КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО РАЗДЕЛАМ «ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ОПТИКА. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА.»

Примеры решения задач

Пример 1. По отрезку прямого провода длиной ℓ = 80 см течёт ток I = 50 А. Определите магнитную индукцию $\vec{B}$ поля, создаваемого этим током, в точке А, равноудалённой от концов отрезка провода и находящейся на расстоянии r_o = 30 см от его середины.

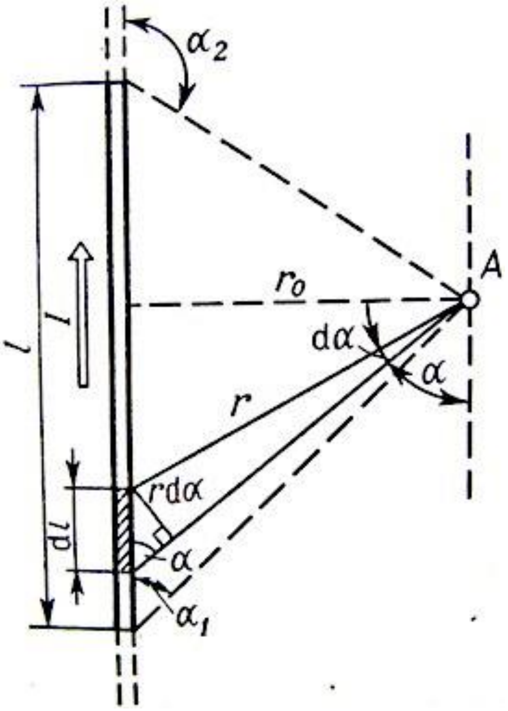


Рис.3

Решение. Для решения задачи воспользуемся законом Био-Савара-Лапласа и принципом суперпозиции магнитных полей. Закон Био-Савара-Лапаласа позволяет определить магнитную индукцию $\overrightarrow{dB}$, создаваемую элементом тока $\overrightarrow{Id\ell}$. Заметим, что вектор $\overrightarrow{dB}$ в точке А направлен за плоскость чертежа. Принцип суперпозиции позволяет для определения $\vec{B}$ воспользоватьсяся геометрическим суммированием (интегрированием):

$$\vec{B} = \int_{\ell} \overrightarrow{dB}, \qquad (1)$$

где символ ℓ означает, что интегрирование распространяется на всю длину провода.

Запишем закон Био-Савара-Лапласа в векторной форме:

$$\overrightarrow{dB} = \frac{\mu\mu_o I}{4\pi r^3}\left[\overrightarrow{d\ell} \cdot \vec{r}\right],$$

где $\overrightarrow{dB}$ - магнитная индукция, создаваемая элементом провода длиной $\overrightarrow{d\ell}$ с током Iв точке, определяемой радиус-вектором $\vec{r}$; μ_o - магнитная постоянная; μ - магнитная проницаемость среды, в которой находится провод (в нашем случае μ = 1). Заметим, что векторы $\overrightarrow{dB}$ от различных элементов тока сонаправлены (рис.3), поэтому выражение (1) можно переписать в скалярной форме:

$$B = \int_{\ell} dB,$$

где $dB = \frac{\mu_o I}{4\pi} \cdot \frac{\sin\alpha}{r^2} d\ell$.

В скалярном выражении закона Био-Савара-Лапласа угол α есть угол между элементом тока $I\overrightarrow{d\ell}$ и радиусом-вектором $\vec{r}$.

Таким образом,

$$B = \frac{\mu_o I}{4\pi} \cdot \int_{\ell} \frac{\sin\alpha}{r^2} d\ell. \qquad (2)$$

Преобразуем подынтегральное выражение так, чтобы была одна переменная – угол α. Для этого выразим длину элемента провода $\overrightarrow{d\ell}$ через угол $d\alpha$: $d\ell = rd\alpha / \sin\alpha$ (рис.3).

Тогда подынтегральное выражение $\dfrac{\sin\alpha}{r^2}d\ell$ запишем в виде $\dfrac{\sin\alpha}{r^2}\cdot\dfrac{rd\alpha}{\sin\alpha} = \dfrac{d\alpha}{r}$. Заметим, что переменнаяr также зависит от α ($r = r_o / \sin\alpha$); следовательно,

$$\frac{d\alpha}{r} = \frac{\sin\alpha}{r_o}d\alpha .$$

Таким образом, выражение (2) можно переписать в виде:

$$B = \frac{\mu_o I}{4\pi r_o}\int_{\alpha_1}^{\alpha_2}\sin\alpha d\alpha ,$$

где α_1 и α_2 - пределы интегрирования.

Выполним интегрирование:

$$B = \frac{\mu_o I}{4\pi r_o}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2) \quad (3)$$

Заметим, что при симметричном расположении точки А относительно отрезка провода $\cos\alpha_2 = -\cos\alpha_1$.

С учётом этого формула (3) примет вид

$$B = \frac{\mu_o I}{4\pi r_o}\cos\alpha , \quad (4)$$

Из рис.3 следует

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

Подставив выражение $\cos\alpha_1$ в формулу (4), получим

$$B = \frac{\mu_o I}{4\pi r_o} \cdot \frac{\ell}{\sqrt{4r_o^2 + \ell^2}}. \qquad (5)$$

Произведя вычисления по формуле (5), найдём

B = 26,7 мкТл.

Направление вектора магнитной индукции $\vec{B}$ поля, создаваемого прямым током, можно определить по правилу правого винта. Для этого проводим магнитную силовую линию (штриховая линия на рис.4) и по касательной к ней в интересующей нас точке проводим вектор $\vec{B}$.

Вектор магнитной индукции $\vec{B}$ в точке А (рис.3) направлен перпендикулярно плоскости чертежа от нас.

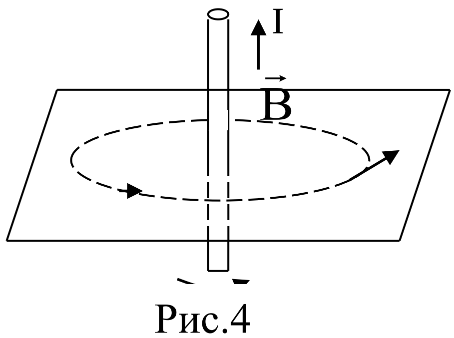


Рис.4

Пример 2. По двум параллельным прямым проводам длиной ℓ =2,5 м каждый, находящимся на расстоянии d = 20 см друг от друга, текут одинаковые токи I = 1 кА. Вычислите силу взаимодействия токов.

Решение. Взаимодействие двух проводов, по которым текут токи, осуществляется через магнитное поле, которое действует на другой провод.

Предположим, что оба тока (обозначим их для удобства I_1иI_2) текут в одном направлении. Ток I_1создаёт в месте расположения второго провода (с током I_2) магнитное поле.

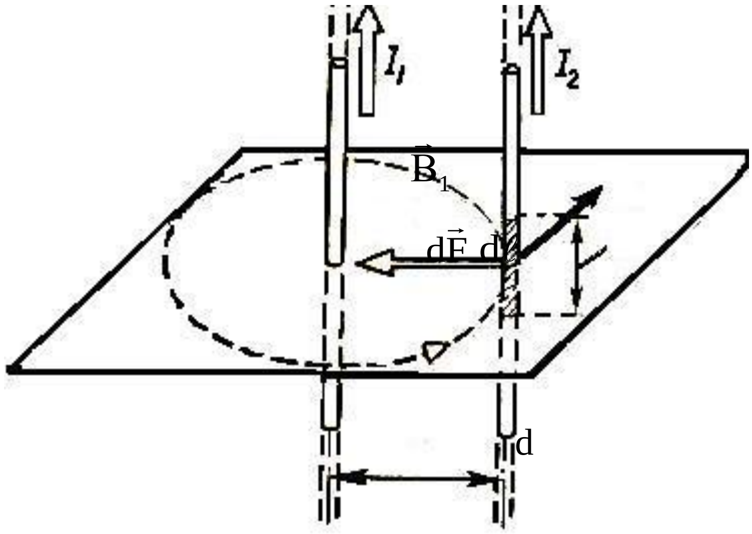


Рис.5

Проведём линию магнитной индукции (пунктир на рис.5) через второй провод и по касательной к ней – вектор магнитной индукции $\vec{B}_1$. Модуль магнитной индукции B_1 определяется соотношением

$$B_1 = \frac{\mu_o I}{2\pi d}. \qquad (1)$$

Согласно закону Ампера, на каждый элемент второго провода с током I_2длиной $d\ell$ действует в магнитном поле сила

$$dF = I_2 B_1 d\ell \sin(d\vec{\ell} \wedge \vec{B}).$$

Так как вектор $d\vec{\ell}$ перпендикулярен вектору $\vec{B}_1$, то $\sin(d\vec{\ell} \wedge \vec{B}) = 1$ и тогда

$$dF = I_2 B_1 d\ell.$$

Подставив в это выражение B_1 согласно (1), получим

$$dF = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi d} d\ell.$$

Силу F взаимодействия проводов с током найдём интегрированием:

$$F = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi d} \int_0^\ell d\ell = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi d} \ell.$$

