

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**



*Сборник задач
ПО КУРСУ «ФИЗИКА»*

АТОМНАЯ ФИЗИКА

ТАШКЕНТ – 2010

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

УТВЕРЖДЕНО
Методической комиссией ЕОИП
Пр. № от «___» _____ 2010г.

***Сборник задач
ПО КУРСУ «ФИЗИКА»***

АТОМНАЯ ФИЗИКА

ТАШКЕНТ – 2010

Задачник предназначен для студентов бакалавров очной и заочной формы обучения. Прежде чем решать задачи, необходимо ознакомиться с «Введением». Перед каждым разделом имеется сводка основных формул и примеры решения типичных задач. Раздел «Введение» и часть задач составлены с использованием материалов из «Сборника задач по общему курсу физики В.С. Волькенштейн, 1995 изд. «Наука», Москва.

Составители: доц. Мирсоатов Р.М
доц. Закиров К.К
доц. Бурханов Ш.Д

Выходные данные:

Формат А5
Объем

№ заказа
печ.лист. 0,5

тираж 100
2006 М.У. ТАДИ.

ВВЕДЕНИЕ

Решение задач рекомендуется проводить по следующей схеме:

1. Внимательно прочитать условие задачи.
2. Выписать все уравнения относящиеся к условию задачи из справки, помещенной перед каждым параграфом.
3. Посмотреть и проанализировать решение типичных задач, данных перед каждым параграфом.
4. В формулах округлить все известные и данные в задаче параметры физических величин.
5. Произвести алгебраические преобразования с целью нахождения неизвестных параметров.
6. Подставить цифровые значения в системе СИ.
7. Проанализировать ответ на размерность и разумность полученного результата.

ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

Введение:

Единица радиоактивности и ионизирующих излучений.

В таблице 1 в соответствии с ГОСТом 8848-63 приведены основные и некоторые производные единицы для измерений в области радиоактивных и ионизирующих излучений. ГОСТом 8848-63 допускается также применение в несистемных единиц, приведенных в таблице 2.

Таблица 1.

Величина и ее обозначение	Уравнение, служащее для определения единицы	Единица измерения	Сокращенное обозначение	Размерность величины
Основные единицы.				
Длина l	-	метр	М	L
Масса m	-	килограмм	Кг	M
Время t	-	секунда	сек	T
Сила тока I	-	ампер	A	I
Производные единицы.				

Активность изотопа в радиоактивном источнике	$n = \frac{dN}{dt}$	Распад в секунду	расп/сек	T^{-1}
Интенсивность излучения	$J = \frac{W}{St}$	Ватт на квадратный метр	Вт/м ²	МТ ⁻³
Поглощенная доза излучения	$D_n = \frac{W}{m}$	Джоуль на килограмм	Дж\кг	L ² T ⁻²
Мощность поглощенной дозы излучения	$P_n = \frac{D_n}{t}$	Ватт на килограмм	Вт\кг	L ² T ⁻³
Экспозиционная доза рентгеновского и гамма излучений	$D_\gamma = \frac{q}{m}$	Кулон на килограмм	К\кг	M ⁻¹ TI
Мощность экспозиционной дозы рентгеновского и гамма - излучений	$P_\gamma = \frac{D_\gamma}{t}$	Ампер на килограмм	А\кг	M ⁻¹ I

Примечание. Определение единицы для измерения поглощенной дозы излучения и экспозиционной дозы рентгеновского и гамма – излучений.

Джоуль на килограмм поглощенная доза излучения, измеряемая энергией в 1 Дж ионизирующего излучения любого вида, переданной массе в 1 кг облученного вещества.

Кулон на килограмм экспозиционная доза рентгеновского и гамма излучений, при которой сопряженная корпускулярная эмиссия на 1 кг сухого атмосферного воздуха производит в воздухе ионы, несущие заряд в 1 к электричества каждого знака.

Таблица 2.

Величина	Единица измерения и ее связь с единицами СИ
Активность изотопа в радиоактивном источнике	1 кюри = 3,7 * 10 ¹⁰ расп/сек
Поглощенная доза излучения	1рад = 10 ⁻² Дж/кг

Экспозиционная доза излучений (рентгеновского и гамма) (рентген/р) = 2,57976*10⁻⁴ к/кг.

Примечание. Единицу экспозиционной дозы рентгеновского и гамма излучений кулона на килограмм, а также в несистемную единицу рентген, можно применять для измерений излучений с энергией квантов, не превышающей 5*10⁻¹³ (приблизительно 3Мэв).

§ 1. Квантовая природа света и волновые свойства частиц

Энергия кванта (фотона) определяется формулой:

$$\varepsilon = h\nu$$

где 6,625 * 10⁻³⁴ Дж/сек – постоянная Планка

ν - частота колебания.

Количество движения фотона

$$P_{\phi} = \frac{h\nu}{c}$$

масса фотона

$$m = \frac{h\nu}{c^2}$$

где c – скорость света в пустоте.

Связь между энергией фотона, вызывающей внешний фотоэффект, и, максимальной кинетической энергией вылетающих электронов дается формулой Эйнштейна

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$$

где A – работа выхода электрона из металла

m - масса электрона, если $\nu=0$, то $h\nu_0=A$, где ν_0 – частота, соответствующая красной границе фотоэффекта.

Величина светового давления

$$p = \frac{E}{C} (1 + \rho)$$

где E - количество энергии падающей на единицу поверхности за единицу времени, ρ - коэффициент отражения света.

Изменение длины волны рентгеновских лучей при комптоновском рассеянии определяется формулой

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \varphi)$$

где φ – угол рассеяния и m – масса электрона.

Пучок, элементарных частиц обладает свойством плоской волны, распространяющейся в направлении перемещения этих частиц. Длина волны, соответствующая этому пучку, определяется соотношением де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{1}{\sqrt{2W_k m}}$$

где v - скорость частиц, m - масса частиц и W_k - их кинетическая энергия. Если скорость v частиц соизмерима со скоростью света c , то предыдущая формула принимает вид

$$\lambda = \frac{h}{m_0 v} \sqrt{1 - \beta^2} = \frac{h}{\sqrt{2W_k m_0 + \frac{W_k^2}{c^2}}}$$

где $\beta=v/c$ и m_0 - масса покоя частицы.

Примеры решения задач

Задача № 1.

Докажите, что свободный электрон не может поглотить квант света.

Решение

Предположим, что электрон, покоящийся в данной системе обсчета, поглотил световой квант с энергией $\varepsilon = h\nu$. В этом случае его скорость можно определить, применив закон сохранения энергии:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} - 0 = \frac{mv^2}{2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2h\nu}{m}}$$

С другой стороны, при поглощении светового кванта должен выполняться закон сохранения импульса. Вычисления, выполненные на основе использования этого закона дают другое значение для скорости электрона:

$$\frac{h\nu}{c} = mv - 0 = mv$$

$$v = \frac{h\nu}{mc}$$

Следовательно, свободный электрон не может поглотить световой квант, так как в этом случае не могут одновременно выполняться закон сохранения импульса и закон сохранения энергии.

Задача № 2.

В работе А.Г. Столетова «Актино – электрические исследования» впервые были установлены основные законы фотоэффекта. Один из результатов его опытов был сформулирован так: «Разряжающим действием обладают лучи самой высокой преломляемости, длина которых менее $295 \cdot 10^{-6}$ мм». Определить работу выхода электрона из металла, с которым работал А.Г. Столетов.

Решение

Имеем

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$$

Для того, чтобы возник фотоэффект, необходимо, чтобы

$$h\nu > A, \quad \text{т.е.} \quad \nu > \frac{A}{h}$$

Но $\nu = \frac{c}{\lambda}$ и, следовательно, для фотоэффекта длины волны падающего света должна удовлетворять неравенству

$$\lambda < \frac{hc}{A}$$

В опытах Столетова $\lambda = 2,95 \cdot 10^{-4}$ мм, откуда нетрудно найти, что $A = 4,2$ эв.

Задачи

Задача № 1. Рентгеновский фотон с частотой $\nu = 1,5 \cdot 10^{19}$ Гц испытывает комптоновское рассеяние под углом $\varphi = 60^\circ$. Определите изменение длины волны рентгеновского излучения, импульс и энергию рассеянного фотона.

