

## ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №2

### Задача № 1.

1. Покоившееся ядро радона  $^{220}\text{Rn}$  выбросило  $\alpha$ -частицу со скоростью  $v = 16$  Мм/с. В какое ядро превратилось ядро радона? Какую скорость  $v_1$  получило оно вследствие отдачи?

2. Покоящееся ядро  $^{213}\text{Po}$  испустило  $\alpha$ -частицу с кинетической энергией  $E_\alpha = 8,34$  МэВ. При этом дочернее ядро оказалось непосредственно в основном состоянии. Найти полную энергию, освобождаемую в этом процессе. Какую долю этой энергии составляет кинетическая энергия дочернего ядра? Какова скорость дочернего ядра?

3. Распад ядер нуклида  $^{210}\text{Po}$  происходит из основного состояния и сопровождается испусканием двух групп  $\alpha$ -частиц: основной с кинетической энергией 5,30 МэВ и слабой (по интенсивности) с кинетической энергией 4,50 МэВ. Найти энергию  $\alpha$ -распада этих ядер и энергию  $\gamma$ -квантов, испускаемых дочерними ядрами.

4. Распад ядер нуклида  $^{226}\text{Th}$  происходит из основного состояния и сопровождается испусканием  $\alpha$ -частиц с кинетическими энергиями 6,33, 6,23, 6,10 и 6,03 МэВ. Рассчитать и построить схему уровней дочернего ядра.

5. При распаде ядер нуклида  $^{212}\text{Po}$  испускаются четыре группы  $\alpha$ -частиц: основная с кинетической энергией  $E_0 = 8,780$  МэВ и длиннопробежные с кинетическими энергиями  $E_i = 9,492, 10,422$  и  $10,543$  МэВ. Рассчитать и построить схему уровней ядра нуклида  $^{212}\text{Po}$ , если известно, что дочерние ядра во всех случаях возникают непосредственно в основном состоянии.

6. Зная массу дочернего нуклида и энергию  $\beta$ -распада  $Q$ , найти массу нуклида:

а)  $^6\text{He}$ , испытывающего  $\beta^-$ -распад,  $Q = 3,50$  МэВ;

б)  $^{22}\text{Na}$ , испытывающего  $\beta^+$ -распад,  $Q = 1,82$  МэВ.

7. Вычислить энергию  $\gamma$ -квантов, сопровождающих  $\beta$ -распад ядер нуклида  $^{28}\text{Al}$  (рис. 7.2), если известна максимальная кинетическая энергия  $\beta$ -частиц.

8. Определить число гамма-квантов на один  $\beta$ -распад ядер нуклида  $^{38}\text{Cl}$  (рис. 7.3), если относительное число  $\beta$ -распадов с данным парциальным спектром  $\beta$ -частиц равно: 31% ( $\beta_1$ ), 16% ( $\beta_2$ ) и 53% ( $\beta_3$ ).

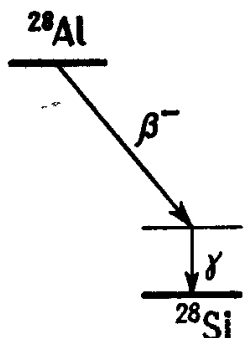


Рис. 7.2

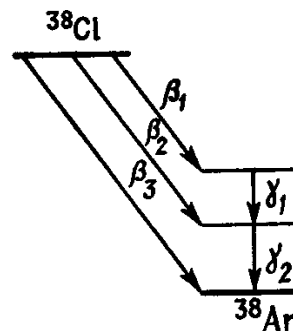


Рис. 7.3

9. При  $\beta$ -распаде ядер нуклида  $^{56}\text{Mn}$  из основного состояния испускаются три парциальных спектра  $\beta$ -частиц, максимальная кинетическая энергия которых 0,72, 1,05 и 2,86 МэВ. Сопровождающие распад  $\gamma$ -кванты имеют энергию 0,84, 1,81, 2,14, 2,65 и 2,98 МэВ. Рассчитать и построить схему уровней дочернего ядра.

