

6. БОРОВСКАЯ МОДЕЛЬ АТОМА ВОДОРОДА

6.1. Вычислить радиусы первых трех орбит электрона в атоме водорода. Ответ: 53 пм; 212 пм; 476 пм.

6.2. Определить скорость электрона на второй орбите в атоме водорода. Ответ: $1,1 \cdot 10^6$ м/с.

6.3. На сколько отличаются скорости электронов на первой орбите в атоме водорода и в ионе He^+ ? Ответ: $2,2 \cdot 10^6$ м/с.

6.4. Вычислить для иона He^+ радиус первой боровской орбиты и скорость электрона на ней. Ответ: 26,5 пм; $4,4 \cdot 10^6$ м/с.

6.5. Найти силу взаимодействия ядра атома водорода и электрона, вращающегося по первой стационарной боровской орбите. Ответ: $8,2 \cdot 10^{-8}$ Н.

6.6. Какая по номеру орбита электрона в ионе He^+ имеет радиус в 2 больше, чем вторая орбита электрона в атоме водорода? Ответ: 4.

6.7. Найти значение импульса электроны, вращающегося по первой боровской орбите в атоме водорода. Как изменяется величина импульса при переходе электрона на более далекие орбиты? Ответ: $19,8 \cdot 10^{-25}$ кг·м/с; уменьшается.

6.8. Определить частоту вращения электрона на второй орбите в атоме водорода. Ответ: $8,2 \cdot 10^{14}$ 1/с.

6.9. Найти частоты вращения электрона на первой орбите в атоме водорода и в ионе He^+ . Ответ: $6,56 \cdot 10^{15}$ 1/с, $26,2 \cdot 10^{15}$ 1/с.

6.10. Определить кинетическую энергию электрона на первой орбите в атоме водорода. Как она будет изменяться с увеличением номера орбиты? Ответ: 13,6 эВ. Уменьшается.

6.11. Найти период обращения электрона на первой боровской орбите в атоме водорода. Ответ: $1,43 \cdot 10^{-16}$ с.

6.12. Вычислить частоты n_2 и n_3 вращения электрона на второй и третьей орбитах в атоме водорода и сравнить их с частотой излучения, возникающего при переходе электрона с третьей орбиты на вторую. Ответ: $8,2 \cdot 10^{14}$; $2,4 \cdot 10^{14}$; $4,6 \cdot 10^{14}$ 1/с.

6.13. На сколько отличаются периоды вращения электрона на второй орбите в ионе He^+ и в атоме водорода? Ответ: $9,1 \cdot 10^{-16}$ с.

6.14. Найти потенциальную энергию электрического взаимодействия электрона с ядром в атоме водорода. Ответ: $27,2/n^2$ эВ.

6.15. С каким ускорением движется электрон по первой орбите в атоме водорода? Ответ: $9 \cdot 10^{22}$ м/с².

6.16. Вычислить полную энергию электрона на первой орбите в атоме водорода и в ионе He^+ . Ответ: - 13,6 эВ; - 54,5 эВ.

6.17. Вычислить индукцию магнитного поля в центре атома водорода, образованного вращением электрона по первой боровской орбите

(считать вращающийся электрон круговым постоянным током). Ответ: 12,5 Тл.

6.18. Найти угловую скорость вращения электрона в атоме водорода на первых трех боровских орбитах. Ответ: $41,1 \cdot 10^{15}$; $5,1 \cdot 10^{15}$; $1,5 \cdot 10^{15}$ 1/с.

6.19. Сравните числовые значения импульса электроны на второй боровской орбите в атоме водорода и в ионе He^+ . Ответ: $9,92 \cdot 10^{-25}$ кг·м/с; $19,8 \cdot 10^{-25}$ кг·м/с.

6.20. Найти нормальное, тангенциальное и полное ускорение электрона на произвольной стационарной орбите в ионе He^+ . Ответ: $7,2 \cdot 10^{23}/n^4$ м/с².

6.21. Какой кинетической энергией обладает электрон в ионе He^+ , если его орбитальный магнитный момент равен $4,64 \cdot 10^{-23}$ А·м²? Ответ: 2,2 эВ.

