

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1. Магнитное поле.....	5
Упражнение 1.....	5
Глава 2. Электромагнитная индукция.....	7
Упражнение 2.....	7
Глава 3. Механические колебания.....	12
Упражнение 3.....	12
Глава 4. Электромагнитные колебания.....	13
Упражнение 4.....	13
Глава 5. Производство, передача и использование электрической энергии.....	17
Упражнение 5.....	17
Глава 6. Механические волны.....	19
Упражнение 6.....	19
Глава 7. Электромагнитные волны.....	21
Упражнение 7.....	21
Глава 8. Световые волны.....	23
Упражнение 8.....	23
Упражнение 9.....	34
Упражнение 10.....	38
Глава 9. Элементы теории относительности.....	40
Упражнение 11.....	40
Глава 11. Световые кванты.....	41
Упражнение 12.....	41
Глава 12. Атомная физика.....	43
Упражнение 13.....	43

Глава 13. Физика атомного ядра	46
Упражнение 14.....	46
Глава 17. Строение вселенной	50
Упражнение 15.....	50
Лабораторные работы	51
Лабораторная работа № 1.	
Наблюдение действия магнитного поля на ток	51
Лабораторная работа № 2.	
Изучение явления электромагнитной индукции	52
Лабораторная работа № 3.	
Определение ускорения свободного падения	54
Лабораторная работа № 4.	
Измерение показателя преломления стекла.....	56
Лабораторная работа № 5.	
Определение оптической силы и фокусного расстояния собирающей линзы	58
Лабораторная работа № 6.	
Измерение длины световой волны.....	59
Лабораторная работа № 7.	
Наблюдение сплошного и линейчатого спектров	61

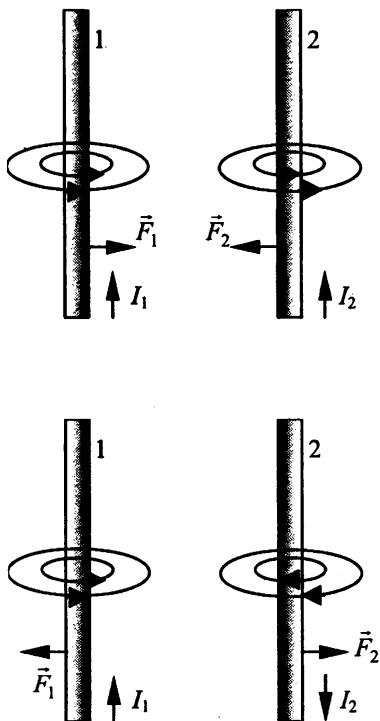
ГЛАВА 1. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Упражнение 1.

№ 1.

Вокруг проводников с сонаправленными токами создается вихревое магнитное поле, направление которого мы определяем по правилу буравчика. По закону Ампера, на проводник 2 со стороны магнитного поля проводника 1 действует сила \vec{F}_2 , а со стороны поля проводника 2 на проводник 1 действует сила \vec{F}_1 . Направление этих сил определяется правилом левой руки. Эти силы сонаправлены, то есть проводники 1 и 2 притягиваются.

Аналогично доказывается, что проводники с разнонаправленными токами отталкиваются.



№ 2.

Проводники, расположенные во взаимно параллельных плоскостях не будут взаимодействовать, поскольку на них не действует сила Ампера.

Это объясняется тем, что угол между вектором действующего на проводник магнитного поля и током равен нулю.

№ 3.

Дано:

$l = 0,15 \text{ м,}$

$B = 0,4 \text{ Тл,}$

$I = 8 \text{ А,}$

$\sin \alpha = 1,$

$S = 0,025 \text{ м} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$

$F = ?$

Решение:

По закону Ампера на проводник со стороны магнитного поля действует сила:

$$F = I \cdot B \cdot l \sin \alpha$$

Для работы:

$$\begin{aligned} A &= F S = I B l S \sin \alpha = \\ &= 8 \text{ А} \cdot 0,4 \text{ Тл} \cdot 0,15 \text{ м} \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м} = \\ &= 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ Дж.} \end{aligned}$$

Ответ: $A = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ Дж.}$

№ 4.

Дано:

$B = 0,1 \text{ Тл}$

$v = 10^6 \text{ м/с}$

$\alpha = 90^\circ$

$q_e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

$T, r - ?$

Решение:

По второму закону Ньютона:

$$\frac{m_e v^2}{r} = q_e v B \Rightarrow r = \frac{m_e v}{q_e B} =$$

$$= \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 10^6 \text{ м/с}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,1 \text{ Тл}} \approx$$

$$\approx 5,7 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,57 \text{ мм}$$

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \cdot 5,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}}{10^6 \text{ м/с}} \approx 3,6 \cdot 10^{-9} \text{ с}$$

Ответ: $T = 3,6 \cdot 10^{-9} \text{ с, } r = 0,57 \text{ мм.}$

ГЛАВА 2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Упражнение 2.

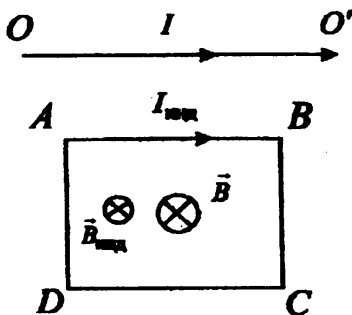
№ 1.

Поднося к кольцу магнит, мы тем самым повышаем магнитный поток через поверхность кольца. Если магнит подносить полюсом S , то линии магнитной индукции идут от кольца. В кольце появляется индукционный ток. Вектор магнитной индукции поля кольца направлен от магнита по правилу Ленца. Следовательно, ток течет против часовой стрелки. Если магнит подносить противоположным способом, то произойдет обратное.

№ 2.

Применяя правило буравчика, находим, что вектор магнитной индукции \vec{B} направлен от нас перпендикулярно плоскости рисунка. Когда мы уменьшаем ток, мы тем самым уменьшаем $|\vec{B}|$.

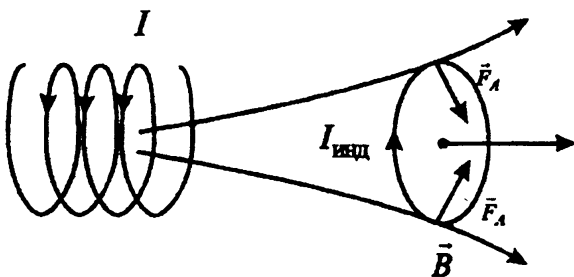
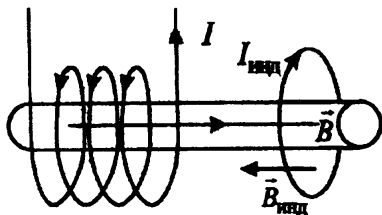
Следовательно, поток через контур тоже уменьшается. Вектор индукции $\vec{B}_{\text{инд}}$ поля индукционного тока по правилу Ленца направлен так же как и B . По правилу буравчика находим, что ток в контуре идет по часовой стрелке. Применив правило левой руки, можно выяснить, что силы действующие на проводники тока, во-первых, растягивают рамку, стремясь увеличить ее площадь, а, во-вторых, их результирующая направлена к прямолинейному проводнику.



№ 3.

Случай замыкания и размыкания цепи эквивалентен поднесению и удалению к кольцу магнита. В первом случае при замыкании цепи возникает ток (в катушке), направленный против часо-

вой стрелки. Вектор магнитной индукции данного поля тока направлен влево (правило буравчика). По правилу Ленца индукционный ток противодействует своему полем данному изменению. Следовательно, вектор магнитной индукции $\vec{B}_{\text{инд}}$ индукционного тока направлен вправо. Поэтому кольцо и катушка подобны двум магнитам, расположенным одинаковыми полюсами друг к другу. Они отталкиваются.



При размыкании магнитное поле, направленное вправо, исчезает, и индукционный ток препятствует этому. Векторы магнитной индукции его поля также направлены вправо. Следовательно, кольцо притягивается к катушке.