Задача № 2. С какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы соответствующая ему волна де Бройля имела длину, равную:

- 1) длине волны света зеленого света ($\lambda_1 = 5,5 \cdot 10^{-7}$ м);
- 2) длине волны рентгеновского излучения ($\lambda_2 = 1,2 \cdot 10^{-11}$ м)?

Какую разность потенциалов электрического поля необходимо приложить, чтобы разогнать электрон до этой скорости?

Задача № 3. Определить энергию фотонов, соответствующие наиболее длинным ($\lambda = 0,76$ мкм) и наиболее коротким ($\lambda = 0,4$ мкм) волнами видимой части спектра.

Задача № 4. Каков импульс фотона, энергия которого равна $6 \cdot 10^{-19}$ Дж?

Задача № 5. Источник света мощностью в 100 Вт испускает $5 \cdot 10^{20}$ фотонов за 1с. найти среднюю длину волны излучения.

Задача № 6. Под каким напряжением работает рентгеновская трубка, если самые «жесткие» лучи в рентгеновском спектре этой трубки имеют частоту 10^{19} Гц?

Задача № 7. Для определения минимальной длины волны в рентгеновском спектре пользуются формулой $\lambda = \frac{1,23}{U}$ (где λ – минимальная длина волны, выраженная в нанометрах, U – напряжение на трубке в киловольтах). Вывести эту формулу. Какова минимальная длина волны рентгеновского излучения, если опорное напряжение трубки 20 кВ?

Задача № 8. Рентгеновская трубка, работающая под напряжением 50 кВ и потребляющая так 2 мА, излучает $5 \cdot 10^{19}$ фотонов в секунду. Считая среднюю длину волны излучения равной 0,1 нм, найти КПД трубки, т.е. определить, сколько процентов мощность рентгеновского излучения составляет от мощности потребляемого тока.

Задача № 9. Длинноволновая (красная) граница фотоэффекта для серебра равна 0,26 мкм. Определить работу выхода в джоулях.

Задача № 10. Определить красную границу фотоэффекта для калия, если работа выхода равна 2 эВ.

Задача № 11. Какой частоты свет следует направить на поверхность платины, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была равна 3000 км/с. Работа выхода для платины равна 6,3 эВ.

Задача № 12. Сравнить давления света, производимые на идеально белую и идеально черную поверхности при прочих равных условиях.

Задача № 13. Найти массу фотона:

- 1) красных лучей света ($\lambda = 7 \cdot 10^{-5}$);
- 2) рентгеновских лучей ($\lambda = 0,25$ А);
- 3) гамма лучей ($\lambda = 1,24 \cdot 10^{-2}$ А).

Задача № 14. Определить энергию, массу и количество движения фотона, если соответствующая ему длина волны равна 0,016 А.

Задача № 15. С какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его кинетическая энергия была равна энергии фотона с $\lambda = 5200$ А?

Задача № 16. Какую энергию должен иметь фотон, чтобы его масса была равна массе покоя электрона?

Задача № 17. Количество движения, переносимое монохроматическим пучком фотонов через площадку $S=2 \text{ см}^2$ за время $t=0,5 \text{ мин}$, равно $p_T=3 \cdot 10^{-4} \text{ г} \cdot \text{см/сек}$. Найти для этого пучка энергию, падающую на единицу площади за единицу времени.

Задача № 18. Найти массу фотона, количество движения которого равно количеству движения молекулы водорода при температуре 20°C . скорость молекулы считать равной средней квадратичной скорости.

Задача № 19. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна $2750 \text{ \AA}$. Чему равно минимальное значение энергии протона, вызывающего фотоэффект?

Задача № 20. Найти частоту света, вырывающего с поверхности металла электроны, полностью задерживающиеся обратным потенциалом в 3 в . Фотоэффект у этого металла начинается при частоте падающего света в $6 \cdot 10^{14} \text{ сек}^{-1}$. Найти работу выхода электрона из этого металла.

Задача № 21. Найти величину задерживающего потенциала для фотоэлектронов, испускаемых при освещении калия светом, длина волны которого равна $3300 \text{ \AA}$.

Задача № 22. При фотоэффекте с платиновой поверхности величина задерживающего потенциала оказалась равной $0,8 \text{ В}$. Найти:

- 1) длину волны применяемого облучения;
- 2) максимальную длину волны, при которой еще возможен фотоэффект.

Задача № 23. В одном из опытов П.Н. Лебедева при падении света на зачерненный кружок ($\rho=0$) угол поворота нити был равен 10^0 . Найти:

- 1) величину светового давления;
- 2) мощность падающего света.

Данные прибора взять из условия задачи № 26.

Задача № 24. В одном из опытов П.Н. Лебедева мощность падающего на кружки монохроматического света ($\lambda=5,6 \cdot 10^{-5} \text{ см}$) была равна $0,5 \text{ Дж/мин}$. Найти:

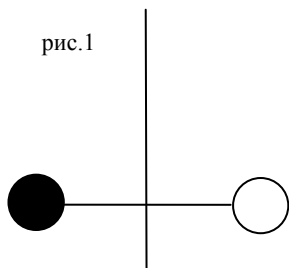
- 1) число фотонов, падающих на 1 см^2 поверхности крылышек за 1 сек ;
- 2) импульс силы, сообщенный 1 см^2 поверхности кружков за 1 сек .

Величину импульса найти для случаев: а) $\rho=0$, б) $\rho=0,5$ и в) $\rho=1$. Данные прибора взять из условия задачи № 26.

Задача № 25. На рис. 1 показана часть прибора, с которым П.Н. Лебедев производил свои опыты по измерению давления света. Стеклообразная крестовина, подвешенная на тонкой нити, заключена в откачанный сосуд и несет на концах два легких кружка из платиновой фольги. Один кружок зачернен, другой оставлен блестящим. Направляя свет на один из кружков, и измеряя угол поворота нити (для зеркального отсчета служит зеркальце S), можно определить величину светового давления. Найти:

- 1) величину светового давления;

рис.1



- 2) энергию, подающую от дуговой лампы за 1 сек на 1 см^2 поверхности кружков, если при освещении блестящего кружка отклонение зайчика было равно 76 мм по шкале, удаленной от зеркальца на 1200 мм. Диаметр кружков 5 мм. Расстояние от центра кружка до оси вращения 9,2 мм. Коэффициент отражения света от блестящего кружка 0,5. Постоянная k момента кручения нити ($M=kd$) равна $2,2 \cdot 10^{-4} \text{ дн} \cdot \text{см/рад}$.

Задача № 26. Найти давление света на стенки электрической 100-ватной лампы. Колба лампы представляет собой сферический сосуд радиусом 5 мм. Стенки лампы отражают 4% и пропускают 6% падающего на них света. Считать, что 1 сл потребляемая мощность идет на излучение.

Задача № 27. На поверхность площадью 100 см^2 ежеминутно подает 63 Дж световой энергии. Найти величину светового давления в случаях, когда поверхность:

- 1) полностью отражает все лучи;
- 2) полностью поглощает все падающие на нее лучи.

Задача № 28. Монохроматический пучок света ($\lambda=4900 \text{ А}$), падая нормально на поверхность, производит давление на нее, равное $5 \cdot 10^{-7} \text{ кг/м}^2$. Сколько квантов света падает каждую секунду на единицу площади этой поверхности? Коэффициент отражения света $\rho=0,25$

Задача № 29. Рентгеновские лучи с длиной волны $\lambda=0,708 \text{ А}$ испытывают комптоновское рассеяние на парафине. Найти длину волны рентгеновских лучей, рассеянных в направлениях: 1) $\frac{\pi}{2}$; 2) π .

Задача № 30. Какова была длина волны рентгеновского излучения, если при комптоновском рассеянии этого излучения графитом под углом 60° длина волны рассеянного излучения оказалась равной $2,54 \cdot 10^{-9} \text{ см}$?

Задача № 31. В явлении Комптона энергия падающего фотона распределяется поровну между рассеянным фотоном и электроном отдачи. Угол рассеяния равен $\frac{\pi}{2}$. Найти энергию и количество движения рассеянного фотона.

Задача № 32. Энергия рентгеновских лучей равна 0,6 Мэв. Найти энергию электрона отдачи, если известно, что длина волны рентгеновских лучей после комптоновского рассеяния изменилась на 20%.

