

Министерство образования и науки Республики Казахстан
ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Д. СЕРИКБАЕВА

Л.Б. Баятанова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СЕМИНАРСКИХ
РАБОТ ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ И ФИЗИКЕ
ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ**

для студентов специальности 6В05301 -Техническая физика

Усть-Каменогорск
2020

УДК 530

Баятанова Л.Б. Методические указания для семинарских работ по ядерной физике и физике элементарных частиц для студентов специальности 6В05301 - Техническая физика / Л.Б. Баятанова / ВКТУ. - Усть-Каменогорск, 2020. - 35 с.

Методическое указание содержит материалы для семинарских работ .

Утверждено методическим советом факультета базовой инженерной подготовки
Протокол № ____ от _____ 2020г.

© Издательство ВКТУ
им. Д. Серикбаева, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

1 Состав атомных ядер.....	4
2 Пример решения задачи.....	4
3 Задачи для практики.....	5
4 Энергия связи ядра.....	5
5 Пример решения задачи.....	6
6 Задачи для практики.....	6
7 Ядерные силы.....	7
8 Пример решения задачи.....	8
9 Задачи для практики.....	8
10 Радиоактивность. Закон радиоактивности.....	9
11 Пример решения задачи.....	9
12 Задачи для практики.....	10
13 α -распад ядер β -распад ядер. γ -распад ядер.....	11
14 Пример решения задачи.....	12
15 Задачи для практики.....	12
16 Законы сохранения в ядерных реакциях.....	13
17 Пример решения задачи.....	14
18 Задачи для практики.....	14
19 Ядерные реакции.....	15
20 Пример решения задачи.....	15
21 Задачи для практики.....	15
22 Список литературы.....	17

1 СОСТАВ АТОМНЫХ ЯДЕР

Для изучения взаимодействия между частицами приходится разгонять их до релятивистских скоростей, поэтому приходится учитывать релятивистский эффект, т.е. пользоваться следующими формулами:

$$E = mc^2 = m(v)c^2 \quad (1)$$

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (2)$$

где m_0 - масса покоя частицы.

В настоящее время используется другой подход. Считается, что от скорости зависит энергия частицы, а не масса, т.е.

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad E = E(v). \quad (3)$$

$$T = E - E_0 = m(v)c^2 - m_0 c^2 = (m - m_0)c^2. \quad (4)$$

Из-за наличия протона и нейтрона атомные ядра получили определенные символы для обозначения:

Z - число протонов, N - число нейтронов,

Массовое число:

$$A = Z + N \quad (5)$$

2 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Каков состав атома фтора ${}^{19}_9F$?

Дано:	Решение:
Атом ${}^{19}_9F$	1) Число электронов в атоме (оно совпадает с порядковым номером элемента) $Z = 9$;
Определить состав атома.	2) общее число частиц в ядре 19 (оно совпадает с массовым числом): $A = 19$;
	3) число протонов в ядре (совпадает с числом электронов в атоме): $Z = 9$;
	4) число нейтронов в ядре:

$$\left| \begin{array}{l} N = A - Z = 19 - 9 = 10. \\ \text{Ответ: } Z=9; A=19; N=10 \end{array} \right.$$

3 ЗАДАЧИ ДЛЯ ПРАКТИКИ

3.1. Определить состав ядра ${}_{14}^{30}\text{Si}$?

3.2. Определить состав ядра ${}_{20}^{40}\text{Ca}$?

3.3. Определить состав ядра ${}_{27}^{56}\text{Co}$?

3.4. Определить состав ядра ${}_{29}^{63}\text{Cu}$?

3.5. Определить состав ядра ${}_{48}^{112}\text{Cd}$?

3.6. Определить состав ядра ${}_{80}^{220}\text{Hg}$?

3.7. Определить состав ядра ${}_{92}^{235}\text{U}$?

3.8. Определить состав ядра ${}_{38}^{90}\text{Sr}$?

3.9. Определить состав ядра ${}_{92}^{238}\text{U}$?

3.10. Определить состав ядра ${}_{84}^{210}\text{Po}$?