№ 4.

Дано:

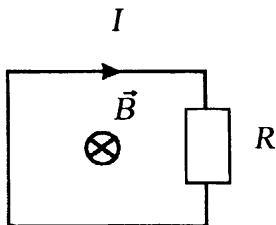
$$R = 3 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}$$

$$\Delta t = 2 \text{ с}$$

$$|\Delta \Phi| = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}$$

$$I - ?$$

Решение:



Согласно закону электромагнитной индукции ЭДС индукции \mathcal{E}_i в замкнутом контуре, равна:

$$\mathcal{E}_i = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}.$$

Ток I в контуре, в соответствии с законом Ома, равен:

$$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = \frac{|\Delta\Phi|}{R \cdot \Delta t}, \quad I = \frac{1,2 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^{-2} \cdot 2} \text{ A} = 0,2 \text{ A}.$$

Ответ: $I = 0,2 \text{ A}$.

№ 5.

Дано:

$$v = 900 \text{ км/ч} = 250 \text{ м/с} =$$

$$= 2,5 \cdot 10^2 \text{ м/с}$$

$$B \perp = 5 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$$

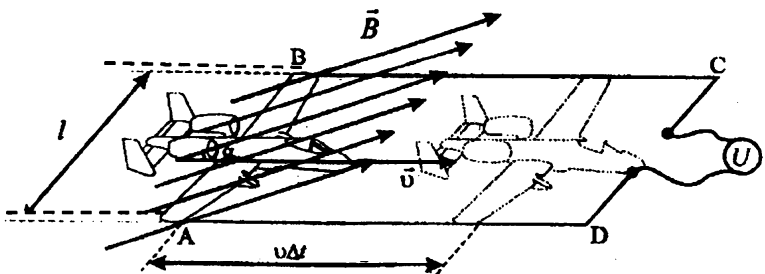
$$l = 12 \text{ м}$$

$$\mathcal{E}_i - ?$$

Решение:

Вычислим ЭДС индукции \mathcal{E}_i , возникающую в проводнике (самолете), движущемся в однородном магнитном поле.

Пусть вектор магнитной индукции \vec{B} перпендикулярен крыльям самолета и составляет некоторый угол α с направлением его скорости \vec{v} . (Если у индукции магнитного поля \vec{B} есть составляющая, параллельная крыльям, то ее можно не учитывать при решении задачи, так как эта составляющая вызывает силу Лоренца, направленную перпендикулярно крыльям).



Сила Лоренца, с которой магнитное поле действует на движущуюся заряженную частицу (с зарядом q) равна по модулю:

$$F_{л} = |q| \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha = q \cdot v \cdot B_{\perp}.$$

Работа силы Лоренца A на пути l от конца одного крыла до конца другого равна $A = F_{л} \cdot l = |q| \cdot v \cdot B_{\perp} \cdot l$.

По определению ЭДС:

$$\mathcal{E}_i = \frac{A}{|q|} = v B_{\perp} l.$$

Следовательно, разность потенциалов, возникающая между концами крыльев самолета при его движении в однородном магнитном поле, равна:

$$\mathcal{E}_i = v B_{\perp} l = 2,5 \cdot 10^2 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 12 \text{ В} = 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ В}.$$

Замечание: тот же результат можно получить из закона электромагнитной индукции, рассмотрев контур $ABCD$ переменной площади в магнитном поле (см. рисунок). В этом случае $\Phi = B_{\perp} S$, где S – площадь контура, зависящая от времени по закону:

$\Delta S = -lv \Delta t$, тогда $\Delta \Phi = -B_{\perp} l v \Delta t$. Следовательно, согласно закону электромагнитной индукции:

$$\mathcal{E}_i = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = B_{\perp} l v.$$

Ответ: $\mathcal{E}_i = 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ В}$.

№ 6.

Дано:

$$I_1 = 1 \text{ А},$$

$$I_2 = 4 \text{ А},$$

$$t = 3 \text{ с},$$

$$\mathcal{E}_{is} = 0,1 \text{ В}$$

$$L, \Delta W_m = ?$$

Решение:

$$\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow L = -\mathcal{E}_{is} \frac{\Delta t}{\Delta I} =$$

$$= 0,1 \text{ В} \frac{3 \text{ с}}{3 \text{ А}} = 0,1 \text{ Гн}$$

$$\Delta W_m = \frac{L \Delta I^2}{2} = \frac{0,1 \text{ Гн} \cdot 15 \text{ А}^2}{2} = 0,75 \text{ Дж}$$

Ответ: $L = 0,1 \text{ Гн}$, $\Delta W_m = 0,75 \text{ Дж}$.

№ 7.

Дано:

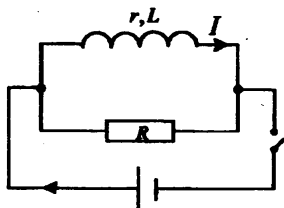
$$L = 0,15 \text{ Гн},$$

$$I = 4 \text{ А},$$

$$R \gg r.$$

$$Q = ?$$

Решение:



При параллельном подключении к катушке большого сопротивления $R \gg r$, сила тока, идущего через катушку практически не меняется. Энергия в катушке равна:

$$W_m = \frac{L I^2}{2}.$$

При отключении источника тока система катушка – сопротивление станет изолированной. Для изолированной системы справедлив закон сохранения энергии. В данном случае это означает, что вся энергия, запасенная в катушке, выделится в виде тепла в катушке и резисторе:

$$Q = \frac{L I^2}{2}; Q = \frac{0,15 \cdot 4^2}{2} \text{ Дж} = 1,2 \text{ Дж}.$$

Ответ: $Q = 1,2 \text{ Дж}.$

ГЛАВА 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Упражнение 3.

№ 1.

Дано:

$$m = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$$

$$\nu = 2 \text{ Гц}$$

$K - ?$

Решение: Период колебания груза, прикрепленного к пружине, определяется формулой:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}.$$

$$\begin{aligned} \text{Поскольку } \nu &= \frac{1}{T}, \text{ то } K = 4\pi^2 \nu^2 m = \\ &= 4\pi^2 (2 \text{ Гц})^2 0,1 \text{ кг} \approx 15,8 \text{ Н/м}. \end{aligned}$$

Ответ: $K \approx 15,8 \text{ Н/м}$.

№ 2.

Дано:

$$l = 98 \text{ м}$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

$T - ?$

Решение:

Для нитяного маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{98 \text{ м}}{9,8 \text{ м/с}^2}} \approx 20 \text{ с}.$$

Ответ: $T \approx 20 \text{ с}$.

№ 3.

Дано:

$$X_m = 1 \text{ см} = 0,01 \text{ м},$$

$$\nu = 5 \text{ Гц},$$

$$t = 2 \text{ с}.$$

$S - ?$

Решение:

Одно колебание груза происходит за время:

$$T = \frac{1}{\nu}.$$

За время t груз совершит N полных колебаний:

$$N = t / T = t\nu.$$

За одно колебание груз проходит путь $S_T = 4X_m$. Следовательно, за время t груз пройдет путь:

$$S = 4X_m N = 4X_m t \nu = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot 2 \text{ с} \cdot 5 \text{ Гц} = 0,4 \text{ м}.$$

Ответ: $S = 0,4 \text{ м}$.

№ 4.

Дано:

$$m = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг},$$

$$K = 16 \text{ Н/м},$$

$$X_m = 2 \text{ см} = 0,02 \text{ м},$$

$$\omega_0 = ? \quad W = ?$$

Решение:

Для циклической частоты:

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}} = \sqrt{\frac{16 \text{ Н/м}}{0,2 \text{ кг}}} \approx 9 \text{ рад/с}.$$

Для энергии системы:

$$W = \frac{KX_m^2}{2} = \frac{16 \text{ Н/м} \cdot (0,02 \text{ м})^2}{2} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

Ответ: $\omega_0 = 9 \text{ рад/с}$, $W = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$.

