{возб.}} = E_\gamma + \frac{E_\gamma^2}{2M_A c^2} = E_\gamma \left(1 + \frac{E_\gamma}{2M_A c^2}\right); \quad E_\gamma = \frac{E_{\text{возб.}}}{1 + \frac{E_\gamma}{2M_A c^2}} \Rightarrow$$

малая поправка

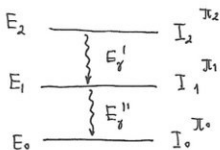
$$E_\gamma \approx E_{\text{возб.}}$$

$$K_A = \frac{E_{\text{возб.}}^2}{2M_A c^2}$$

присленим класс. з-ни



Схемат. γ -распад излучателем $\rightarrow$



каскадное - γ -излучение

II. 3-и сооп. мом. ионизация и термостат

хар-р: шум и термостат

$$|I_1 - I_0| \leq L \leq I_1 + I_0$$

L - момент урочивости фотона (мультипликативности)

10^{-4}

$L=1$ - дупольное

Изменение L на 1 приводит к

10^{-4}

$L=2$ - квадрупольное

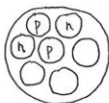
изменению $\Delta \varphi$ на 4-5 порядков

$L=3$ - октупольное

$L=4$ - гексаг. с $L=4$

Изменяется термостат. Шум по степеням π

Процессы в ядре при γ -излучении:



if процесс излучения связан с переносом заряда $\Rightarrow$
электрический переход $\Pi_k^p = \Pi_H (-1)^L$
колическое начальное

- II - мом. моментов: $\Pi_k^{\pi} = \Pi_H (-1)^{L+1}$

Спецификация:

$L=1$ чет. га эл. E_1
нечет мом. M_1

10^{-13} с

время жизни ядра

$L=2$ чет. га мом. M_2
нечет эл. E_2

10^{-13} с

10^{-8} с

10^{-13} с

$L=3$ чет. га эл. E_3
нечет мом. M_3

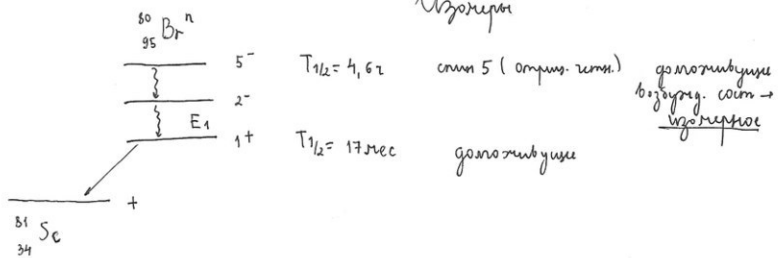
10^{-6} с

10^{-1} с

увелич. L на 1 приводит к увелич. вероятн. $\Rightarrow$ к увелич. времени жизни ядра.

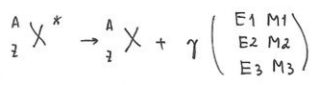
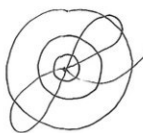
мом. мом. облед. не только p , но и n

излучение



33. Явление внутренней конверсии γ -лучей

ядро в возб. сост.



значимо разделение переходов

при затухании перехода происх. явл. внутр. конверсии - передача энергии возб. ядра одному из e^- атома (безизлучательно), в рез-те чего испускается e^- , уносящий энерг. возб. ядра

квант. эн. e^- $K_{в.к}^K = E_{\text{возб.}}^K - E_{\text{об.}}^K$,
 K - электроны внутр. конверсии
 эн. д. e^- на K - оболочке

$K_{в.к}^L = E_{\text{возб.}}^L - E_{\text{об.}}^L$

осн. хар-ка e^- в.к. - энергия и коэф. внутр. конверсии

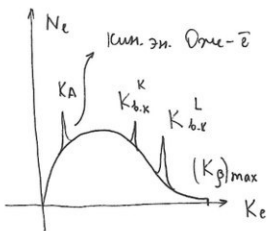
α - коэф. внутр. конт.

