МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
______________ О.Г. Локтионова
« 18 » 02 2021 г.

Физика. 2.2.

Методические указания к выполнению практических работ для студентов направления подготовки
08.03.01 Строительство, 21.03.02 Землеустройство и кадастры, 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений.

Курск 2021

УДК 531

Составитель: Г.В. Карпова

Рецензент
Кандидат физико-математических наук Пауков В.М.

Физика 2.2: Методические указания к выполнению практических работ для студентов направлений подготовки 08.03.01 Строительство, 21.03.02 Землеустройство и кадастры, 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений. / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Карпова Г.В. Курск, 2021. 23 с.: ил. 2.

Излагаются методические рекомендации по выполнению практических работ, способствующие развитию индивидуального творческого мышления у студентов; активизации учебного процесса на протяжении всего периода изучения дисциплины; организация самостоятельной и индивидуальной работы.

Методические указания соответствуют требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и учебному плану направления подготовки 08.03.01, 21.03.02, 08.05.01 степень (квалификация) – бакалавр. Предназначены для студентов всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60 х 84 1/16.
Усл. печ. л. 4,07. Уч.-изд. л. 3.68. Тираж 50 экз. Заказ 363. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Номера задач, которые студент должен включить в свое контрольное задание или контрольную работу, определяются по таблицам вариантов, которые составляются лектором потока.

Контрольное задание или контрольную работу нужно выполнять в тетради, в соответствии с установленной формой. Для замечаний преподавателя на странице тетради нужно оставлять поля.

В конце контрольного задания или контрольной работы необходимо указать, каким учебником или учебным пособием студент пользовался при изучении данного раздела физики (название учебника, автор, год издания). Это необходимо для того, чтобы преподаватель, проверяющий контрольную работу, в случае необходимости смог указать, что следует студенту изучить для завершения работы.

Решение задачи следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями; в тех случаях, когда это необходимо, дать чертеж, выполненный с помощью чертежных принадлежностей. Решить задачу надо в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи. При таком способе решения не производятся вычисления промежуточных величин. После получения расчетной формулы для проверки правильности полученного результата следует применить правило размерности. Числовые значения величин при подстановке их в расчетную формулу следует выражать только в единицах системы СИ. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби на соответствующую степень десяти. Вычисления по расчетной формуле надо проводить с соблюдением правил приближенных вычислений. Это относится и к случаю, когда результат получен с применением калькулятора.

Практическое занятие №1,2,3

Магнитное поле в вакууме и его характеристики. Магнитное взаимодействие. Сила Ампера и Лоренца Принципы суперпозиции магнитных полей. Закон Био–Савара–Лапласа. Закон полного тока (теорема о циркуляции). Закон Ампера. Магнитные свойства магнетиков. Явление электромагнитной индукции. Самоиндукция. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле. Энергия магнитного поля

Номера задач по: Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: Учеб. пособие для втузов.-7-е изд., перераб. и доп. -М.: Издательство Физико-математической литературы, 2003.-640 с.

11.1 - 11.3, 11.5, 11.7 - 11.10, 11.15, 11.17 - 11.19,11.22, 11.26, 11.30 - 11.33, 11.36 - 11.38, 11.41 - 11.44, 11.46, 11.51, 11.53, 11.40, 11.56, 11.57, 11.64-11.66, 11.93, 11.100, 11.102, 11.106, 11.111, 11.112, 11.113, 11.116, 11.125, 11.128, 11.131.

Примеры решения задач.

1. Определить магнитную индукцию B поля, создаваемого отрезком бесконечно длинного прямого провода, в точке, равноудаленной от концов отрезка и находящейся на расстоянии r_0=20 см от середины его (рис. 1). Сила тока I, текущего по проводу, равна 30 А, длина l отрезка равна 60 см.

Решение. Для определения магнитной индукции поля, создаваемого отрезком провода, воспользуемся законом Био-Савара-Лапласа:

$$dB = \frac{\mu_0 \mu I \cdot \sin\alpha}{4\pi r^2} \cdot d\ell. \qquad (1)$$

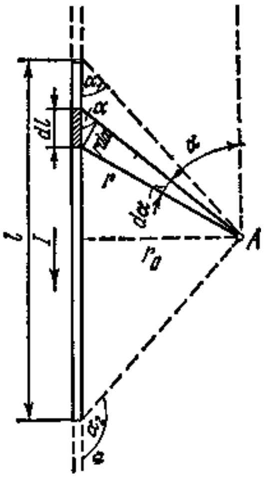


Рис. 1

Из рисунка 21.4 видно, что

$$d\ell = \frac{r \cdot d\alpha}{\sin\alpha}, \; r = \frac{r_0}{\sin\alpha}$$

Следовательно, имеем:

$$dB = \frac{\mu_0 \mu I \cdot \sin\alpha \cdot r \cdot d\alpha}{4\pi r^2 \cdot \sin\alpha} = \frac{\mu_0 \mu I \cdot \sin\alpha}{4\pi r_0} \cdot d\alpha,$$

или

$$dB = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r_0} \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha. \qquad (2)$$

Проинтегрировав выражение (2) в пределах от α_1 до α_2 получим:

$$B = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r_0} \sin\alpha d\alpha = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r_0} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin\alpha d\alpha = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2). \qquad (3)$$

При симметричном расположении точки А относительно отрезка провода

$\cos\alpha_2 = -\cos\alpha_1$. С учетом этого имеем:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r_0}\cos\alpha_1 .$$

Из рисунка 1 видно, что

$$\cos\alpha_1 = \frac{\ell/2}{\sqrt{\ell^2/4 + r_0^2}} = \frac{\ell}{\sqrt{4r_0^2 + \ell^2}} .$$

Следовательно, окончательно будем иметь:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r_0}\frac{\ell}{\sqrt{4r_0^2 + \ell^2}} \tag{4}$$

Подставив числовые значения в формулу (4), произведем вычисления:

$$B = \frac{1\cdot 4\pi\cdot 10^{-7}\cdot 30}{2\pi\cdot 0,2}\frac{0,6}{\sqrt{4\cdot 0,2^2 + 0,6^2}} = 24,9 \text{ мкТл.}$$

Ответ: B=24,9 мкТл.