Заметив, что $I_1 = I_2 = I$, получим

$$F = \frac{\mu_o I^2 \ell}{2\pi d}.$$

Убедимся в том, что правая часть этого равенства даёт единицу силы (Н):

Произведём вычисления:

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} (10^3)^2 \cdot 2{,}5}{2\pi \cdot 0{,}2} H = 2{,}5 H.$$

Сила $\vec{F}$ сонаправлена с силой $d\vec{F}$ (рис.5) и определяется (в данном случае проще) правилом левой руки.

Пример 3. Электрон движется в однородном магнитном поле (B = 10 мТл) по винтовой линии, радиус R которой равен 1 см и шаг h = 6 см. Определите период T обращения электрона и его скорость v.

Решение. Электрон будет двигаться по винтовой линии, если он влетает в однородное магнитное поле под некоторым углом ($\alpha \neq \pi/2$) к линиям магнитной индукции. Разложим, как это показано на рис.6, скорость $\vec{v}$ электрона на две составляющие: параллельную вектору $\vec{B}$ ($\vec{v}_\tau$) и перпендикулярную ему ($\vec{v}_n$). Скорость $\vec{v}_\tau$ в магнитном поле не изменяется и обеспечивает перемещение электрона вдоль силовой линии. Скорость $\vec{v}_n$ в результате действия силы Лоренца будет изменяться только по направлению ($\vec{F}_\Lambda \perp \vec{v}_n$) (в отсутствие параллельной составляющей ($\vec{v}_\tau$ = 0) движение электрона происходило бы по окружности в плоскости, перпендикулярной магнитным силовым линиям). Таким образом, электрон будет участвовать одновременно в двух движениях: равномерном перемещении со скоростью ($\vec{v}_n$) и равномерном движении по окружности со скоростью ($\vec{v}_\tau$).

Период обращения электрона связан с перпендикулярной составляющей скорости соотношением

$$T = 2\pi R / v_n . \tag{1}$$

Найдём отношение R / v_n. Для этого воспользуемся тем, что сила Лоренца сообщает электрону нормальное ускорение $a_n = v_n^2 / R$. Согласно второму закону Ньютона, можно написать $F_\Lambda = ma_n$ или

$$|e| \cdot v_n B = m v_n^2 / R , \tag{2}$$

где $v_n = v \sin\alpha$.

Сократив (2) на v_n, выразим соотношение R / v_n ($R / v_n = m / |e| B$) и подставим его в формулу (1):

$$T = 2\pi \frac{m}{|e| \cdot B} .$$

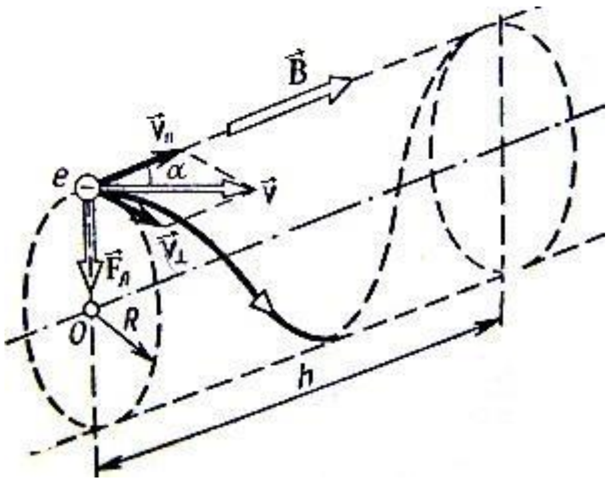


Рис.6

Произведём вычисления:

$$T = \frac{2\pi \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}\ \text{с} = 3{,}57 \cdot 10^{-9}\ \text{с} = 3{,}57\ \text{нс}.$$

Модуль скорости v, как это видно из рис.6, можно выразить через

v_n и v_τ:

$$v = \sqrt{v_n^2 + v_\tau^2}\ .$$

Из формулы (2) выразим перпендикулярную составляющую скорости:

$$v_n = \frac{|e| \cdot BR}{m}\ .$$

Параллельную составляющую скорости v_τ найдём из следующих соображений. За время, равное периоду обращения T, электрон пройдёт вдоль силовой линии расстояние, равное шагу винтовой линии, т.е.

$h = T \cdot v_\tau$, откуда

$$v_\tau = h / T\ .$$

Подставив вместо T правую часть выражения (2), получим

$$v_\tau = \frac{|e| \cdot Bh}{2\pi m}\ .$$

Таким образом, модуль скорости электрона

$$v = \sqrt{v_n^2 + v_\tau^2} = \frac{|e| \cdot B}{m}\sqrt{R^2 + \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2}\ .$$

Произведём вычисления:

$$v = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}}\left[(0{,}01)^2 + \left(\frac{0{,}06}{2\pi}\right)^{-2}\right]^{1/2}\ \text{м/с} = 2{,}46 \cdot 10^7\ \text{м/с}$$

, или

24,6 Мм/с.

Пример 4. Короткая катушка, содержащая N = 10^3 витков, равномерно вращается с частотой n = 10 $с^{-1}$ относительно оси AB, лежащей в плоскости катушки и перпендикулярной линиям однородного магнитного поля (B = 0,04 Тл). Определите мгновенное значение ЭДС индукции для тех моментов времени, когда плоскость катушки составляет угол 60° с линиями поля. Площадь Sкатушки равна 100 $см^2$.

Решение. Мгновенное значение ЭДС индукции E_1 определяется основным уравнением электромагнитной индукции Фарадея-Максвелла:

$$E_i = -\frac{d\Psi}{dt}. \quad (1)$$

Потокосцепление $\Psi = N\Phi$, где N – число витков катушки, пронизываемых магнитным потоком Ф. Подставив выражение Ψ в формулу (1), получим

$$E_i = -N\frac{d\Phi}{dt}. \quad (2)$$

При вращении катушки магнитный поток Ф, пронизывающий катушку в момент времени t, изменяется по закону $\Phi = BS\cos\omega t$,

где B – магнитная индукция; S–площадь катушки; ω - угловая скорость катушки. Подставив в формулу (2) выражение магнитного потока и продифференцировав по времени, найдём мгновенное значение ЭДС индукции:

$$E_i = NBS\omega\sin\omega t.$$

Заметив, что угловая скорость ω связана с частотой вращения nкатушки соотношением $\omega = 2\pi n$ и что угол $\omega t = \pi/2 - \alpha$ (рис.7), получим (учтено, что $\sin(\pi/2 - \alpha) = \cos\alpha$)

$$\varepsilon_i = 2\pi nNBS\cos\alpha.$$

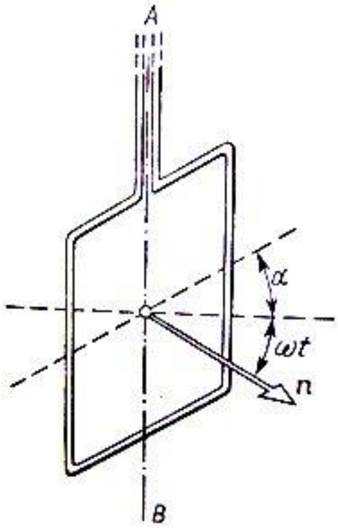


Рис.7

Произведём вычисления:

$$\mathcal{E}_{\mathrm{i}} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 10 \cdot 10^{3} \cdot 0{,}04 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}5\ \mathrm{В} = 25{,}1\ \mathrm{В}\ .$$

Пример 5. На плоскопараллельную пластинку с показателем преломленияn=1,3 падает параллельный пучок белого света под угломі= 30^{0}. При какой наименьшей толщине пластинки она будет окрашена в желтый цвет (λ = 0,60 мкм).