Задача № 33. Найти длину волны де Бройля для электронов, прошедших разность потенциалов: 1) 18 и 2) 100 в.

Задача № 34. Решить предыдущую задачу для пучка протонов.

Задача № 35. Найти длину волны де Бройля для:

- 1) электрона, летящего со скоростью 10^8 см/сек ;
- 2) атома водорода, движущегося со скоростью, равной средней квадратичной скорости при температуре 300° К ;

3) шарика массой в 1г, движущегося со скоростью в 1 см\сек.

Задача № 36. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов 200 в, имеет длину волны де Бройля, равную 0,0202 А. Найти массу этой частицы, если известно, что заряд ее численно равен заряду электрона.

Задача № 37. Найти длину волны де Бройля для электрона, кинетическая энергия которого равна: 1) 10 кэв; 2) 1Мэв.

Задача № 38. Найти длину волны де Бройля для атома водорода, движущегося при температуре 20⁰С с наиболее вероятной скоростью.

Задача № 39. При какой температуре кинетическая энергия молекулы двухатомного газа будет равна энергии фотона с длиной волны $\lambda=5,89 \cdot 10^{-4}$ мм?

Ответы:

1. $0.12 \cdot 10^{-11}$ м; $3.15 \cdot 10^{-23}$ кг*м/сек; $9.45 \cdot 10^{-15}$ Дж.
2. $1.32 \cdot 10^2$ м/сек; $0.6 \cdot 10^8$ м/сек; $5 \cdot 10^{-6}$ в; 10^4 в.
3. $2.6 \cdot 10^{-19}$ Дж; $5 \cdot 10^{-19}$ Дж.
4. $2 \cdot 10^{-27}$ кг*м/сек.
5. 0.99 мкм.
6. 41 кВ.
7. 62 пм.
8. 0.1%
9. $7.6 \cdot 10^{-18}$ Дж.
10. 0.62 мкм.
11. $7.7 \cdot 10^{15}$ Гц.
12. На белую в 2 раза больше.
13. 1) $3.2 \cdot 10^{-36}$ кг. 2) $8.8 \cdot 10^{-32}$ кг. 3) $1.8 \cdot 10^{-30}$ кг.
14. $r=1.15 \cdot 10^{-13}$ Дж $m=1.38 \cdot 10^{-30}$ кг ----- $=4.1 \cdot 10^{-22}$ кг*м/сек.
15. $v=9.2 \cdot 10^5$ м/сек.
16. 0.51 Мэв.
17. $E=P_T/P_T=150$ Дж/м²*сек.
18. $m=2.1 \cdot 10^{-32}$ кг.
19. $E=4.5$ эв.
20. $A=2.48$ эв.
21. $U=1.75$
22. 1) 2040 А, 2) 3240 А.
23. 1) $P=3.55 \cdot 10^{-7}$ ---/м², 2) $N=2.1 \cdot 10^{-3}$ Вт.
24. 1) $1.2 \cdot 10^{17}$, 2) а) $1.42 \cdot 10^{-6}$, б) $2.13 \cdot 10^{-6}$, в) $2.84 \cdot 10^{-6}$
25. $P=3.85 \cdot 10^{-6}$ Н/м², $E=7.7 \cdot 10^{-2}$ Дж/см²*сек.
26. $P=1.04 \cdot 10^{-5}$ Н/м².
27. 1) $P=7 \cdot 10^{-7}$ Н/м², 2) $P=3.5 \cdot 10^{-7}$ Н/м²
28. $2.9 \cdot 10^{21}$ квантов.
29. 1) $\Delta\lambda=0.024$ А и $\lambda=\lambda_0+\Delta\lambda=0.732$ А, 2) $\Delta\lambda=0.048$ А и $\lambda=0.756$ А
30. $\lambda_0=0.242$ А
31. $W=2.6 \cdot 10^5$ эл $P_\phi=9.3 \cdot 10^{-12}$ кг*м/сек
32. $W=0.1$ Мэв
33. $\lambda=12.3$ А $\lambda=1.23$ А
34. $\lambda=0.29$ А $\lambda=0.029$ А
35. 1) $\lambda=7.3$ А 2) $\lambda=1.44$ А 3) $\lambda=6.6 \cdot 10^{-27}$ А

36. $m=1.67 \cdot 10^{-27}$ кг
 37. 0.122A 0.0087A
 38. $\lambda=1.8$ Å
 39. $T=9800$ K

§ 2. Атом Бора. Рентгеновские лучи

Согласно первому постулату Бора движение электрона вокруг ядра возможно только по определенным орбитам, радиусы которых удовлетворяют соотношению

$$mv_k r_k = k \frac{h}{2\pi}$$

где m – масса электрона, v_k – его скорости на k -ой орбите, r_k – радиус этой орбиты, h – постоянная Планка и k – любое целое число (квантовое число).

По второму постулату Бора частота излучения, соответствующая переходу электрона с одной орбиты на другую определяется формулой

$$h\nu = W_n - W_k$$

где k и n – номера орбит ($n > k$), W_k и W_n – соответствующие им значения энергии электрона.

Формула, позволяющая найти частоты ν или длины волн λ , соответствующие линиям водородного спектра, имеет вид

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = R_c \left(\frac{1}{K^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

где k и n – номера орбит, C – скорость света в вакууме и R – постоянная Ридберга, равная

$$R = \frac{e^4 m}{8\epsilon_0^2 h^3 C} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

Здесь e – заряд электрона, m – его масса, h – постоянная Планка и ϵ_0 – электрическая постоянная. Формула, позволяющая найти частоты ν или длины волн λ для водородно-подобных ионов, имеет вид

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = R_c Z^2 \left(\frac{1}{R^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

где Z – порядковый номер элемента.

При дифракции рентгеновских лучей имеет место уравнение Вульфа – Брегга

$$2d \sin \varphi = m\lambda (m = 0, 1, 2, \dots)$$

где d – расстояние между атомными плоскостями кристалла и φ – угол между пучком рентгеновских лучей и поверхностью кристалла.

Коротковолновая граница сплошного рентгеновского спектра может быть найдена из соотношения

$$h\nu_0 = eU$$

где U – разность потенциалов, приложенная к рентгеновской трубке.

Длины волн рентгеновских характеристических лучей могут быть найдены по формуле Мозли

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = R_c (Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{R^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

где Z – порядковый номер элемента, из которого сделан антикатод, и σ – “постоянная экранирования”. Последняя формула может быть переписана так:

$$\sqrt{v} = a(Z - \sigma), \text{ где } a = \sqrt{R_c \left(\frac{1}{R^2} - \frac{1}{n^2} \right)}$$

Интенсивность пучка рентгеновских лучей, прошедший сквозь пластинку толщиной x , определяется формулой

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

где I_0 – интенсивность пучка, падающего на пластину, и μ – линейный коэффициент поглощения. Коэффициент поглощения μ зависит от длины волны рентгеновских лучей и от плотности вещества. Массовый коэффициент μ_m поглощения связан с линейным коэффициентом соотношением $\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$, где ρ – плотность материала.

Поглощение рентгеновских лучей различными веществами можно охарактеризовать так называемым «слоем половинного ослабления», т.е. толщиной пластины уменьшающей вдвое интенсивность падающих лучей.

Примеры решения задач

Задача № 1.

Определить частоту света, излучаемого возбужденным атомом водорода, при переходе электрона на второй энергетический уровень, если радиус орбиты электрона изменился в 9 раз.

Решение.

Согласно обобщенной формуле Бальмера, частота света, излучаемого атомом водорода.

$$\nu = R \left(\frac{1}{K^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (1)$$

где $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ – постоянная Ридберга, k – определяет серию (по условию задачи, $k=2$ – серия Бальмера) т.е. номер орбиты, на которую переходит электрон, n – определяет отдельную линию серии, т.е. номер орбиты, с которой переходит электрон.