$\alpha = \frac{N_{\gamma}}{N_{\gamma} + N_{\text{в.к.}}} \left(\begin{matrix} \text{отношение числа } e^-, \text{ испущ-х} \\ \text{при переходе из одного и того} \\ \text{же сост. ядра к числу } \gamma\text{-кв.} \end{matrix} \right)$

$\alpha = \alpha_K + \alpha_L + \alpha_M$

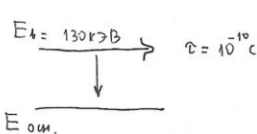
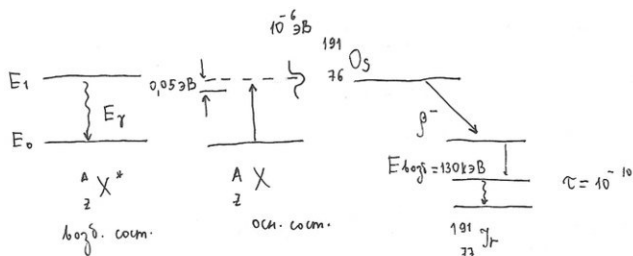
парциальные коэф. внутр. конт. на K, L, M-оболочке

Чем более затормож. переход (бр. пикнул), тем больше коэф. вн. конт. α



34. Эффект Миссбауэра (И.р. 1961 год)

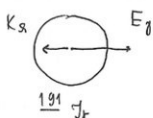
закон. в резонансной посылке собственного излучения
излучающего ядра



$$\Delta E \cdot \Delta t \sim \hbar \quad \Gamma \cdot \tau \sim \hbar$$

$$\Gamma \sim \frac{\hbar}{\tau} = \frac{10^{-27}}{10^{-10} \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}} \sim 5 \cdot 10^{-6} \text{ эВ}$$

Мирно упрощ (энергетическая шир. ур.)
есть шир. ур.
разреш по энергии гамма соот.



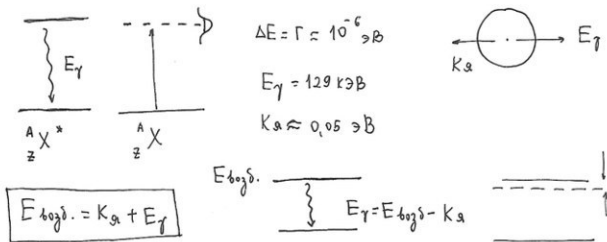
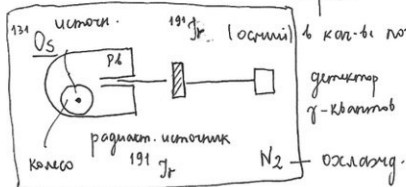
$$K_a = \frac{E_{\text{бод.}}^2}{2 M_a \cdot c^2} \approx 0,05 \text{ эВ}, \text{ а естествен. шир. ур. } 5 \cdot 10^{-6} \text{ эВ}$$

т.о. резонансная посылка гамма не может

при изл. мез-х эт. здрог отгари | здрог впротренио в ринитозу
мез. меза) → здрог отгари передается этой ринитозе

$$K_p = \frac{E_{\text{bos}}^2}{2 M_p \cdot c^2} \ll 1$$

Эфр. Мисдоуэра - резонансные помехи. Собст. измр.


$$K_a = \frac{E^2}{2 M_a c^2} \quad K_{\text{perm}} = \frac{E^2}{2 M_{\text{perm}} c^2} \ll K_a \text{ (longu)} \quad \text{---}$$


- 1) Корн. мени. како емаин
- 2) како емаин (то емаин. го мени. атом)
- 3) како глуми.

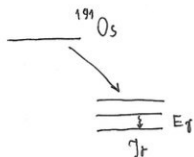
Эпп. Донгпа $E_\gamma = h\nu_0 = h\nu \left[1 \pm \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1-\beta \cdot \cos \varphi} \right]$

относ. скорость β

Один из способов измерения естеств. шир. ур.
и гск-ва пр. на испр. Таиз. $\Delta E \cdot \Gamma \approx \hbar$

Зная ΔE , определяем Γ

^{199}Os испит. β радиоак $\rightarrow$ образуется радиоакт. исп. Ir



35. Проверка ОТО. Измерение красного и синего смещения в лоб. укл.