2. Два бесконечно длинных провода скрещены под прямым углом. По проводам текут токи I_1=80 А и I_2=60 А. Расстояние между проводами d=10 см. Определить индукцию магнитного поля **B** в точке А расположенной между проводами, удаленной от них на одинаковом расстоянии r_0=d/2.

Решение. В соответствии с принципом суперпозиции магнитных полей индукция результирующего магнитного поля **B**, создаваемого токами I_1 и I_2, определяется выражением:

$$\mathbf{B} = \mathbf{B_1} + \mathbf{B_2},$$

где $\mathbf{B_1}$, $\mathbf{B_2}$ – соответственно индукции магнитных полей, создаваемых этими токами в рассматриваемой точке.

В рассматриваемом случае векторы $\mathbf{B_1}$ и $\mathbf{B_2}$ взаимно перпендикулярны, следовательно, на основании теоремы Пифагора будем иметь:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} .$$

Согласно формулам для определения индукции магнитного поля, порождаемого бесконечно длинным прямолинейным проводником с током:

$$B_1 = \frac{\mu\mu_0 I_1}{2\pi r_0}; \quad B_2 = \frac{\mu\mu_0 I_2}{2\pi r_0},$$

где r_o=d/2. Таким образом, имеем:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \frac{\mu\mu_0}{\pi d}\sqrt{I_1^2 + I_2^2} .$$

Произведем вычисления:

$$B = \frac{1\cdot 4\pi\cdot 10^{-7}}{\pi\cdot 10^{-1}}\cdot\sqrt{80^2 + 60^2} = 4\cdot 10^{-4}\,\text{Òë} .$$

Ответ: B=$4\cdot 10^{-4}$ Тл.

3. По соленоиду течет ток I=2 А. Магнитный поток Ф, пронизывающий поперечное сечение соленоида, равен 4 мкВб. Определить индуктивность L соленоида, если он имеет N=800 витков.

*Решение***.** Индуктивность L соленоида связана с потокосцеплением Ψ соотношением Ψ=LI, откуда L=Ψ/I. Заменив здесь потокосцепление Ψ его выражением через магнитный поток Ф и число витков N соленоида (Ψ=ФN), получим

$$L = \Phi N/I. \qquad (1)$$

Произведя вычисления по формуле (1), получим

L == 1,6 мГн.

4. В однородном магнитном поле с индукцией $10{,}0 \cdot 10^{-2}$ Тл расположена прямоугольная рамка (контур) abcd, подвижная сторона которой ad длиной ℓ==0,10 м перемещается со скоростью v=25 м/с перпендикулярно линиям индукции поля. Определить ЭДС индукции, возникающую в контуре.

Решение. При движении проводника ad площадь рамки увеличивается, магнитный поток Ф сквозь рамку возрастает, а значит, согласно закону Фарадея, в рамке должна при этом возникать ЭДС индукции. Чтобы ее определить, сначала выразим магнитный поток Ф через индукцию поля B и стороны рамки ℓ, x (x – расстояние от bc до ad. Согласно формуле

$$\Phi_0 = \int_S B_n dS.$$

имеем
$$\Phi = BS = B\ell x.$$

Подставив это значение Ф в формулу $\mathcal{E} = -\,d\Phi/dt$ и учитывая, что B, ℓ – величины постоянные, запишем

$$\mathcal{E} = -\,d\Phi/dt = -B \cdot l \cdot (dx/dt),$$

где v=dx/dt – скорость перемещения проводника ad. Поэтому

$$\mathcal{E} = -B \cdot l \cdot v. \qquad (1)$$

Размерность полученного результата очевидна.

Сделав подстановку числовых значений величин B, ℓ, v (все даны в единицах системы СИ), получим ответ

$\mathcal{E} = -\,10{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}10 \cdot 25 = -2{,}5 \cdot 10^{-2}$ В.

Ответ: $\mathcal{E} = -2{,}5 \cdot 10^{-2}$ В.

5. Пучок электронов влетает со скоростью v_0 ($v_0 \ll c$) в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции **B**. Определить угол α отклонения пучка магнитным полем, если занятая им область представляет собой в сечении плоскость, нормальную к силовым линиям магнитного поля; траектория движения электрона – окружность радиуса r_0, а скорость $\mathbf{v_0}$ направлена по диаметру этой окружности.

Решение. Выясним характер движения электронов в магнитном поле. На влетевший в магнитное поле электрон действует сила Лоренца

$$\mathbf{F} = [\mathbf{v_0 B}]. \qquad (1)$$

Так как сила **F** нормальна к скорости **v**, она изменяет лишь направление вектора скорости, но не его модуль, т.е. сообщает электрону только нормальное ускорение. При этом вектор скорости остается перпендикулярным вектору **B**. Следовательно, сила **F**, определяемая по (1), сохраняет свое численное значение, сообщая электрону постоянное по модулю нормальное ускорение. Это значит, что электрон движется в магнитном поле по дуге окружности. Пусть r – радиус дуги (траектории движения электрона в магнитном поле). Из геометрических построений (если выполнить чертеж), искомый угол α определяется соотношением

$$tg\alpha = r_0/r, \tag{2}$$

где r_0 – радиус окружности, по которой он сделал бы в магнитном поле один полный оборот.

Чтобы найти величину r, запишем уравнение движения электрона в магнитном поле, используя второй закон Ньютона. Поскольку векторы **v** и **B** перпендикулярны друг другу, то уравнение (1) можно записать в скалярной форме так

$$F = ev_0B,$$

или, используя формулу нормального ускорения,

$$ev_0B = \frac{mv_0^2}{r}\,r.$$

Отсюда получим

$$r = mv_0/eB. \tag{3}$$

Подставив это значение r в (2), найдем

$$\alpha = 2\ \mathrm{arctg}(r_0eB/mv_0).$$

Практическое занятие №4,5

Электромагнитные колебания. Электромагнитные волны Уравнение и характеристики волн. Электромагнитные волны в вакууме. Волновая теория света. Интерференция волн. Стоячие волны. Интерференция и дифракция света. Дифракционная решетка как спектральный прибор. Поляризация света

Номера задач по: Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: Учеб. пособие для втузов.-7-е изд., перераб. и доп. -М.: Издательство Физико-математической литературы, 2003.-640 с.
14.2, 14.3, 14.4, 14.8-14.14. : 30.5, 30.10, 30.12, 30.21, 30.32, 30.36, 31.5, 31.8, 31.12, 31.15, 31.22, 31.30,31.31,32, 32.2, 32.4, 32.5, 32.6, 32.8, 32.12, 32.13, 32.14, 32.15, 32.19, 32.20, 32.21.