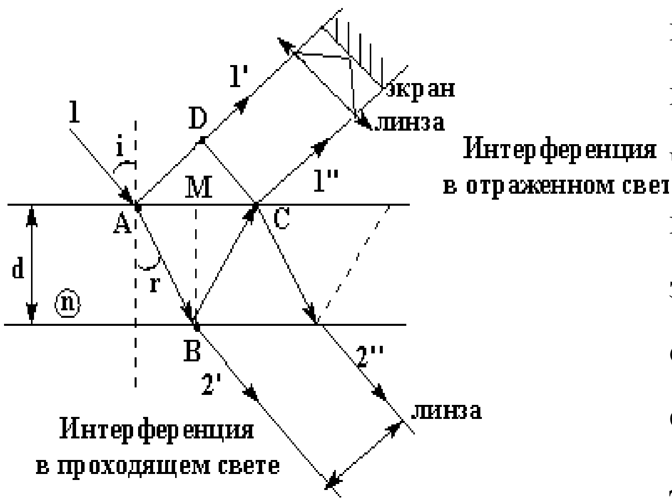


Рис. 1

При падении на пластинку свет частично проходит через пластинку,а частично отражается от ее поверхности. По условию задачи наблюдение ведется в отраженном свете. В этом случае интерферируют дневолны, одна из которых отражается в точке А на верхнейповерхности пластинки, другая – в точке В, лежащей на нижней поверхности(рис. 1).Отражение света в точке А происходит от более плотной среды, поэтому фаза волны меняется наπ, чему соответствует смещение волны на $\lambda/2$. В точке В свет отражается от менее плотной среды и изменение фазы волны не происходит.

Результат интерференции волн зависит от оптической разности хода волн, котораяопределяется соотношение

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \lambda/2, \qquad (1)$$

где d – толщина пластинки, *i*– угол падения лучей.

Пластинка будет окрашена в желтый цвет, если для этой длины волны будет выполняться условие максимального усиления света, то есть $\Delta = 2k\lambda/2,$

$$к= 1,2,3\ldots \qquad (2)$$

Приравняем правые части (1) и (2)

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \lambda/2 = 2k\lambda/2$$

и выразим искомую толщину пластинки

$$d = \frac{(2k+1)\lambda/2}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}. \qquad (3)$$

Из (3) видно, что$d=d_{min}$ при$к=0$, то есть

$$d_{min}=.\frac{\lambda/2}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}$$

Произведем вычисления**:**

$$d_{min} = \frac{0,60\cdot10^{-6}/2}{2\sqrt{1,69-0,25}} = 0,125\cdot10^{-6}\,м.$$

Пример 6.Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой линзой налита жидкость, показатель преломления которой меньшепоказателя преломления стекла. Радиус r_8 темного кольца Ньютона в отраженном свете (λ=700 нм) равен 2 мм. Радиус кривизны линзы равен 1 м.Найдите 1) показатель преломления жидкости, 2) толщину d_8 слоя жидкости в том месте, где находится восьмое темное кольцо, и 3) расстояние между восьмым и девятым кольцами Ньютона в отраженном свете.

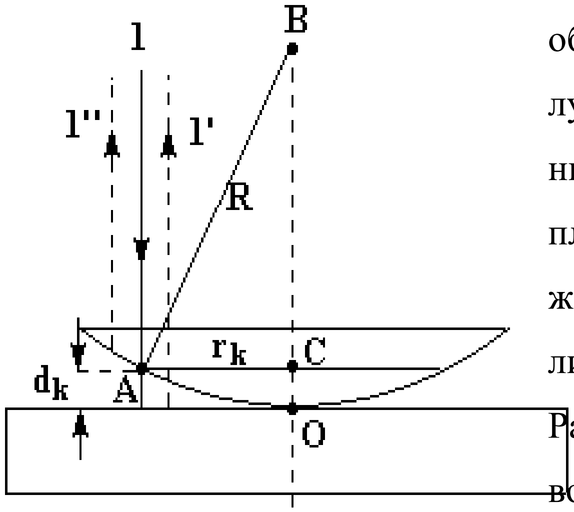


Рис. 2

Кольца Ньютона образуются при интерференции лучей, отраженных от верхнеи нижней поверхностей тонкой пленки, образованной жидкостью, налитой между линзой и пластинкой (рис.2) Радиусы темных колец Ньютона вотраженном свете определяются формулой

$$r_k=\sqrt{\frac{kR\lambda}{n}}\ ,$$

к= 1,2,3…гдеk – номер кольца;

R – радиус кривизны линзы;

n – показатель преломления жидкости.

Выразим из формулы дляr_k показатель преломления

$$n=\frac{kR\lambda}{r^2}$$

ивыполним вычисления:

$$n = 8\cdot 1\cdot 700\cdot 10^{-9}/(2\cdot 10^{-3})^2 =1{,}4.$$

Для определения толщины d_8 пленки в том месте, где находится восьмое темное кольцо, рассмотрим треугольник АОМ, в которомAO=R,

$OM=R-d_k$, $AM=r_k$. По теореме Пифагора $R^2=(R-d_k)^2+d_k^2$, откуда, полагая $d_k^2=0$ ($d_k \ll R$), получим $d_k=\dfrac{r^2}{2R}$.

Подставим численные значения: $d_k=(2\cdot 10^{-3})^2/2=2\cdot 10^{-6}$м.

Расстояние между восьмым и девятым темными кольцами в отраженном

свете равно:

$$\Delta r=r_9-r_8=\sqrt{\frac{9R\lambda}{n}}-\sqrt{\frac{8R\lambda}{n}}.$$

Выполним расчет:

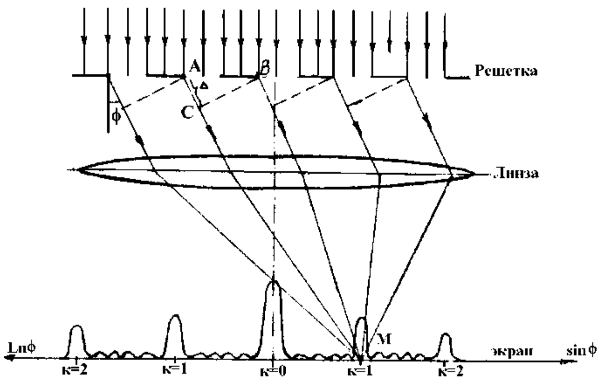
$$\Delta r=3\sqrt{\frac{1\cdot 700\cdot 10^{-9}}{1,4}}-2\cdot 10^{-3}=2,13\cdot 10^{-3}-2\cdot 10^{-3}=0,13\cdot 10^{-3}\text{м}$$

Пример 7. На дифракционную решетку нормально к ее поверхности. Падает параллельный пучок света с длиной волны $\lambda=0,5$ мкм. Помещенная вблизи решетки линза проецирует дифракционную картину на экран, удаленный от линзы на L=1м. Расстояние l между двумя максимумами интенсивности первого порядка на экране равно 20,2 см(см. рис. 3).

Определите: 1) постоянную d решетки, 2) число штрихов n на 1см, 3) число максимумов, которые дает решетка, 4) максимальный угол отклонения лучей φ_{max}, соответствующих последнему максимуму.

Решение. Угол φ отклонения лучей, соответствующих k-му максимуму при дифракции света на дифракционной решетке, определяется

из условия: $d\sin\varphi=k\lambda$,



где d – постоянная решетки. В задаче $k = 1$, а из рис.3видно, что$l/2 = L\mathrm{tg}\varphi$.При малых углахtg$\varphi \approx \sin\varphi$, поэтому$l/2 = L\sin\varphi = L\lambda/d$. Откуда постоянная решетки $d = 2L\lambda/l$. Подставим данные $d=2\cdot 1\cdot 0{,}5\cdot 10^{-6}/\ 0{,}202=4{,}95$мкм

Рис. 3

Число штрихов на 1см найдем из формулы$n = 1/d$.После подстановки численных значений получим$n= 2{,}02\cdot 10^3$см$^{-1}$.