Тарбард, Редка

$$E_\gamma = h\nu$$

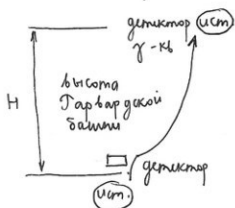
$$E_\gamma = m_\gamma c^2$$

гравит. потенциал. поля

гравит. масса

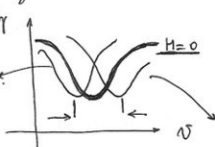
$$\Delta E_\gamma = m_\gamma g H$$

$$g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad H = 22,6 \text{ м}$$



наб- при низк. темп. x и исп. и детектор

N_γ
кривая обн.
с тв.р.м.т.
(грав.)
(исп.)



резонансная кривая
наблюдается min
 ν (исп.)
(грав.)

γ -кб. кот. промел 22,6 м замораживается, его эспр. $\downarrow$

$$\Delta E_\gamma = \frac{E_\gamma}{c^2} g H$$

$$\frac{\Delta E_\gamma}{E_\gamma} = \frac{g H}{c^2} = \frac{9,8 \cdot 22,6}{(3 \cdot 10^8)^2} \approx 10^{-16}$$

относит. титность

источник и детектор помещены вертикально

36. Оболочечная модель ядра. Обоснование модели

A.

аналогия

Атом

1. наличие центр. поля



2. не взаимодейств. э

3. пр-н запрета Паули

теоретическое

обоснование модели

Ядро

1. нет центр. поля / нет



2. $E \sim 8 \text{ МэВ}$ эн. связи / нет

3. /га



самостоятельный
не зависящий от вр.
потенциал



погодно
ли
энергия
Ферми

уровни

для n, p с соответств. заполнением

нулевой пач. в потенц. яме

энергия Ферми - тах энр. заполнения

Взаимодействуют ли нуклоны между собой?

Б - эксперимент.

наличие химических тел

1) Наличие осодо уст. ядер: ${}^4_2\text{He}$, ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{40}_{20}\text{Ca}$, ${}^{50}_{20}\text{Sn}$, ${}^{82}_{34}\text{Pb}$

2) Наличие химическ. тел

2, 8, 20, (28), 50, 82, 126

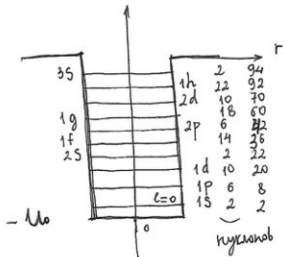
3) Объясн. ${}^{13}_6\text{C}_7$

4) Объясн. γ -излучения

40% бел-то
Земли сост.
из кислорода

Потенциал прамур. яви

$$\frac{\partial^2 R_{nl}}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial R_{nl}}{\partial r} + \frac{2\mu}{\hbar^2} [E_{nl} - U(r) - \frac{l(l+1)\hbar^2}{2\mu r^2}] R_{nl} = 0$$



$$U(r) = U_0$$

n - число узлов в.ф

$R_{n,l}$ - в.ф. нуклона

l - орбит. кв. число

μ - приведенная масса нуклона

$E_{n,l}$ - энергия уровня, кот. мы ищем.
(нуклона находя. на данном уровне)

гран. условия

$$U(r) = -U_0, \quad r \leq R_a$$

$$U(r) = 0, \quad r > R_a$$

$$2(2l+1)$$

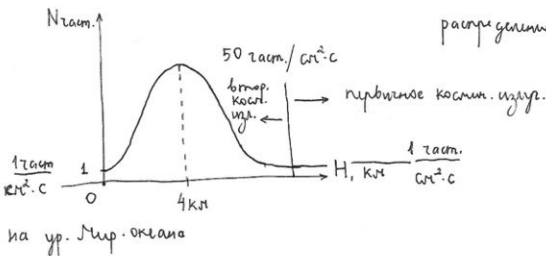
Кол-во нуклонов на дан. уровне

37. Ядерные реакции

21.05.12. (перепишем первые 45 мин.)