Примеры решения задач.

1. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью С=5 мкФ и катушки с индуктивностью L=0,200 Гн. Определить максимальную силу тока

I_0 в контуре, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора U_0=90 В. Активным сопротивлением контура R пренебречь.

Решение. Рассмотрим два способа решения задачи. Первый из них основан на исследовании уравнения свободных электромагнитных колебаний

$$q = q_0 e^{-\delta t} \sin(\omega t + \varphi_0), \qquad (1)$$

где $q_0 e^{-\delta t}$ – амплитуда свободных (затухающих колебаний);

$\delta = R/2L$ – коэффициент затухания;

ω – циклическая частота;

q_0 – начальная амплитуда (определяется из начальных условий);

φ_0 – начальная фаза (определяется из начальных условий.

Второй способ основан на законе сохранения энергии.

1. Если в колебательном контуре сопротивление R пренебрежимо мало, то в уравнении (1), выражающем заряд конденсатора как функцию времени, можно положить коэффициент затухания δ=0. Тогда, согласно выражению

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}},$$

получим $\omega_0 = \omega$. Следовательно, в контуре будут незатухающие колебания, при этом

$$q = q_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi_0), \qquad (2)$$

Сила тока есть производная от заряда по времени. Поэтому, дифференцируя обе части (2) по времени, получим для силы тока в контуре уравнение

$$I = \omega_0 \cdot q_0 . \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Величина $I_0 = \omega_0 . q_0$ является амплитудным, т.е. максимальным, значением тока в контуре. Подставив $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ и учитывая соотношение $q_0 = CU_0$, определим искомую величину:

$$I_0 = \omega_0 q_0 = CU_0 \cdot 1/\sqrt{LC} = U_0 . \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

2. В процессе незатухающих электромагнитных колебаний полная электромагнитная энергия контура, равная сумме энергий электрического поля конденсатора $W_C = CU^2/2$ и магнитного поля катушки $W_L = LI^2/2$, остается величиной постоянной: $W = W_C + W_L = const$. При этом в те моменты, когда конденсатор максимально заряжен ($U = U_0$), сила тока равна нулю. Следовательно, полная энергия контура

$$W = \frac{CU_0^2}{2}. \qquad (3)$$

В момент полной зарядки (U=0), сила тока в контуре достигает максимального значения I_0. Тогда полная энергия равна

$$W = \frac{LI_0^2}{2}. \qquad (4)$$

Приравняв правые части формул (3), (4), найдем

$$I_0 = U_0 \cdot \sqrt{C/L}.$$

Подставив значения величин, выраженные в единицах СИ, и произведя вычисления, получим I_0=0,45 А.

Ответ: I_0=0,45 А.

3. В цепи, состоящей из последовательно соединенных резистора сопротивлением R=20 Ом, катушки индуктивностью L=1,0 мГн и конденсатора емкостью С=0,10 мкФ, действует синусоидальная ЭДС Определить частоту ω ЭДС, при которой в цепи наступит резонанс. Найти также действующее значение силы тока I и напряжений U_R, U_L, U_C на всех элементах цепи при резонансе, если при этом действующее значение ЭДС E= 30 В.

Решение. Под действием переменной ЭДС в данной цепи, представляющей собой колебательный контур, установятся вынужденные электромагнитные колебания. При этом амплитудные значения I_0 и ЭДС E_0 связаны соотношением

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}.$$

Из формул $I_д = I_0/\sqrt{2}$; $E_д = E_0/\sqrt{2}$ видно, что между действующими значениями тока $I_д$ и ЭДС $E_д$ существует то же соотношение, что и между величинами I_0, E_0. Поэтому (опуская для простоты индексы у величин $I_д$, $E_д$) запишем

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}. \qquad (1)$$

Очевидно, максимальному току при резонансе $I_{рез}$ соответствует такое значение ω, при котором в формуле (1) выражение $(L\omega - 1/C\omega)^2=0$. Отсюда определяем резонансную частоту:

$$\omega=\omega_{рез}=[1/(LC)]^{1/2}=1{,}0\cdot 10^5 \text{ рад/с}. \qquad (2)$$

При этом сила тока равна

$$I_{рез}=E/R=1{,}5 \text{ А}.$$

Зная силу тока $I_{рез}$, найдем действующие значения напряжения на каждом из элементов контура R, L, C, применив закон Ома для каждого из участков

$$U_R=I_{рез}R=E=30 \text{ В};$$

$$U_L=I_{рез}Lw=EL\omega/R=150 \text{ В};$$

$$UC=I_{рез}[1/(\omega C)]=U_L=150 \text{ В}.$$

Равенство $U_L=U_C$ следует из равенства емкостного и индуктивного сопротивлений при резонансе.

Ответ: $\omega_{рез}=1{,}0\cdot10^5$ рад/с; $I_{рез}=1{,}5$ А; $U_R=30$ В; $U_L=150$ В; $U_C=150$ В.

4. Определить энергию, которую переносит за время t=1,00 мин плоская синусоидальная электромагнитная волна, распространяющаяся в вакууме, через площадку $S=10{,}0$ см^2, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны. Амплитуда напряженности электрического поля волны E_0==1,00 мВ/м. Период волны $T<<t$.