6.22. Найти импульс электрона в атоме водорода, если индукция магнитного поля, созданного им в центре орбиты при вращении, равна 0,39 Тл. Ответ: 10^{-24} кг·м/с.

7. ИЗЛУЧЕНИЕ АТОМА ВОДОРОДА И ВОДОРОДОПОДОБНЫХ ИОНОВ

Формула Бальмера:
$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{k^2} \right),$$

где: λ – длина волны фотона, возникающего при переходе электрона в водородоподобном ионе с k – ой орбиты на m – ую, Z - порядковый номер иона в таблице Менделеева, R - постоянная Ридберга.

7.1.Вычислить для атомарного водорода длины волн видимой части спектра излучения. Ответ: 655 нм; 485 нм; 433 нм; 410 нм.

7.2.Определить длину волны, соответствующую третьей линии серии Бальмера: 1) В спектре излучении водорода, 2) В спектре излучения иона гелия. Ответ: 434нм, 109нм.

7.3.Найти наибольшую и наименьшую длины волн серии Пашена в спектре излучения водорода. Сравнить полученные значения с длинами волн видимого излучения. Ответ: 1,87 мкм, 0,82 мкм.

7.4.Рассчитать и изобразить на шкале длин волн спектральные интервалы, в которых заключены серии Лаймана, Бальмера и Пашена для атомарного водорода. Выделить на этой шкале видимую часть спектра.

7.5.Вычислить частоту и энергию фотона, соответствующего второй линии серии Лаймана спектра водорода. Ответ: $2,9 \cdot 10^{15}$ Гц; 12,1 эВ.

7.6.Определить наибольшую и наименьшую энергии фотонов ультрафиолетовой серии спектра излучения водорода. Ответ: 13,6 эВ; 10,2 эВ.

7.7.Определить длины волн головных линий и коротковолновых границ серий Лаймана и Бальмера атомарного водорода. Ответ: 121 и 655нм; 91 и 364 нм.

7.8.Рассчитать длину волны и частоту света, соответствующего пятой линии серий Лаймана и Пашена в спектре излучения водорода. В каких областях спектра лежат эти линии? Ответ: 93,4 нм и $3,2 \cdot 10^{15}$ Гц; 954,7нм и $0,31 \cdot 10^{15}$ Гц.

7.9.Покоившийся атом водорода испустил фотон, соответствующий второй линии серии Лаймана. Какую скорость приобрел при этом атом? Ответ: 3,9 м/с.

7.10.Покоящийся ион He^+ испустил фотон, соответствующий головной линии серии Лаймана. Найти энергию, импульс и массу этого фотона. Ответ: 41,4 эВ; $2,2 \cdot 10^{-26}$ кг·м/с; $7,4 \cdot 10^{-35}$ кг.

7.11.Электрон в атоме водорода перешел с четвертого энергетического уровня на первый. Определить энергию, длину волны, массу и импульс излученного фотона. Ответ: 12,8 эВ; 97 нм; $2,3 \cdot 10^{-35}$ кг; $6,8 \cdot 10^{-27}$

кг·м/с.

7.12. Если считать, что граница между видимым и ультрафиолетовым излучениями составляет 0,4 мкм, то сколько линий серии Бальмера можно в принципе увидеть невооруженным глазом в спектре излучения водорода? Ответ: 4.

7.13. Во сколько раз различаются длины волн излучения атомарного водорода, соответствующие первой и третьей линиям в сериях Бальмера и Пашена? Ответ: 1,5 и 1,7.

7.14. Определить энергии фотонов, соответствующих головным линиям серий Лаймана, Бальмера и Пашена в спектре излучения водорода. Ответ: 10,2 эВ; 1,9 эВ; 0,66 эВ.

7.15. Атомарный водород, возбужденный светом определенной длины волны, при переходе в основное состояние испускает только три спектральные линии. Определите длины волн этих линий и укажите, каким сериям они принадлежат. Ответ: серии Лаймана: 121,6 нм, 102,6 нм; серии Бальмера: 656,3 нм.