38. Св-ва космич. излуч

распределение частоты с высотой



I. Состав перв. космич. излуч.

p - 92%

α - 7%

ядра с $Z=3 \div 8$ - 0,1%

более тяж. ядра - 10^{-2}

$e \sim 1\%$

1) Кол-во ядер с $Z=3 \div 8$ в 10^5 больше

в косм. излуч. по ср. с соот. Земли

2) отношение $\frac{^3\text{He}}{^4\text{He}}$ в 300 раз

больше по ср. с Землей

Космич. излуч. образуется в рез-те фотонитации (деления)

более тяж. ядер

Ист. перв. космич. излуч. это вспышка сверхновых звезд

if масса звезды < 4 масс Солнца - она затухает, образ. белый карлик

масса звезды > 4 масс Солнца $\rightarrow$ гравитационный коллапс (высвобождение энергии), может произойти 2 явления:

1) образование нейтронной звезды с сбросом оболочки $\rightarrow$ сверхнов. зв.

2) выстрел кометы (прокалывает гравитацион. радиус) $\rightarrow$ образ.

тихая умира

Эволюция звезд:

1) $M_{\text{зв.}} < 4 M_{\odot}$ образ. белый карлик

2) $M_{\text{зв.}} > 4 M_{\odot}$ гравитационный коллапс гравитационный радиус

$$R_{\text{гр.}} = \frac{2 M_{\text{зв.}} \cdot G}{c^2}$$

1-ое явление: разогрев внутр. части звезды до температур с

$T_{\text{зв.}} \gg 10^9 \text{ K} \rightarrow$ процесс сброса оболочки, образ. сверхновой звезды.

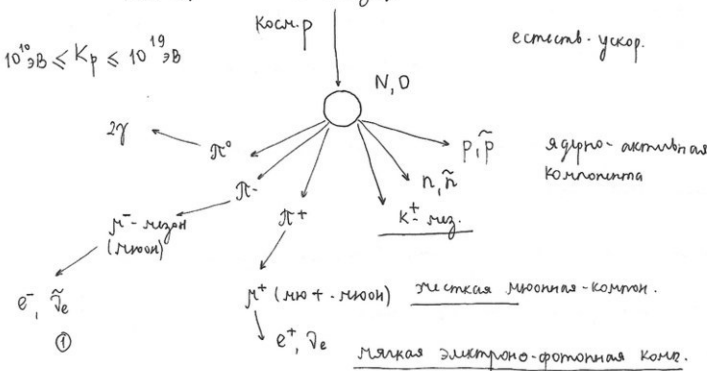
2-ое явление: $R_{\text{зв.}} < R_{\text{гр.}}$ (выступ. схлопывание) образ. черная дыра

$R_{\text{гр.}} \text{ солнца} = 3 \text{ км}$

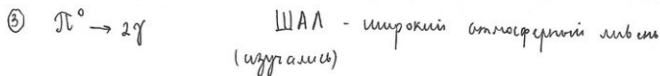
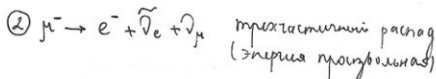
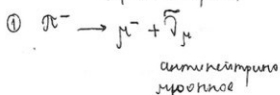
$R_{\text{гр.}} \text{ Земли} = 0,9 \text{ см}$

высвобождение сверхнов.
зв. $\rightarrow$ пульс.
космич. излучение

II. Вторичное космич. излуч.



(фикс энергии)



39. Пять взаимодействий и клас. элемент. частиц

тип взаимог.	велич. const взаимог.	расстояние (см)	сечение взаимог. (см ²)	время взаимог. (с)	переносчик взаимог.
ядерное	$g_A = 1$	10^{-13}	10^{-24} 1 бар	10^{-22} с	π -мезоны ($s=0$) нуклоны ($s=0$)
электро- магнитное	10^{-2}	10^{-8}	10^{-15}	10^{-15}	ф/т квант
слабое	10^{-13}	$< 10^{-13}$	10^{-44}	10^{-10}	векторный W-бозон
гравитацион.	10^{-38}	большое	-	-	гравитон ($s=0$)