№ 5.

Дано:

$$l = 8 \text{ м}$$

$$T_{\text{СВ}} = 1,5 \text{ с}.$$

$$v - ?$$

Решение:

Колебания автомобиля станут особенно заметными при совпадении частот свободных колебаний автомобиля с вынуждающей частотой (явление резонанса):

$$\nu_{\text{СВ}} = \nu_{\text{ВЫН}},$$

$$\nu_{\text{СВ}} = \frac{1}{T_{\text{СВ}}}; \quad \nu_{\text{ВЫН}} = \frac{v}{l} \Rightarrow v = \frac{l}{T_{\text{СВ}}} = \frac{8 \text{ м}}{1,5 \text{ с}} \approx 5,3 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v \approx 5,3 \text{ м/с}$.

ГЛАВА 4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Упражнение 4.

№ 1.

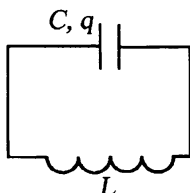
Дано:

$$q = 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$C = 0,01 \text{ мкФ} = 10^{-8} \text{ Ф}$$

$$Q - ?$$

Решение:



В начальный момент времени ток в колебательном контуре не идет, и энергия магнитного поля индуктивности равна нулю. Энергия электрического поля конденсатора равна:

$$W_p = \frac{q^2}{2C}.$$

Согласно закону сохранения энергии, эта энергия выделится в виде тепла за время затухания колебаний:

$$Q = W_p = \frac{q^2}{2C},$$

$$Q = \frac{(10^{-5})^2}{2 \cdot 10^{-8}} \text{ Дж} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

Ответ: $Q = 5 \cdot 10^{-3}$ Дж.

№ 2.

Дано:

$$L = 0,003 \text{ Гн} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

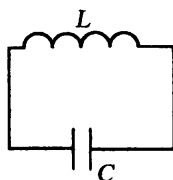
$$C = 13,4 \text{ мкФ} = 1,34 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}$$

$$\varepsilon = 4$$

$$T - ?$$

$$T_\varepsilon - ?$$

Решение:



Период свободных колебаний равен, согласно формуле Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

$$T = 2\pi\sqrt{3 \cdot 10^{-3} \cdot 1,34 \cdot 10^{-11}} \text{ с} \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ с}.$$

При заполнении конденсатора диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε емкость конденсатора увеличивается в ε раз:

$$C_\varepsilon = \varepsilon \cdot C.$$

$$T_\varepsilon = 2\pi\sqrt{LC_\varepsilon} = 2\pi\sqrt{LC\varepsilon} = T \cdot \sqrt{\varepsilon} \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{4} \text{ с} = 2,52 \cdot 10^{-6} \text{ с}.$$

Ответ: $T \approx 1,26 \cdot 10^{-6}$ с, $T_\varepsilon \approx 2,52 \cdot 10^{-6}$ с.

№ 3.

Дано:

$$C = 10 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$\nu_1 = 400 \text{ Гц} = 4 \cdot 10^2 \text{ Гц}$$

$$\nu_2 = 500 \text{ Гц} = 5 \cdot 10^2 \text{ Гц}$$

$$L_1 - ?$$

$$L_2 - ?$$

Решение:

Найдем значения индуктивности, соответствующие верхней и нижней частотам колебаний.

Согласно формуле Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}};$$

$$LC = \left(\frac{1}{2\pi\nu}\right)^2, L = \frac{1}{C(2\pi\nu)^2}; L_1 = \frac{1}{C(2\pi\nu_1)^2}, L_2 = \frac{1}{C(2\pi\nu_2)^2};$$

$$L_1 = \frac{1}{1 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^2)^2} \text{ Гн} \approx 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ Гн} = 16 \text{ мГн};$$

$$L_2 = \frac{1}{1 \cdot 10^{-5} \cdot (2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^2)^2} \text{ Гн} \approx 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ Гн} = 10 \text{ мГн};$$

Ответ: Индуктивность катушки должна меняться в пределах от 10 до 16 мГн.

№ 4.

Дано:

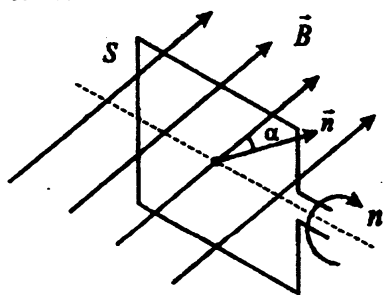
$$n = 50 \text{ Гц}$$

$$S = 100 \text{ см}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$B = 0,2 \text{ Тл}$$

$$\mathcal{E}_m - ?$$

Решение:



Пусть α – угол, который составляет вектор магнитной индукции \vec{B} с нормалью к рамке \vec{n} . При равномерном вращении рамки угол α увеличивается прямо пропорционально времени:

$$\alpha = 2\pi n t.$$

Найдем поток магнитной индукции:

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

$$\Phi = BS \cos(2 \pi n t).$$

Согласно закону электромагнитной индукции ЭДС в рамке равна скорости изменения магнитного потока, взятой с обратным знаком:

$$\mathcal{E}(t) = -\Phi' = -BS (\cos 2 \pi n t)' = 2 \pi n BS \sin 2 \pi n t.$$

Исходя из полученного выражения ЭДС индукции меняется по гармоническому закону с амплитудой $\mathcal{E}_m = 2 \pi n BS$;

$$\mathcal{E}_m = 2 \pi \cdot 50 \cdot 10^{-2} \cdot 0,2 \text{ В} \approx 0,63 \text{ В}.$$

Ответ: $\mathcal{E}_m \approx 0,63 \text{ В}$.

№ 5.

Дано:

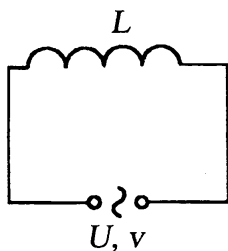
$$L = 0,08 \text{ Гн} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ Гн}$$

$$\nu = 1000 \text{ Гц} = 1 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

$$U = 100 \text{ В} = 10^2 \text{ В}$$

$I_m - ?$

Решение:



Найдем индуктивное сопротивление катушки:

$$X_L = \omega L,$$

где ω – циклическая частота тока,

L – индуктивность.

Так как, $\omega = 2 \pi \nu$, то:

$$X_L = 2 \pi \nu L.$$

Действующие значения силы тока и напряжения связаны соотношением:

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2 \pi \nu L}.$$

Действующее значение силы переменного тока I выражается через его амплитуду:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad I_m = \frac{\sqrt{2}U}{2\pi\nu L},$$

$$I_m = \frac{\sqrt{2} \cdot 10^2}{2 \cdot \pi \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-2}} \text{ A} = 2,8 \cdot 10^{-1} \text{ A} = 0,28 \text{ A}.$$

Ответ: $I_m = 0,28 \text{ A}$.

ГЛАВА 5. ПРОИЗВОДСТВО, ПЕРЕДАЧА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

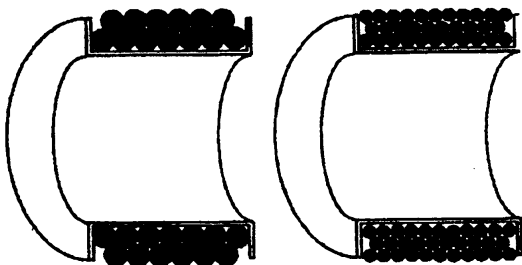
Упражнение 5.

№ 1.

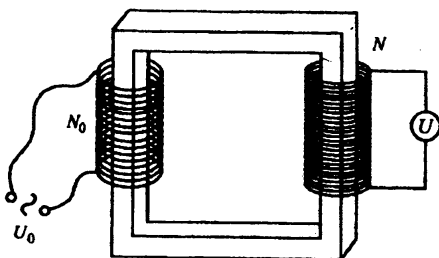
В индуктивном генераторе ротор (его сердечник) вращается вокруг своей оси, а магнитное поле обычно направлено перпендикулярно его оси. По правилу левой руки, вдоль оси ротора мы определяем силу Лоренца, действующую на его электроны. Поэтому вдоль его же оси наблюдается возбуждение вихревых токов. Для избежания энергетических потерь, связанных с большими индукционными токами, стальные пластины сердечника расположены перпендикулярно оси.