Второй закон Ньютона для электрона, движущегося по окружности радиусом r_n под действием кулоновской силы,

$$\frac{k_c v_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2} \quad (2)$$

Согласно теории Бора, момент импульса электрона, движущегося по n -й орбите,

$$R_c v_n r_n = nh (n=1,2,3,...) \quad (3)$$

Решая уравнение (2) и (3), получим

$$r_n = n^2 \frac{n^2 * 4\pi\epsilon_0}{K_e e^2} \quad (4)$$

Из выражения (4) и условия задачи следует, что

$$\frac{r_n}{r_2} = \frac{n^2}{k^2} = 9 \quad (5)$$

Умножив и разделив первую часть уравнения (1) на k^2 и учитывая (5), получим искомую частоту

$$\nu = R \left(1 - \frac{k^2}{n^2} \right) * \frac{1}{k^2} = \frac{R}{4} \left(1 - \frac{1}{9} \right) = \frac{2}{9} R$$

Вычисляя, получим $\nu = 7,31 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$.

Задача № 2.

Определив энергию ионизации атома водорода. Найти в электрон*вольтах энергию фотона, соответствующую самой длинной волновой линии серии Лоймана.

Решение.

Энергия ионизации атома (энергия, необходимая для отрыва электрона, находящегося в основном состоянии, от атома) определяется уравнением

$$E_i = h\nu = hR \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

где $=3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ – постоянная Ридберга, $k=1$ и $n=\infty$. Тогда искомая энергия ионизации

$$E_i = hR \quad (1)$$

Самая длинноволновая линии серии Лаймана соответствует переходу электрона со второго энергетического уровня на основной, т.е.

Учитывая (1), получим искомую энергию фотона, соответствующую самой длинноволновой линии серии Лаймана:

$$E\lambda_{\max} = E_{21} = h\nu_{21} = hR \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{3}{4} hR$$

Вычисляя, получим

1) $E_i = 13,6 \text{ эВ};$

2) $E_{\lambda_{\max}} = 10,2 \text{ эВ}.$

Задачи

Задача № 1. На какие стационарные орбиты переходят электроны атома водорода при испускании видимых лучей? ультрафиолетовых? инфракрасных?

Задача № 2. При переходе электронов в атомах водорода с четвертой стационарной орбиты на вторую излучаются фотоны с энергией $4,04 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$, (зеленная линия водородного спектра). Определить длину волны этой линии спектра.

Задача № 3. При облучении паров ртути электронами энергия атома ртути увеличивается на $4,9 \text{ эВ}$. Какова длина волны излучения, которую атомы испускают при переходе в невозбужденное состояние?

Задача № 4. Для ионизации атома кислорода необходима энергия около 14 эВ . Найти частоту излучения, которое может вызвать ионизацию.

Задача № 5. Найти (с точностью до двух значащих цифр) значения постоянной R в формуле Бальмера, зная, что наименьшая частота излучения в видимой части спектра водорода равна $4,8 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.

Задача № 6. Наибольшая длина волны излучения в видимой части спектра водорода $0,66 \text{ мкм}$. Найти длины волн ближайших трех линий в видимой части спектра водорода.

Задача № 7. Определить энергию фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на второй.

Задача № 8. Определить максимальную и минимальную энергию фотона в видимой серии спектра водорода (серии Бальмера).

Задача № 9. Определить длину волны λ , соответствующую второй спектральной линии в серии Пашина.

Задача № 10. Определить, длины волн, соответствующие: 1) границы серии Лаймана; 2) границы серии Бальмера; 3) границы серии Пашина.

Задача № 11. Определить число спектральных линий, испускаемых атомарным водородом, возбужденным на n -й энергетический уровень.

Задача № 12. Используя теорию Бора для атома водорода, определить: 1) радиус ближайшей к ядру орбиты (первый Боровский радиус), 2) скорость движения электрона на этой орбите.

Задача № 13. Определить на сколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода, при излучении атомом фотона с длиной волны $\lambda = 4.86 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

Задача № 14. Определить длину волны λ спектральной линии, излучаемой при переходе электрона с более высокого уровня энергии на более низкий уровень, если при этом энергия атома уменьшилась на $\Delta E = 10 \text{ эВ}$.

Задача № 15. Используя теорию Бора, определить орбитальный магнитный момент электрона, движущегося по третьей орбите атома водорода.

Задача № 16. Определить скорость электрона по третьей орбите атома водорода.

Задача № 17. Определить частоту вращения электрона на третьей орбите атома водорода.

Задача № 18. Определить: 1) частоту вращения электрона, находящегося на первой боровской орбите;

Задача № 19. Пользуясь теорией Бора найти числовое значение постоянной Ридберга.

Задача № 20. Определить потенциал ионизации атома водорода.

Задача № 21. Основываясь на том, что энергия ионизации атома водорода $E_i = 13.6 \text{ эВ}$. Определить первый потенциал возбуждения φ этого атома.

Задача № 22. Определить первый потенциал возбуждения атома водорода.

Задача № 23. Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы удалить электрон со второй боровской орбиты атома водорода за пределы притяжения его ядром.

Задача № 24. Электрон выбит из атома водорода, находящегося в основном состоянии, фотоном энергии $E = 17.7 \text{ эВ}$. Определить скорость v электрона за пределами атома.

Задача № 25. Найти: 1) радиусы первых трех боровских электронных орбит в атоме водорода; 2) скорость электрона на них?

Задача № 26. 1) Найти наибольшую длину волны в ультрафиолетовой серии спектра водорода; 2) какую наименьшую скорость должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами электронов появилась эта линия?

Задача № 27. Определить потенциал ионизации атома водорода.

Задача № 28. Определить первый потенциал возбужденного атома водорода.

Задача № 29. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной атомарным водородом. Постоянная решетки равна $5 \cdot 10^{-4}$ см. какому переходу электрона соответствует спектральная линия, наблюдаемая при помощи этой решетки в спектре пятого порядка под углом 41° .

Задача № 30. Найти длину волны де Бройля для электрона, движущегося по первой боровской орбите в атоме водорода.

Задача № 31. Найти: 1) радиус первой боровской электронной орбиты для однократно ионизируемого гелия; 2) скорость электрона на ней?

Задача № 32. Найти первый потенциал возбуждения 1) однократно ионизируемого гелия; 2) двукратно ионизируемого лития.

Задача № 33. Найти потенциал ионизации: 1) однократно ионизируемого гелия; 2) двукратно ионизируемого лития.

Задача № 34. Найти длину волны фотона, соответствующего переходу электрона со второй боровской орбиты на первую в однократно ионизируемом атоме гелия.

Задача № 35. Решить предыдущую задачу для двукратно ионизированного атома лития.

Задача № 36. К электродам рентгеновской трубки, приложена разность потенциалов 60 кВ. Наименьшая длина волны рентгеновских лучей, получаемых от этой трубки равна 0.206 А. Найти из этих данных постоянную Планка.

Задача № 37. Найти коротко - волновые границы непрерывного рентгеновского спектра для случаев, когда к рентгеновской трубке приложена разность потенциалов: 1) 30 кВ, 2) 40 кВ.

Задача № 38. Найти для алюминия толщину слоя половинного ослабления для рентгеновских лучей некоторой длины волны, если известно, что массовый коэффициент поглощения алюминия для этой длины волны равен $5.3 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Ответы:

1. на 2-ю, 3-ю, 1-ю и выше
2. 0.49 нм
3. 0.25 нм
4. $3.4 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$
5. $3.3 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$

6. 0.49мкМ, 0.43мкМ, 0.41мкМ
7. 1.89эВ
8. $E_{\max}=3.41\text{эВ}$, $E_{\min}=1.89\text{эВ}$
9. 1.28
10. 1)91нМ, 2)364нМ, 3)820нМ
11. $N=n(n-1)/2$
12. 1)52.8пМ, 2)2.19ММ/с
13. на 2.56эВ
14. 124нМ
15. $p_m=enh/(2m)=2.8\cdot10^{-23}\text{А}\cdot\text{м}^2$
16. $\vartheta=e^2/(4\pi\epsilon_0nh)=0.731\text{ММ/с}$
17. $f=me^4/(4\pi^3\epsilon_0^2h^3)=2.42\cdot10^{14}\text{Гц}$
18. 1) $6.58\cdot10^{15}\text{Гц}$,
19. $R=me^4/(8h^3\epsilon_0^2)=3.27\cdot10^{15}\text{с}^{-1}$
20. 13.6В
21. 10.2В
22. $\varphi_1=3Rh/(4e)=10.2\text{В}$
23. $5.45\cdot10^{-19}\text{Дж}$
24. 1.2ММ/с
25. $r_1=0.53\cdot10^{-10}\text{м}$, $r_2=2.12\cdot10^{-10}\text{м}$, $r_3=4.77\cdot10^{-10}\text{м}$
26. 1) $\lambda=1.21\cdot10^{-7}\text{м}$, 2) $\vartheta=1.90\cdot10^6\text{м/сек}$
27. $U_i=13.6\text{В}$
28. 10.2В
29. Переходу с n-3 на k-2
30. $\lambda=3.3\text{А}$
31. 1) $r_1=2.66\cdot10^{-11}\text{м}$, 2) $r_2=4.37\cdot10^7\text{м/сек}$
32. 1) $U=40.8\text{В}$, 2) $U=92.8\text{В}$
33. 1) $U=54\text{В}$, 2) $U=122\text{В}$
34. $\lambda=304\text{А}$
35. $\lambda=135\text{А}$
36. $h=6.6\cdot10^{-34}\text{дж}\cdot\text{сек}$
37. 1) 0.413А, 2) 0.31А, 3) 0.248А
38. $x=5\cdot10^{-4}\text{м}$