Для определения числа максимумов, которые дает дифракционная решетка, вычислим сначала максимальное значение k_{max}, исходя из того, что максимальный угол отклонения лучей не может превышать 90^0.

Из формулы$d\sin\varphi = k\lambda$ получим,что$k_{max} = d/\lambda$ $(\sin 90^0 = 1)$, откуда$k_{max} = 4{,}95\cdot 10^{-6}/0{,}5\cdot 10^{-6}= 9{,}9$.

Число k_{max} должно быть целым и не может превышать 9,9, следовательно,

$$k_{max}=9.$$

Общее число максимумов, которые дает решетка с учетом центрального максимумаравно$N=2k_{max}+1$,то есть$N=2\cdot 9+1=19$.

Максимальный угол отклонения лучей, соответствующих последнему максимуму, определим из соотношения:$\sin\varphi_{max}=k_{max}\lambda/d$

Подставляя сюда значения величин k_{max}, λ,d,получим$\sin\varphi_{max} = 0{,}909$,а $\varphi_{max} = 65{,}4^0$.

Пример 8.Два николяN_1 и N_2 расположены так, что угол между их плоскостями пропускания составляет 60^0.

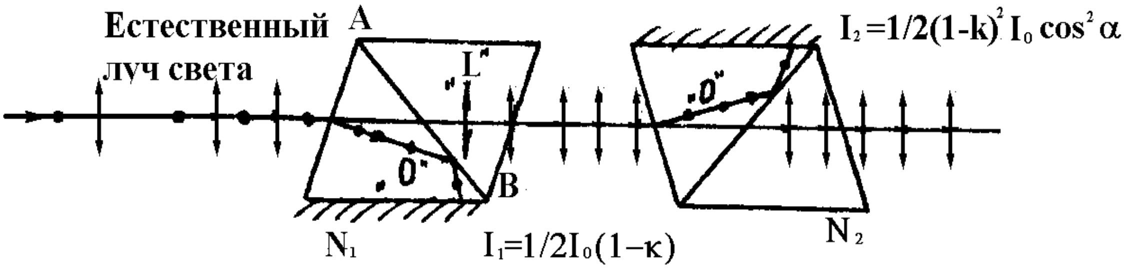


Рис. 4

Определите, во сколько разуменьшится интенсивность I_0 естественного света1) при прохождении через один никольN_1; 2) при прохождении через оба николя. Коэффициент поглощения света в первом николе k_1=0,05, во втором николеk_2=0,15. Потери на поглощение света не учитывать.

Решение.Естественный свет, падая на первый николь, расщепляется вследствие двойного лучепреломления на два пучка: обыкновенный и необыкновенный (рис.4). Оба пучка одинаковы по интенсивности и полностью поляризованы. Плоскость колебаний необыкновенного пучка лежит в плоскости чертежа (плоскость пропускания поляризатора). Плоскость колебаний обыкновенного пучка перпендикулярна плоскости чертежа.

Обыкновенный луч («о») вследствие полного отражения от границы АВ отбрасывается на зачерненную поверхность призмы N_1 и поглощается ею.

Необыкновенный луч («е») проходит через призму, уменьшая свою интенсивность вследствие поглощения. Таким образом, интенсивность света, прошедшего через первый николь, равна

I_1= 1/2 I_0(1-k_1).

Относительное уменьшение интенсивности света получим, разделив интенсивность I_0естественного света на интенсивность I_1 поляризованного света: $\frac{I_0}{I_1}=\frac{2I_0}{I_0(1-k_1)}=\frac{2}{1-k_1}$.

Выполним расчет: $\frac{I_0}{I_1}$ = 2/(1-0,05)= 2,1.

Таким образом, при прохождении через первый николь интенсивность света уменьшается в 2,1 раза.

Плоскополяризованный пучок света интенсивности I_1 падает на второй николь N_2 и также расщепляется на два пучка различной интенсивности:обыкновенный и необыкновенный. Обыкновенный пучок полностью поглощается призмой, поэтому его интенсивность нас не интересует. Интенсивность I_2 необыкновенного пучка, вышедшего из призмы $N_{2,}$ определяется законом Малюса (без учета поглощения света в николе N_2):

$I_2= I_1\cos^2\alpha$,

где α – угол между плоскостью колебаний в поляризованном пучке и плоскостью пропускания николя N_2, то есть угол между плоскостями пропускания николей N_1 и N_2.

Учитывая потери интенсивности на поглощение во втором николе, получим$I_2=I_1(1-k_2)\cos^2\alpha$.

Уменьшение интенсивности света при прохождении света через оба николя

равно $\frac{I_0}{I_2}=\frac{I_0}{I_1(1-k_2)\cos^2\alpha}=\frac{2}{(1-k_1)(1-k_2)\cos^2\alpha}$.

Произведем вычисления: $\frac{I_0}{I_2}=\frac{2}{(1-0,05)(1-0,015)\cos^2 60^0}=9,9$.

Следовательно,после прохождения света через два николя его интенсивность уменьшается в 9,9 раза.

Пример 8.Найдите мощность излучения абсолютно черного тела, если известно, что максимальная спектральная плотность его излучательности приходится на длину волны в 484 нм, а площадь излучающей поверхности равна 1см^2.

Решение.Излучательность абсолютно черного тела равна энергии Q, излучаемой с единицы поверхности тела за единицу времени:

$$R=Q/S\cdot t = N/S, \qquad (1)$$

где$N = Q/t = R\cdot S$-мощностьизлучения.

По закону Стефана-Больцмана излучательность абсолютно черного тела равна

$$R=\sigma T^4, \qquad (2)$$

где$\sigma=5{,}67\cdot 10^{-8}$ Вт/(м$^{2}\cdot$ К^4) – постоянная Стефана-Больцмана,

T – абсолютная температура тела.

Температуру тела можно вычислить с помощью закона смещения Вина:

$$\lambda_0 = b/T, \qquad (3)$$

где $b= 2{,}90\cdot 10^{-3}$м$\cdot$K – первая постоянная Вина.

Используя формулы (1),(2) и (3), получим

$R=\sigma(\frac{b}{\lambda_0})^4$, $N=R\cdot S = \sigma(\frac{b}{\lambda_0})^4\cdot S$.

Произведем вычисления:

$$N = 5{,}67\cdot 10^{-8}\,(2{,}90\cdot 10^{-3}/484\cdot 10^{-9})^4\cdot 10^{-4} = 1{,}1\cdot 10^4 \text{Вт}.$$

Пример 9 На поверхность металла падает монохроматический свет (λ $=0{,}42\cdot 10^{-6}$ м). Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов $U_з$ =0,95 В.Какая доля энергии фотона расходуется на работу выхода электрона из металла?

Решение.Энергия фотонов ε, падающих на поверхность металла, расходуется на совершение работы выхода А электрона из металла и сообщение ему кинетической энергииT=mv^2/2:

$$\varepsilon = A + mv^2/2. \qquad (1)$$

Энергия фотона, как известно, равна $\varepsilon = h\nu = hc/\lambda$, где h=6,63$\cdot 10^{-34}$Дж$\cdot$с – постоянная Планка, c=3$\cdot 10^8$ м/с – сскорость света в вакууме, ν - частота света, λ - длина световой волны ($\nu = c/\lambda$).

Максимальная кинетическая энергия электронасвязана с задерживающейразностью потенциалов следующим соотношением:

$eU_з = mv^2/2$,гдее=1,6$\cdot 10^{-19}$Кл –заряд электрона.

Тогда уравнение (1) примет вид:$hc/\lambda = A + eU_з$,откуда

$A = hc/\lambda - eU_з$идоля энергии фотона, расходуемая на работу выхода электрона из металла, будет равна$A/\varepsilon = \dfrac{hc/\lambda - eU_з}{hc/\lambda} = 1 - \dfrac{eU_з}{hc/\lambda}$.