7.16. Какие линии содержит спектр атомарного водорода в диапазоне длин волн от 95 до 130 нм? Ответ: 97,3 нм; 102,6 нм; 121,6 нм.

7.17. Какому элементу принадлежит спектр, длины волн которого в 4 раза короче, чем у атома водорода? Определить для этого иона длину волны, соответствующую коротковолновой границе серии Лаймана. Ответ: He^+ , $2,3 \cdot 10^{-8}$ м.

7.18. Вычислить постоянную Ридберга, если известно, что для ионов He^+ разность длин волн между головными линиями серии Бальмера и Лаймана равна 133,7 нм. Ответ: $1,1 \cdot 10^7$ 1/м.

7.19. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны $\lambda = 121,5$ нм. На какую орбиту перешел электрон? Определить радиус этой орбиты.

7.20. Электрон при переходе в атоме водорода из некоторого возбужденного состояния в основное энергетическое состояние излучил последовательно два фотона с длинами волн 121,2 нм и 656,3 нм. На какой по номеру орбите находился первоначально электрон? Ответ: 3.

7.21. В спектре излучения некоторых водородоподобных ионов длина волны третьей линии серии Бальмера равна 108,5 нм. Найти для этих ионов энергию связи электрона в основном состоянии. Ответ: 54,4 эВ (He^+).

7.22. Атом водорода в основном состоянии поглотил фотон с длиной волны 102,3 нм. На какую орбиту перешел электрон? Фотоны с какими длинами волн может излучить такой атом при обратном переходе в основное состояние? Ответ: 3; 102,6 нм; 121,6 нм; 656,3 нм.

7.23. Найти квантовое число n , соответствующее возбужденному состоянию иона He^+ , если при переходе в основное состояние ион испустит последовательно два фотона с длинами волн 108,5 нм и 30,4 нм. От-

вет: 5.

7.24. Возбужденный атом водорода перешел в основное энергетическое состояние и излучил фотон с длиной волны 97,3 нм. Вычислить энергию связи электрона в исходном возбужденном состоянии. Ответ: 0,85 эВ.

7.25. С какой минимальной кинетической энергией должен двигаться атом водорода, чтобы при неупругом лобовом соударении с другим, покоящимся, атомом водорода один из них оказался способным испустить фотон? Считать, что до соударения оба атома находились в основном состоянии. Ответ: 20,5 эВ.

8. РАДИОАКТИВНОСТЬ

Закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Активность радиоактивного изотопа:

$$A = \lambda \cdot N,$$

где N_0 - начальное число ядер (атомов) радиоактивного элемента,

N - число оставшихся (не распавшихся) ядер спустя время t ,

λ - постоянная распада, $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$,

T - период полураспада.

8.1. Определите период полураспада и начальную активность висмута ${}^{210}_{83}\text{Bi}$, если известно, что висмут массой $m = 1$ г, выбрасывает $4,58 \cdot 10^{15}$ β – частиц за 1 секунду. Во сколько раз изменится активность за месяц? Ответ: 5 суток, 64 раза.

8.2. Первоначальная масса изотопа иридия ${}^{192}_{77}\text{Ir}$ равна $m = 5$ г, период полураспада 75 суток. Определите, сколько ядер распадется за 1 секунду в этом препарате. Сколько атомов этого препарата останется через 30 суток и во сколько раз изменится активность препарата за это время?

8.3. Период полураспада изотопа натрия ${}^{24}_{11}\text{Na}$ равен $T = 15$ ч, первоначальная масса $m = 1$ мкг. Определите, сколько β – частиц испускает этот изотоп за один час и чему будет равна его активность по истечении часа.

8.4. Найдите постоянную распада, среднее время жизни и период полураспада радиоактивного изотопа ${}^{55}_{27}\text{Co}$, если известно, что его активность уменьшается на 4% за час. За какое время активность этого изотопа уменьшится на 40%? Ответ: $4,08 \cdot 10^{-2}$ 1/час; 24,5 час; 17 час; 12,5 час.