4 ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ ЯДРА

Энергия всех масс связи: (массы выражены в единицах энергии)

$$E_1 = \sum_{i=1}^A m_i, \quad (6)$$

После объединения нуклонов в ядро массой M полная энергия: $E_2 = M$, изменение энергии системы:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = M - \sum_{i=1}^A m_i \quad (7)$$

Система координат, начало которой находится в точке центра инерции ядра, называется системой центра инерции (СЦИ). В СЦИ полная энергия E системы нуклонов, связанных в ядро массой M_0 , будет равна:

$$E = M_0 \quad (8)$$

Полная энергия отдельного нуклона в СЦИ, совершающего движение в пределах ядра, равна сумме массы покоя нуклона m_0 и его кинетической энергии T_i :

$$\varepsilon_i = m_{0i} + T_i \quad (9)$$

Полная энергия системы взаимодействующих нуклонов равна:

$$E = \sum_{i=1}^A \varepsilon_i + U, \quad (10)$$

где U - суммарная потенциальная энергия нуклонов в ядре

$$M_0 = \sum_{i=1}^A m_{0i} + \sum_{i=1}^A T_i + U \quad (11)$$

Из определения энергии связи:

$$\Delta W = - \left(\sum_{i=1}^A T_i + U \right) \quad (12)$$

Масса ядра и его устойчивость определяются тем, насколько величина энергии притяжения между нуклонами превышает суммарную кинетическую энергию движения нуклонов в ядре.

Полная энергия связи (в энергетических единицах):

$$\Delta W(A, Z) = Zm_p + (A - Z)m_n - M(A, Z) \quad (13)$$

1. Удельная энергия связи $\bar{\varepsilon}$ быстро возрастает при малых A , и уже для ядер с $A > 12$ имеет примерно постоянное значение, близкое к 8 МэВ/нуклон, т.е.

$$\Delta W \approx \bar{\varepsilon} A \quad (14)$$

5 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Вычислить энергию связи ядра лития ${}^6_3\text{Li}$? ($m_p = 1,00728 \text{ а.е.м}$; $m_n = 1,00866 \text{ а.е.м}$; $m_{\text{я}} = 6,01513 \text{ а.е.м}$)

Дано:

Элемент- ${}^6_3\text{Li}$

$$m_p = 1,00728 \text{ а.е.м}$$

$$m_n = 1,00866 \text{ а.е.м}$$

$$m_{\text{я}} = 6,01513 \text{ а.е.м}$$

$E_{\text{св}} - ?$

Решение:

Из символической записи изотопа лития видно, что $A=6$ и $Z=3$, т.е. в ядре изотопа лития 6 нуклонов, из них 3 протона и 3 нейтрона ($N=A-Z=6-3=3$).

Подставим значения A и Z в выражение энергии связи:

$$E_{\text{св}} = (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{я}}) \cdot c^2$$

$$\begin{aligned} E_{\text{св}} &= (3 \cdot 1,00728 + (6 - 3) \cdot 1,00866 - 6,01513) \cdot 931,5 = \\ &= 0,33 \text{ а.е.м} \cdot 931,5 = 30,74 \text{ МэВ} \end{aligned}$$

Ответ: $E_{\text{св}} = 30,74 \text{ МэВ}$

- 6.1. Определить полную энергию связи ядра ${}^{13}_7N$?
- 6.2. Определить полную энергию связи ядра 6_3Li ?
- 6.3. Определить полную энергию связи ядра 3_2He ?
- 6.4. Определить полную энергию связи ядра 7_4Be ?
- 6.5. Определить полную энергию связи ядра ${}^{10}_5B$?
- 6.6. Определить полную энергию связи ядра ${}^{16}_8O$?
- 6.7. Определить полную энергию связи ядра ${}^{12}_6C$?
- 6.8. Определить полную энергию связи ядра ${}^{19}_9F$?
- 6.9. Определить полную энергию связи ядра ${}^{23}_{11}Na$?
- 6.10. Определить полную энергию связи ядра ${}^{27}_{13}Al$?

7 ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ

Функции $U(r)$ представляют собой энергию взаимодействия между протоном и ядром. За границами ядра существует только кулоновское отталкивание, энергия которого равна

$$U_k = \frac{Zze^2}{r} \quad (15)$$

где Z – заряд ядра, z - заряд налетающей частицы.

