

# Индивидуальное задание №4 к курсу «Прикладная физика»

## Вариант 1

- 1 Найти скорости продуктов реакции  ${}^{20}\text{B}(n, \alpha) {}^7\text{Li}$ , протекающей в результате взаимодействия нейтронов с покоящимися ядрами бора, если кинетическая энергия нейтронов пренебрежимо мала.
- 2 Определить кинетическую энергию ядер  ${}^7\text{Be}$  возникающих в реакции  $p + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Be} + n$ ,  $Q = -1,65$  МэВ при пороговом значении энергии протона.
- 3 Мишень  ${}^7\text{Li}$  бомбардируют пучком нейтронов кинетической энергией  $T_0 = 1,00$  МэВ. Определить энергию возбуждения ядер, возникающих в результате неупругого рассеяния нейтронов, если энергия нейтронов, неупруго рассеянных под прямым углом к падающему пучку,  $T = 0,33$  МэВ.
- 4 Вычислить кинетическую энергию протонов, неупруго рассеянных под прямым углом на покоящихся ядрах  ${}^{16}\text{O}$ . Известно, что нижние уровни ядра  ${}^{16}\text{O}$  соответствуют энергии возбуждения 0,87; 3,00; 3,80 МэВ. Кинетическая энергия бомбардирующих протонов  $T_0 = 4,3$  МэВ.

## Вариант 2

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

2 Определить кинетическую энергию ядер  ${}^{15}\text{O}$  возникающих в реакции  $n + {}^{19}\text{F} \rightarrow {}^{15}\text{O} + p + 4n$ ,  $Q = -35,8$  МэВ при пороговом значении энергии нейтрона.

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

4 Вычислить кинетическую энергию протонов, неупруго рассеянных под прямым углом на покоящихся ядрах  ${}^{20}\text{Ne}$ . Известно, что нижние уровни ядра  ${}^{20}\text{Ne}$  соответствуют энергии возбуждения 1,5; 2,2 и 4,2 МэВ. Кинетическая энергия бомбардирующих протонов  $T_0 = 4,3$  МэВ.

### Вариант 3

1 Определить кинетическую энергию протонов, вызывающих реакцию  ${}^9\text{Be}(p, \alpha) {}^6\text{Li} + 2,13 \text{ МэВ}$ , если энергия  $\alpha$ -частиц, которые вылетают под прямым углом к направлению движения протонов, равна 4,02 МэВ.

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 Для получения мощных потоков быстрых нейтронов в реактор помещают дейтерид лития  $\text{LiD}$ , в котором медленные нейтроны реактора возбуждают реакцию  ${}^6\text{Li}(n, \alpha) {}^3\text{H} + 4,80 \text{ МэВ}$ .

Определите максимальную энергию тритонов – ядер трития.

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

## Вариант 4

1 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.

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

3 Реакция  $^7\text{Li}(t, n)^9\text{Be} + 10,4$  МэВ является одним из источников быстрых нейтронов. Найти максимальную энергию этих нейтронов, если энергия налетающих ядер трития составляет 2,75 МэВ.

4 Мишень  $^7\text{Li}$  бомбардируют пучком нейтронов кинетической энергией  $T_0 = 1,00$  МэВ. Определить энергию возбуждения ядер, возникающих в результате неупругого рассеяния нейтронов, если энергия нейтронов, неупруго рассеянных под прямым углом к падающему пучку,  $T = 0,33$  МэВ.

## Вариант 5

1 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  $\alpha$ -частица вылетает под прямым углом к пучку дейтронов.

2 Найти скорости продуктов реакции  $^{20}\text{B}(n, \alpha)^{7}\text{Li}$ , протекающей в результате взаимодействия нейтронов с покоящимися ядрами бора, если кинетическая энергия нейтронов пренебрежимо мала.

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

4 Реакция  $^2\text{H}(t, n)^4\text{He} + 17,6$  МэВ является одним из источников быстрых нейтронов. Найти максимальную энергию этих нейтронов, если энергия ядер трития составляет 2,75 МэВ.