10. Ядра нуклида  $^{37}\text{Ag}$  испытывают  $K$ -захват, в результате которого дочерние ядра оказываются непосредственно в основном состоянии. Пренебрегая энергией связи  $K$ -электрона, определить кинетическую энергию и скорость дочернего нуклида.

11. Найти энергию нейтрино при  $K$ -захвате в атомах  $^{131}\text{Cs}$ , если полная энергия, выделяющаяся в этом процессе, равна 355 кэВ. Энергия связи  $K$ -электрона в дочернем атоме 35 кэВ, причем дочернее ядро оказывается непосредственно в основном состоянии.

12.  $K$ -захват в атомах  $^7\text{Be}$  частично происходит через возбужденное состояние дочернего ядра, которое испускает при этом  $\gamma$ -квант с энергией 479 кэВ.

а) Определить кинетическую энергию дочернего ядра после испускания  $\gamma$ -кванта, если угол между направлениями движения нейтрино и ядра отдачи равен  $90^\circ$ .

б) Какова эта энергия в том случае, когда дочернее ядро возникает непосредственно в основном состоянии?

13. Найти с помощью табличных значений масс атомов максимальную кинетическую энергию  $\beta$ -частиц, испускаемых ядрами  $\text{Be}^{10}$ , и соответствующую кинети-

ческую энергию отдачи дочерних ядер, которые образуются непосредственно в основном состоянии.

14. Оценить количество тепла, выделенного за сутки в калориметре  $\beta^-$ -активным препаратом  $\text{Na}^{24}$ , масса которого  $m = 1,0$  мг. Считать, что  $\beta^-$ -частицы в среднем имеют кинетическую энергию, равную  $1/3$  максимально возможной при данном распаде. Период полураспада  $\text{Na}^{24}$   $T = 15$  ч.

15. Найти кинетическую энергию ядра отдачи при позитронном распаде ядра  $\text{N}^{13}$  в том случае, когда энергия позитрона максимальна.

### Задача №2.

1. Возбужденные ядра  $\text{Ag}^{109}$ , переходя в основное состояние, испускают или  $\gamma$ -кванты с энергией 87 кэВ, или конверсионные  $K$ -электроны (их энергия связи 26 кэВ). Определить скорость этих электронов.

2. Ядро углерода  $^{14}\text{C}$  выбросило отрицательно заряженную  $\beta^-$ -частицу и антинейтрино. Определить полную энергию  $Q$  бета-распада ядра, максимальную кинетическую энергию электрона и соответствующую кинетическую энергию ядра отдачи.

3. Неподвижное ядро кремния  $^{31}\text{Si}$  выбросило отрицательно заряженную  $\beta^-$ -частицу с кинетической энергией  $T = 0,5$  МэВ. Пренебрегая кинетической энергией ядра отдачи, определить кинетическую энергию  $T_1$  антинейтрино.

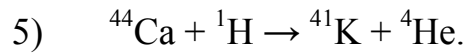
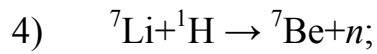
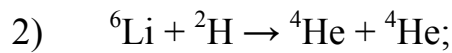
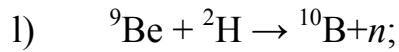
4. Определить энергию  $Q$  распада ядра углерода  $^{10}\text{C}$ , выбросившего позитрон и нейтрино.

5. Ядро атома азота  $^{13}\text{N}$  выбросило позитрон. Кинетическая энергия  $T_e$  позитрона равна 1 МэВ. Пренебрегая кинетической энергией ядра отдачи, определить кинетическую энергию  $T_\nu$  нейтрино, выброшенного вместе с позитроном.

6. Свободное покоившееся ядро  $\text{Ir}^{191}$  с энергией возбуждения  $E = 129$  кэВ перешло в основное состояние, испустив  $\gamma$ -квант. Вычислить относительное изменение энергии  $\gamma$ -кванта, возникающее в результате отдачи ядра.

7. С какой относительной скоростью должны сближаться источник и поглотитель, состоящие из свободных ядер  $\text{Ir}^{191}$ , чтобы наблюдалось максимальное поглощение  $\gamma$ -квантов с энергией  $\varepsilon = 129$  кэВ?