§ 3. Радиоактивность

Количество атомов радиоактивного вещества, распадающихся за время dt , пропорционально количеству наличных атомов и определяется соотношением

$$DN/dt = -\lambda N$$

Где λ - постоянная радиоактивного распада. Интегрируя, получим

$$N = N_1 e^{-\lambda t}$$

Где N_i – число атомов имевшихся в момент времени t_0 , N – число их по истечении времени t .

Период полураспада T и постоянная распада λ связаны соотношением

$$T = \ln 2 / \lambda$$

Величина, обратная постоянной распада $\tau = 1/\lambda$, называется средним временем жизни радиоактивного атома.

Если некоторое количество радиоактивного препарата А помещено в закрытый сосуд и при распаде вещества А образуется препарат Б, также радиоактивный, то количество вещества В в этом сосуде по истечении времени t определяется формулой

$$N_B = N_{IA} * \lambda_A / (\lambda_B - \lambda_A) * e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}$$

Здесь N_{ia} – количество препарата А при $t = 0$. λ_A и λ_B – постоянные распада препаратов А и В соответственно. Если период полураспада препарата А значительно больше периода полураспада препарата В, то последняя формула имеет вид

$$N_B = N_{IA} * (\lambda_A / \lambda_B) * (1 - e^{-\lambda_B t})$$

При радиоактивном равновесии $N_A / N_B = \lambda_B / \lambda_A$.

Удельная активность радиоактивного препарата определяется числом актов распада в одну секунду на единицу массы распадающегося вещества.

Примеры решения задач

Задача № 1.

Искусственно полученный радиоактивный изотоп кальция $^{45}_{20}\text{Ca}$ имеет период полураспада равный 164 суткам. Найти активность 1мкг этого препарата.

Решение.

Количество атомов радиоактивного вещества ΔN , распадающихся за время Δt , определяется формулой $|\Delta N| = \ln 2 / T$, где T – период полураспада изотопа, N – число его атомов в данной массе. Число атомов N связано с массой M препарата соотношением $N = (M/A) * N_0$, где N_0 – число Авогадро и A – масса одного атома. По условию задачи $T = 164,24 * 3600$ сек, $M = 10^{-9}$ кг, $N_0 = 6,02 * 10^{26}$ 1/кг*атом. Подставляя эти данные получим число распадов в 1 сек $\Delta N / \Delta t = 6,53 * 10^8$ расп/сек = $1,77 * 10^{-2}$ кюри.

Задачи

Задача 1. Сколько процентов радиоактивных ядер кобальта останется через месяц, если период полураспада равен 41 дню?

Задача 2. Активность радиоактивного элемента уменьшилась в 4 раза за 8 дней. Найти период полураспада.

Задача 3. Период полураспада π -мезона $\gg 8$ мс. За какое время (по часам земного наблюдателя) распадется 99% частиц, двигающихся со скоростью 0,6с.

Задача 4. Определить, что (и во сколько раз) продолжительнее три периода полураспада или два средних времени жизни радиоактивного ядра.

Задача 5. Определите во сколько раз начальное количество ядер радиоактивного изотопа уменьшится за три года, если за один год она уменьшилась в 4 раза.

Задача 6. Определить какая часть начального количества ядер радиоактивного изотопа распадется за время t , равное двум периодам полураспада $T_{1/2}$.

Задача 7. Определить период полураспада радиоактивного изотопа, если $5/8$ начального количества ядер этого изотопа распалось за время $t=849\text{с}$.

Задача 8. Период полураспада радиоактивного изотопа актиния $^{225}_{89}\text{Ac}$ составляет 10сут. Определить время, за которое распадается $1/3$ начального количества ядер актиния.

Задача 9. Постоянная радиоактивного распада изотопа $^{210}_{82}\text{Pb}$ равна 10^{-9}с^{-1} . Определить время в течении которого распадается $2/5$ начального количества ядер этого изотопа.

Задача 10. вывести формулу для скорости радиоактивного распада через период полураспада $T_{1/2}$ и начальное число радиоактивных атомов.

Задача 11. Активность некоторого радиоактивного изотопа в начальный момент времени составляла 100Ба. Определить активность изотопа по истечению изотопа времени равного половине периода полураспада.

Задача 12. Начальная активность 1гр изотопа радия $^{226}_{88}\text{Ra}$ равна 1Ки. Определить период полураспада $T_{1/2}$ этого изотопа.

Задача 13. Принимая что все атомы иода $^{131}_{58}\text{I}$ ($T_{1/2}=8\text{сут}$) массой $m=1\text{мкг}^2$ радиоактивны. Определить 1) начальную активность этого изотопа; 2) его активность через 3сут.

Задача 14. Определить период полураспада $T_{1/2}$ некоторого радиоактивного изотопа если его активность за 5сут уменьшилась в 2,2раза.

Задача 15. Определить удельную активность a (число распадов $d/\text{с}$ на 1кг вещества) изотопа $^{238}_{92}\text{U}$, если период его полураспада $T_{1/2}=4.5\cdot 10^9\text{лет}$.

Задача 16. Определить какая часть (%) начального количества ядер радиоактивного изотопа остается не распавшейся по истечении времени равного двум средним временам жизни τ радиоактивного ядра.

Задача 17. Сколько атомов полония распадется за сутки из 1млн атомов.

Задача 18. Найти число распадов за 1сек в 1г радия.

Задача 19. Найти постоянную распада радона если известно, что число атомов радона уменьшается за сутки на 18.2%

Задача 20. Найти удельную активность: 1) урана $^{235}_{92}\text{U}$ и 2) радона $^{222}_{86}\text{Rn}$.

Задача 21. Некоторый радиоактивный препарат имеет постоянную распада $\alpha=1.44\cdot 10^{-3}\text{л}^{-1}$. Через сколько времени распадется 75% первоначального количества атомов?

Задача 22. Кинетическая энергия α -частицы, вылетающей из ядра атома радия при радиоактивном распаде равна 4.78МэВ. Найти 1) скорость α -частицы, 2) полную энергию, выделяющуюся при вылете α -частицы.

Задача 23. Какое количество тепла выделяет 1кюри радона 1) 8час; 2) за среднее время жизни? Кинетическая энергия вылетающей из радона α -частицы равна 5,5МэВ.

Задача 24. В уране ${}_{92}\text{U}^{238}$ в равновесии с продуктами его распада выделяет мощность $1,07 \cdot 10^{-7}$ вт. Найти полное количество тепла, выделяемое одним граммом атомом урана.

Задача 25. Чему равна активность радона, образовавшегося из 1г радия за один час?

Задача 26. В результате распада 1г радия за год образовалось некоторое количество гелия, занимающего при нормальных условиях объем в $0,043\text{см}^3$. Найти из этих данных число Авогадро.

Задача 27. В закрытый сосуд помещен препарат, содержащий 1,5г радия. Какое количество радона накопится в этой ампуле по истечении времени $t=T/2$, где T-период полураспада радона?

Задача 28. В ампулу помещен радон активность которого равна 400мкюри. Через сколько времени после наполнения ампулы радон будет давать, $2,22 \cdot 10^9$ расп/сек?