Выполним вычисления:$A/\varepsilon = 1 - \dfrac{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 0{,}95}{6{,}62\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^8/0{,}42\cdot 10^{-6}} = 1 - 0{,}33 = 0{,}67$.

Пример 10.В результате эффекта Комптона фотон при соударении с электрономбылрассеяннаугол90^0.Энергиярассеянного фотона ε_2=0,4 МэВ. Определите энергию ε_1 фотона до рассеяния и кинетическую энергию T электрона отдачи.

Решение.Для определения энергии падающего фотона воспользуемся формулой Комптона

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta),$$

где $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ - изменение длины волны фотона в результате рассеяния на свободномэлектроне,h=6,63$\cdot 10^{-34}$ Дж$\cdot$с–постоянная Планка,

$m_0 = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$кг

- масса покоя электрона,$c=3\cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме, θ - угол рассеяния электрона.

По условию задачи $\theta=90^0$, $\cos\theta=0$, поэтому $\Delta\lambda = \dfrac{h}{m_0 c}$.

Выразим длины волн падающего и рассеянного фотонов через их энергии ε_1 и ε_2.

Как известно, $\varepsilon = \dfrac{hc}{\lambda}$,поэтому $\lambda_1 = \dfrac{hc}{\varepsilon_1}, \lambda_2 = \dfrac{hc}{\varepsilon_2}$..

По условию задачи энергия рассеянного фотона ε_2 равна

ε_2= 0,4 МэВ= $0{,}4\cdot 1{,}6\cdot 10^{-13}$ Дж $=0{,}64\cdot 10^{-13}$Дж.

Следовательно, длина волны рассеянного фотона

$\lambda_2 = hc/\varepsilon_2 = 6{,}63\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^8 / (0{,}64\cdot 10^{-13}) = 3{,}11\cdot 10^{-12}$м.

Длина волны падающего фотона $\lambda_1 = \lambda_2 - \Delta\lambda = \lambda_2 - \dfrac{h}{m_0 c}$.

: $\lambda_1 = 3{,}11\cdot 10^{-12} - 6{,}63\cdot 10^{-34} / 9{,}1\cdot 10^{-31}\cdot 10^8 = 3{,}11\cdot 10^{-12} - 2{,}42\cdot 10^{-12} = 0{,}69\cdot 10^{-12}$ м.

Энергия падающего фотона

$$\varepsilon_1 = \frac{hc}{\lambda_1} = 6{,}63\cdot 10^{-34}\ 3\cdot 10^8/(0{,}69\cdot 10^{-12}) = 2{,}88\cdot 10^{-13}\text{Дж.}$$

По закону сохранения энергии кинетическая энергия электрона отдачи T равнаT=$\varepsilon_1 - \varepsilon_2$.

Подставим числовые значения: $T=2{,}88\cdot 10^{-13} - 0{,}64\cdot 10^{-13} = 2{,}24\cdot 10^{-13}$Дж=1,4МэВ

Пример 11.Найдите длину волны де Бройляэлектрона, прошедшего ускоряющую разность потенциаловU, равную 10В.

Решение. Длина волны де Бройля электрона определяется соотношением

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p},$$

где$h=6,63\cdot 10^{-34}$Дж$\cdot$с – постоянная Планка, m – масса электрона, v – скорость и p – импульс электрона.

Импульс электрона$p=mv$можно определить, если известна его кинетическаяэнергия T :$T= mv^2/2 =p^2/2m$.

Кинетическая энергия электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов U,равна$T=eU$.

Следовательно,$p^2/2m = eU$,откуда$p=\sqrt{2meU}$ и

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}.$$

Выполним вычисления:

$$\lambda = \frac{6,63\cdot 10^{-34}}{\sqrt{2\cdot 9,1\cdot 10^{-31}\cdot 1,6\cdot 10^{-19}\cdot 10}} = 3,88\cdot 10^{-10}\text{м}.$$

Пример 12.Кинетическая энергия электрона в атоме водорода составляет величину порядка$T=$ 10эВ. Используя соотношение неопределенностей, оцените минимальные размеры атома водорода.

Решение. Соотношение неопределенностей для координаты и соответствующей составляющей импульса имеет вид:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2},$$

где Δx – неопределенность координаты электрона, Δp_x – неопределенность импульса, $\hbar = h/2\pi$ - $1,05\cdot 10^{-34}$ Дж$\cdot$с – постоянная Планка.

Пусть атом имеет линейные размеры d, тогда неопределенность координаты электрона можно принять равной$\Delta x = d/2$и соотношение

неопределенностей записать в виде

$$d/2 \cdot \Delta p_x \geq \hbar/2, \qquad (1)$$

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

Физически разумная неопределенность импульса Δp_x не должна превышать самого импульса p_x, т. е. $\Delta p_x \leq p_x$. Импульс p_x связан с кинетической энергией T соотношением

$p_x = \sqrt{2mT}$.

Заменим Δp_x в (2) значением $\sqrt{2mT}$ (эта замена не увеличит d) и перейдем от неравенства к равенству:

$d_{min} = \hbar / \sqrt{2mT}$.

Произведем вычисления $d_{min} = \dfrac{1{,}05 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 10 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}} = 6 \cdot 10^{-11}$ м.

Пример 13. Оцените относительную ширину $\Delta\lambda / \lambda$ спектральной линии, если время жизни атома в возбужденном состоянии $\tau = 10^{-8}$ с и длина волны излучения $\lambda = 4{,}5 \cdot 10^{-6}$ м.

Решение. Воспользуемся соотношением неопределенностей вида:

$\Delta E \Delta t \geq \hbar / 2,$

где ΔE – неопределенность энергии, Δt – время, в течение которого атом находится в возбужденном состоянии ($\Delta t = \tau$).

Энергия излучаемого фотона определяется по формуле $E = hc/\lambda$.

Тогда неопределенность энергии равна $\Delta E = -(hc/\lambda^2) \cdot \Delta\lambda$.

Подставим ΔE в соотношение неопределенности

$|(hc/\lambda^2)\Delta\lambda| \cdot \tau \geq \hbar / 2,$

откуда получим $\Delta\lambda / \lambda \geq \dfrac{\hbar \cdot \lambda}{2 \cdot h \cdot c \cdot \tau} \geq \dfrac{\lambda}{4\pi c \tau}$.

Произведем вычисления: $\Delta\lambda / \lambda = \dfrac{4{,}5 \cdot 10^{-7}}{4\pi \cdot 3 \cdot 10^{8} \cdot 10^{-8}} \geq 1{,}2 \cdot 10^{-8}$.

Пример 14. Микрочастица в бесконечно глубоком одномерном потенциальном ящике находится в возбужденном состоянии (n=2) Какова вероятность обнаружения микрочастицы в средней трети ящика?

Решение. Как известно, Волновая функция, описывающая состояние микрочастицы в бесконечно глубоком потенциальном ящике шириной a имеет вид:

$$\Psi(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \cdot \sin\frac{n\pi}{a}x, \text{ где} n=1,2,3,\ldots..$$

Для возбужденного состояния с n=2

$$\Psi(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \cdot \sin\frac{2\pi}{a}x.$$

Вероятность того, что частица может быть обнаружена в интервале от x до x+dx, прямо пропорциональна ширине интервала dx и квадрату модуля волновой функции, то есть $d\omega = |\Psi(x)|^2\, dx$

Для указанного в задаче интервала искомая вероятность найдется интегрированием в пределах от $a/3$до $2a/3$:

$$\omega = \int_{a/3}^{2a/3} \left(\sqrt{\frac{2}{a}} \cdot \sin\frac{2\pi}{a}x\right)^2 = \frac{2}{a}\int_{a/3}^{2a/3} \sin^2\frac{2\pi}{a}x dx = \frac{2}{a}\int_{a/3}^{2a/3} \frac{1-\cos\frac{4\pi}{a}x}{2}dx =$$

$$= \frac{1}{a} \cdot \left[x - \frac{a}{4\pi}\sin\frac{4\pi}{a}x\right]_{a/3} = \frac{1}{a}\left[\right.$$

$$\frac{2a}{3} - \frac{a}{3} - \frac{a}{4\pi}\sin\frac{8\pi}{3} + \frac{a}{4\pi}\sin\frac{4\pi}{3}\left.\right] = \frac{1}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4\pi} = 0{,}19$$

Пример 15.Невозбужденный атом водорода поглотил фотон с длиной волны $\lambda = 124{,}3$ нм. Определите изменение $\Delta\mu$ магнитного момента μ, обусловленного орбитальным движением электрона в атоме.