8. Определить энергию  $Q$  ядерных реакций:



Освобождается или поглощается энергия в каждой из указанных реакций?

9. Альфа-частица с кинетической энергией  $T_\alpha = 7,0$  МэВ упруго рассеялась на первоначально покоившемся ядре  $\text{Li}^6$ . Определить кинетическую энергию ядра отдачи, если угол между направлениями разлета обеих частиц  $\theta = 60^\circ$ .

10. Нейтрон испытал упругое соударение с первоначально покоившимся дейтоном. Определить долю кинетической энергии, теряемую нейтроном:

а) при лобовом соударении;

б) при рассеянии под прямым углом.

11. Сколько тепла выделяется при образовании одного грамма  $\text{He}^4$  из дейтерия  $\text{H}^2$ ? Какая масса каменного угля с теплотворной способностью 30 кДж/г эквивалентна в тепловом отношении полученной величине?

12. Вычислить с помощью табличных значений масс атомов энергию на один нуклон, которая выделяется при протекании термоядерной реакции  $\text{Li}^6 + \text{H}^2 \rightarrow 2\text{He}^4$ . Сравнить полученную величину с энергией на один нуклон, освобождающейся при делении ядра  $\text{U}^{235}$ .

13. Определить энергию реакции  $\text{Li}^7 + p \rightarrow 2\text{He}^4$ , если известно, что энергии связи на один нуклон в ядрах  $\text{Li}^7$  и  $\text{He}^4$  равны соответственно 5,60 и 7,06 МэВ.

14. Найти энергию реакции  $\text{N}^{14}(\alpha, p)\text{O}^{17}$ , если кинетическая энергия налетающей  $\alpha$ -частицы  $T_\alpha = 4,0$  МэВ и протон, вылетевший под углом  $\vartheta = 60^\circ$  к направлению движения  $\alpha$ -частицы, имеет кинетическую энергию  $T_p = 2,09$  МэВ.

15. Найти с помощью табличных значений масс атомов скорости продуктов реакции  $\text{B}^{10}(n, \alpha)\text{Li}^7$ , протекающей в результате взаимодействия весьма медленных нейтронов с покоящимися ядрами бора.

### Задача №3

1. Протоны, налетающие на неподвижную литиевую мишень, возбуждают реакцию  $\text{Li}^7(p, n)\text{Be}^7$ . При каком значении кинетической энергии протона возникший нейтрон может оказаться покоящимся?

2. Альфа-частица с кинетической энергией  $T = 5,3$  МэВ возбуждает ядерную реакцию  $\text{Be}^9(\alpha, n)\text{C}^{12}$ , энергия которой  $Q = +5,7$  МэВ. Найти кинетическую энергию нейтрона, вылетевшего под прямым углом к направлению движения  $\alpha$ -частицы.

3. Протоны с кинетической энергией  $T = 1,0$  МэВ бомбардируют литиевую мишень, в результате чего наблюдается ядерная реакция  $p + \text{Li}^7 \rightarrow 2\text{He}^4$ . Найти кинетическую энергию каждой  $\alpha$ -частицы и угол между направлениями их разлета, если разлет происходит симметрично по отношению к направлению налетающих протонов.

4. Какую кинетическую энергию необходимо сообщить протону, чтобы он смог расщепить покоящееся ядро тяжелого водорода  $\text{H}^2$ , энергия связи которого  $E = 2,2$  МэВ?

5. При облучении моноэнергетическим пучком протонов мишеней из лития и бериллия было обнаружено, что реакция  $\text{Li}^7(p, n)\text{Be}^7 - 1,65$  МэВ идет, а  $\text{Be}^9(p, n)\text{B}^9 - 1,85$  МэВ не идет. Найти возможные значения кинетической энергии протонов.

6. Для возбуждения реакции  $(n, \alpha)$  на покоящихся ядрах  $\text{B}^{11}$  пороговая кинетическая энергия нейтронов  $T_{\text{пор}} = 4,0$  МэВ. Найти энергию этой реакции.