8.5. Препарат ${}^{238}_{92}\text{U}$ массы $m = 1$ г излучает $1,24 \cdot 10^4$ α – частиц в секунду. Найдите период полураспада этого препарата, его начальную активность и активность через 1мрд лет. Ответ: $4,5 \cdot 10^9$ лет, 12,4кБк, 10,6кБк.

8.6. Найдите постоянную распада и период полураспада радона ${}^{222}_{86}\text{Rn}$, если известно, что число атомов радона уменьшается за время $t = 1$ сут на 18,6%. Ответ: 0,18 1/сут, 3,8 суток.

8.7. Некоторый радиоактивный изотоп имеет постоянную распада $\lambda = 4 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$. Определите, через какое время распадется 75% первоначальной массы.

чальной массы атомов. Во сколько раз изменится активность этого препарата за это время? Ответ: 0,11 года, 4.

8.8. При распаде радиоактивного полония-210 массой 0,66 г в течение времени $t = 1$ ч образовался гелий, который при нормальных условиях занял объем $V = 89,5$ мм³. Определите период полураспада полония. Ответ: 138 сут.

8.9. В результате распада массы $m = 1$ г радия-226 за время $t = 1$ год образовалась некоторая масса гелия, занимающая при нормальных условиях объем $V = 43$ мм³. Найдите из этих условий период полураспада радия. Ответ: 1600 лет.

8.10. В таблице приведены результаты измерения зависимости активности a некоторого радиоактивного элемента от времени t . Определите период полураспада этого элемента. Ответ: 3,9 час.

t , ч	0	3	6	9	12	15
a , $\cdot 10^7$	21,6	12,6	7,6	4,2	2,4	1,8
Бк						

8.11. Свинец, содержащийся в урановой руде, является конечным продуктом распада уранового ряда, поэтому из отношения массы урана в руде к массе свинца в ней можно определить возраст руды. Найдите возраст урановой руды, если известно, что на массу $m_1 = 1$ кг урана ${}^{238}_{92}\text{U}$ приходится масса $m_2 = 320$ г свинца ${}^{206}_{82}\text{Pb}$. Период полураспада урана 4,5 млрд лет. Ответ: 2 млрд лет.

8.12. Предприятие, производящее сварочные работы, закупило для дефектоскопии сварных швов радиоизотоп иридий-192 (период полураспада 75 суток) с начальной активностью 10^{13} Бк. Какова масса этого радиоактивного изотопа? Как изменится активность источника спустя нормативный срок его работы (3 года)? Ответ: 0,03 г; 420 МБк.

8.13. Масса радиоактивного препарата за двое суток уменьшилась в 3 раза. За какое время масса препарата уменьшится в 6 раз? Каков период полураспада такого радиоактивного элемента? Ответ: 3,26 суток; 1,26 суток.

8.14. Период полураспада изотопа ${}^{14}_6\text{C}$ равен 5570 лет. Определите возраст древних деревянных предметов, если известно, что удельная активность изотопа ${}^{14}_6\text{C}$ у них составляет $3/5$ удельной активности этого изотопа в только что срубленных деревьях. Ответ: 4100 лет

8.15. В урановой руде отношение числа ядер ${}^{238}_{92}\text{U}$ к числу ядер ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ равно 2,8. Оценить возраст руды, считая, что весь свинец является

конечным продуктом распада уранового ряда. Период полураспада ${}^{238}_{92}\text{U}$ равен $4,5 \cdot 10^9$ лет. Ответ: 2 млрд лет.

8.16. Зная периоды полураспада радия-226 и урана-238 ($T_U = 4,5 \cdot 10^9$ лет, $T_{\text{Ra}} = 1620$ лет), найдите число атомов урана, приходящееся на один атом радия в природной урановой руде.

8.17. Определите, какая доля первоначальной массы радиоактивного изотопа распадется и как изменится активность этого препарата за среднее время его жизни. Ответ: 63%, уменьшится в 2,72 раза.