Задача 29. Зная периоды полураспада радия и урана, найти, сколько атомов урана приходится на один атом радия в природной урановой руде. Указание: учесть, радиоактивность природного урана обусловлено в основном изотопом ${}_{92}\text{U}^{238}$.

Задача 30. Из какого наименьшего количества руды содержащей 42% чистого урана можно получить 1г радия?

Задача 31. Какая доля первоначального количества радиоактивного изотопа распадается за время жизни этого изотопа?

Задача 32. Найти активность 1мкг полония ${}_{84}\text{Po}^{210}$.

Задача 33. Найти удельную активность искусственно полученного изотопа стронция ${}_{38}\text{Sr}^{90}$.

Задача 34. К 10мг радиоактивного изотопа ${}_{20}\text{Ca}^{45}$ примешано 30мг нерадиоактивного изотопа ${}_{20}\text{Ca}^{40}$. На сколько уменьшилась удельная активность препарата?

Задача 35. Какой изотоп образуется из ${}_{90}\text{Th}^{232}$ после 4^x α -распадов и 2^x β -распадов?

Задача 36. Какой изотоп образуется из ${}_{92}\text{U}^{238}$ после 3^x α -распадов и 2^x β -распадов?

Задача 37. Какой изотоп образуется из ${}_{92}\text{U}^{239}$ после 2^x β -распадов и одного α -распада.

Задача 38. Какой изотоп образуется из радиоактивного изотопа ${}^8_3\text{Li}$ после $1^{\text{го}}$ β -распада и $1^{\text{го}}$ α -распада?

Задача 39. Какой изотоп образуется из радиоактивного изотопа сурьмы ${}^{133}_{51}\text{Sb}$ после $4^{\text{х}}$ β -распадов?

Задача 40. Записать α -распад радия ${}^{226}_{88}\text{Ra}$.

Ответы:

1. 75%
2. 4 дня
3. 150нс
4. ----
5. в 64 раза
6. 0,75
7. 10 мин
8. 5,85 сут
9. 16,2 года
10. $V = \ln 2 / T_{1/2}$
11. 70?7 Бк
12. 1582 года
13. 1) 4,61 ТБк 2) 3,55 ТБк
14. 4,4 сут
15. $a = NH(\ln 2) / (M \cdot T_{1/2}) = 12,3 \text{ МБк/кг}$
16. 13,5%
17. 5025 суток⁻¹
18. $3,7 \cdot 10^{10}$ расп/сек
19. $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ сек}^{-1}$
20. 1) $7,9 \cdot 10^7$ расп/сек 2) $5,7 \cdot 10^{18}$ расп/кг
21. через 40 суток
22. $V = 1,52 \cdot 10^7 \text{ м/сек}$
23. 1) $Q = 120 \text{ дж}$ 2) $Q = 1,6 \cdot 10^4 \text{ дж}$
24. $Q = 5,2 \cdot 10^{12} \text{ дж}$
25. $2,8 \cdot 10^2$ расп/сек
26. $N_0 = 6 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1}$
27. $m = 4,8 \cdot 10^{-9} \text{ кг}$
28. через 10,4 суток
29. $2,8 \cdot 10^6$ атомов
30. из $7 \cdot 10^3 \text{ кг}$ руды
31. 63,2%
32. $1,67 \cdot 10^8$ расп/сек
33. $5,25 \cdot 10^{15}$ расп/(сек*кг)
34. $1,32 \cdot 10^7$ кюри/кг
35. ${}^{216}_{84}\text{Po}$
36. ${}^{226}_{88}\text{Ra}$
37. ${}^{235}_{92}\text{U}$
38. ${}^4_2\text{He}$
39. ${}^{133}_{55}\text{Cs}$

§ 4. Ядерные реакции

Энергия связи ядра любого изотопа определяется соотношением

$$\Delta W = C^2 \Delta M$$

где ΔM – разность между массой частиц, составляющих ядро, и массой самого ядра. Очевидно,

$$\Delta M = ZM_n + (M - Z)M_n - M_{\text{я}} \quad (1)$$

где Z – порядковый номер изотопа, M – массовое число, M_n – масса протона, M_H – масса нейтрона и $M_{\text{я}}$ – масса ядра изотопа. Так как $M_{\text{я}} = M_A - Zm$, где M_A – масса изотопа и m – масса электрона, то предыдущие уравнение можно заменить следующим:

$$\Delta M = ZM_n + H' + (M - Z)M_H - M_A \quad (2)$$

где M, H' – масса изотопа водорода, H' и M_A масса домного изотопа.

Изменение энергии при ядерной реакции определяется соотношением

$$\Delta W = C^2 (\sum M_1 - \sum M_2)$$

где $\sum M_1$ – сумма масс частиц до реакции и $\sum M_2$ – сумма масс частиц после реакции.

Если $\sum M_1 > \sum M_2$, то реакция идет с выделением энергии, если же $\sum M_1 < \sum M_2$, то реакция идет с поглощением энергии. Отметим, что в последнюю формулу так же, как и при вычислении энергии связи ядра, мы можем подставлять массу, изотопов, а не ядер, так как поправки на массу электронов оболочки выходят с разными знаками и поэтому исключаются.

Примеры решения задач

Задача №1.

Определить энергию связи, приходящую на один нуклон, $E_{\text{св}}/A$, ома ядра ${}_{26}\text{Fe}^{56}$.
Масса соответствующего атома равна

Задача №1.

Определить энергию связи, приходящую на один нуклон, $E_{\text{св}}/A$, ома ядра ${}_{26}\text{Fe}^{56}$.
Масса соответствующего атома равна 52103,47 МэВ. Масса атома водорода $m_p = 938,79$ МэВ.

Решение.

Энергия связи нуклонов в ядре определяется формулой

$$\frac{F_{\text{св}}}{A} = C^2 [ZM_n + (A - Z)M_H - M_A] = 492,17 \text{ МэВ}$$

Разделив полученное значение на $A=56$, получим искомую величину

$$\frac{F_{\text{св}}}{A} = 8,79 \text{ МэВ} / \text{нуклон}$$

Задача №2.

При бомбардировке изотопа лития ${}^6_3\text{Li}$ дейтронами ${}^2_1\text{H}$ ($M_{{}_1\text{H}^2} = 3,3446 \cdot 10^{-27}$ кг) образуются две α -частицы ${}^4_2\text{He}$ ($M_{{}_2\text{He}^4} = 6,6467 \cdot 10^{-27}$) и выделяется энергия $E = 22,3$ МэВ. Определить массу изотопа лития.

Решение.

Дефект массы ядра

$$\Delta M = M_3Li^6 + M_1H^2 - 2M_2He^4 \quad (1)$$

С другой стороны, $\Delta M = \frac{\Delta E}{C^2} \quad (2)$

Поэтому из выражений (1) и (2) найдем искомую массу изотопа лития:

$$M_3Li^6 = \frac{\Delta E}{C^2} + 2M_2He^4 - M_1H^2$$

Вычисляя, получим $=9,9884 \cdot 10^{-27}$ кг.

Задачи

Задача №1. Каков состав ядер натрия ($_{11}Na^{23}$), фтора ($_9F^{19}$), серебра ($_{47}Ag^{107}$), тория ($_{90}Th^{232}$), менделевия ($_{101}Mv^{256}$)?

Задача №2. Каков состав изотопов неона $_{10}Ne^{20}$, $_{10}Ne^{21}$, $_{10}Ne^{22}$?

Задача №3. Написать ядерную реакцию, происходящего при бомбардировке алюминия ($_{13}Al^{27}$) α - частицами и сопровождающуюся выбиванием протона.

Задача №4. Написать я ядерную реакцию, происходящего при бомбардировке бора ($_5B^{11}$) α - частицами и сопровождающуюся выбиванием нейтронов.

Задача №5. Для замедления быстрых нейтронов можно использовать, например, тяжелую воду углерод. В каком из этих замедлителей нейтрон испытывает большее число столкновений, пока его скорость не снизится до тепловой?

Задача №6. Написать реакцию α - распада радия ($_{88}Ra^{226}$). Сравнить импульсы и кинетические энергии образовавшихся ядер, считая, что до распада ядро радия покоилось.

Задача №7. Вычислить энергию связи ядра дейтерия $_1H^2$ (в МэВ).