7. Вычислить пороговые кинетические энергии протонов для возбуждения реакций  $(p, n)$  и  $(p, d)$  на ядрах  $\text{Li}^7$ .

8. Найти с помощью табличных значений масс атомов пороговую кинетическую энергию  $\alpha$ -частицы для ядерной реакции  $\text{Li}^7(\alpha, n)\text{B}^{10}$ . Какова при этом скорость ядра  $\text{B}^{10}$ ?

9. Нейтрон с кинетической энергией  $T = 10$  МэВ возбуждает ядерную реакцию  $\text{C}^{12}(n, \alpha)\text{Be}^9$ , порог которой  $T_{\text{пор}} = 6,17$  МэВ. Найти кинетическую энергию  $\alpha$ -частиц, вылетающих под прямым углом к падающим нейтронам.

10. На сколько процентов пороговая энергия  $\gamma$ -кванта превосходит энергию связи дейтона ( $E_{\text{св}} = 2,2$  МэВ) в реакции  $\gamma + \text{H}^2 \rightarrow n + p$ ?

11. Протон с кинетической энергией  $T = 1,5$  МэВ захватывается ядром  $\text{H}^2$ . Найти энергию возбуждения образовавшегося ядра.

12. Выход ядерной реакции  $\text{C}^{13}(d, n)\text{N}^{14}$  имеет максимумы при следующих значениях кинетической энергии  $T_i$  налетающих дейтронов: 0,60, 0,90, 1,55 и 1,80 МэВ. Найти с помощью табличных значений масс атомов соответствующие энергетические уровни промежуточного ядра, через которые идет эта реакция.

13. При соударении  $\gamma$ -фотона с дейтроном последний может расщепиться на два нуклона. Написать уравнение ядерной реакции и определить минимальную энергию  $\gamma$ -фотона, способного вызывать такое расщепление.

14. Определить энергию  $Q$  ядерной реакции  ${}^9\text{Be}(n, \gamma){}^{10}\text{Be}$ , если известно, что энергия связи  $E_{\text{св}}$  ядра  ${}^9\text{Be}$  равна 58,16 МэВ, а ядра  ${}^{10}\text{Be}$  – 64,98 МэВ.

15. Найти энергию  $Q$  ядерной реакции  ${}^{14}\text{N}(n, p){}^{14}\text{C}$ , если энергия связи  $E_{\text{св}}$  ядра  ${}^{14}\text{N}$  равна 104,66 МэВ, а ядра  ${}^{14}\text{C}$  – 105,29 МэВ

#### Задача №4.

1. Определить суммарную кинетическую энергию  $T$  ядер, образовавшихся в результате реакции  ${}^{13}\text{C}(d, \alpha){}^{11}\text{B}$ , если кинетическая энергия  $T_1$  дейтрона равна 1,5 МэВ. Ядро-мишень  ${}^{13}\text{C}$  считать неподвижным

2. При ядерной реакции  ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}$  освобождается энергия  $Q = 5,70$  МэВ. Пренебрегая кинетическими энергиями ядер бериллия и гелия и принимая их суммарный импульс равным нулю, определить кинетические энергии  $T_1$  и  $T_2$  продуктов реакции.

3. Пренебрегая кинетическими энергиями ядер дейтерия и принимая их суммарный импульс равным нулю, определить кинетические энергии  $T_1$  и  $T_2$  и импульсы  $p_1$  и  $p_2$  продуктов реакции  ${}^2\text{H} + {}^2\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + n$ .

4. Альфа-частица с кинетической энергией  $T_0 = 1,0$  МэВ упруго рассеялась на покоившемся ядре  ${}^6\text{Li}$ . Определить кинетическую энергию ядра отдачи, отлетевшего под углом  $\vartheta = 30^\circ$  к первоначальному направлению движения  $\alpha$ -частицы.

5. Найти кинетическую энергию налетающей  $\alpha$ -частицы, если в результате упругого рассеяния ее на дейтроне, угол между направлениями разлета обеих частиц  $\theta = 120^\circ$  и энергия, которую приобрел дейтрон,  $T_d = 0,40$  МэВ.