8.18. К массе $m_1 = 10$ мг радиоактивного изотопа ${}^{43}_{20}\text{Ca}$ (период полураспада $8 \cdot 10^4$ лет) добавлена масса $m_2 = 30$ мг нерадиоактивного изотопа ${}^{40}_{20}\text{Ca}$. Определите, на сколько уменьшилась удельная активность радиоактивного источника.

8.19. Радиоактивные препараты Ra-226 и Sr-90 имеют одинаковую активность 1 Кю. Каковы массы этих препаратов? Во сколько раз изменятся активности препаратов за 100 лет? Ответ: 1 г, $7 \cdot 10^{-3}$ г, 1,04, 11,9.

8.20. Какую массу m_1 радиоактивного изотопа ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ нужно добавить к $m_2 = 5$ мг нерадиоактивного изотопа ${}^{209}_{83}\text{Bi}$, чтобы через время $t = 10$ сут после этого отношение числа распавшихся атомов к числу нераспавшихся было равно 0,5? Постоянная распада изотопа ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ равна $\lambda = 0,14 \text{ сут}^{-1}$.

8.21. Больному ввели внутривенно раствор объемом 1 см^3 , содержащий искусственный радиоизотоп натрия ${}^{24}_{11}\text{Na}$ активностью $a_0 = 2000 \text{ с}^{-1}$. Активность крови объемом 1 см^3 , взятой через 5 часов, оказалась $a = 0,27 \text{ с}^{-1}$. Найдите объем крови человека. Период полураспада используемого изотопа равен 15 час. Ответ: 6 л.

8.22. Определите, какое количество теплоты выделяется при распаде радона начальной активностью $A = 3,7 \cdot 10^{10}$ Бк за время $t = 1$ ч и за среднее время жизни, если энергия вылетающей α – частицы $W = 5,5 \text{ МэВ}$. Энергией отдачи дочернего ядра пренебречь. Ответ: 117 Дж.

8.23. Масса $m = 1$ г урана ${}^{238}_{92}\text{U}$ в равновесии с продуктами его распада выделяет мощность $P = 1,07 \cdot 10^{-7}$ Вт. Найдите теплоту, выделяемую ураном за среднее время жизни ядер урана. Ответ: $1,3 \cdot 10^{10}$ Дж.

9. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ

ВНИМАНИЕ! Все записываемые ядерные реакции должны быть обоснованы законами сохранения.

Справочная таблица

Частица	Электрический заряд	Барионный заряд	Лептонный заряд	Спин
электрон e^-	-1	0	+1	$\pm 1/2$
позитрон e^+	+1	0	-1	$\pm 1/2$
нейтрино ν	0	0	+1	$\pm 1/2$
антинейтрино $\bar{\nu}$	0	0	-1	$\pm 1/2$
протон p	+1	+1	0	$\pm 1/2$
нейтрон n	0	+1	0	$\pm 1/2$

9.1. Ядро бериллия-7 β -радиоактивно по схеме К-захвата. Записать реакцию. Какие частицы при этом образовались?

9.2. Нейтринное излучение звезды может возникнуть за счет объединения двух протонов с образованием дейтона. Запишите реакцию. Какие частицы еще образуются в этой реакции?

9.3. В центре солнца протекает термоядерная реакция синтеза гелия из водорода, в которой из четырех протонов образуется ядро He^4 и два позитрона. Запишите эту реакцию. Еще какие частицы образуются в ней?

9.4. При бомбардировке изотопа ${}^7N^{14}$ нейтронами получается изотоп углерода C^{14} , который оказывается β -радиоактивным. Напишите уравнения обеих реакций.

9.5. Висмут-210 является α -радиоактивным изотопом, а образованное им дочернее ядро – β -радиоактивным. Запишите обе ядерные реакции и найдите продукт этих распадов. Какие еще частицы (кроме α и β) образуются в этих реакциях?

9.6. Какой изотоп образуется из ${}_{92}U^{238}$ после двух β -распадов и одного α -распада? Какие еще частицы образуются в этих превращениях?

9.7. Радон-222 и его дочернее ядро α -радиоактивны, а два последующих в цепочке превращений ядра β -радиоактивны. Запишите и обоснуйте суммарную реакцию этих четырех ядерных превращений. Какое ядро в результате образуется?