№ 2.

Очевидно, что при разной толщине проводов одинаковых по толщине обмоток, больше витков в той, где провод меньшей толщины.



№ 3.



Одним из методов определения числа витков катушки является баллистический метод, то есть когда искомую величину сравнивают с каким-то эталоном, а затем по этому отношению находят ее.

В данном случае надо взять источник переменного напряжения U_0 , эталонной катушки с известным числом витков, стального сердечника от трансформатора и вольтметра. Соберем из катушек трансформатор, затем эталонную катушку подключим к источнику напряжения, а другую к вольтметру. Мы получим трансформатор на холостом ходу. Для него справедливо соотношение:

$$\frac{U_0}{U} = \frac{N_0}{N}, \text{ откуда } N = N_0 \frac{U_0}{U},$$

где N – искомое число витков,

U – напряжение, которое показывает вольтметр.

№ 4.

Подключим трансформатор к источнику постоянного напряжения. По нему потечет ток $I = U/R$, где R – активное сопротивление катушки, U – напряжение.

По закону Джоуля-Ленца будет выделяться тепло в единицу времени, равно:

$$Q = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

Если же катушка подключена к источнику переменного напряжения с циклической частотой ω , то действующее значение тока равно:

$$I' = \frac{U'}{\omega L},$$

где L – индуктивность катушки,

U' – действующее значение напряжения.

Предположим, что $U = U'$. Здесь учтено, что $\omega L \gg R$ (индуктивное сопротивление намного больше активного). При источнике переменного тока выделяемое тепло равно:

$$Q' = I'^2 R = \frac{U^2}{(\omega L)^2} R, \text{ а } \frac{Q}{Q'} = \frac{(\omega L)^2}{R} \gg 1.$$

То есть количество выделяемого тепла при подключении к источнику постоянного тока гораздо больше, и поэтому трансформатор может сгореть.

№ 5.

Потому, что частота переменного тока в цепи лампы накаливания намного больше частоты, которую может фиксировать человеческий глаз.

ГЛАВА 6. МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

Упражнение 6.

№ 1.

Дано:

$$\tau = 3\text{ с},$$

$$v_{\text{ВОЗ}} = 330 \text{ м/с},$$

$$S = 1060 \text{ м}.$$

$$v_{\text{СТ}} = ?$$

Решение: Составим систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{\text{ВОЗ}} - t_{\text{СТ}} = \tau \\ t_{\text{ВОЗ}} = \frac{S}{v_{\text{ВОЗ}}} \\ t_{\text{СТ}} = \frac{S}{v_{\text{СТ}}} \end{array} \right.$$

Решая ее, получим:

$$v_{\text{СТ}} = \frac{S \cdot v_{\text{ВОЗ}}}{S - \tau \cdot v_{\text{ВОЗ}}} = \frac{1060\text{м} \cdot 330\text{м/с}}{1060\text{м} - 3\text{с} \cdot 330\text{м/с}} = 5000\text{м/с}.$$

Ответ: $v = 5000$ м/с.

№ 2.

Дано:

$$x = 25 \text{ см} = 0,25 \text{ м},$$

$$v = 680 \text{ Гц},$$

$$v = 340 \text{ м/с}.$$

$$\Delta\phi = ?$$

Решение:

$$\lambda = \frac{v}{v}; \Delta\phi = 360^\circ \cdot \frac{x}{\lambda} = 360^\circ \cdot \frac{xv}{v}$$

$$= 360^\circ \cdot \frac{0,25\text{м} \cdot 680\text{Гц}}{340\text{м/с}} = 180^\circ.$$

Ответ: $\Delta\phi = 180^\circ$.

№ 3.

Дано:

$$v_{\text{ВОЗ}} = 340 \text{ м/с},$$

$$v_{\text{ВОД}} = 1435 \text{ м/с},$$

$$v_{\text{ВОЗ}} = v_{\text{ВОД}}.$$

$$\lambda_{\text{ВОЗ}}/\lambda_{\text{ВОД}} = ?$$

Решение:

$$\lambda = \frac{v}{v} \Rightarrow \frac{\lambda_{\text{ВОЗ}}}{\lambda_{\text{ВОД}}} = \frac{v_{\text{ВОЗ}}}{v_{\text{ВОД}}} = \frac{340}{1435} \approx \frac{1}{4,2}.$$

Ответ: Длина волны увеличится примерно в 4,2 раза.

ГЛАВА 7. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Упражнение 7.

№ 1.

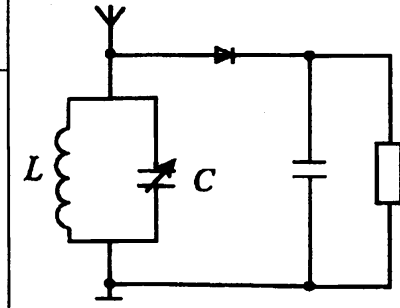
$$L = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Гн,}$$

$$C_1 = 12 \text{ пФ,}$$

$$C_2 = 450 \text{ пФ.}$$

$$\lambda_1, \lambda_2 - ?$$

Решение:



Найдем спектр резонансных частот колебательного контура приемника, в котором возбуждаются модулированные колебания. Согласно формуле Томсона. Период колебаний контура равен:

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

Циклическая частота колебаний контура равна:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Следовательно, колебательный контур рассчитан на волны с циклической частотой от $\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{LC_2}}$ до $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{LC_1}}$.

Связь между длиной волны λ и частотой электромагнитных колебаний $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$ выражается формулой:

$$c = \lambda\omega = \frac{\lambda\nu}{2\pi},$$

где c – скорость света в вакууме.

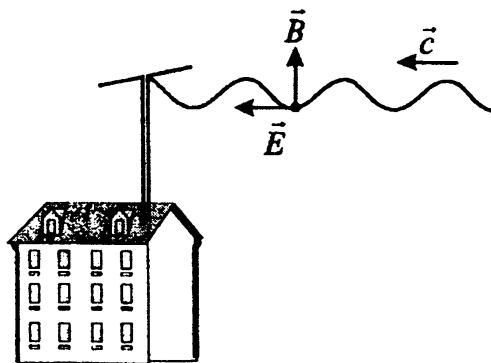
$$\lambda = \frac{2\pi c}{\omega}, \lambda = 2\pi c\sqrt{LC_1}, \lambda = 2\pi c\sqrt{LC_2},$$

$$\lambda_1 = 2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-4} \cdot 1,2 \cdot 10^{-11}} \approx 92 \text{ м},$$

$$\lambda_2 = 2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-4} \cdot 4,5 \cdot 10^{-10}} \approx 565 \text{ м}.$$

Ответ: $\lambda_1 \approx 92 \text{ м}$, $\lambda_2 \approx 565 \text{ м}$.

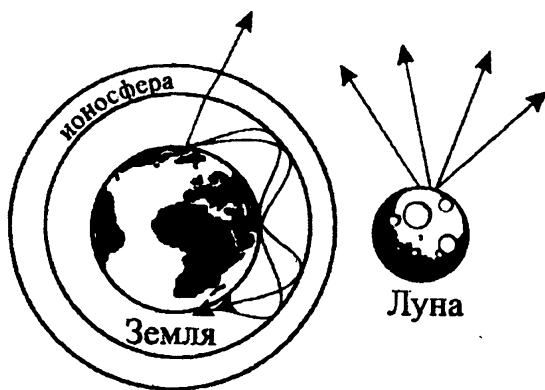
№ 2.