Решение. Энергия переносимая электромагнитной волной за единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной направлению распространения волны, определяется вектором Пойнтинга **P**=[**EH**]. Учитывая, что в электромагнитной волне векторы **E**, **H** взаимно перпендикулярны и перпендикулярны направлению распространения волны, получим для модуля вектора **P**

$$P=EH. \tag{1}$$

Поскольку обе величины E, H, характеризующие электромагнитную волну, в каждой ее точке меняются во времени по закону синуса, находясь в одинаковых фазах, соотношение (1) можно записать так:

$$P=E_0\sin\omega t\cdot H_0\sin\omega t=E_0H_0\cdot\sin^2\omega t. \tag{2}$$

Таким образом, величина P является функцией времени, и формулы (1), (2) дают лишь мгновенное значение величины P. Поэтому, согласно определению вектора плотности потока энергии, запишем

$$P=\frac{dW}{dt}\cdot\frac{1}{S}.$$

Отсюда энергия dW, переносимая волной через площадку S за время dt, с учетом формулы (2), равна

$$dW=P\cdot dS=E_0H_0\cdot S\cdot\sin^2(\omega t)dt. \tag{3}$$

Здесь неизвестна величина H_0. Воспользуемся тем, что между величинами E, и H, характеризующими электромагнитную волну в одной и той же точке, существует простое соотношение. Найдем его, учитывая, что, согласно теории электромагнитных волн, плотности энергии электрического и магнитного полей волны в любой момент времени равны, т.е.

$$\frac{\varepsilon\varepsilon_0E^2}{2}=\frac{\mu\mu_0H^2}{2}. \tag{4}$$

Так как, по условию, $\varepsilon=\mu=1$, то из (4) получим

$$H=E\cdot(\varepsilon_0/\mu_0)^{1/2}.$$

Так же связаны между собой и амплитудные значения E_0, H_0. Тогда уравнение (3) примет вид

$$dW=(\varepsilon_0/\mu_0)^{1/2}\cdot E_0^2S\cdot\sin^2(\omega t)\cdot dt.$$

После интегрирования, с учётом того, что в силу неравенства $T<<t$ членом $\sin(2\omega t)/4\omega$ можно пренебречь, получим

$$W = \frac{\varepsilon_0 \mu_0}{4} E_0^2 St.$$

Подставив числовые значения величин, выраженные в единицах СИ, и выполнив вычисления, найдем

$$W = 8{,}0 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}.$$

Ответ: $W = 8{,}0 \cdot 10^{-11}$ Дж.

5. От двух когерентных источников S_1 и S_2 (λ = 0.8 мкм) лучи попадают на экран. На экране наблюдается интерференционная картина. Когда на пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили мыльную пленку (n = 1.33), интерференционная картина изменилась на противоположную. При какой наименьшей толщине d_{min} пленки это возможно?

Решение. Изменение интерференционной картины на противоположную означает, что на тех участках экрана, где наблюдались интерференционные максимумы, стали наблюдаться интерференционные минимумы. Такой сдвиг интерференционной картины возможен при изменении оптической разности хода пучков световых волн на нечетное число половин длин волн, т.е.

$$\Delta_2 - \Delta_1 = (2k+1)\lambda/2, \tag{1}$$

где Δ_1 - оптическая разность хода пучков световых волн до внесения пленки;
Δ_2 - оптическая разность хода тех же пучков после внесения пленки;
$k = 0, +1, +2, ..., +k_{max}$.

Наименьшей толщине d_{min} пленки соответствует k = 0. При этом формула (1) примет вид

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \lambda/2. \tag{2}$$

Выразим оптические разности хода Δ_2 и Δ_1:

$\Delta_1 = \ell_1 - \ell_2$, $\Delta_2 = [(\ell_1 - d_{min}) + n \cdot d_{min}] - \ell_2 = (\ell_1 - \ell_2) + d_{min}(n-1)$. Подставим выражения Δ_1 и Δ_2 в формулу (2):

$$(\ell_1 - \ell_2) + d_{min}(n-1) - (\ell_1 - \ell_2) = \lambda/2.$$

или

$$d_{min}(n-1) = \lambda/2.$$

Отсюда

$$d_{min} = \lambda/[2(n-1)].$$

Произведем вычисления:

$$d_{min} = \frac{0{,}8}{2(1{,}33 - 1)} \text{ мкм} = 1{,}21 \text{ мкм}.$$

Практическое занятие №6

Тепловое излучение. Законы теплового излучения. Гипотеза и формула де Бройля. Волновая функция. Соотношения неопределенностей.

Номера задач по: Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: Учеб. пособие для втузов.-7-е изд., перераб. и доп. -М.: Издательство Физико-

математической *литературы, 2003.-640 с.*

34.2, 34.5, 34.7, 34.10,34.11, 34.12, 34.14, 34.15, 34.20, 34.21, 34.22,34.24. 40.3, 40,5, 40,11, 40.13, 45.4, 45.7, 45.9, 45.14, 45.15, 46.5, 46.6, 46.8.

Примеры решения задач.

1. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения черного тела, λ_{max} = 0,58 мкм. Определить энергетическую светимость R_e поверхности тела.

Решение. Энергетическая светимость R_e абсолютно чёрного тела в соответствии с законом Стефана - Больцмана пропорциональна четвёртой степени термодинамической температуры и выражается формулой

$$R_e = \sigma T^4, \qquad (1)$$

где σ- постоянная Стефана - Больцмана; T -абсолютная температура.
Температуру T - можно вычислить с помощью закона смещения Вина:

$$\lambda_o = b/T, \qquad (2)$$

где b - постоянная закона смещения Вина.
Используя формулы (2) и (1), получаем

$$R_e = \sigma(b/\lambda)^4. \qquad (3)$$

Произведём вычисления:

$$R_e = 5{,}67\cdot10^{-8}\cdot(2{,}9\cdot10^{-3}/5{,}8\cdot10^{-7})^4 = 3{,}54\cdot10^7 \text{ Вт/м}^2.$$

2. Определить импульс p и кинетическую энергию T электрона, движущегося со скоростью v = 0,9 c, где c - скорость света в вакууме.

Решение. Импульсом частицы называется произведение массы частицы на её скорость:

$$p = mv. \qquad (1)$$

Так как скорость электрона близка к скорости света, то необходимо учесть зависимость массы от скорости, определяемую по формуле

$$m = m_0 / \sqrt{1 - \left(v/c\right)^2}\ , \qquad (2)$$

где m - масса движущейся частицы; m_o - масса покоящейся частицы;
$\beta = v/c$ - скорость частицы, выраженная в долях скорости света.

Заменив в формуле (1) массу m её выражением (2) и приняв во внимание, что $v = c\beta$, получим выражение для релятивистского импульса:

$$P = m_0\beta c / \sqrt{1 - \left(v/c\right)^2}\ . \qquad (3)$$

Произведём вычисления:

$p = 9{,}31\cdot10^{-31}\cdot0{,}9\cdot3\cdot10^{3}/\sqrt{1-0{,}81} = 5{,}6\cdot10^{-23}$ кг·м/с.