## Вариант 6

1 Определить кинетическую энергию ядер  ${}^7\text{Be}$  возникающих в реакции  $p + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Be} + n$ ,  $Q = -1,65$  МэВ при пороговом значении энергии протона.

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

3 Вычислить кинетическую энергию протонов, неупруго рассеянных под прямым углом на покоящихся ядрах  ${}^{16}\text{O}$ . Известно, что нижние уровни ядра  ${}^{16}\text{O}$  соответствуют энергии возбуждения 0,87; 3,00; 3,80 МэВ. Кинетическая энергия бомбардирующих протонов  $T_0 = 4,3$  МэВ.

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

## Вариант 7

1 Определить кинетическую энергию ядер  $^{15}\text{O}$  возникающих в реакции  $n + ^{19}\text{F} \rightarrow ^{15}\text{O} + p + 4n$ ,  $Q = -35,8$  МэВ при пороговом значении энергии нейтрона.

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

3 Вычислить кинетическую энергию протонов, неупруго рассеянных под прямым углом на покоящихся ядрах  $^{20}\text{Ne}$ . Известно, что нижние уровни ядра  $^{20}\text{Ne}$  соответствуют энергии возбуждения 1,5; 2,2 и 4,2 МэВ. Кинетическая энергия бомбардирующих протонов  $T_0 = 4,3$  МэВ.

4 Для получения мощных потоков быстрых нейтронов в реактор помещают дейтерид лития  $\text{LiD}$ , в котором медленные нейтроны реактора возбуждают реакцию  $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H} + 4,80$  МэВ.

Определите максимальную энергию тритонов – ядер трития.

## Вариант 8

1 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  ${}^7\text{Li}(\alpha, n){}^{10}\text{B}$ ?

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

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

4 Реакция  ${}^7\text{Li}(t, n){}^9\text{Be} + 10,4$  МэВ является одним из источников быстрых нейтронов. Найти максимальную энергию этих нейтронов, если энергия налетающих ядер трития составляет 2,75 МэВ.

## Вариант 9

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

2 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.

3 Реакция  ${}^2\text{H}(t, n){}^4\text{He} + 17,6$  МэВ является одним из источников быстрых нейтронов. Найти максимальную энергию этих нейтронов, если энергия ядер трития составляет  $2,75$  МэВ.

4 Мишень  ${}^7\text{Li}$  бомбардируют пучком нейтронов кинетической энергией  $T_0 = 1,00$  МэВ. Определить энергию возбуждения ядер, возникающих в результате неупругого рассеяния нейтронов, если энергия нейтронов, неупруго рассеянных под прямым углом к падающему пучку,  $T = 0,33$  МэВ.