Зеркальными называются ядра изобарой, количество протонов в одном из которых равно количеству нейтронов в другом и наоборот. В зеркальных ядрах число $(p - n)$ связей остается постоянным, а $(p - p)$ связи заменены на $(n - n)$ связи. Энергии основных состояний у них сдвинуты друг относительно друга на величину разности $\Delta U_{кул}$ кулоновской энергии ядер и разность масс нуклонов $\Delta m_{нук}$ ($m_n > m_p$)

$$\Delta E = \Delta U_{кул} - \Delta m_{нук} \quad (16)$$

соответствующие уровни энергии таких ядер (энергетические спектры ядер) очень близки, а спины и четности уровней совпадают.

Превращение сопровождается нарушением закона сохранения энергии:

$$m_e c^2 < m_e c^2 + \varepsilon, \quad (17)$$

Энергия виртуального фотона:

$$\varepsilon = \hbar\omega, \quad (18)$$

Квантово механическое соотношение неопределенностей:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar, \quad (19)$$

8 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Определить радиус ядра ${}_{47}^{108}\text{Ag}$?

<p><i>Дано:</i></p> <p>${}_{47}^{108}\text{Ag}$</p> <p>$r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$</p> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> <p>$r = ?$</p>	<p><i>Решение:</i></p> <p>$A=108$</p> <p>$r = r_0 - A^{\frac{1}{3}}$</p> <p>$r = 1,2 \cdot 10^{-15} - 108^{\frac{1}{3}} = 5,71 \cdot 10^{-15}$</p> <p><i>Ответ: 5,71 фм</i></p>
---	--

9 ЗАДАЧИ ДЛЯ ПРАКТИКИ

- 9.1. Определить радиус ядра ${}_{10}^{20}\text{Ne}$ ($r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$)
- 9.2. Определить радиус ядра ${}_{11}^{23}\text{Na}$ ($r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$)
- 9.3. Определить радиус ядра ${}_{13}^{28}\text{Al}$ ($r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$)
- 9.4. Определить радиус ядра ${}_{14}^{28}\text{Si}$ ($r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$)
- 9.5. Определить радиус ядра ${}_{27}^{59}\text{Co}$ ($r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$)
- 9.6. Определить радиус ядра ${}_{29}^{60}\text{Ni}$ ($r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$)
- 9.7. Определить радиус ядра ${}_{54}^{131}\text{Xe}$ ($r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$)
- 9.8. Определить радиус ядра ${}_{92}^{235}\text{U}$ ($r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$)
- 9.9. Определить радиус ядра ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ ($r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$)
- 9.10. Определить радиус ядра ${}_{15}^{31}\text{P}$ ($r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ м}$)

10 РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЗАКОН РАДИОАКТИВНОСТИ

Радиоактивность - это стабилизированный процесс самопроизвольного, спонтанного прерращения ядер одного сорта в другие ядра и частицы:



Переход от одного элемента к другому в пределах семейства может быть описан правилом смещения:

$$A = 4n + C \quad (21)$$

C - постоянная для данного семейства величина.

Период полураспада $T_{1/2}$ - определяет время, за которое первоначальное количество ядер N 0 должно уменьшиться в два раза.

$$\frac{N(t = T_{1/2})}{N_0} = \exp(-\lambda T_{1/2}) = \frac{1}{2}, \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (22)$$

Активность A – среднее число ядер в образце, испытавших радиоактивный распад за единицу времени.

$$A(t) = \frac{dN_d(t)}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (23)$$

$$A(t) = \lambda N(t), \quad (24)$$

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}, \quad (25)$$

Единицей измерения активности в СИ служит беккерель (Бк), 1 Бк = 1 распад/с.

11 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Сколько ядер, содержащихся в 1 г трития ${}^3_1\text{H}$, распадается за среднее время жизни этого изотопа?

<p>Дано:</p> ${}^3_1\text{H}$ $m = 1\text{г}$ $T_{cp} = ?$	<p>Решение:</p> <p>Согласно закону радиоактивного распада</p> $N = N_0 e^{-\lambda t}$ <p>Среднее время жизни τ радиоактивного изотопа есть величина, обратная постоянной распада</p> $\tau = 1/\lambda$ <p>По условию задачи $t = \tau$. Подставляя в вместо t значение τ, получим</p> $N = N_0 / e$ <p>Число распавшихся атомов за время $t = \tau$ равно</p> $N' = N_0 - N = N_0(1 - 1/e)$
--	--

Найдем число атомов N_0 , содержащихся в массе $m = 1$ г изотопа ${}^3_1\text{H}$:

$$N_0 = (m/M) \cdot N_A$$

где $M = 3 \times 10^{-3}$ кг/моль – молярная масса изотопа ${}^3_1\text{H}$, N_A – число Авогадро.