В релятивистской механике кинетическая энергия T частицы определяется как разность между полной энергией и энергией покоя E_o этой частицы, т.е. $T = E - E_o$. Так как $E = mc^2$ и $E_o = m_oc^2$, то учитывая зависимость массы от скорости, получаем:

$$T = m_0c^2\left(1/\sqrt{1-\left(v/c\right)^2} - 1\right).. \qquad (4)$$

Произведём вычисления:

$$T = 9{,}1\cdot 10^{-31}\cdot\left(3\cdot 10^8\right)^2\cdot\frac{1}{\sqrt{1-0{,}81}} = 1{,}06\cdot 10^{-13}\text{ Дж}.$$

3. Электрон, начальной скоростью которого можно пренебречь, прошел ускоряющую разность потенциалов U. Найти длину волны де Бройля электрона для двух случаев: 1) U_1 = 51 В; 2) U_2 = 510 кВ.

*1)1,4 пм; 2)0,70 пм; 3)0,35 пм; 4)2,8 пм.

Решение. Длина волны де Бройля для частицы зависит от её импульса p и определяется формулой

$\lambda_Б = h/p$, (1)

где h - постоянная Планка.

Импульс частицы можно определить, если известна её кинетическая энергия Т. Связь импульса с кинетической энергией различна для нерелятивистского случая (когда кинетическая энергия частицы много меньше её энергии покоя) и для релятивистского случая (когда кинетическая энергия сравнима с энергией покоя частицы).

В нерелятивистском случае

$$p = \sqrt{2m_0T},$$

где m_o - масса покоя электрона. В релятивистском случае

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{T\cdot\left(2E_0 + T\right)}. \qquad (3)$$

где $E_o = m_oc^2$ - энергия покоя электрона.

Формула (1) с учётом соотношений (2) и (3) запишется: в нерелятивистском

случае

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0T}}, \qquad (4)$$

в релятивистском случае

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{\left(2E_0 + T\right)T}}. \qquad (5)$$

Сравним кинетические энергии электрона, прошедшего заданные в условии задачи разности потенциалов U_1 = 51 В и U_2 = 510 кВ, с энергией покоя электрона и в зависимости от этого решим, какую из формул (4) или (5) следует применить для вычисления длины волны де Бройля.

Электрическое поле совершает над электроном работу, которая равна изменению его кинетической энергии Т:

$T = e \cdot U$

В первом случае $T_1 = e \cdot U = 51$ эВ $= 0{,}51 \cdot 10^{-4}$ МэВ, что много меньше энергии покоя электрона $E_o = m_o c^2 = 0{,}51$ МэВ. Следовательно, в этом случае можно применить формулу (4). Для упрощения расчётов заметим, что $T_1 = 10^{-4} m_o c^2$. Подставив это выражение в формулу (4), перепишем её в виде

$$\lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2(m_0 c)^2 \cdot 10^{-4}}} = \frac{10^2 h}{\sqrt{2} \cdot m_0 c}.$$

Учитывая, что $h/m_o c$ есть комптоновская длина волны Λ, получим

$\lambda_1 = 10^2 \Lambda \cdot \sqrt{2}$.

Так как $\Lambda = 2{,}43$ пм, то

$$\lambda_1 = 10^2 \cdot 2{,}43/\sqrt{2} = 171 \text{ (пм)}.$$

Во втором случае кинетическая энергия $T_2 = eU_2 = 510$ кэВ $= 0{,}51$МэВ, т.е. равна энергии покоя электрона. В этом случае необходимо применить релятивистскую формулу (5). Так как $T_2 = m_o c^2$, то по формуле (5) находим

$$\lambda_2 = \frac{hc}{\sqrt{\left(2m_0 c^2 + m_0 c^2\right) m_0 c^2}} = \frac{h}{\sqrt{3} \cdot m_0 c} = \frac{\Lambda}{\sqrt{3}}.$$

Подставим значение Λ и произведём вычисления:

$$\lambda_2 = \frac{2{,}43}{\sqrt{3}} = 1{,}40 \text{ (пм)}.$$

4. Кинетическая энергия электрона в атоме водорода составляет величину порядка T = 10 эВ. Используя соотношение неопределённостей, оценить минимальные линейные размеры атома.

*1) 124 нм; 2) 62 нм; 3) 228 нм; 4) 31 нм.

Решение. Соотношение неопределённостей для координаты и импульса имеет вид

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar, \qquad (1)$$

где Δx - неопределённость координаты x электрона; Δp_x - неопределённость проекции импульса электрона на ось X; $\hbar$ - постоянная Планка, делённая на 2π.

Из соотношения неопределённостей следует, что чем точнее определяется положение частицы в пространстве, тем более неопределённым становится соответствующая проекция импульса, а следовательно, и энергия частицы. Пусть атом имеет линейные размеры ℓ, тогда электрон атома будет находиться где-то в пределах области с неопределённостью

$$\Delta x = \ell/2.$$

Соотношение неопределённостей (1) можно записать в этом случае в виде

$$(\ell/2)\Delta p_x \geq \hbar,$$

откуда

$$\ell \geq 2\hbar/\Delta p_x. \qquad (2)$$

Физически разумная неопределённость импульса Δp_x во всяком случае не должна превышать значения самого импульса p_x, то есть $\Delta p_x \le p_x$. Импульс p_x связан с кинетической энергией T соотношением $p_x = (2mT)^{1/2}$. Переходя от неравенства к равенству, получим

$$\ell_{min} = \frac{2\hbar}{\sqrt{2mT}}. \qquad (3)$$

Произведём вычисления:

$\ell_{min} = 2\cdot 1{,}05\cdot 10^{-34}/(2\cdot 9{,}1\cdot 10^{-31}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10)^{1/2} = 124$ нм.

5. Волновая функция $\Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\ell}}\sin\left(\frac{\pi n}{\ell}\cdot x\right)$ описывает основное состояние частицы в бесконечно глубоком прямоугольном ящике шириной ℓ. Вычислить вероятность нахождения частицы в малом интервале $\Delta\ell = 0{,}01\ell$ в двух случаях: 1) вблизи стенки $(0 < x < \ell)$;

2) в средней части ящика $((\ell - \Delta\ell)/2 \le x \le (\ell + \Delta l)/2)$.

1)0,02; 2)0,01; 3)0,60; 4)0,54.

Решение. Вероятность того, что частица будет обнаружена в интервале dx (от x до x + dx), пропорциональна этому интервалу и квадрату модуля волновой функции, описывающей данное состояние, равна $d\omega = |\psi(x)|^2\cdot dx$.