Задача №8. Найти энергию связи ядра алюминия $_{13}Al^{27}$.

Задача №9. Ядро $_3Li^7$, захватывает протон, распадается на две α - частицы. Определить сумму кинетических энергий этих частиц. Кинетической энергией протона пренебречь.

Задача №10. Используя результат предыдущей задачи, найти какая энергия выделяется при синтезе 0,4 г дейтерия и 0,6г трития. Суммарную массу $_1H^2$ и $_1H^3$ округлить до 5 а.е.м.

Задача №11. При электрона и позитрона образовалось два одинаковых γ – кванта. Найти длину волны, пренебрегая кинетической энергией частиц до реакции.

Задача №12. Какова электрическая мощность атомной электростанции, расходующий в сутки 220г изотопа $_{92}U^{235}$ и имеющей КПД 25%?

Задача №13. Определить массу нейтрального атома хрома $_{24}Cr^{52}$.

Задача №14. Определить число протонов и нейтронов, входящих в состав ядер трех изотопов кислорода: 1) $_8O^{16}$; 2) $_8O^{17}$; 3) $_8O^{18}$.

Задача №15. Определить, пользуясь таблицей Менделеева, число нейтронов и протонов в атомах платины и урана.

Задача №16. Определить, какая энергия в электрон – вольтах соответствует дефекту массы $\Delta M = 3 \text{ мг}$.

Задача №17. Определить энергию связи ядра атома гелия ${}^4_2\text{He}$. Масса нейтрального атома гелия равна $6,6467 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Задача №18. Определить удельную энергию связи $\delta E_{\text{св}}$ (энергию связи, отнесенную к одному нуклону) для ядер: 1) ${}^4_2\text{He}$; 2) ${}^{12}_6\text{C}$. Массы нейтральных атомов гелия и углерода соответственно равны $6,6467 \cdot 10^{-27}$ и $19,9272 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Задача №19. Используя данные задачи 18, определить, какая необходима энергия, чтобы разделить ядро ${}^{12}_6\text{C}$ на три α - частицы.

Задача №20. Определить массу изотопа ${}^{15}_7\text{N}$, если изменение массы при образовании ядра ${}^{15}_7\text{N}$ составляет $0,2508 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Задача №21. Пользуясь таблицей Менделеева и правилами смещения, определить, в какой элемент превращается ${}^{238}_{92}\text{U}$ после трех α – и двух β - распадов.

Задача №22. Ядра радиоактивного изотопа тория ${}^{232}_{90}\text{Th}$ претерпевают последовательно α – распад два β - распада и α - распад. Определить конечный продукт деления.

Задача №23. Определить сколько β – и α – частиц выбрасывается при превращении ядра галлия ${}^{210}_{81}\text{Tl}$ в ядро свинца ${}^{206}_{82}\text{Pb}$.

Задача №24. Определить высоту кулоновского потенциального барьера для α – частицы в ядре свинца ${}^{206}_{82}\text{Pb}$.

Задача №25. Определить энергию, выделяющуюся в результате реакции ${}^{23}_{12}\text{Mg} \rightarrow {}^{23}_{11}\text{Na} + {}^0_1\text{e} + {}^0_0\nu$. Массы нейтральных атомов магния и натрия соответственно равны $3,8184 \cdot 10^{-20}$ и $3,8177 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$.

Задача №26. Записать β – распад магния ${}^{27}_{12}\text{Mg}$.

Задача №27. Определить является ли реакция ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^7_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$ экзотермической или эндотермической. Определить энергию ядерной реакции.

Задача №28. Определить поглощается или выделяется энергия при ядерной реакции ${}^1_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$. Определить эту энергию.

Задача №29. Записать недостающие значения X в следующих ядерных реакциях:

1. ${}^{10}_5\text{B}(\text{n}; \alpha)\text{x}$;
2. ${}^{40}_{18}\text{Ar}(\alpha; \text{n})\text{x}$;
3. $\text{x}(\text{p}; \text{n}){}^{37}_{18}\text{Ar}$;
4. ${}^3_2\text{He}(\text{x}; \text{p}){}^3_1\text{H}$;
5. $\text{x}(\text{n}; \alpha){}_1\text{H}^3$.

Задача №30. Определить кинетическую энергию T и скорость v теплового нейтрона при температуре окружающей среды, равной 17°C .

Задача №31. Найти энергию связи ядра атома гелия ${}^4_2\text{He}$.

Задача №32. Найти энергию связи ядра атома дейтерия ${}^2_1\text{H}$.

Задача №33. Найти энергию, выделяющуюся при реакции ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H}^2 \rightarrow {}^8_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$.

Задача №34. Найти энергию, выделяющуюся при реакции ${}^8_4\text{Be} + {}^1_1\text{H}^2 \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$.

Задача №35. Написать недостающие обозначения в следующих ядерных реакциях, вызванных фотонами:

Задача №36. Найти порог ядерной реакции ${}^{14}_7\text{N}(\alpha; p)$.

Задача №37. Найти порог ядерной реакции ${}^7_3\text{Li}(p; n)$.

Задача №38. Найти наименьшее значение энергии γ – кванта, достаточное для осуществления реакции разложения дейтрона γ – лучами. ${}^2_1\text{H} + h\nu \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^1_0\text{p}$

Задача №39. Найти наименьшее значение энергии γ – кванта, достаточное для осуществления реакции ${}^{24}_{12}\text{Mg}(\gamma; n)$

Задача №40. Какое количество энергии в киловатт-часах можно получить от деления n урана ${}^{235}_{92}\text{U}$, если при каждом делении выделяется энергия, равная приблизительно 200 МэВ.

Ответы:

1. ---
2. ---
3. ${}^{24}_{13}\text{Al} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^1_2\text{H}$
4. ${}^{11}_5\text{B} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n}$
5. в углероде.
6. Импульсы по модулю одинаковы, энергия He^4 в 55.5 раза больше энергии Rn^{222} .
7. 2.2 МэВ.
8. 104 МэВ.
9. 17 МэВ.
10. 340 ГДж.
11. 2.4 нм.
12. 53 мВт.
13. $8.64 \cdot 10^{-26}$ кг.
14. ---
15. ---
16. 16.9 ГэВ.
17. 28.4 МэВ.
18. 1) 7.1 МэВ/кулон, 2) 7.7 МэВ/кулон.
19. 7.26 МэВ.
20. $2.4909 \cdot 10^{-26}$ кг.
21. ${}^{226}_{88}\text{Ra}$

22. ${}_{88}\text{Ra}^{224}$
23. 3 α -частицы и 1 β -частица.
24. 22.5 МэВ.
25. 2.91 МэВ.
26. ---
27. 1.64 МэВ.
28. 17.6 МэВ.
29. ---
30. $T=6 \cdot 10^{-21}$ Дж, $v=2.68 \text{ км/с}$.
31. $W=28.3$ МэВ.
32. $W=2.3$ МэВ.
33. 15 МэВ.
34. 4.35 МэВ.
35. ---
36. $W_x=1.52$ МэВ.
37. $W_x=1.89$ МэВ.
38. $h\nu=2.2$ МэВ.
39. $h\nu=16.6$ МэВ.
40. $2.3 \cdot 10^4 \text{ кВт}^{-4}$

§ 5. Элементарные частицы. Ускорители частиц

Решение задач этого параграфа основано на закономерностях столкновения частиц, движение частиц в электрическом и магнитном полях и т.д. При решении ряда задач необходимо использовать формулы теории относительности.

Задача №1. Дать определение и объяснить происхождение первичного и вторичного космического излучения.

Задача №2. Объяснить происхождения мягкого и жесткого компонентов вторичного космического излучения.

Задача №3. Представить схематически и объяснить происхождение электронно-позитронно-фотонного или каскадного ливня.

Задача №4. Записать схемы распада положительного и отрицательного иона.

Задача №5. При захвате протоном отрицательного иона образуется нейтрон и еще одна частица. Записать эту реакцию и определить что это за частица.

Задача №6 Известно, что продукты распада заряженных ионов испытывают дальнейший распад. Записать цепочку реакций для π^+ и π^- мезонов.

Задача №7. π^0 -мезон распадается покоя на два γ -кванта. Принимая массу покоя пиона равной $264.1 m_e$. Определить энергию каждого из возникших γ -квантов.