Решение. Изменение $\Delta\mu$ магнитного момента μ найдем как разность магнитных моментов в конечном возбужденном и начальном невозбужденном состояниях: $\Delta\mu = \mu_2 - \mu_1$.

Магнитный момент орбитального движения электрона зависит от орбитального квантового числа ℓ :

$$\mu = \mu_B \sqrt{\ell(\ell+1)},$$

где μ_B =0,927$\cdot$10^{-23} Дж/Тл – магнетон Бора, а 0, $\ell = 1,\ldots$.(n – 1).

В основном состоянииn=1, ℓ =0 и μ_1 =0. Определим возможные значения ℓ в возбужденном состоянии.

При переходе в возбужденное состояние атом водорода поглотил фотон с длиной волны λ, для которой можно записать следующее соотношение:

$$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}),$$

гдеR=1,1$\cdot$10^{7}м$^{-1}$, n=1, k – номер возбужденного состояния. Из последнего соотношения получим, что

$$k = \sqrt{\frac{1}{1-\lambda R}}.$$

Выполним вычисления:

$$k = \sqrt{\frac{1}{1-\dfrac{1}{123,4\cdot10^{-9}\cdot1,1\cdot10^{7}}}} \approx 2.$$

Если главное квантовое число равно 2, то орбитальное квантовое число ℓ принимает значения: ℓ =0и ℓ =1.

При ℓ =0 $\mu_2 = 0$ и $\Delta\mu = 0$.

При ℓ =1 $\mu_2 = \sqrt{2}\mu_B$ и $\Delta\mu = \mu_2 - \mu_1 = \sqrt{2}\mu_B$.

Выполняя расчет, получим: $\Delta\mu = 1.3\cdot10^{-23}$ Дж/Тл.

Пример 16.Радиоактивный изотоп натрия $^{22}_{11}Na$ массой 1 мкг в течение первой секунды претерпевает $232{,}9\cdot 10^6$ распадов, через год у данного препарата число распадов в секунду составило $179{,}1\cdot 10^6$. Найдите:

1) период полураспада T данного изотопа;

2) активность препарата в исходном состоянии и через год.

Решение.Период полураспада, как известно равен:T=$\frac{\ln 2}{\lambda}$, где λ – постоянная радиоактивного распада. Величину λ найдем следующим образом. Число распавшихся ядер в течение одной секунды ΔN_1 в соответствие с законом радиоактивного распада составляет

$$\Delta N_1 = N_0(1-e^{-\lambda\Delta t_1}). \qquad (1)$$

Через год (t=1год) число ядер, участвующих в распаде, уменьшится и составит, как это следует из закона радиоактивного распада, величину N_1:

$$N_1 = N_0 e^{-\lambda t}. \qquad (2)$$

Через год число распавшихся за секунду ядер ΔN_2 найдем также, как и ΔN_1:

$$\Delta N_2 = N_0(1-e^{-\lambda\Delta t_2}). \qquad (3)$$

Разделим (1) на (3), подставив вместо N_1 выражение (2):

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = \frac{N_0(1-e^{-\lambda\Delta t_1})}{N_0 e^{-\lambda t}(1-e^{-\lambda\Delta t_2})}.$$

Учитывая, что $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 1$ с , после сокращения получим

$$\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = e^{\lambda t}, \text{а } \lambda = \frac{1}{t}\ln\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2}.$$

Подставим соотношение, полученное для λ, в выражение для определения T:

$$T=\frac{t\cdot\ln 2}{\ln\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2}} = \frac{1\cdot 0{,}693}{\ln\frac{232{,}9\cdot 10^6}{179{,}1\cdot 10^6}} = 2{,}6 \text{ года.}$$

Активность препарата A_0 в начальный момент времени найдем по формуле:$A_o = \lambda N_0 = \frac{\ln 2}{T} N_0.$

Исходное число ядер найдем так:$N_0 = m \cdot N_A / M$,

где M – молярная масса распадающегося изотопа, для $^{22}_{11}Na$ величина $M = 22 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, N_A – число Авогадро.:

$A_0 = \frac{\ln 2}{T} \cdot \frac{mN_A}{M} = \frac{0,693}{2,6 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} \cdot \frac{10^{-6} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{22 \cdot 10^{-3}} = 2,3 \cdot 10^7$ Бк =23 МБк.

Через год активность A будет равна

$A_1 = \lambda N_1 = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \frac{\ln 2}{T} \frac{mN_A}{M} e^{\frac{\ln 2}{T} \cdot t}$.

Подставим численные значения:

$A_1 = \frac{0,693}{2,6 \cdot 2,4 \cdot 3600} \cdot \frac{10^{-6}}{22 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot e^{-\frac{0,693 \cdot 1}{2,6}} = $ =17,7 МБк.

Пример17. При облучении азота $^{14}_{7}N$ альфа-частицами он превращается в кислород, испуская протон. Необходимо написать реакцию и найти ее энергию.

Решение.

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}p.$$

Альфа-частица – это ядро атома гелия, то есть содержит два протона и два нейтрона. Число протонов и нейтронов в получаемом при протекании реакции атоме кислорода найдено на основе законов сохранения массового и

зарядового чисел.

Энергию реакции найдем из соотношения:

$E = c^2[(\Sigma m)_{исх} - (\Sigma m)_{кон}]$.

В нашем случае:$E = c^2[(m_{^{14}_{7}N} - 7m_e) + m_{^{4}_{2}He} - (m_{^{17}_{8}O} - 8m_e) - m_{^{1}_{1}p}]$.

Массы исходного ядра азота $^{14}_{7}N$ и получаемого ядра кислорода найдены как разность масс этих атомов($m_{^{14}_{7}N}$ и $m_{^{17}_{8}O}$) и масс входящих в эти атомы электронов. Если взять эти массы в а.е.м., а энергию в МэВ, то последнюю формулу нужно записать так:

$E=931{,}1[(14{,}00307-7\cdot 0{,}00055+4{,}00260-16{,}99913+8\cdot 0{,}00055-1{,}00728]=-2{,}1$МэВ

Знак «минус» в полученном результате свидетельствует о том, что для протекания данной реакции необходимо затратить энергию, то есть реакция эндотермическая.

Таблица вариантов контрольных заданий

Таблица вариантов для направлений подготовки и специальности, учебными планами которых предусмотрено по курсу физики контрольная работа.

Вариант	Номера задач							
0	10	20	30	40	50	60	70	80
1	1	11	21	31	41	51	61	71
2	2	12	22	32	42	52	62	72
3	3	13	23	33	43	53	63	73
4	4	114	24	34	44	54	64	74
5	5	315	25	35	45	55	65	75
6	6	16	26	36	46	56	66	76
7	7	17	27	37	47	57	67	77
8	8	18	28	38	48	58	68	78
9	9	19	29	39	49	59	69	79

1. По двум параллельным проводам длинойℓ=3м каждый текут одинаковые токи I = 500 А. Расстояние dмежду проводами равно 10 см. Определите силу $\vec{F}$ взаимодействия проводов.
2. По трём параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии d = 20 см друг от друга, текут одинаковые токиI = 400 А. В двух проводах направления токов совпадают. Вычислите для каждого из проводов отношение силы, действующей на него.
3. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две её стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи I = 200 А. Определите силу $\vec{F}$, действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится от него на расстоянии, равном её длине.

4. Короткая катушка площадью поперечного сечения S = 250 см^2, содержащая N = 500 витков провода, по которому течёт ток I = 5 А, помещена в однородное магнитное поле напряжённостью Н= 1000 А/м. Найти: 1) магнитный момент p_mкатушки; 2) вращающий момент М, действующий на катушку, если ось катушки составляет угол $\varphi = 30^\circ$ с линиями поля.