9.8. При бомбардировке изотопа алюминия ${}_{13}Al^{27}$ α -частицами получается радиоактивный изотоп ${}_{15}P^{30}$, который затем распадается с выделением позитрона. Написать уравнения обеих реакций.

9.9. Последовательный ряд радиоактивных распадов ядер, начинающийся с радия-226, включает в себя сначала три α -превращения, а затем два β -превращения. Какой изотоп, сколько и какие нейтрино при этом образуются?

9.10. Какой изотоп образуется из ${}^8_3\text{Li}$ после одного β -распада и одного α -распада?

9.11. Сколько α - и β -распадов испытывает уран-238, превращаясь в конечном счете в стабильный изотоп свинца-206? Какие еще частицы образуются в этих превращениях?

9.12. Почему невозможно протекание записанных ниже ядерных реакций: $\text{C}^{14} + \text{p} = \text{N}^{13} + \text{n}$, $\text{K}^{40} + \text{e}^- = \text{Ar}^{39} + \text{n}$?

9.13. Ядро Zn^{62} захватило электрон с К-слоя атома, а спустя некоторое время образованное ядро испустило позитрон. Какое ядро получилось в результате этих превращений?

9.14. Какой изотоп образуется из α -радиоактивного R^{226} в результате пяти α -распадов и четырех β -распадов?

9.15. Радиоактивный ряд α - и β -распадов нептуния-237 оканчивается висмутом-209. Сколько ядер содержит этот ряд? Какие и сколько частиц при этом образуются?

9.16. Найдите физические причины, по которым запрещено протекание следующих ядерных реакций: $\text{Li}^7 + \text{p} = \text{He}^3 + \alpha$, $\text{Fe}^{56} + \alpha = \text{Cu}^{60} + \beta$.

9.17. Некоторый радиоактивный ряд α - и β -распадов оканчивается свинцом-206 и содержит восемь α -распадов. Каким изотопом урана этот ряд начинается? Сколько β -распадов содержит этот ряд?

9.18. Какой изотоп образуется из U^{238} после трех α -распадов и двух β -распадов? Сколько нейтрино при этом образуются?

9.19. Ядро урана-238 поглотив нейтрон испускает последовательно 2 электрона. Запишите эти три реакции. Какой трансурановый элемент образуется при этом?

9.20. В ядерной реакции $\text{Be}^9(\alpha, \text{n})\text{X}$ образуются нейтроны. В свободном состоянии нейтрон является нестабильной частицей и, распадаясь, превращается в протон. Запишите обе реакции, Какие частицы при этом еще образуются?

9.21. Какой из приведенных ниже процессов запрещен законами сохранения: $\text{p} + \text{e}^- \rightarrow \text{n} + \nu$, $\text{n} \rightarrow \text{p} + \text{e}^- + \nu$?

9.22. Спонтанное деление ядра U^{238} приводит к образованию двух ядер, одним из которых является стронций-96, и вылету трех нейтронов. Запишите эту реакцию и назовите второе образующееся ядро. Запишите реакцию β -распада стронция-96.

9.23. По современным представлениям ядро Li^7 может образоваться только в результате соединения изотопов He^3 и He^4 с последующим захватом электрона промежуточным ядром. Запишите обе реакции. Какие еще частицы образуются при этом?

9.24. При ядерном взрыве ядро урана-238 подверглось облучению мощным потоком нейтронов. В результате последующих восьми β -распадов оно превратилось в трансурановый изотоп фермий ${}_{100}\text{Fm}^{255}$. Сколько всего нейтронов поглотило ядро урана? Запишите суммарную ядерную реакцию.

9.25. В радиоактивном ряду урана ядро висмута-212 может превратиться в ядро свинца-208 двумя способами (претерпевая α - и β -распады), напишите возможные реакции. Какие промежуточные ядра и какие частицы при этом образуются?

10. ВЫДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ

Энергия, выделяющаяся в ядерной реакции: $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$,

где: Δm - изменение масс частиц (ядер) в реакции, c - скорость света.