При приеме электромагнитных волн антенна должна быть ориентирована параллельно вектору напряженности электрического поля. Это необходимо для создания нужной переменной разности потенциалов между двумя частями антенны. Получается, что вектор магнитной индукции поля \vec{B}' , направленный перпендикулярно вектору напряженности \vec{E}' и направлению волны, вертикален.

№ 3.

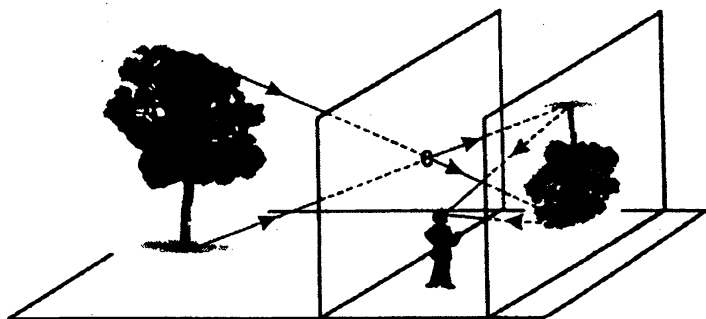
Так как на Луне нет ионосферы, то радиоволны не отражаются от нее, а уходят в космос. Поэтому на Луне невозможна передача сигналов на большие расстояния. Из-за многократного отражения волн от ионосферы Земли мы способны передавать сигналы на большие расстояния.



ГЛАВА 8. СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ

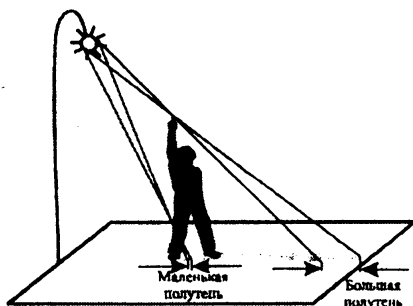
Упражнение 8.

№ 1.



Данное явление объясняется геометрическим построением, так как свет, отраженный от противоположной стены и попавший в глаз человека, входит в сарай через маленькую дырочку в стене и распространяется в воздухе прямолинейно.

№ 2.



Фонарь не является точечным источником. Это создает расплывчатость тени, а лучи, вышедшие из разных точек фонаря, попадают в разные точки на земле. Если провести два луча из разных точек фонаря, касающихся поднятой руки в одной точке, то видно, что далее эти лучи расходятся пропорционально расстоянию от точки их пересечения. Так как расстояние от ног до земли меньше, чем от головы до земли, то и на земле тень от головы больше.

№ 3.

Дано:

$$L = 71 \text{ км} = 7,1 \cdot 10^4 \text{ м}$$

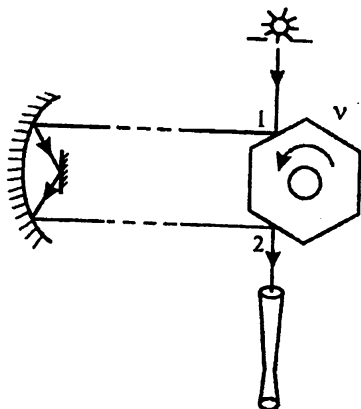
$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$k = 8$$

$$\gamma - ?$$

Решение:

Для того, чтобы луч был виден в трубу, необходимо его двойное отражение от призмы под прямым углом (см. рисунок).



Между двумя отражениями луча проходит время $t = \frac{L}{c}$.

За это время призма должна повернуться на угол $\frac{2\pi n}{k}$, где n – натуральное число. Следовательно, частота вращения призмы равна:

$$\gamma = \frac{n}{\kappa t} = \frac{c}{\kappa L} n,$$

где $n = 1, 2, 3 \dots$

$$\gamma = \frac{3 \cdot 10^8}{8 \cdot 7,1 \cdot 10^4} n \text{ об/с} \approx 528 n \text{ об/с},$$

n – натуральное число.

Ответ: $\gamma \approx 528 n \text{ об/с}$

№ 4.

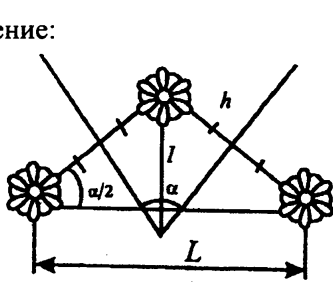
Дано:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$l = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$L = ?$$

Решение:



Расстояние от предмета до любого зеркала равно:

$$h = l \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Следовательно, расстояние от предмета до его мнимого изображения равно:

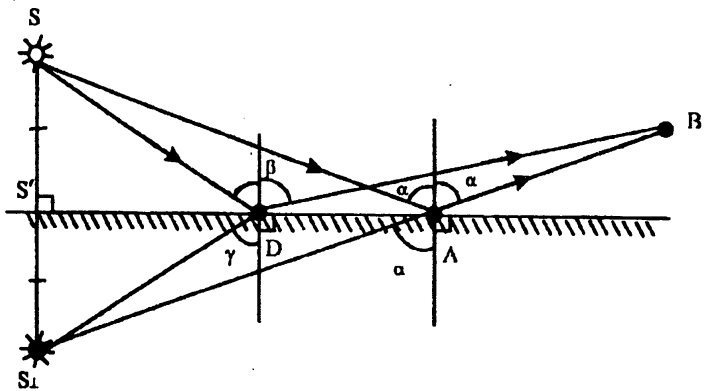
$$2h = 2l \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Расстояние между мнимыми изображениями равно:

$$\begin{aligned} L &= 2 \cdot 2h \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 2l \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = 2l \sin \alpha = \\ &= 2 \cdot 0,1 \text{ м} \cdot \sin 30^\circ = 0,1 \text{ м} = 10 \text{ см}. \end{aligned}$$

Ответ: $L = 10 \text{ см}.$

№ 5.



Пусть S' – проекция источника S на поверхность зеркала, S_{\perp} – мнимое изображение источника S . Тогда:

$$SS' = S_{\perp}S';$$

$$SA = S_{\perp}A,$$

$$SD = S_{\perp}D.$$

Пусть α – угол падения луча SA , равный углу его отражения; γ – угол падения луча SD , β – угол его отражения.

Сумма углов треугольника $S_{\perp}DA$ равна 180° .

$$\angle S_{\perp}DA = 90^{\circ} + \gamma, \quad \angle DAS_{\perp} = 90^{\circ} - \alpha,$$

$$\angle S_{\perp}DA + \angle DAS_{\perp} + \angle DS_{\perp}A = 180^{\circ},$$

$$90^{\circ} + \gamma = 90^{\circ} - \alpha + \angle DS_{\perp}A = 180^{\circ},$$

$$\gamma = \alpha - \angle DS_{\perp}A < \alpha$$

Сумма углов $\triangle BDA$ равна 180° .

$$90^{\circ} - \beta + 90^{\circ} + \alpha + \angle ABD = 180^{\circ},$$

$$\beta = \alpha - \angle ABD > \alpha.$$

Следовательно, $\gamma < \alpha < \beta$. Закон отражения не выполнен.

Рассмотрим $\triangle S_{\perp}DB$.

Поскольку сумма длин двух сторон треугольника всегда больше длины третьей, то:

$$S_{\perp}D + DB > S_{\perp}B = S_{\perp}A + AB.$$

Поскольку $S_{\perp}D = SD$, $S_{\perp}A = SA$, то $SD + DB > SA + AB$.

Путь SDB больше пути SAB , поэтому он будет пройден светом за большее время.

№ 6.

Дано:

H

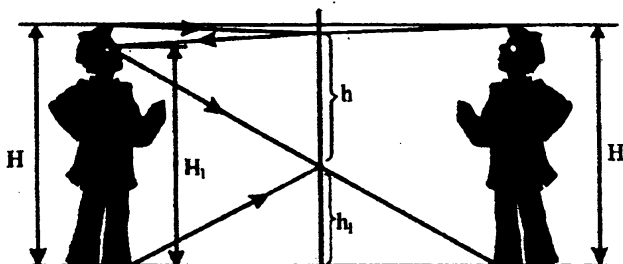
H_1

$h - ?$

$h_1 - ?$

Решение:

Возьмем H – высота человека, H_1 – высота уровня глаз.