## Вариант 10

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

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

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

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

### 7. Таблица свойств нуклидов

Z	Нуклид	Спнн ядра	Избыток массы нуклида М-А, а. е. м	Массовое содержание в естественной смеси изотопов, %	Тип распада	Период полураспада	Энергия $\alpha$ - и $\beta$ -частиц $T_{\beta\text{макс}}$ , МэВ
1	<i>n</i>	1/2	0,008665	—	$\beta^-$	11,7 мин	0,78
	<sup>1</sup> H	1/2	0,007825	99,985		—	
2	<sup>2</sup> H	1	0,014102	0,015		—	
	<sup>3</sup> H	1/2	0,0160049	—	$\beta^-$	12,3 года	0,018
	<sup>3</sup> He	1/2	0,016030	$3 \cdot 10^{-4}$		—	
3	<sup>4</sup> He	0	0,002604	$\sim 100$		—	
	<sup>6</sup> Li	1	0,015126	7,52		—	
4	<sup>7</sup> Li	3/2	0,016005	92,48		—	
	<sup>7</sup> Li	3/2	0,016931	—	<i>K</i>	53 сут	
	<sup>8</sup> Be	0	0,005308	—	2 $\alpha$	$10^{-16}$ с	0,039
5	<sup>9</sup> Be	3/2	0,012186	100		—	
	<sup>10</sup> Be	0	0,013535	—	$\beta^-$	$2,5 \cdot 10^6$ лет	0,555
	<sup>10</sup> B	3	0,012939	20		—	
6	<sup>11</sup> B	3/2	0,009305	80		—	
	<sup>11</sup> C	3/2	0,011431	—	$\beta^+$	20,4 мин	0,97
	<sup>12</sup> C	0	0	98,89		—	
7	<sup>13</sup> C	1/2	0,003354	1,11		—	
	<sup>14</sup> C	0	0,003242	—	$\beta^-$	5570 лет	0,155
	<sup>13</sup> N	—	0,005739	—	$\beta^-$	10 мин	1,2
8	<sup>14</sup> N	1	0,003074	99,63		—	
	<sup>15</sup> N	1/2	0,000108	0,37		—	
	<sup>15</sup> O	—	0,003072	—	$\beta^+$	2,1 мин	1,68
9	<sup>16</sup> O	0	-0,005085	99,76		—	
	<sup>17</sup> O	5/2	-0,000867	0,037		—	
	<sup>18</sup> O	0	-0,000840	0,204		—	
10	<sup>18</sup> F	—	0,000950	—	$\beta^+$	1,87 ч	0,649
	<sup>19</sup> F	1/2	-0,001595	100		—	
	<sup>20</sup> F	—	-0,000015	—	$\beta^-$	12 $\mu$	5,42
11	<sup>20</sup> Ne	0	-0,007560	90,52		—	
	<sup>21</sup> Ne	—	-0,006151	0,26		—	
	<sup>22</sup> Ne	0	-0,008616	8,82		—	
12	<sup>22</sup> Na	3	-0,005565	—	$\beta^+$	2,6 года	0,540
	<sup>23</sup> Na	3/2	-0,010227	100		—	
	<sup>24</sup> Na	4	-0,009033	—	$\beta^-$	15 ч	1,39
13	<sup>23</sup> Mg	—	-0,005865	—	$\beta^+$	11 с	2,95
	<sup>24</sup> Mg	0	-0,014956	78,60		—	
	<sup>25</sup> Mg	5/2	-0,014160	10,11		—	
14	<sup>26</sup> Mg	0	-0,0117409	11,29		—	
	<sup>27</sup> Mg	1/2	-0,015655	—	$\beta^-$	8,5 мин	1,75 и 1,59
	<sup>26</sup> Al	—	-0,013100	—	$\beta^+$	6,7 с	3,20
15	<sup>27</sup> Al	5/2	-0,018465	100		—	
	<sup>28</sup> Al	3	-0,018092	—	$\beta^-$	2,3 мин	2,86
	<sup>28</sup> Si	0	-0,023073	92,27		—	
16	<sup>29</sup> Si	1/2	-0,023509	4,68		—	
	<sup>30</sup> Si	0	-0,026239	3,05		—	
	<sup>31</sup> Si	—	-0,024651	—	$\beta^-$	2,65 ч	1,47
17	<sup>30</sup> P	—	-0,021680	—	$\beta^+$	2,5 мин	3,24
	<sup>31</sup> P	1/2	-0,026237	100		—	
	<sup>32</sup> P	—	-0,026092	—	$\beta^-$	14,3 сут	1,71