В первом случае искомая вероятность найдётся интегрированием в пределах от 0 до $0{,}01\ell$:

$$\omega = \frac{2}{\ell}\int_0^{0{,}01\ell}\sin^2(\pi x/\ell)dx.$$

Так как x изменяется в интервале $0 \le x \le 0{,}01\ell$ и, следовательно, $\pi x/\ell < \ell$, справедливо приближённое равенство

$$\sin^2(\pi x/\ell) \approx (\pi x/\ell)^2.$$

С учётом этого выражение (1) примет вид

$$\omega = \frac{2}{\ell}\int_0^{0{,}01\ell}(\pi x/\ell)^2 dx \approx \frac{2\pi^2}{\ell^3}\cdot\int_0^{0{,}01\ell}x^2 dx.$$

После интегрирования получим

$$\omega = \frac{2\pi^2}{3}10^{-6} \approx 6{,}6\cdot 10^{-6}.$$

Во втором случае можно обойтись без интегрирования, так как квадрат модуля волновой функции вблизи её максимума в заданном малом интервале ($\Delta\ell = =0{,}01\ell$) практически не изменяется. Искомая вероятность во втором случае определяется выражением

$$\omega = 2\cdot(\sin^2(\pi\ell/2\ell)\cdot\Delta\ell/\ell = 2\cdot 0{,}01\ell/\ell = 0{,}02.$$

Практическое занятие №7

Элементы квантовой механики. Квантовая природа света. Фотоэффект, эффект Комптона

Номера задач по: Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: Учеб. пособие для втузов.-7-е изд., перераб. и доп. -М.: Издательство Физико-математической литературы, 2003.-640 с.

35.5, 35.6, 35.7, 35.8, 35.9, 36.5, 36.10, 36.11, 37.1, 37.3, 37.6, 37.8.

Примеры решения задач.

1. В результате эффекта Комптона фотон при соударении с электроном был рассеян на угол $\theta = 90^o$. Энергия рассеянного фотона $\varepsilon_2 = 0{,}4$ МэВ. Определить энергию фотона ε_1 до рассеяния.

Решение. Для определения энергии первичного фотона воспользуемся формулой Комптона:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{2h}{m_0 c}\sin^2\left(\Theta/2\right), \qquad (1)$$

где $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ - изменение длины волны фотона в результате рассеяния на свободном электроне; h - постоянная Планка; m_o – масса покоя электрона; c - скорость света в вакууме; θ- угол рассеяния фотона.

Преобразуем формулу (1):

1) заменим в ней $\Delta\lambda$ на $\lambda_2 - \lambda_1$;

2) выразим длины волн λ_1 и λ_2 через энергии ε_1 и ε_2 соответствующих фотонов, воспользовавшись формулой $\varepsilon = hc/\lambda$;

3) умножим числитель и знаменатель правой части формулы на c, тогда

$$\frac{hc}{\varepsilon_2} - \frac{hc}{\varepsilon_1} = \frac{2hc}{m_0 c^2}\sin^2\left(\Theta/2\right)$$

Сократим на hc и выразим из этой формулы искомую энергию:

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_2 m_0 c^2}{m_0 c^2 - 2\varepsilon_2 \cdot \sin^2 \Theta/2} = \frac{\varepsilon_2 E_0}{E_0 - 2\varepsilon_2 \cdot \sin^2 \Theta/2} \qquad (2)$$

где $E_o = m_o c^2$ - энергия покоя электрона.

Вычисления по формуле (2) удобнее вести во внесистемных единицах. Так как для электрона $E_o = 0{,}511$ МэВ, то

$\varepsilon_1 = 0{,}4 \cdot 0{,}511/(0{,}511 - 2 \cdot 0{,}4 \cdot \sin^2 45^o) = 1{,}85$ МэВ.

2. Определить максимальную скорость v_{max} фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра: 1) ультрафиолетовым излучением с длиной волны $\lambda_1 = 0{,}155$ мкм; 2) γ - излучением с длиной волны $\lambda_2 = 1$ пм.

Решение. Максимальную скорость фотоэлектронов можно определить из уравнения Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$\varepsilon = A + T_{max}, \qquad (1)$$

где ε - энергия фотонов, падающих на поверхность металла; A - работа выхода; T_{max} - максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

Энергию фотона можно вычислить по формуле:

$$\varepsilon = hc/\lambda, \quad (2)$$

где h - постоянная Планка; c - скорость света в вакууме; λ - длина волны.

Кинетическая энергия электрона может быть выражена или по классической формуле

$$T = m_o v^2/2, \quad (3)$$

или по релятивистской формуле

$$T = E_0\left(1/\sqrt{1-\left(v/c\right)^2} - 1\right), \quad (4)$$

в зависимости от того, какая скорость сообщается фотоэлектрону. Скорость фотоэлектрона зависит от энергии фотона, вызывающего фотоэффект; если энергия ε фотона много меньше энергии покоя E_o электрона, то может быть применена формула (3), если же ε сравнима с E_o, то вычисление по формуле (3) приводит к ошибке, поэтому нужно пользоваться формулой (4).

1. Вычислим энергию фотона ультрафиолетового излучения по формуле (2):

$$\varepsilon_1 = 6{,}63\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^8/1{,}55\cdot10^{-7} = 1{,}28\cdot10^{-18} \text{ Дж}$$

или

$$\varepsilon_1 = 1{,}28\cdot10^{-18}/1{,}6\cdot10^{-19} = 8 \text{ эВ}.$$

Полученная энергия фотона $\varepsilon_1 < E_o$ (E_o = 0,51 МэВ - энергия покоя электрона). Следовательно, в данном случае кинетическая энергия фотоэлектрона в формуле (1) может быть выражена по классической формуле (3):

$$\varepsilon_1 = A + m_o v^2_{max}/2.$$

откуда

$$v_{max} = \sqrt{2(\varepsilon_1 - A)/m_0}\,. \quad (5)$$

Подставив значения величин в формулу (5), найдём

$$v_{max} = \sqrt{2\left(1{,}28\cdot10^{-18} - 0{,}75\cdot^{-18}\right)/9{,}11\cdot10^{-31}} = 1{,}08\cdot10^6 \text{ м/с}.$$

Вычислим энергию фотона γ - излучения:

$$\varepsilon_2 = hc/\lambda = 6{,}63\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^8/1\cdot10^{12} = 1{,}99\cdot10^{-13} \text{ Дж},$$

или во внесистемных единицах

$\varepsilon_2 = 1{,}99\cdot10^{-13}/1{,}6\cdot10^{-19} = 1{,}24\cdot10^6$ эВ = 1,24 МэВ.