Задача №8. Назвать и охарактеризовать четыре типа фундаментальных взаимодействий, а так же сравнить радиусы их действий. Какое из взаимодействий является универсальным?

Задача №9. Что называется изотопическим мультиплетом и изотопическим спином?

Задача №10. Возможно ли вынужденное излучение, если фотоны были фермионами? Дать объяснение.

Задача №11. Объяснить, в чем заключается принцип рядового сопряжения.

Задача №12. Записать продукты распада антинейтрона.

Задача №13. Перечислить основные свойства нейтрона и антинейтрона и объяснить, чем по современным представлениям они отличаются друг от друга.

Задача №14. Выбрав из четырех типов нейтрино ($\bar{\nu}_e$, $\bar{\nu}_\mu$, ν_e , ν_μ) правильное, написать недостающие обозначения (х) в каждой из приведенных реакций:

1. $x + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_1^1\text{p} + {}_{-1}^0\text{e}$
2. $x + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_1^1\text{p} + \mu^-$
3. $x + {}_1^1\text{p} \rightarrow {}_0^1\text{n} + {}_1^0\text{e}$

Задача №15. Назвать элементарную частицу, обладающую наименьшей массой покоя. Чему равен электрический заряд этой частицы?

Задача №16. Объяснить какая характеристика элементарных частиц положено в основу деления адронов на мезоны и барионы.

Задача №17. Объяснить к какой группе элементарных частиц и почему относится:

1. λ^0 -гиперболла
2. протон
3. таон
4. π^0 -мезон

Задача №18. Объяснить к какой группе элементарных частиц и почему относится:

1. мюонное
2. нейтрон
3. фотон
4. K^0 -мезон

Задача №19. Определить какие из приведенных ниже процессов разрешены законом сохранения тонного заряда:

1. $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$
2. $K \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$
3. $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + e^- + e^+$
4. $K^+ \rightarrow e^+ + \pi^0 + \nu_e$

Задача №20. Ниже приведены запрещенные способы распада. Перечислите для каждого из них законы сохранения, которые в нем нарушаются.

1. $\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu$
2. $K^- + n \rightarrow ? + K^+ + K^0$
3. $p + n \rightarrow \Lambda + \Sigma^+$

Задача №21. Ниже приведены запрещенные способы распада. Перечислите для каждого из них законы сохранения, которые в нем нарушаются.

1. $p^- + p \rightarrow p + \pi^+$
2. $\pi^- + p \rightarrow k^- + \Sigma^+$
3. $\pi^- + n \rightarrow \Lambda^0 + k^-$
4. $\pi^- \rightarrow \mu^- + e^+ + e^-$

Задача №22. Применить операцию заряда 2го сопряжения (при замене частицы на античастицу уравнения данной реакции получается новая реакция) к следующим процессам:

1. $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$
2. $p + k^- \rightarrow \Sigma^0 + \pi^+ + \pi^-$

Задача №23. Охарактеризовать основные свойства кварков (антикварков) – заряды (электрический и барионный) странность, цвет, очарование, прелесть.

Задача №24. Объяснить почему понадобилось введение внутренних характеристик кварков цвета и очарования.

Задача №25. Записать какие комбинации известных в настоящее время кварков воспроизводят свойства:

1. нейтрона
2. протона
3. π^+ -мезона
4. π^- -мезона
5. Σ^0 -гиперона

Задача №26. При упругом центральном столкновении нейтрона с неподвижным ядром замедляющего вещества кинетическая энергия нейтрона уменьшилась в 1,4раза. Найти массу ядер замедляющего вещества.

Задача №27. Какую часть первоначальной скорости будет составлять скорость нейтрона после упругого центрального столкновения с неподвижным ядром изотопа $_{11}^{23}\text{Na}$?

Задача №28. Заряженная частица влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B=0.5\text{Тл}$ и движется по окружности радиусом $R=10\text{см}$. Скорость частицы $2.4 \cdot 10^6\text{м/с}$. Найти для этой частицы соотношение ее заряда к массе.

Задача №29. Мезон космических лучей имеет кинетическую энергию $W=7m_0c^2$, где m_0 - масса покоя мезона. Во сколько раз собственное время жизни τ_0 мезона меньше времени его жизни τ по лабораторным часам?

Задача №30. Позитрон и электрон соединяются, образуя два фотона. Найти энергию $h\nu$ каждого из фотонов, считая, что начальная энергия частиц ничтожно мала. Какова длина волны этих фотонов.

Задача №31. Электрон и позитрон образуются фотоном с энергией $h\nu=2,62\text{ МэВ}$. Какова была в момент возникновения полная кинетическая энергия W_1+W_2 позитрона и электрона.

Задача №32. Электрон и позитрон, образованные фотоном с энергией $h\nu=5,7$ МэВ, дают в камере Вильсона, помещенной в магнитное поле, траектории с радиусом кривизны R поля.

Задача №33. Неподвижный π -мезон, распадаясь, превращается в два фотона. Найти энергию $h\nu$ каждого фотона. Масса покоя π -мезона $m_0(\pi)=264,2m_0$, где m_0 -масса покоя электрона.

Задача №34. Нейтрон и антинейтрон соединяются, образуя два фотона. Найти энергию $h\nu$ каждого из фотонов, считая, что начальная энергия частиц ничтожно мала.

Задача №35. Ионный ток в циклотроне при работе с α -частицами $I=15$ мкА. Во сколько раз такой циклотрон продуктивнее массы $m=1$ г радия?

Задача №36. Максимальный радиус кривизны траектории частиц в циклотроне $R=50$ см, магнитная индукция $B=1$ Тл. Какую постоянную разность потенциалов U должны пройти протоны, чтобы получить такое же самое ускорение, как в данном циклотроне?

Задача №37. Циклотрон дает дейтроны с энергией $W=7$ МэВ. Магнитная индукция поля циклотрона $B=1,5$ Тл. Найти максимальный радиус кривизны R траектории дейтрона.

Задача №38. До какой энергии W может ускориться α -частицы в циклотроне, если относительное увеличения массы частицы $K=(m-m_0)/m$ не должно превышать 5%?

Задача №39. Энергия дейтронов, ускоренных синхротроном, $W=200$ МэВ. Найти для этих дейтронов отношение m/m_0 (где m_0 -масса движущегося дейтрона и m_0 -его масса покоя) и скорость.

Задача №40. Нейтрон обладающий энергией $W_0=4,6$ МэВ, в результате столкновения с протонами замедляется. Сколько столкновений он должен испытать, чтобы его энергия уменьшилась до $W=0,23$ эВ? Нейтрон отклоняется при каждом столкновении в среднем на угол в 45° .

Ответы:

1. ---
2. ---
3. ---
4. ---
5. ---
6. ---
7. 67.7 МэВ.
8. ---
9. ---
10. ---
11. ---
12. ---
13. ---
14. ---
15. ---
16. ---
17. ---

18. ---
19. ---
20. ---
21. ---
22. ---
23. ---
24. ---
25. ---
26. $M=12$ а.е.м. (графит)
27. 92%
28. ---
29. $q/m=4.8 \cdot 10^7$ к/кг.
30. энергия каждого фотона $W_0=0.51\text{МэВ}$, $\lambda=0.024\text{А}$.
31. 160 МэВ.
32. $W=2.34$ МэВ, $B=0.31$
33. $W=67.5$ МэВ.
34. 940 МэВ.
35. Данный циклотрон продуктивнее радия, больше чем в 1000раз.
36. $U=K^2 \cdot R^2 \cdot q / 2m = 1.2 \cdot 10^7$ в.
37. $R=0.36$ м.
38. $W=188$ МэВ.
39. 1) $M/M_0=1.1$, 2) $\beta=v/c=0.44$; $v=1.32 \cdot 10^8$ м/сек.
40. 24 столкновения.

СОДЕРЖАНИЕ

Физика атома и атомного ядра

Единица радиоактивности и ионизирующих излучений.....	стр 34
§ 1. Квантовая природа света и волновые свойства частиц.....	стр 36
§ 2. Атом Бора. Рентгеновские лучи.....	стр 43
§ 3. Радиоактивность.....	стр 49
§ 4. Ядерные реакции.....	стр 54
§ 5. Элементарные частицы. Ускорители частиц.....	стр 59