Т.к. $\Delta m = 1,00000$ а.е.м. соответствует $\Delta E = 931,5$ МэВ, то для практических расчетов можно использовать формулу: $\Delta E = 931,5 \cdot \Delta m$, где Δm – в а.е.м., а ΔE - в МэВ.

Массы частиц и атомов. Таблица 8.1.

Z	Изотоп, частица	Атомная масса, а.е.м.	Z	Изотоп, Частица	Атомная Масса, а.е.м.
	Электрон, e	0,00055	26	Fe ⁵³	52,94558
	Протон, p	1,00728	29	Cu ⁶³	62,92960
	Нейтрон, n	1,00867	38	Sr ⁹²	91,91052
1	H ¹	1,00783	39	Y ⁹⁷	96,90022
1	H ²	2,01410	42	Mo ⁹⁶	95,90455
1	H ³	3,01605	53	I ¹³⁶	135,91474
2	He ³	3,01603	54	Xe ¹⁴¹	140,90374
2	He ⁴	4,00260	57	La ¹³⁹	138,90606
3	Li ⁶	6,01513	82	Pb ²⁰⁶	205,97452
3	Li ⁷	7,01601	84	Po ²¹²	211,98886
6	C ¹²	12,00000	92	U ²³⁵	235,04393
8	O ¹⁶	15,99492			
13	Al ²⁷	26,98154			
14	Si ³⁰	29,97376			
19	K ⁴¹	40,96184			

10.1. Ядра-изобары H³ и He³ состоят из одинакового числа частиц (нуклонов). Одинаковы ли у них энергии связи? Какое из этих ядер более устойчиво?

10.2. Одним из способов получения потоков нейтронов является так называемый ядерный фотоэффект: выбивание из ядер нейтронов под действием электромагнитных фотонов с очень большой энергией. Какую минимальную энергию должны иметь фотоны для выбивания нейтрона из дейтона и бериллия-9?

10.3. Какую массу воды можно нагреть от 0°С до кипения, если использовать все тепло, выделяющееся в реакции ${}^3\text{Li}(p, \alpha)$, при полном разложении протонами одного грамма лития?

10.4. Какая энергия выделится в ядерной реакции ${}_{13}\text{Al}^{27}(\alpha, p)$, если претерпевают ядерное превращения все ядра алюминия в 1г его массы? Какое количество угля эквивалентно в энергетическом отношении выделенной энергии?

10.5. Ядра лития-7 бомбардируются протонами. В результате протекания ядерной реакции образуются две одинаковых частицы. Найти импульсы этих частиц. Считать, что ядро-мишень неподвижно, а энергия налетающего протона равна 2,6 МэВ.

10.6. Сколько тепла выделяется при образовании одного грамма гелия-3 из дейтерия? Какая масса каменного угля эквивалентна в тепловом отношении полученной величине?

10.7. В цепной реакции деления урана-235 в ядерном реакторе под действием теплового нейтрона образуются три вторичных нейтрона и ядро иода-136. Запишите эту реакцию и найдите ее энергетический выход (энергией поглощаемого нейтрона пренебечь). Рассчитайте, какая энергия выделяется на единицу массы урана, сравните ее с удельным энерговыделением при горении нефти.

10.8. В центре солнца протекает реакция ядерного синтеза гелия из водорода, в которой из четырех протонов образуется ядро гелия-4. Напишите эту реакцию и найдите ее энергетический выход. Найдите по законам теплового излучения мощность излучения солнца и оцените по этим данным, какое количество водорода «выгорает» каждую секунду в Солнце.

10.9. В термоядерных реакторах будущего предполагается проводить дейтерий-дейтериевые термоядерные реакции, в которых образуется один из изотопов гелия и нейтрон. Запишите эту реакцию и найдите, какая энергия в ней выделяется. Сколько тяжелого водорода надо «сжечь» в таком реакторе за сутки, чтобы обеспечить ему мощность в 1 ГВт (выходная электрическая мощность современного типового ядерного реактора)?