Работа выхода электрона (A = 4,7 эВ) пренебрежимо мала по сравнению с энергией фотона (ε_2 = 1,24 МэВ), поэтому можно принять, что максимальная кинетическая энергия электрона равна энергии фотона: T_{max} = 1,24 МэВ. Так как в данном случае кинетическая энергия электрона больше его энергии покоя, то для вычисления скорости электрона следует взять релятивистскую формулу кинетической энергии (4). Из этой формулы найдём

$$\beta = \frac{\sqrt{(2E_0 + T)T}}{E_0 + T}\,.$$

Заметив, что $v = c\beta$ и $T_{max} = \varepsilon_2$, получим

$$v_{max} = \frac{\sqrt{2(E_0 + \varepsilon_2)\varepsilon_2}}{E_0 + \varepsilon_2}.$$

Произведём вычисления:

$$v_{max} = 3 \cdot 10^8 \sqrt{(2 \cdot 0{,}51 + 1{,}24)1{,}24} / (0{,}51 + 1{,}24) = 2{,}85 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Практическое занятие №8

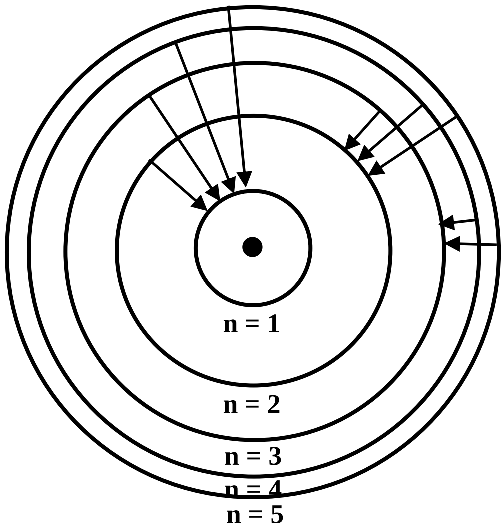
Атом Бора. Спектры. Радиоактивность

Номера задач по: Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: Учеб. пособие для втузов.-7-е изд., перераб. и доп. -М.: Издательство Физико-математической литературы, 2003.-640 с.

47.6, 47.7, 47.8, 47.10, 47.12, 47.18, 47.20, 47.30, 47.34, 47.35, 47.36, 47.39

Примеры решения задач.

1. На рисунке изображены стационарные орбиты атома водорода согласно модели Бора, а так же условно изображены переходы электрона с одной стационарной орбиты на другую, сопровождающиеся излучением кванта энергии. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы дают серию Лаймана, в видимой – серию Бальмера, в инфракрасной – серию Пашена.



Наибольшей частоте кванта в серии Лаймана соответствует

Ответ: n=5 → n=1;

2. Электрон в атоме водорода перешел с четвёртого энергетического уровня на второй. Определить энергию испущенного при этом фотона.

Решение. Для определения энергии фотона воспользуемся сериальной формулой Бальмера для водородоподобных ионов:

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right). \qquad (1)$$

где λ - длина волны фотона; R - постоянная Ридберга; Z - заряд ядра в относительных единицах (при Z = 1 формула переходит в сериальную формулу для водорода); n_1 - номер орбиты, с которой перешел электрон; n_2 - номер орбиты, на которую перешел электрон (n_1 и n_2 - главные квантовые числа).

Энергия фотона ε выражается формулой

$$\varepsilon = h \cdot c/\lambda$$

Поэтому, умножив обе части равенства (1) на hc, получим выражение для энергии фотона:

$$\varepsilon = RhcZ^2\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_1^2}\right).$$

Так как Rhc есть энергия ионизации E_i атома водорода, то

$$\varepsilon = E_i\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_1^2}\right).$$

Вычисления выполним во внесистемных единицах:
$E_i = 13{,}6$ эВ. $Z = 1$; $n_1 = 2$; $n_2 = 4$:
$\varepsilon = 13{,}6\cdot 1^2(1/2^2 - 1/4^2)$ эВ $= 13{,}6\cdot 3/16 = 2{,}55$ эВ.

3. Вычислить сечение ядра атома золота, которое соответствует рассеянию протонов с кинетической энергией T = МэВ в пределах углов θ от 60° до 180°.

Решение. Рассеяние частиц ядром в пределах углов от θ до θ + dθ определяется площадью dσ эффективного сечения ядра в виде кольца (рис.1.1):

$$d\sigma = 2\pi b db \quad . \qquad (1)$$

Прицельное расстояние *b* найдем из формулы:

$$b = \frac{kq_1q_2}{2T}\operatorname{ctg}\frac{\Theta}{2}, \qquad (2)$$

где q_1 - заряд протона, q_2 - заряд ядра золота. Дифференциал от b равен:

$$db = -\frac{kq_1q_2}{2T}\cdot\frac{d\left(\Theta/2\right)}{\sin^2\Theta/2} \quad ; \qquad (3)$$

Подставив выражение (2) и (3) в (1), получим:

$$d\sigma = -2\pi d\left[\frac{kq_1q_2}{2T}\right]^2 \operatorname{ctg}\Theta/2\cdot\frac{d\left(\Theta/2\right)}{\sin^2\Theta/2}; \qquad (4)$$

Сечение ядра, на котором рассеиваются частицы в пределах углов от θ_1 до θ_2:

$$\Delta\sigma = \int_{\Theta_1}^{\Theta_2} в\sigma. \qquad (5)$$

Подставим выражение (4) в интеграл (5):

$$\Delta\sigma = -2\pi\left[\frac{kq_1q_2}{2T}\right]^2\int_{\Theta_1}^{\Theta_2}\operatorname{ctg}\Theta/2\cdot\frac{d\left(\Theta/2\right)}{\sin^2\Theta/2}. \qquad (6)$$

После интегрирования получим:

$$\Delta\sigma = -2\pi\left[\frac{kq_1q_2}{2T}\right]^2 ctg^2\,\Theta/2\Big|_{60^0}^{180^0} = \pi\left[\frac{kq_1q_2}{2T}\right]^2\cdot ctg^2 30^0,$$

где q_1=+e, q_2=78e.

$$\Delta\sigma = 3.14\left[\frac{9\cdot 10^{9}\cdot 78e^2\cdot}{2\cdot 1.6\cdot 10^{6}e}\right]^2\cdot ctg^2 30^0 = 2.1\cdot 10^{-26}\,м^2.$$ $\therefore$ $\Delta\sigma$= 2,1-10^{-26} $м^2$.