С учетом выражение примет вид

$$N_0 = (m/M) \cdot N_A(1 - 1/e)$$

Подставляя в числовые значения, получим

$$N_0 = [10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} / (3 \cdot 10^{-3})] \cdot (1 - 1/2,72) = 1,27 \cdot 10^{23}$$

Ответ: $N_0 = 1,27 \times 10^{23}$.

12 ЗАДАЧИ ДЛЯ ПРАКТИКИ

- 12.1. Сколько атомов распадается в 1г лития ${}^6_3\text{Li}$ ($\mu = 6,01521$ г/моль) за среднее время жизни этого изотопа?
- 12.2. Сколько атомов распадается в 1г трития ${}^3_1\text{H}$ за одну треть среднего времени жизни этого изотопа
- 12.3. Сколько атомов распадается в 1г трития ${}^3_1\text{H}$ за одну четвертую среднего времени жизни этого изотопа?
- 12.4. Сколько атомов распадается в 1г гелия ${}^4_2\text{He}$ ($\mu = 4,00260$ г/моль) за среднее время жизни этого изотопа?
- 12.5. Сколько атомов распадается в 1г гелия ${}^4_2\text{He}$ ($\mu = 4,00260$ г/моль) за одну треть среднего времени жизни этого изотопа?
- 12.6. Сколько атомов распадается в 1г гелия ${}^4_2\text{He}$ ($\mu = 4,00260$ г/моль) за одну четвертую среднего времени жизни этого изотопа?
- 12.7. Сколько атомов распадается в 1г трития ${}^3_1\text{H}$ за среднее время жизни этого изотопа
- 12.8. Сколько атомов распадается в 1г лития ${}^6_3\text{Li}$ ($\mu = 6,01521$ г/моль) за одну треть среднего времени жизни этого изотопа?
- 12.9. Сколько атомов распадается в 1г лития ${}^6_3\text{Li}$ ($\mu = 6,01521$ г/моль) за одну четвертую среднего времени жизни?
- 12.10. Сколько атомов распадается в 1г азота ${}^{14}_7\text{N}$ ($\mu = 14,00307$ г/моль) за среднее время жизни этого изотопа?
- 12.11. Какова активность ${}^{238}_{92}\text{U}$ массой 1 кг ($T = 4,2 \cdot 10^9$ лет)
- 12.12. Какова активность ${}^{24}_{11}\text{Na}$ массой 1 кг ($T = 15,3$ час)

- 12.13. Какова активность ${}^{192}_{77}\text{Ir}$ массой 1 кг ($T = 75\text{сут}$)
- 12.14. Какова активность ${}^{45}_{20}\text{Ca}$ массой 1 кг ($T = 164\text{сут}$)
- 12.15. Какова активность ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ массой 1 кг ($T = 5,02\text{сут}$)
- 12.16. Какова активность ${}^{210}_{84}\text{Po}$ массой 1 кг ($T = 138\text{сут}$)
- 12.17. Какова активность ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ массой 1 кг ($T = 1600\text{лет}$)
- 12.18. Какова активность ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ массой 1 кг ($T = 3,82\text{сут}$)
- 12.19. Какова активность ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ массой 1 кг ($T = 28\text{лет}$)
- 12.20. Какова активность ${}^{232}_{90}\text{Th}$ массой 1 кг ($T = 1,39 \cdot 10^{11}\text{лет}$)

13 α -РАСПАД ЯДЕР β -РАСПАД ЯДЕР. γ -РАСПАД ЯДЕР

Альфа-распадом (α -распадом) называется процесс спонтанного изменения ядра, в результате которого возникает свободная α -частица (ядро нуклида ${}^4_2\text{He}$). Символическая запись α -распада имеет вид:

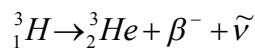


α -распад характерен для тяжелых нуклидов, у ядер которых с ростом массового числа A наблюдается уменьшение удельной энергии связи.