6. Нерелятивистский дейтрон упруго рассеялся на покоившемся ядре под углом  $30^\circ$ . Под таким же углом к направлению движения налетающего дейтрона отлетело и ядро отдачи. Какому атому принадлежит это ядро?

7. Протон с кинетической энергией  $T = 0,90$  МэВ испытал упругое лобовое соударение с покоившимся дейтроном. Найти кинетическую энергию протона после соударения.

8. Нерелятивистский нейтрон упруго рассеялся под углом  $\vartheta_n$  на покоившемся ядре нуклида  ${}^4\text{He}$ , в результате чего последнее отлетело под углом  $\vartheta_\alpha = 60^\circ$  к направлению движения налетающего нейтрона. Определить угол  $\vartheta_n$ .

9. Найти энергию реакции  ${}^7\text{Li}(p, \alpha){}^4\text{He}$ , если известно, что средняя энергия связи на один нуклон в ядрах  ${}^7\text{Li}$  и  ${}^4\text{He}$  равна соответственно 5,60 и 7,06 МэВ.

10. Найти скорости продуктов реакции  ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ , протекающей в результате взаимодействия нейтронов с первоначально покоящимися ядрами бора, если кинетическая энергия нейтронов пренебрежимо мала.

11. Найти кинетическую энергию нейтронов, возникающих при фоторасщеплении бериллия по реакции  ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$ ,  $Q = -1,65$  МэВ, гамма-квантами с энергией  $\hbar\omega = 1,78$  МэВ.

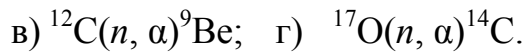
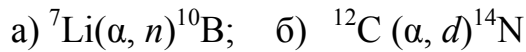
12. Вычислить энергию следующих реакций:

а)  ${}^2\text{H}(d, p){}^3\text{H}$ , если энергия налетающих дейтронов  $T_d = 1,20$  МэВ, и протон, вылетевший под прямым углом к направлению движения дейтрона, имеет кинетическую энергию  $T_p = 3,30$  МэВ;

б)  ${}^{14}\text{N}(\alpha, p){}^{17}\text{O}$ , если энергия налетающих  $\alpha$ -частиц  $T_\alpha = 4,00$  МэВ, и протон, вылетевший под углом  $\theta = 60^\circ$  к направлению движения  $\alpha$ -частиц, имеет энергию  $T_p = 2,08$  МэВ.

13. Дейтроны с кинетической энергией  $T_d = 10,0$  МэВ, взаимодействуя с ядрами углерода, возбуждают реакцию  ${}^{13}\text{C}(d, \alpha){}^{11}\text{B}$ ,  $Q = +5,16$  МэВ. Определить угол между направлениями разлета продуктов реакции, если возникающие ядра разлетаются симметрично.

14. Вычислить пороговую кинетическую энергию  $\alpha$ -частиц и нейтронов в следующих реакциях:



15. Вычислить пороговую кинетическую энергию налетающей частицы в реакции  $p + {}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + n$ , если налетающей частицей является

а) протон; б) ядро трития.

#### Задача №5.

1. Литиевую мишень облучают пучком протонов с кинетической энергией, в  $\eta = 1,50$  раза превышающей пороговое значение. Найти кинетическую энергию нейтронов, вылетающих в результате реакции  ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$  — 1,65 МэВ под углом  $90^\circ$  к пучку протонов.

2. Оценить минимальную кинетическую энергию налетающей  $\alpha$ -частицы, необходимую для ее прохождения над кулоновским потенциальным барьером ядра  ${}^7\text{Li}$ . Возбудит ли  $\alpha$ -частица такой энергии реакцию  ${}^7\text{Li}(\alpha, n){}^{10}\text{B}$ ?

3. Найти максимальную кинетическую энергию  $\alpha$ -частиц, возникающих в результате реакции  ${}^{16}\text{O}(d, \alpha){}^{14}\text{N} + 3,1$  МэВ при кинетической энергии бомбардирующих дейтронов 2,0 МэВ.