10.10. При взрыве водородной бомбы протекает дейтерий-третиевая реакция ядерного синтеза (${}_1\text{H}^2 + {}_1\text{H}^3$), в которой в частности образуются нейтроны. Найдите энергию, выделяющуюся в этой реакции. Сколько по массе нужно взять дейтерия и трития, чтобы сделать водородную бомбу с тротиловым эквивалентом 100 килотонн (тепловой эффект для тротила равен $4,1 \cdot 10^6$ Дж/кг)?

10.11. 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 U^{235} ; считать, что деление ядра происходит так, как описано в задаче 10.7.

10.12. Найти энергию связи ядра ${}_2\text{He}^4$. Сколько гелия необходимо образовать из протонов и нейтронов, чтобы выделилась такая же энергия, которая выделяется при сгорании одного вагона угля (50 т)?

10.13. Построить график зависимости энергии связи ядер ${}_2\text{He}^4$, ${}_8\text{O}^{16}$, ${}_{19}\text{K}^{41}$, ${}_{29}\text{Cu}^{63}$, ${}_{42}\text{Mo}^{96}$, ${}_{57}\text{La}^{139}$, ${}_{82}\text{Pb}^{206}$, приходящейся на один нуклон, от общего числа нуклонов в ядре. Какую физическую информацию несет

этот график?

10.14. Какое количество U^{235} «выгорает» за год в ядерном реакторе с электрической мощностью 1 ГВт и к.п.д. 38%? Считать, что распад ядер урана под действием тепловых нейтронов приводит к образованию изотопов ксенона-141, стронция-92 и трех вторичных нейтронов.

10.15. Солнечная постоянная для земли (энергия солнечного излучения, падающего в единицу времени на единицу площади в перпендикулярном направлении) равна $1370 \text{ Дж/с}\cdot\text{м}^2$. Опираясь на эту величину, найдите, сколько по массе водорода выгорает каждую секунду внутри солнца, если известно, что источником энергии солнца является синтез четырех ядер водорода с образованием ядра гелия-4.

10.16. Во Франции начато строительство международного термоядерного реактора, в котором предполагается поводить управляемую реакцию ${}_1H^2 + {}_1H^2$, в которой образуется изотоп гелия и нейтрон. Какую мощность будет иметь такой реактор, если в нем будет «выгорать» 1 мг тяжелого водорода в секунду?

10.17. Из первоначально свободных протонов и нейтронов образуется ядро углерода-12. Какая энергия при этом выделяется, как она называется? Если синтезировать таким образом 1 г углерода, то сколько всего выделится при этом энергии? Какому количеству нефти эта энергия эквивалентна?

10.18. Найти электрическую мощность ядерного реактора атомной электростанции, расходующего 0,5 кг урана-235 в сутки, если к.п.д. реактора 32%. Считать, что цепная реакция деления урана проходит по схеме, описанной в задаче 8.15.

10.19. Взрыв водородной бомбы обусловлен очень быстрым энергосвободением, которое происходит в результате реакции ядерного синтеза тяжелых изотопов водорода: дейтерия и трития. В этой реакции также образуются в частности нейтроны. Найти количество нейтронов, которые пройдут через площадку в 1 см^2 , установленную перпендикулярно потоку этих частиц на расстоянии 1 км от эпицентра взрыва. Считать, что мощность бомбы эквивалентна 100 кг тротила, а удельное выделение энергии тротила составляет $4,1 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$.

- 1 КОМПТОНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ ФОТОНОВ
- 2 ФОТОЭФФЕКТ
- 3 ВОЛНЫ ДЕ БРОЙЛЯ
- 4 СООТНОШЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ
- 5 ЧАСТИЦА В БЕСКОНЕЧНО ГЛУБОКОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЯМЕ
- 6 БОРОВСКАЯ МОДЕЛЬ АТОМА ВОДОРОДА
- 7 ИЗЛУЧЕНИЕ АТОМА ВОДОРОДА И ВОДОРОДОПОДОБНЫХ ИОНОВ
- 8 РАДИОАКТИВНОСТЬ
- 9 ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ
- 10 ВЫДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