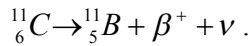
Бета-распад (β -распад) является спонтанным процессом преобразования ядра, в результате которого ядро изменяет свой заряд на $\Delta Z = \pm 1$, сохраняя при этом неизменное число нуклонов A (массовое число). В некоторых случаях образуются свободные β -частицы (электрон β^- или позитрон β^+) или перестает существовать один из электронов («захват» ядром электрона из электронной оболочки) соответствующего атома. Свойства электрона и позитрона тождественны, за исключением знака электрического заряда. Потоки образующихся β -частиц называются β -излучением.

β -распад – самый распространенный вид радиоактивных превращений ядер в природе. В отличие от α -распада, который наблюдается исключительно у тяжелых ядер, β -распаду подвержены ядра практически во всей области значений массового числа A , начиная от единицы (свободный нейтрон) и заканчивая массовыми числами самых тяжелых ядер.

Электронный (β^- - распад):



Позитронный (β^+ - распад):



3. e-захват (или к-захват - по обозначению электронной оболочки)



Гамма излучение (γ -излучение) - испускание кванта электромагнитного излучения при спонтанном переходе ядра с более высокого энергетического уровня на любой нижележащий.

Энергия гамма-кванта определяется разностью энергий уровней, между которыми происходит переход:

$$E = \hbar\omega = E_i - E_j, \quad i > j \quad (30)$$

В соответствии с законами сохранения энергии и импульса:

$$\begin{aligned} E &= E_\gamma + T_{яд}, \\ 0 &= \vec{P}_\gamma + \vec{P}_{яд}, \\ T_{яд} &= \frac{E_\gamma^2}{2M_{яд}c^2} \approx \frac{E^2}{2M_{яд}c^2}. \end{aligned} \quad (31)$$

14 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Определить состав ядра элемента, образовавшегося в результате альфа-распада ядра ${}^{226}_{88}Ra$

<p>Дано:</p> <p>${}^{226}_{88}Ra$</p> <p>α-распад ядер</p> <hr/> <p>X-?</p>	<p>Решение:</p> <p>${}^{226}_{88}Ra \rightarrow X + {}^4_2\alpha$</p> <p>$A = 226 - 4 = 222$</p> <p>$Z = 88 - 2 = 86$</p> <p>Ответ: ${}^{222}_{86}X \rightarrow {}^{222}_{86}Rn$ (радон)</p>
--	--

15 ЗАДАЧИ ДЛЯ ПРАКТИКИ

15.1. Определить состав ядра элемента, образовавшегося в результате альфа-распада ядра ${}^{238}_{92}U$

15.2. Определить состав ядра элемента, образовавшегося в результате альфа-распада ядра ${}^{232}_{90}Th$

15.3. Определить состав ядра элемента, образовавшегося в результате альфа-распада ядра ${}^{226}_{88}Ra$

- 15.4. Определить состав ядра элемента, образовавшегося в результате альфа-распада ядра ${}_{86}^{222}\text{Rn}$
- 15.5. Определить состав ядра элемента, образовавшегося в результате альфа-распада ядра ${}_{84}^{210}\text{Po}$
- 15.6. Определить состав ядра элемента, образовавшегося в результате бета-распада ядра ${}_{20}^{45}\text{Ca}$
- 15.7. Определить состав ядра элемента, образовавшегося в результате бета-распада ядра ${}_{11}^{24}\text{Na}$
- 15.8. Определить состав ядра элемента, образовавшегося в результате бета-распада ядра ${}_{38}^{90}\text{Sr}$
- 15.9. Определить состав ядра элемента, образовавшегося в результате позитронного бета-распада ядра ${}_{7}^{13}\text{N}$
- 15.10. Определить состав ядра элемента, образовавшегося в результате бета-распада ядра ${}_{1}^3\text{H}$

16 ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ

Закон сохранения энергии для ядерной реакции:

$$E_{01} + T_1 + U_1 = E_{02} + T_2 + U_2. \quad (32)$$

Закон сохранения импульса в ядерной реакции:

$$\vec{P}_1 = \vec{P}_2 \quad (33)$$

Полный импульс системы частиц до реакции равен полному импульсу частиц, возникших в результате реакции

$$\vec{P}_a + \vec{P}_A = \vec{P}_B + \vec{P}_b \quad (34)$$

сохраняется и полный момент, состоящий из суммы относительного, то есть орбитального момента движения каждой из частиц относительно центра инерции системы и собственных моментов частиц (спинов).

$$\vec{l}_{aA} + \vec{I}_a + \vec{I}_A = \vec{l}_{Bb} + \vec{I}_B + \vec{I}_b \quad (35)$$

Закон сохранения четности в ядерной реакции:

$$P_0 P_A (-1)^{l_{aA}} = P_b P_B (-1)^{l_{Bb}} \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \quad (36)$$

17 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Какую минимальную кинетическую энергию в лабораторной системе T_{\min} должен иметь нейтрон, чтобы стала возможной реакция $^{16}\text{O}(n,\alpha)^{13}\text{C}$?