Классификация элемент. частиц

3 семейства:

- фотоны - э/м взаимог.
- лептоны - э/м и слабое вз.
- адроны - э/м и сильное

лептоны: $e^{\pm}, \nu_e, \mu^{\pm}, \tau^{\pm}, \nu_{\mu}, \nu_{\tau}$

адроны: 2 класса: мезоны и барионы

π^+, π^0, π^- $p, n, \Sigma^{\pm}$ (античастица)
 K^+, K^-, K^0 - гиперон

Слева номер билета, справа страница.

I Исторические модели структуры ядра.

- 1) Протонно-электронная модель ядра. 1
- 2) Азотная катастрофа. 2
- 3) Опыты Боте и Беккера. Открытие электрона Чадвиком. 3
- 4) Ядерные взаимодействия. Потенциал Юкавы. 4
- 5) Обменный характер ядерных сил. 5
- *сбой нумерации, две страницы №5*
- 6) Масштаб энергий, расстояний и времени в яд. физике. 6

II Общие (статич.) свойства ядер.

- 7) Классификация ядер. Заряд и методы эксперим. определения. 6
- 8) Масса ядра. Эксперимент. методы ее изменения. 7
- 8) *окончание 8ого вопроса* 8
- 9) Масса нейтрона. Эксперимент. методы ее определения. 8
- 10) Энергия связи ядра. Зависимость удельной энерг. св от A (масс числа). 9
- 11) Капельная модель ядра. Полуэмпирическая формула Вейцзеккера для вычисления энергии связи ядра. 10
- 11б) Полуэмпирическая формула. 11
- 12) Определение стабильного изобара ($A=\text{const}$). 12
- 13) Радиус ядра. Эксперимент. методы его определения. 12
- 13) *продолжение* 13
- 14) Рассеяние релятивист электронов (Хофштадер). 13
- 14б) Распределение заряда в нуклонах (p, n). 14
- 15) Магнетизм атомов. 14
- 16) Спин и магнитный момент ядра. Сверхтонкое расщепление спектральных линий. 15
- Энергия сверхтонкого расщепления 16
- 17) Магнитный момент нуклона. Систематика магн мом и спинов ядер. 17
- 18) эксперимент. методы определ магн моментов ядер. 18
- 18а) Метод Штерна-Герлаха. 18
- 18б) Метод Раби, высокочастотный метод, метод магнитного резонанса. 18
- 19) Четность волновых функций ядер. 20
- 20) Распределение заряда в ядре. Квадрат. момент ядра. 21

III Радиоактивность ядер. 24

- 22) альфа-распад. Энергия распада. 25
- 23) Альфа-распад. Механизм, туннельный эффект и закон Гейгера-Неттола. 26
- 24) Бета-превращение ядер. Три вида бета-распада. 28
- 25) Механизм бета-превращений. Примеры. 29
- 26) Характер бета-спектров. Гипотеза нейтрино. 30
- 27) 3-н сохранения. Частицы и анти-частицы. 31
- 28) Экспериментальное определение массы нейтрино. 32
- 29) Прямые доказательства существования нейтрино. 33
- 30) Понятие о механизме бета-превращений. 34
- 31) Не сохранение четности при бета-превращении. 35
- 32) Гамма-излучение ядер. Законы сохранения. 36
- Закон сохранения момента импульса и четность. 38
- 33) Явление внутренней конверсии гамма-лучей. 39
- 34) Эффект Мессбауера. 40
- 35) Проверка ОТО. Измерение красного и синего смещения в лоб. усл. 42
- 36) Оболочечная модель ядра. Обоснование модели. 43
- Состав непр. космич. излучения. 45
- Эволюция звезд. 46
- Вторичное космическое излучение. 46
- 39) Типы взаимодействий и клас. элемент. частиц. 47