Практическое занятие №9

Атомное ядро. Ядерные реакции. Элементарные частицы

Номера задач по: Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: Учеб. пособие для втузов.-7-е изд., перераб. и доп. -М.: Издательство Физико-математической литературы, 2003.-640 с.

41.1, 41.4, 41.12, 41.13, 41.47, 41.20, 41.24, 41.25, 41.30, 43.2,43.11, 44.22, 44.25.

Примеры решения задач.

1. Вычислить дефект массы и энергию связи ядра Li_7^3.

1) 39,2 МэВ; 2) 19,6 МэВ; 3) 78,4 МэВ; 4) 10,2 МэВ.

Решение. Масса ядра всегда меньше суммы масс свободных (находящихся на очень больших расстояниях друг от друга) протонов и нейтронов, из которых состоит ядро. Дефект массы ядра Δm равен разности между суммой масс свободных нуклонов и массой ядра, т.е.

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_я, \qquad (1)$$

где Z - порядковый номер (число протонов в ядре); m_p, m_n, $m_я$ - соответственно массы протона , нейтрона и ядра.

В справочных таблицах всегда даются массы нейтральных атомов, а не ядер, поэтому формулу (1) целесообразно преобразовать так, чтобы в неё входила масса m_a нейтрального атома. Можно считать, что масса нейтрального атома равна сумме масс ядра и электронов, составляющих электронную оболочку ядра: $m_a = m_я + Zm_e$, откуда

$$m_я = m_a - m_e. \qquad (2)$$

Выразив в равенстве (1) массу ядра по формуле (2), получаем

$$\Delta m = Z(m_p + m_e) + (A - Z)m_n - m_a.$$

Замечая, что $m_p+m_e=m_H$, где m_H- масса атома водорода, находим

$$\Delta m = Zm_H + (A - Z)m_n - m_a. \qquad (3)$$

Подставив в выражение (3) числовые значения масс, взятые из справочной таблицы, получим

Δm = [3·1,00783 + (7 - 3)·1,00867 - 7·0,1601] = 0,04216 (а.е.м.)

В соответствии с законом пропорциональности массы и энергии

$$E = \Delta m \cdot c^2, \qquad (4)$$

где c - скорость света в вакууме.

Коэффициент пропорциональности c^2 можно выразить через массу и энергию: $c^2 = E/\Delta m = 9 \cdot 10^{16}$ Дж/кг.

Если вычислять энергию связи, используя внесистемные единицы, то c^2 = 931,44 МэВ/а.е.м. С учётом этого формула (4) примет вид

$$E = 93{,}44 \cdot \Delta m \text{ (МэВ)}. \qquad (5)$$

Подставив значение дефекта массы ядра в формулу (5), получим

$E = 931{,}44 \cdot 0{,}04216$ МэВ = 39,2 МэВ.

2. В осуществлении ядерной реакции ${}^{14}_{7}\mathrm{N} + \mathrm{X} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$ участвует…

Ответ: α-частица

3. Рассчитать с помощью формулы Вейцзеккера энергию связи Ca^{40}.

Решение. Полуэмпирическая формула Вейцзеккера позволяет найти энергию связи ядра по его значениям A и Z:

$$E_{св} = 14A - 13A^{2/3} - 0{,}584Z^2/A^{1/3} - 19{,}3\frac{(A-2Z)^2}{A} - \frac{33{,}5\delta}{A^{3/4}}.$$

Для ядра Ca^{40} $\delta = -1$.

$E_{св} = 14 \cdot 40 - 13 \cdot 40^{2/3} - 0{,}58 \cdot 20^2/40^{2/3} - 19{,}3(40-40)/20 - 33{,}5 \cdot (-1)/40^{3/4} = 342$ МэВ.

Ответ: E. = 342 МэВ.

4. Атомное ядро, поглотив γ - фотон (λ = 0,47 пм), возбудилось, после чего распалось на отдельные нуклоны, которые разлетелись в разных направлениях. Суммарная кинетическая энергия нуклонов равна 0,4 МэВ. Определить энергию связи $E_{св}$ ядра.

Решение. На основании закона сохранения энергии имеем:

$$\mathbf{M_я} + h\nu = Zm_p + (A - Z)m_n + T,$$

где T - кинетическая энергия нуклонов. Энергия связи:

$$E_{св} = Z \cdot m_p + (A-Z)m_n - M_я = h\nu - T.$$

$$E_{св} = h\nu - T = hc/\lambda - T.$$

Произведём вычисления

$$E_{св} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 4{,}7 \cdot 10^{-13}} - 0{,}4 \cdot 10^{6} = 2{,}2 \cdot 10^{6}\,\text{эВ} = 2{,}2\,\text{МэВ}.$$

Ответ: $E_{св}$ = 2,2 МэВ.

Рекомендуемый список литературы

1. Савельев И.В. Курс физики [текст]: учебное пособие: в 3 т. Т. 2: Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика. – СПб.: Лань, 2011. – 496 с.
2. Савельев И. В. Курс физики. Учебное пособие. В 3 т. Т. 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - 2-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2011. – 320 с.
3. Чертов А. Г. Задачник по физике [Текст] : учеб. пособие / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. - 7-е изд., перераб. и доп. – М : Издательство Физико-математической литературы, 2003. - 640 с.
4. Полунин, В. М. Физика. Электромагнитные явления [Текст] : конспект лекций / В. М. Полунин, Г. Т. Сычёв ; Курск. гос. техн. ун-т. – Курск : КурскГТУ, 2005. - 199 с.
5. Карпова, Г. В. Основы геометрической оптики [Электронный ресурс] : учебно-практическое пособие / Г. В. Карпова, В. М. Полунин, Г. Т. Сычёв ; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск : ЮЗГУ, 2012. - 57 с.