Дано:	Решение:
$^{16}\text{O}(n,\alpha)^{13}\text{C}$	Минимальная энергия, при которой возможна реакция, равна порогу реакции. Вычислим энергию реакции: $Q = 8,071 - 4,737 - 2,424 - 3,125 = -2,215 \text{ МэВ}$
$T_{\min} = ?$	Для вычисления пороговой энергии $T_{\text{пор}}$ используем нерелятивистское приближение $T_{\text{пор}} \cong Q \left(1 + \frac{m_a}{m_A} \right)$ $T_{\min} = T_{\text{пор}} = 2,215(1 + 1/17) = 2,35 \text{ МэВ}$ Ответ: $T_{\min} = 2,35 \text{ МэВ}$

18 ЗАДАЧИ ДЛЯ ПРАКТИКИ

- 18.1. Определить порог $E_{\text{пор}}$ реакции фоторасщепления $^{12}\text{C}: \gamma + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{C} + n$.
- 18.2. Определить пороги реакций: $^7\text{Li}(p,\alpha)^4\text{He}$ и $^7\text{Li}(p,\gamma)^8\text{Be}$.
- 18.3. Идентифицировать частицу X и рассчитать энергии реакции Q в реакции $^7\text{Li} + X \rightarrow ^7\text{Be} + n$
- 18.4. Какую минимальную энергию T_{\min} должен иметь дейтрон, чтобы в результате неупругого рассеяния на ядре ^{10}B возбудить состояние с энергией $E_{\text{возб}} = 1.75 \text{ МэВ}$?
- 18.5. Ядро ^7Li захватывает медленный нейтрон и испускает γ -квант. Чему равна энергия γ -кванта
- 18.6. Мишень из естественной смеси изотопов бора бомбардируется протонами. После окончания облучения детектор β -частиц зарегистрировал активность 100 Бк. Через 40 мин активность образца снизилась до ~ 25 Бк. Каков источник активности? Какая ядерная реакция происходит?
- 18.7. Используя импульсную диаграмму, получить связь между углами вылета частиц в лабораторной системе координат и в системе центра инерции.
- 18.8. При каких относительных орбитальных моментах количества движения протона возможна ядерная реакция $p + ^7\text{Li} \rightarrow ^8\text{Be}^* \rightarrow \alpha + \alpha$?
- 18.9. Ядро ^{12}C поглощает γ -квант, в результате чего вылетает протон с орбитальным моментом $l = 1$. Определить мультипольность поглощенного γ -кванта, если конечное ядро образуется в основном состоянии?

18.10. Можно ли в реакции неупругого рассеяния дейтронов на ядре ^{10}B возбудить состояние с характеристиками $J^P = 2^+$, $I = 1$?

19 ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Само понятие элементарные частицы (ЭЧ) предполагало, что существуют первичные, неделимые частицы, которые составляют всю материю. В настоящий момент с достоверностью неизвестно, какие частицы действительно элементарные и существуют ли вообще ЭЧ в первоначальном смысле.

Период полураспада для ЭЧ

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{t \ln 2}{\ln(A_0 / A)} \quad (37)$$

20 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Мишень из натурального бора бомбардируется протонами. После окончания облучения детектор β -частиц зарегистрировал активность 100 Бк. Через 40 мин активность образца снизилась до ~ 25 Бк. Каков источник активности? Какая ядерная реакция происходит?

Дано:

$$A_0 = 100 \text{ Бк}$$

$$A = 25 \text{ Бк}$$

$$t = 40 \text{ мин}$$

Каков источник активности?

Какая ядерная реакция происходит?

Решение:

Активность меняется со временем по закону $A = A_0 e^{-\lambda t}$

Отсюда находим период полураспада

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{t \ln 2}{\ln(A_0 / A)} = \frac{40 \ln 2}{\ln(100 / 25)} = 20 \text{ мин}$$

Ответ: Такой период полураспада имеет ^{11}C , который образуется в реакции $^{11}\text{B}(p,n)^{11}\text{C}$.