5. В однородное магнитное поле индукцией 0,02 Тл помещён проводник длиной 0,5 м так, что угол между направлением тока силой 40 А и вектором магнитной индукции равен 45°. Найдите силу, действующую на проводник.

6. Шины генератора длиной $\ell = 4$ м находятся на расстоянииd =10 см друг от друга. Найдите силу взаимного отталкивания шин при коротком замыкании, если ток $I_{к.з.}$ короткого замыкания равен 5 кА.

7. Квадратный контур со стороной а = 10 см, по которому течёт ток I= 50 А, свободно установился в однородном магнитном поле (В = 10 мТл). Определите изменение $\Delta\Pi$ потенциальной энергии контура при повороте вокруг оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\Theta = 180^\circ$.

8. Найдите величину и направление сил, действующих на проводники длиной 2,5 м, по которым течёт ток одного направления и силой 150 А. Расстояние между проводниками 0,4 м.

9. Квадратная рамка из тонкого провода может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, совпадающей с одной из сторон, масса mрамки равна 20 г. Рамку поместили в однородное магнитное поле(В = 0,1 Тл), направленное вертикально вверх. Определите угол α, на который отклонилась рамка от вертикали, когда по ней пропустили ток I = 10 А.

10. Два проводника расположены на расстоянии 50 см, а третий на расстоянии 40 см от первого и 30 см от второго. Проводники параллельны друг другу, по ним течёт ток 50 А одинакового направления. Найдите силу, действующую на единицу длины каждого из проводников.

11. Два иона разных масс с одинаковыми зарядами влетели в однородное магнитное поле, стали двигаться по окружностям радиусами R_1 = 3 см и R_2 = 1,73 см. Определите отношение масс ионов, если они прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов.

12. Однозарядный ион натрия прошёл ускоряющую разность потенциалов U= 1 кВ и влетел перпендикулярно линиям магнитной индукции в однородное поле (B = 0,5 Тл). Определите относительнуюатомную массу A иона, если он описал окружность радиусом R = 4,37 см.

13. Электрон прошёл ускоряющую разность потенциалов U = 800 В и, влетев в однородное магнитное поле B = 47 мТл, стал двигаться по винтовой линии шагом h= 6 см. Определите радиус Rвинтовой линии.

14. Альфа-частица прошла ускоряющую разность потенциалов U = 300 В и, попав в однородное магнитное поле стала двигаться по винтовой линии радиусом R = 1 см и шагом h= 4 см. Определите магнитную индукцию B поля.

15. Заряженная частица прошла ускоряющую разность потенциалов U = 100 В и, влетев в однородное магнитное поле (B = 0,1 Тл), стала двигаться по винтовой линии с шагом h= 6,5 см и радиусом R = 1 см. Определите отношение заряда частицы к её массе.

16. Электрон влетел в однородное магнитное поле (B = 200 мТл) перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определите силу эквивалентного кругового тока $I_{экв}$, создаваемого движением электрона в магнитном поле.

17. Протон прошёл ускоряющую разность потенциалов U = 300 В и влетел в однородное магнитное поле (B = 20 мТл) под углом $\alpha = 30^\circ$ к линиям магнитной индукции. Определите шаг hи радиус R винтовой линии, по которой будет двигаться протон в магнитном поле.

18. Альфа-частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов U, стала двигаться в однородном магнитном поле (B = 50 мТл) по винтовой линии с

шагом h = 5 см и радиусом R = 1 см. Определите ускоряющую разность потенциалов, которую прошла альфа-частица.

19. Ион с кинетической энергией T = 1 кэВ попал в однородное магнитное поле (B = 21 мТл) и стал двигаться по окружности. Определите магнитный момент p_mэквивалентного кругового тока.

20. Ион, попав в магнитное поле(B = 0,01 Тл), стал двигаться по окружности. Определите кинетическую энергию T (в эВ) иона, если магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока равен $1{,}6 \cdot 10^{-14}$ А·м^2.

21. В однородном магнитном поле (B = 0,1 Тл) равномерно с частотойn = 5 с$^{-1}$ вращается стержень длиной ℓ= 50 см так, что плоскость его вращения перпендикулярна линиям напряжённости, а ось вращения проходит через один из его концов. Определите индуцируемую на концах стержня разность потенциалов U.

22. В однородном магнитном поле с индукцией B = 0,5 Тл вращается с частотой n= 10 с$^{-1}$ стержень длинойℓ=20 см. Ось вращения параллельна линиям индукции и проходит через один из концов стержня перпендикулярно его оси. Определите разность потенциалов Uна концах стержня.

23. В проволочное кольцо, присоединённое к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. При этом по цепи прошёл заряд Q = 50 мкКл. Определите изменение магнитного потока $\Delta\Phi$ через кольцо, если сопротивление цепи гальванометра R = 10 Ом.

24. Тонкий медный провод массой m= 5 г согнут в виде квадрата, и концы его замкнуты. Квадрат помещён в однородное магнитное поле (B = 0,2 Тл) так, что его плоскость перпендикулярна линиям поля. Определите заряд Q, который потечёт по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию.

25. Рамка из провода сопротивлением R = 0,04 Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле (B = 0,6 Тл). Ось вращения лежит в плоскости

рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки S = 200 см^2. Определите заряд Q, который потечёт по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции: 1) от 0º до 45º; 2) от 45º до 90º.

26. Проволочный виток диаметром D =5 см и сопротивлением R =0,02 Ом находится в однородном магнитном поле (B = 0,3 Тл). Плоскость витка составляет угол $\varphi = 40^\circ$ с линиями индукции. Какой заряд Q протечёт по витку при выключении магнитного поля?

27. Рамка, содержащая N = 200 витков тонкого провода, может свободно вращаться относительно оси, лежащей в плоскости рамки. Площадь рамки S = 50 см^2. Ось рамки перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля (B = 0,05 Тл). Определите максимальную ЭДС E_{max}, которая индуцируется в рамке при вращении её с частотой n = 40 с$^{-1}$.

28. Прямой проводящий стержень длиной ℓ= 40 см находится в однородном магнитном поле (B = 0,1 Тл). Концы стержня замкнуты гибким проводом, находящимся вне поля. Сопротивление всей цепи R = 0,5 Ом. Какая мощность P потребуется для равномерного перемещения стержня перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью v = 10 м/с?

29. Проволочный контур площадью S = 500 см^2 и сопротивлением R = 0,1 Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле (B = 0,5 Тл). Ось вращения лежит в плоскости кольца и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определите максимальную мощность P_{max}, необходимую для вращения контура с угловой скоростью ω = 50 рад/с.

30. Кольцо из медного провода массой m = 10 г помещено в однородное магнитное поле (B = 0,5 Тл) так, что плоскость кольца составляет угол β = 60ºс линиями магнитной индукции. Определите заряд Q, который пройдёт по кольцу, если снять магнитное поле.

31. В опыте Юнга щели освещаются сначала зеленым светом (λ_1=6$\cdot$10^{-7}м), а затемкрасным светом с длиной волны λ_2. Определите длину волны λ_2, если

седьмая светлая полоса в первом случае совпадает с десятой темной во втором.

32. Свет падает нормально на дифракционную решетку шириной ℓ=6,5 см,имеющую 20 штрихов на миллиметр. В исследуемом спектре наблюдается линия с длиной волны λ=670,8 нм, которая состоит из двух компонент, отличающихся на $\Delta\lambda$=0,015 мкм. Найдите, в каком порядке спектра эти компоненты будут разрешены.

33. Два николя расположены так, что угол между их плоскостями пропускания составляет 60^0.Определите, во сколько раз уменьшится интенсивность I_0 естественного света: 1) при прохождении через первый николь; 2) при прохождении через оба николя. Коэффициент поглощения света в каждом николе k=0,05.

34. Пучок монохроматическихсветовых волн (λ=0,6мкм) падает нормально на находящуюся в воздухе мыльную пленку с показателем преломленияn=1,33. При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут максимально ослаблены?

35. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет с длиной волны, в n раз меньшей постоянной решетки. Найдите угол между двумя симметричными максимумами первого порядка на экране.