Если бы любой луч, исходящий от любой точки на теле человека, отраженный на зеркале, попал бы человеку в глаза, то он бы смог увидеть себя в зеркале полностью.

Возьмем мнимое изображение в зеркале. Не выше, чем в точке пересечения луча от ног мнимого изображения в глаза человека, и вертикальной стены, на которой висит зеркало, должна располагаться нижняя точка зеркала.

Из равенства расстояний до зеркала от человека и его мнимого изображения следует, что:

$$h_1 = \frac{H_1}{2}, \quad h = \frac{H}{2},$$

значит, высота зеркала должна быть равна как минимум половине роста человека, а его нижняя точка расположена на половине расстояния от глаз до ног.

На величину меньшей роста человека высоте находится верхняя точка зеркала. Эта величина равна:

$$H - (h + h_1) = H - \frac{H + H_1}{2} = \frac{H - H_1}{2}.$$

Она равна половине расстояния от глаз до макушки

Ответ: $h_1 = \frac{H_1}{2}$, $h = \frac{H}{2}$.

№ 7.

Дано:

$$n_1 = 2,42$$

$$n_2 = 1,33$$

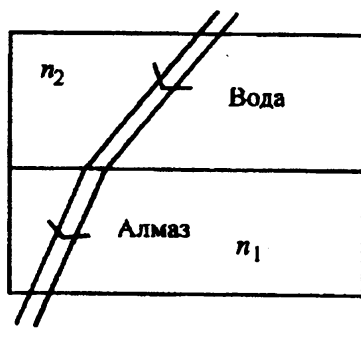
$$n_3 = 1,31$$

$$n_4 = 1,63$$

$$n_{1-2} = ?$$

$$n_{4-3} = ?$$

Решение:



Показатель преломления воды относительно алмаза равен отношению скорости света в алмазе v_1 к скорости света в воде v_2 .

$$n = \frac{v_1}{v_2}, \quad v_1 = \frac{c}{n_1}, \quad v_2 = \frac{c}{n_2};$$

$$n_{1-2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,33}{2,42} \approx 0,55.$$

Показатель преломления сероуглерода относительно льда вычисляется аналогично:

$$n_{4-3} = \frac{n_4}{n_3} = \frac{1,63}{1,31} \approx 1,24.$$

Ответ: $n_{1-2} \approx 0,55$,

$n_{3-4} \approx 1,24$.

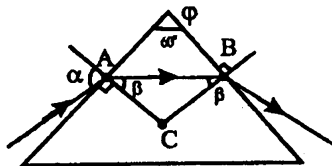
№ 8.

Дано:

$$\varphi = 60^\circ$$

$$n_{\max} = ?$$

Решение:



Угол между нормальями к сторонам равностороннего треугольника равен 120° . Луч в призме идет параллельно основанию, следовательно, угол преломления луча β на первой грани призмы равен углу падения луча на вторую грань призмы.

Рассмотрим $\triangle ABC$, где A – точка падения луча на призму, B – точка выхода луча из призмы, C – точка пересечения нормалей к граням, проведенным из точек A и B . Сумма углов $\triangle ABC$ равна:

$$\beta + \beta + 120^\circ = 180^\circ, \beta = 30^\circ.$$

Угол β должен быть больше предельного угла полного отражения α_0 ; где $\alpha_0 = \frac{1}{n}$. Следовательно,

$$\frac{1}{n} < \sin \beta \text{ или } n > \frac{1}{\sin \beta} = n_{\max},$$

$$n_{\max} = \frac{1}{\sin \beta} = \frac{1}{\sin 30^\circ} = 2.$$

Ответ: $n_{\max} = 2$.

№ 9.

Дано:

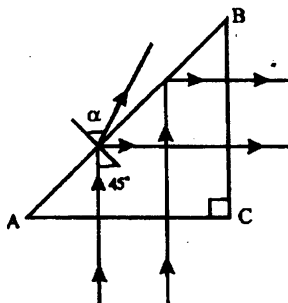
$$n_{ст1} = 1,47$$

$$n_{ст2} = 2,04$$

$$n_{H_2O} = 1,33$$

$$n_{возд} = 1,0$$

Решение:



Преломление луча на границе двух сред определяется относительным показателем преломления n , равным отношению показателей преломления сред.

Известно, что показатель преломления стекла зависит от его сорта и находится в некотором интервале от n_{cm1} до n_{cm2} . Так как показатель преломления воздуха равен $n_{возд} = 1$, то относительный показатель преломления на границе воздух – стекло находится в интервале от n_{cm1} до n_{cm2} . Относительный показатель преломления на границе вода – стекло находится в интервале от:

$$\frac{n_{cm1}}{n_{H_2O}} = \frac{1,47}{1,33} = 1,1 \text{ до } \frac{n_{cm2}}{n_{H_2O}} = \frac{2,04}{1,33} = 1,53.$$

а) Введем обозначения углов призмы ABC как показано на рисунке:

$$\angle C = 90^\circ, \angle A = \angle B = 45^\circ.$$

Луч падает на грань AC под нулевым углом. При этом часть луча отражается, а часть проходит через грань AC без преломления. Затем луч падает на грань AB под углом 45° к ее нормали. При этом часть луча отражается от грани AB и падает на грань BC под нулевым углом, а часть луча преломляется и выходит через грань AB под углом $\alpha > 90^\circ$, где α определяется соотношением:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin 45^\circ} = n, \quad \sin \alpha = \frac{n}{\sqrt{2}}.$$

Если призма находится в воздухе, то показатель преломления $n > \sqrt{2} = 1,41$ для любого сорта стекла, и наблюдается явление полного отражения. Угол полного отражения β_0 в данном случае меньше 45° , так как:

$$\sin \beta_0 = \frac{1}{n} < \frac{1}{\sqrt{2}} = \sin 45^\circ.$$

Если призма находится в воде, то в призме из стекла с низким показателем преломления:

$$1,1 = \frac{n_{cm1}}{n_{H_2O}} < n = \frac{n_{cm}}{n_{H_2O}} < \sqrt{2}.$$

Луч на грани AB будет преломляться под углом α :

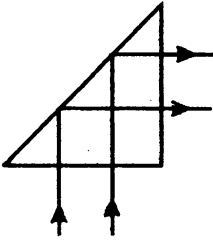
$$\sin \alpha = \frac{n}{\sqrt{2}}$$

В призме из стекла с высоким показателем преломления:

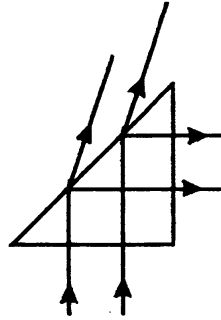
$$\sqrt{2} = n = \frac{n_{cm}}{n_{H_2O}} < 1,53 = \frac{n_{cm2}}{n_{H_2O}}$$

будет, как в воздухе, наблюдаться полное отражение.

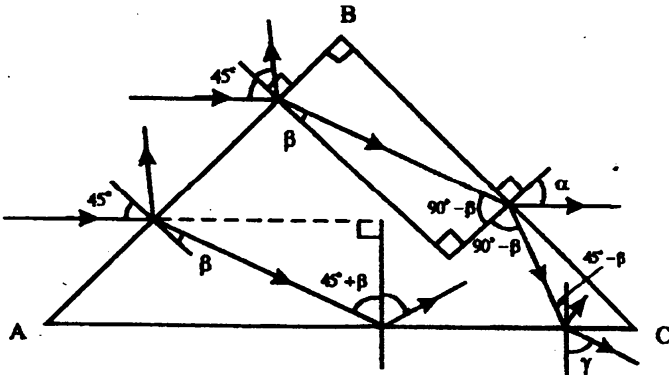
Призма в воздухе или призма с высоким показателем преломления в воде.



Призма с низким показателем преломления в воде.