21 ЗАДАЧИ ДЛЯ ПРАКТИКИ

- 21.1. С помощью реакции $^{32}\text{S}(\alpha,p)^{35}\text{Cl}$ исследуются низко лежащие возбужденные состояния ^{35}Cl (1.219; 1.763; 2.646; 2.694; 3.003; 3.163 МэВ). Какие из этих состояний будут возбуждаться на пучке α -частиц с энергией 5.0 МэВ? Определить энергии протонов, наблюдаемых в этой реакции под углами 0° и 90° при $E = 5.0$ МэВ. Используя импульсную диаграмму получить связь между углами в л.с. и с.ц.и.
- 21.2. Протон с кинетической энергией $T_a = 5$ МэВ налетает на ядро ^1H и упруго рассеивается на нем. Определить энергию T_B и угол рассеяния θ_B ядра отдачи ^1H , если угол рассеяния протона $\theta_p = 30^\circ$.
- 21.3. Для получения нейтронов широко используется реакция $t(d,n)\alpha$. Определить энергию нейтронов T_n , вылетающих под углом 90° в нейтронном генераторе, использующем дейтроны, ускоренные до энергии $T_d = 0.2$ МэВ.

- 21.4. Для получения нейтронов используется реакция ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$. Энергия протонов $T_p = 5$ МэВ. Для эксперимента необходимы нейтроны с энергией $T_n = 1.75$ МэВ. Под каким углом θ_n относительно направления протонного пучка будут вылетать нейтроны с такой энергией? Какой будет разброс энергий нейтронов ΔT , если их выделять с помощью коллиматора размером 1 см, расположенного на расстоянии 10 см от мишени.
- 21.5. Определить орбитальный момент трития l_t , образующегося в реакции ${}^{27}\text{Al}(\alpha,t){}^{28}\text{Si}$, если орбитальный момент налетающей α -частицы $l_\alpha = 0$.
- 21.6. При каких относительных орбитальных моментах количества движения протона возможна ядерная реакция $p + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^8\text{Be}^* \rightarrow \alpha + \alpha$?
- 21.7. С какими орбитальными моментами l_p могут вылетать протоны в реакции ${}^{12}\text{C}(\gamma,p){}^{11}\text{B}$, если: 1) конечное ядро образуется в основном состоянии, а поглотился E2- фотон; 2) конечное ядро образуется в состоянии $1/2^+$, а поглотился M1- фотон; 3) конечное ядро образуется в основном состоянии, а поглотился E1- фотон?
- 21.8. В результате поглощения ядром γ -кванта вылетает нейтрон с орбитальным моментом $l_n = 2$. Определить мультипольность γ -кванта, если конечное ядро образуется в основном состоянии.
- 21.9. Ядро ${}^{12}\text{C}$ поглощает γ -квант, в результате чего вылетает протон с орбитальным моментом $l = 1$. Определить мультипольность поглощенного γ -кванта, если конечное ядро образуется в основном состоянии?
- 21.10. Определить орбитальный момент дейтрона l_d в реакции подхвата ${}^{15}\text{N}(n,d){}^{14}\text{C}$, если орбитальный момент нейтрона $l_n = 0$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Тюрин Ю.И., Чернов И.П., Крючков Ю.Ю. Физика. Ч. 3. Оптика. Квантовая физика: учебное пособие для технических университетов. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2004. – 738 с.
- 2.Савельев И.В. Курс общей физики: в 5 кн.: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Кн. 5: учебное пособие для втузов. – М.: АСТ: Астрель, 2006. – 368 с.: ил.
- 3.Суханов А.Д., Голубева О.Н. Лекции по квантовой физике: учебное пособие. – М.: Высш. шк., 2006. – 300 с.: ил.
- 4.Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учебное пособие для втузов. – 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2002. – 718 с.
- 5.Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – Изд. 9-е, перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 560 с.
- 6.Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Метью. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 8, 9. Квантовая механика. Пер. с англ./ под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 3-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 528 с.
- 7.Сивухин Д.В. Общий курс физики: учебное пособие для вузов. В 5 т. Т V Атомная и ядерная физика. – 3-е изд., стер. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 784 с.