36. Угол α между плоскостями пропускания двух поляроидов равен 50^0. Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в n=4 раза. Пренебрегая потерей света на отражение, определите коэффициент поглощенияk света в поляроидах.

37. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается нормально падающим монохроматическим светом с длиной волны λ=590 нм. Определите толщину d_3 воздушного клина в том месте, где в отраженном свете наблюдается третье светлое кольцо.

38. На дифракционную решетку нормально к ее поверхности падает параллельный пучок света с длиной волны λ=0,6мкм.Помещенная вблизи решетки линза проектирует дифракционную картину на экран, удаленный от

линзы на L=1м. Расстояние между двумя максимумами интенсивности первого порядка на экране равно 20 см. Определите период решетки и число максимумов, которые дает решетка.

39. Угол паденияi на поверхность стекла равен 60^0. При этом отраженный пучок света оказался максимально поляризованным. Определите угол преломления луча и скорость распространения света в стекле.

40. Найдите радиус третьего светлого кольца Ньютона в проходящем свете, если радиус второго темного кольца в отраженном свете равен 0,8мм.

41. Длина волны, на которую приходится максимум излучения «голубой» звезды, равна 10^{-7}м. Определите излучательность звезды и ее температуру. **312.** Цезий (работа выхода А=2эВ) освещается спектральной линией водорода (λ=500)мкм. Какую наименьшую разность потенциалов надо приложить, чтобы фототок прекратился?

42. Фотон с энергиейε=0,51МэВпри рассеянии на свободном электроне потерял половину своей энергии. Определите угол рассеяния θ.

43. Мощность излучения с поверхностиS =1 см^2 абсолютно черного тела равнаN=1кВт. Определите длину волны λ_0, на которую приходится максимум излучения абсолютно черного тела.

44. Кванты света с длиной волны λ=10^{-7}м вырывают электроны из металла с работой выхода А=4,5эВ. Найдите максимальный импульс вылетающего электрона.Угол рассеяния фотона в результате эффекта Комптона составляет 180^0.

45. Длина волны фотона до рассеяния λ=$0,15\cdot 10^{-10}$ м.Определите энергию рассеянного фотона.Вследствие изменения температуры абсолютно черного тела максимум спектральной плотности излучательности сместилсясλ_1= 2,4мкмна λ_2=0,8 мкм. Как и во сколько раз изменился поток Φ_e излучения тела?

46. Какая доля энергии фотона израсходована на работу вырывания фотоэлектрона (A/hν), если красная граница фотоэффекта λ_0=307нми и максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона равна 1эВ ?

47. Фотон с энергией ε =0,15 МэВ рассеялся на покоящемся свободном электроне, в результате чего его длина волны изменилась на $\Delta\lambda$=3пм. Найдите кинетическую энергию электрона отдачи и угол рассеяния фотона.

48. На сколько изменится длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности излучательности абсолютно черного тела, если его температура уменьшится от 2900 К до 1450 К?

49. Вычислите скорость и длину волны де Бройлядля электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов U=100В.

50. Время жизни возбужденного ядра τ порядка1нс, длина волны λ излучения равна 0,1нм. С какой наибольшей точностью $\Delta\varepsilon$ может быть определена энергия излучения?

51. Оцените относительную неопределенность скорости $\Delta v_x/v_x$ микрочастицы, если неопределенность ее координаты равна удвоенной длине волны де Бройля.

52. Электрон обладает кинетической энергиейТ=0,51кэВ. Во сколько раз изменится длина волны де Бройля электрона, если его кинетическую энергию уменьшить в три раза?

53. Используя соотношение неопределенностей, оцените ширину а одномерного бесконечно глубокого потенциального ящика, в котором минимальная энергия альфа-частицы равна E_{min}=8МэВ.

54. Оцените относительную ширину $\frac{\Delta\nu}{\nu}$ спектральной линии, если среднее время жизни атома в возбужденном состоянии $\Delta t=10^{-8}$с, а средняя длина волны излучения $\lambda=5\cdot10^{-7}$м.

55. Протон обладает кинетической энергией $T=5\cdot10^{4}$ эВ. Какую дополнительную энергию ΔT надо сообщить протону, чтобы его дебройлевская длина волны уменьшилась в два раза?

56. Принимая, что минимальная энергия нуклона в ядре E_{min}= 10МэВ, оцените размеры ядра.

57. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии составляет около 10^{-8} с. При переходе атома в нормальное состояние испускается фотон, средняя энергия которого равна $\varepsilon=5\cdot10^{-17}$Дж. Оцените относительную ширину $\frac{\Delta\omega}{\omega}$ излучаемой спектральной линии, если не происходит уширения линии за счет других процессов.

58. Во сколько раз дебройлевская длина волны λ частицы меньше неопределенности ее координаты Δx, если неопределенность импульса равна $\Delta p_x/p_x= 0,01$?

59. Электрон находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной a=0,5нм. Определите наименьшую разность ΔEэнергетических уровней электрона. Ответ выразите в электрон-вольтах.

60. Протон находится в одномерном, бесконечно глубоком потенциальномящике ширинойа=0,2нм. Найдите разность энергии ΔE между уровнями с n=2иn =4.

61. Вычислите полную энергию E_n, момент импульса L_n, обусловленного орбитальным движением электрона, находящегося в атоме водорода в 3р-состоянии.

62. Определите энергию фотона, соответствующего второй линии в первой инфракрасной серии (серия Пашена) атома водорода.

63. Невозбужденный атом водорода поглотил квант излучения с длиной волны λ=121,2нм. Определите полную энергию E_n возбужденного атома, а также наибольшие изменения момента импульса L,обусловленного орбитальным движением электрона, и его проекции L_z.

64. Атомарный водород, возбужденный светом с определенной длиной волны, при переходе в основное состояние испускает только три спектральные линии. Определите длины волн этих линий и укажите, к каким сериям они принадлежат.

65. Электрон в атоме водорода находится в 4d-состоянии. Вычислите энергию электрона, модуль орбитального механического момента L_nи возможные значения проекции его на выделенное направление z.

66. Найдите наибольшее и наименьшее значение энергии фотона в ультрафиолетовой серии спектра атома водорода.

67. Определите возможные значения орбитального механического момента электрона в возбужденном атоме водорода, если его энергия равна E_n=-1,5эВ.

68. Какую наименьшую энергию должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атома водорода ударами этих электронов спектр атома водорода имел только одну спектральную линию?

69. Определите длину волны, соответствующую третьей спектральной линии в серии Бальмера, а также энергию фотона, соответствующего этой линии.

70. Определите возможные значения механического момента L_n, обусловленного орбитальным движением электрона в возбужденном состоянии, если энергия возбуждения равна 12,1эВ

71. Найдите массу изотопа иода $^{131}_{53}J$, имеющего активность А=37ГБк.

72. За один год начальное количество радиоактивного изотопа уменьшилось в три раза. Во сколько раз оно уменьшится за два года?

73. Определите число ядер, распавшихся в течение времени: 1) t_1=1мин. И t_2=5сут., в радиоактивном изотопе фосфора $^{32}_{15}P$ массой 1мкг.

74. Найдите массу m_1 урана $^{238}_{92}U$, имеющего такую же активность, какстронций $^{90}_{38}Sr$ массой m_2=1мкг.

75. Сколько β-частиц испускает за один час 1мкг натрия $^{24}_{11}Na$, период полураспада которого Т= 15 ч?

76. Препарат урана $^{238}_{92}U$ массой 12г излучает $1{,}24 \cdot 10^{24}$ альфа-частиц в секунду. Найдите его период полураспада.

77. Счетчик альфа-частиц, установленный вблизи радиоактивного изотопа, при первом измерении регистрировал N_1=2400 частиц в минуту, а через время t=4часа только N_2=600. Определите период полураспада изотопа.

78. Какая часть атомов радиоактивного вещества распадается за время t, равное двум периодам полураспада изотопа?

79. Найдите энергию связи изотопов $^{238}_{92}U$ (m=238,12376 а.е.м.) бериллия $^{8}_{4}Be$ (m=8,00785 а.е.м.).

80. Найдите энергию реакций $^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}p \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{4}_{2}\alpha$ и $^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{1}p$. Масса атома углерода равна 14,00324 а.е.м.