Отразившись от грани AB , лучи падают на грань BC под нулевым углом, где частично отражаются и выходят из призмы без изменения направления.



б) Введем обозначения углов призмы ABC как показано на рисунке:

$$\angle B = 90^\circ, \angle A = \angle C = 45^\circ$$

Лучи падают на грань AB под углом 45° , частично отражаются и преломляются. Преломленный луч идет в призму к грани AB под углом β , который согласно закону преломления равен:

$$\frac{\sin \beta}{\sin 45^\circ} = \frac{1}{n}, \quad \sin \beta = \frac{1}{n\sqrt{2}}.$$

Когда призма находится в воде, относительный показатель преломления n меньше, чем для призмы в воздухе. Поэтому луч преломляется сильнее, когда призма находится в воздухе.

В зависимости от точки падения луча на грань AB преломленный луч может упасть как на грань BC , так и на грань AC . Рассмотрим оба эти варианта:

1) если луч падает на BC , то из геометрических соображений величина угла падения равна $90^\circ - \beta$. необходимо определить, при каких значениях показателя преломления n угол $90^\circ - \beta$ будет углом полного отражения. Для этого сравним:

$$\sin(90^\circ - \beta) \vee \beta_0 = \frac{1}{n},$$

$$\sin(90^\circ - \beta) = \cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{1}{2n^2}},$$

$$\sqrt{1 - \frac{1}{2n^2}} \vee \frac{1}{n}, \quad 1 - \frac{1}{2n^2} \vee \frac{1}{n^2},$$

$$1 \vee \frac{3}{2n^2}, \quad 1 \vee \sqrt{\frac{3}{2}} \approx 1,23.$$

Если призма в воздухе, то угол $(90^\circ - \beta)$ больше угла полного отражения, так как $n > 1,23$. если призма в воде, то в зависимости от сорта стекла угол $(90^\circ - \beta)$ может быть как больше, так и меньше угла полного отражения. Таким образом, если призма в воздухе, то независимо от сорта стекла, при падении луча на грань BC наблюдается полное отражение. Если призма в воде, то

в зависимости от сорта стекла может наблюдаться как полное отражение, так и преломление с частичным отражением. При этом отраженный луч падает на грань AC под углом $(45^\circ - \beta)$. Преломленный луч выходит из призмы под углом α .

$$\frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \beta)} = n, \quad \sin \alpha = n \sqrt{1 - \frac{1}{2n^2}} = \sqrt{n^2 - \frac{1}{2}}$$

Выясним, не является ли угол $(45^\circ - \beta)$, под которым отраженный от грани BC луч падает на AC , углом, большим угла полного отражения. Для этого сравним:

$$\sin(45^\circ - \beta) \vee \sin \beta_0 = \frac{1}{n},$$

$$\sin(45^\circ - \beta) = \frac{1}{\sqrt{2}} (\cos \beta - \sin \beta) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{1}{2n^2}} - \frac{1}{2n},$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{1}{2n^2}} - \frac{1}{2n} \vee \frac{1}{n},$$

$$1 - \frac{1}{2n^2} \vee 2 \cdot \left(\frac{3}{2n}\right)^2, \quad 1 \vee \frac{5}{n^2},$$

Так как $n_{cm2} = 2,04$, то $n^2 < 5$. Следовательно, $(45^\circ - \beta)$ всегда меньше угла полного отражения независимо от сорта стекла и от того, в воздухе или в воде находится призма. Это значит, что на границе AC луч частично отражается и преломляется. Преломленный луч выходит из призмы под углом γ .

$$\frac{\sin \gamma}{\sin(45^\circ - \beta)} = n,$$

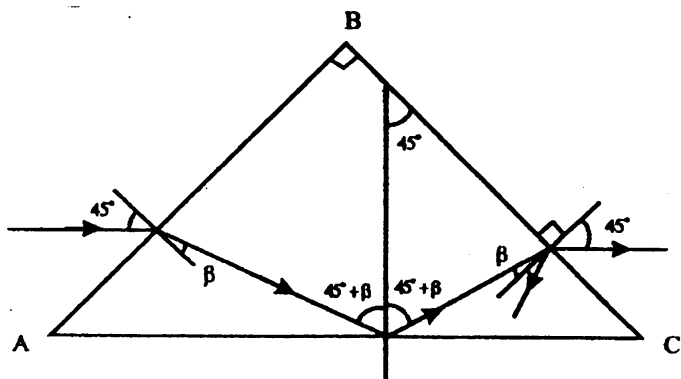
$$\sin \gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{n^2 - \frac{1}{2}} - \frac{1}{2}.$$

2) Если луч, преломленный на грани AB , падает на AC , то геометрически легко вычислить, что он падает на AC под углом $(45^\circ - \beta)$. Сравним этот угол с углом полного отражения:

$$\sin(45^\circ + \beta) \vee = \frac{1}{n},$$

$$\begin{aligned} \sin(45^\circ + \beta) &= \frac{1}{\sqrt{2}}(\sin\beta + \cos\beta) = \\ &= \frac{1}{2n} + \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{1 - \frac{1}{2n^2}} \sqrt{\frac{1}{n}}, \\ &1 - \frac{1}{2n^2} \sqrt{\frac{1}{2n^2}}, 1 \sqrt{\frac{1}{n^2}}. \end{aligned}$$

Так как всегда $n > 1$, то угол $(45^\circ + \beta)$ больше угла полного отражения независимо от сорта стекла и от того, в воздухе или в воде находится призма. Следовательно, на грани AC всегда наблюдается полное отражение. Отраженный от AC луч падает на BC под углом β (из простых геометрических рассуждений), частично отражается и преломляется, выходя из призмы под углом 45° к BC . При этом луч, проходя через призму, не меняет своего первоначального направления.

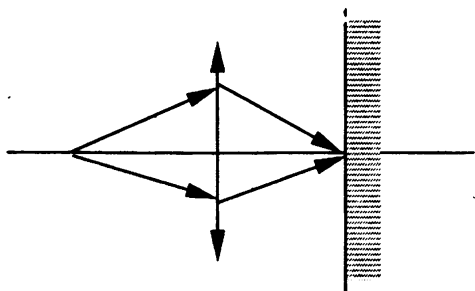


Упражнение 9.

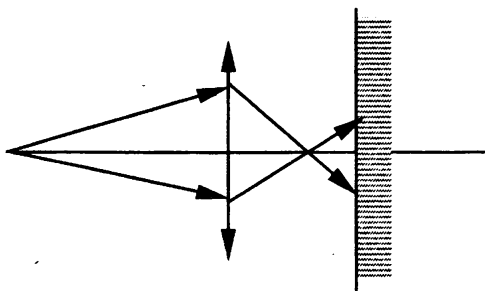
№ 1.

Изображение останется таким же четким, поскольку взаимное расположение линзы, предмета и экрана не изменилось. Однако интенсивность отраженного от предмета и падающего на экран света уменьшится, поэтому изображение станет менее ярким.

№ 2.



На верхнем рисунке изображен ход лучей, идущих через объектив, отраженных от точки на лице человека, а на нижнем – ход лучей от леса. Как видно из чертежа, лучи света, отраженного от одной точки лица человека сходятся в одной точке на экране (пленке) – изображение получается четким. Этого не наблюдается для лучей, идущих от леса. Для того, чтобы изображение леса было четким, необходимо отодвинуть объектив от экрана (изображение лица человека при этом станет расплывчатым).

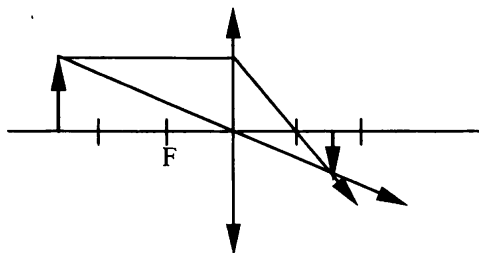


№ 3.