Z	Нуклид	Спин ядра	Избыток массы нуклида $M-A$ , а. е. м	Массовое содержание в естественной смеси изотопов, %	Тип распада	Период полураспада	Энергия $\alpha$ - и $\beta$ -частиц $T_{\text{макс}}$ , МэВ
16	$^{32}\text{S}$	0	-0,027926	95,02			
	$^{33}\text{S}$	3/2	-0,028540	0,75			
	$^{34}\text{S}$	0	-0,032136	4,21			
17	$^{35}\text{S}$	3/2	-0,030966	—	$\beta^-$	87 сут	0,167
	$^{35}\text{Cl}$	3/2	-0,031146	75,4			
	$^{36}\text{Cl}$	2	-0,031688	—	$\beta^-, K$	$3,1 \cdot 10^5$ лет	0,714
18	$^{37}\text{Cl}$	3/2	-0,034104	24,6			
	$^{36}\text{Ar}$	0	-0,032452	0,34			
	$^{37}\text{Ar}$	3/2	-0,033228	—	$K$	32 сут	
19	$^{39}\text{Ar}$	—	-0,035679	—	$\beta^-$	265 лет	0,565
	$^{40}\text{Ar}$	0	0,037616	99,60			
	$^{39}\text{K}$	3/2	-0,036286	93,08			
24	$^{42}\text{K}$	2	-0,037583	—	$\beta^-$	1,52 ч	3,55 и 1,99
25	$^{51}\text{Cr}$	7/2	-0,055214	—	$K$	28 сут	
27	$^{55}\text{Mn}$	5/2	-0,061946	100			
29	$^{58}\text{Co}$	2	-0,064246	—	$K \beta^+$	72 сут	0,47
	$^{59}\text{Co}$	7/2	-0,066811	100			
	$^{60}\text{Co}$	4	-0,066194	—		5,2 года	0,31
30	$^{63}\text{Cu}$	3/2	-0,070406	69,1			
	$^{65}\text{Cu}$	3/2	-0,072214	30,9			
35	$^{65}\text{Zn}$	5/2	-0,070766	—	$K, \beta^+$	245 сут	0,325
38	$^{82}\text{Br}$	6	-0,083198	—	$\beta^-$	36 ч	0,456
	$^{88}\text{Sr}$	0	-0,09436	82,56			
	$^{89}\text{Sr}$	5/2	-0,09257	—	$\beta^-$	51 сут	1,46
39	$^{89}\text{Sr}$	0	-0,09223	—	$\beta^-$	28 лет	0,535
	$^{90}\text{Y}$	2	-0,09282	—	$\beta^-$	64 ч	2,24
	$^{107}\text{Ag}$	1/2	-0,09303	51,35			
79	$^{127}\text{I}$	5/2	-0,09565	100			
	$^{128}\text{I}$	1	-0,09418	—	$\beta^-, K$	25 мии	2,12 и 1,67
	$^{197}\text{Au}$	3/2	-0,03345	100			
81	$^{198}\text{Au}$	2	-0,03176	—	$\beta^-$	2,7 сут	0,96
	$^{204}\text{Tl}$	—	-0,02611	—	$\beta^-$	4,1 года	0,77
	$^{206}\text{Pb}$	0	-0,02554	23,6			
82	$^{207}\text{Pb}$	1/2	-0,02410	22,6			
	$^{208}\text{Pb}$	0	-0,02336	52,3			
	$^{209}\text{Bi}$	9/2	-0,01958	100			
83	$^{210}\text{Bi}$	4	-0,01589	—	$\alpha$	$2,6 \cdot 10^6$ лет	4,97
	$^{210}\text{Po}$	—	-0,01713	—	$\alpha$	138 сут	5,3
	$^{222}\text{Rn}$	—	0,01753	—	$\alpha$	3,8 сут	5,49
88	$^{226}\text{Ra}$	0	0,02536	—	$\alpha$	1620 лет	4,777 и 4,589
	$^{232}\text{Th}$	0	0,03821	100	$\alpha$	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет	4,00 и 3,98
	$^{233}\text{Th}$	—	0,04143	—	$\beta^-$	22 мин	1,23
92	$^{234}\text{U}$	0	0,04090	0,006	$\alpha$	$2,5 \cdot 10^5$ лет	4,76 и 4,72
	$^{235}\text{U}$	7/2	0,04383	0,71	$\alpha$	$7,1 \cdot 10^8$ лет	4,20—4,58
	$^{236}\text{U}$	0	0,04573	—	$\alpha$	$2,4 \cdot 10^7$ лет	4,45 и 4,50
	$^{238}\text{U}$	0	0,05076	99,28	$\alpha$	$4,5 \cdot 10^9$ лет	4,13 и 4,18
94	$^{239}\text{U}$	—	0,05432	—	$\beta^-$	23,5 мин	1,21
	$^{238}\text{Pu}$	—	0,04952	—	$\alpha$	89,6 года	5,50 и 5,45
	$^{239}\text{Pu}$	1/2	0,05216	—	$\alpha$	$2,4 \cdot 10^4$ лет	5,15—5,10