4. Определить ширину энергетического спектра нейтронов, возникающих в реакции  ${}^{11}\text{B}(\alpha, n){}^{14}\text{N} + 0,30$  МэВ, если кинетическая энергия бомбардирующих  $\alpha$ -частиц равна 5,0 МэВ,

5. Литиевую мишень облучают  $\alpha$ -частицами с кинетической энергией  $T_\alpha$ . В результате ядерной реакции  ${}^7\text{Li}(\alpha, n){}^{10}\text{B}$ ,  $Q = -2,79$  МэВ из мишени вылетают нейтроны. Найти кинетическую энергию нейтронов, вылетающих под углами  $0, 90$  и  $180^\circ$  к направлению движения бомбардирующих  $\alpha$ -частиц, если  $T_\alpha = 10,0$  МэВ.

6. При каких значениях кинетической энергии налетающих  $\alpha$ -частиц нейтроны, возникающие в реакции  ${}^7\text{Li}(\alpha, n){}^{10}\text{B} - 2,79$  МэВ, будут испускаться только в переднюю полусферу ( $\vartheta \leq 90^\circ$ )?

7. Вычислить кинетическую энергию нейтронов при пороговом значении энергии  $\gamma$ -кванта для следующих реакций фоторасщепления:



8. Найти энергию возбуждения покоящегося ядра массы  $M$ , которую оно получит при захвате  $\gamma$ -кванта с энергией  $\hbar\omega$ .



9. Определить энергию возбуждения ядра  ${}^4\text{He}$ , возникшего в результате захвата протона с кинетической энергией  $T = 2,0$  МэВ первоначально покоившимся ядром  ${}^3\text{H}$ .

10. Какой минимальной кинетической энергией должен обладать нейтрон, чтобы в результате неупругого рассеяния на ядре  ${}^9\text{Be}$  сообщить последнему энергию возбуждения  $E^* = 2,40$  МэВ?

11. Мишень из нуклида  ${}^7\text{Li}$  бомбардируют пучком нейтронов с кинетической энергией  $T = 1,00$  МэВ. Определить энергию возбуждения ядер, возникающих в результате неупругого рассеяния нейтронов, если кинетическая энергия нейтронов, неупруго рассеянных под прямым углом к падающему пучку,  $T' = 0,33$  МэВ.

12. Вычислить кинетическую энергию протонов, неупруго рассеянных под прямым углом на первоначально покоящихся ядрах нуклида  ${}^{20}\text{Ne}$ . Известно, что нижние уровни ядра  ${}^{20}\text{Ne}$  соответствуют энергии возбуждения  $E_i^* = 1,5, 2,2$  и  $4,2$  МэВ. Кинетическая энергия бомбардирующих протонов  $T = 4,3$  МэВ.

13. Найти значения кинетической энергии нейтронов, при которых сечения взаимодействия с ядрами нуклида  ${}^{16}\text{O}$  максимальны, если нижние уровни промежуточного ядра соответствуют энергиям возбуждения  $E^* = 0,87, 3,00, 3,80, 4,54, 5,07$  и  $5,36$  МэВ.

14. При бомбардировке мишени из углерода дейтронами возбуждается реакция  ${}^{13}\text{C}(d, n){}^{14}\text{N}$ , выход которой имеет максимумы для следующих значений кинетической энергии  $T$  дейтронов:  $0,60, 0,90, 1,55$  и  $1,80$  МэВ. Найти энергию  $E^*$  соответствующих уровней промежуточного ядра, через которые идет данная реакция.

15. Борную мишень облучают пучком дейтронов с кинетической энергией  $1,50$  МэВ. В результате реакции  $(d, p)$  на ядрах  ${}^{10}\text{B}$  установлено, что под прямым углом к пучку дейтронов из мишени испускаются протоны с кинетической энергией  $7,64, 5,51$  и  $4,98$  МэВ. Найти энергию  $E^*$  уровней возбужденных ядер  ${}^{11}\text{B}$ , которые отвечают этим значениям энергии.