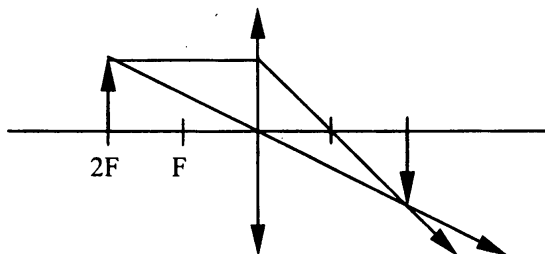
Поскольку показатель преломления глаза очень близок к показателю преломления воды, то лучи, попадающие в глаз, почти не преломляются – глаз становится очень дальновзорким.

№ 4.

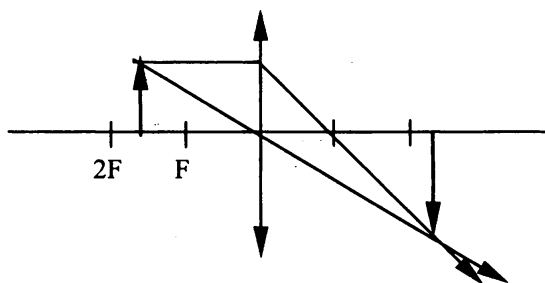
1) $d > 2F$.



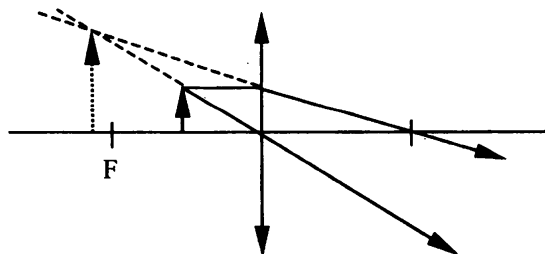
2) $d = 2F$.



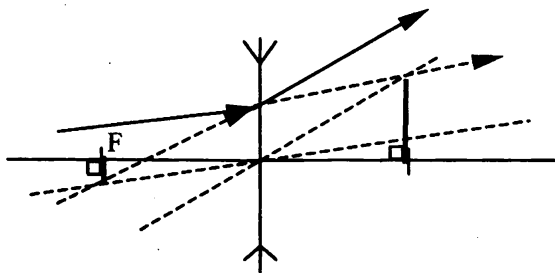
3) $F < d < 2F$.



4) $d < F$.

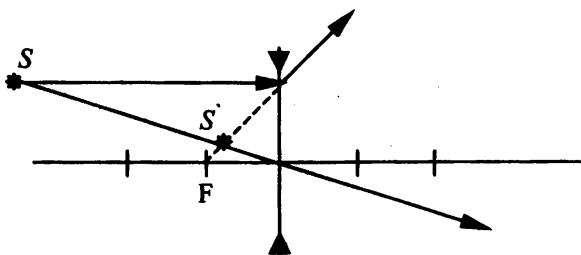


№ 5.



Положение фокусов можно найти, опустив на главную оптическую ось перпендикуляры из точек пересечения с продолжением данного луча побочных оптических осей, параллельных падающему и преломленному лучу.

№ 6.



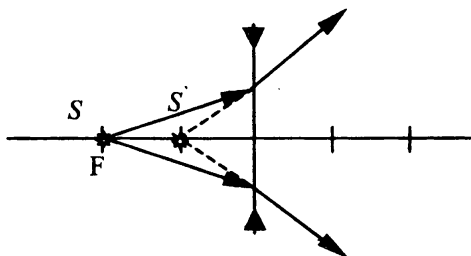
На данном рисунке S – точечный источник, S' – его изображение.

№ 7.

Дано:
 $d = F$.
 $f = ?$

Решение:
 Для рассеивающей линза формула тонкой линзы выглядит следующим образом:

$$-\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \Rightarrow f = \frac{1}{2}F.$$



На данном рисунке S – точечный источник, S' – его изображение.

Ответ: $f = \frac{1}{2}F$.

Упражнение 10.

№ 1.

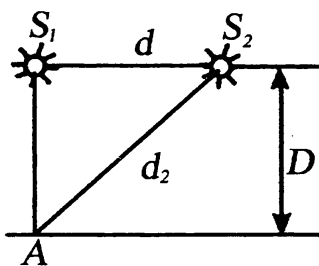
Дано:

$$\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$d = 0,3 \text{ см} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$D = 9 \text{ м}$$

Решение:



Расстояние от S_2 до точки A равно:

$$d_2 = \sqrt{D^2 + d^2};$$

При этом разность расстояний от точки A до источников равна:

$$d_2 - D = \sqrt{D^2 + d^2} - D,$$

$$(d_2 - D)(d_2 + D) = d^2$$

Так как $d_2 + D \approx 2D$, то:

$$d_2 - D \approx \frac{d^2}{2D}.$$

Отношение разности расстояний к длине волны равно:

$$\frac{d^2 - D}{\lambda} \approx \frac{d^2}{2D\lambda} = \frac{(3 \cdot 10^{-3})^2}{9 \cdot 5 \cdot 10^{-7}} = 2,$$

$$d_2 - D \approx 2\lambda.$$

Максимум освещенности будет наблюдаться в точках, для которых выполнено условие $\Delta d = d_2 - D = k\lambda$,

где Δd – разность расстояний от точки до источников,

$k = 0, 1, 2, \dots$ – целые числа.

Следовательно, в точке A будет наблюдаться светлое пятно.

№ 2.

Дано:

$$d = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

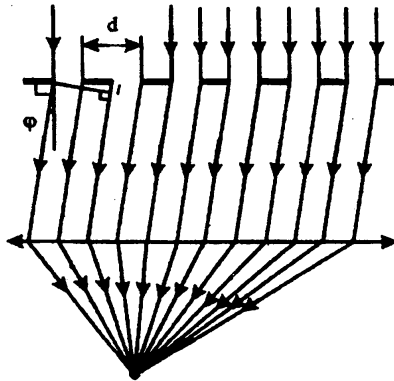
$$\Delta\varphi = 2^\circ 30' = \frac{2,5}{180} \pi \text{ рад} \approx$$

$$\approx 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ рад}$$

$\lambda - ?$

Решение:

Дифракционная решетка отражает и рассеивает свет. Найдем условие, при котором идущие от щелей волны усиливают друг друга. Рассмотрим волны, распространяющиеся под углом φ к нормали решетки.



Разность хода между волнами от краев соседних щелей равна $d \sin \varphi$. Максимумы будут наблюдаться, когда разность хода кратна длине волны:

$$d \sin \varphi = k\lambda,$$

где $k = 0, 1, 2, \dots$

$$\sin \varphi_1 = \frac{\lambda}{d} \ll 1, \sin \varphi_2 = \frac{2\lambda}{d} \ll 1,$$

$$\sin \varphi_1 \approx \varphi_1, \sin \varphi_2 \approx \varphi_2; \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \approx \frac{\lambda}{d}, \lambda = \Delta\varphi d,$$

где $\Delta\varphi$ – выражена в радианах.

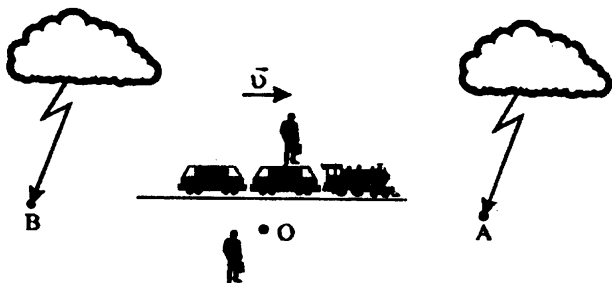
$$\lambda = 4,4 \cdot 10^{-2} \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \approx 5,2 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Ответ: $\lambda \approx 5,2 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$

ГЛАВА 9. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Упражнение 11.

№ 1.



Пусть молния перед поездом ударяет в точку A , а молния позади поезда в точку B . O – точка наблюдения. Так как поезд движется навстречу точке A , то свет AO проходит меньшее расстояние, чем свет BO . Следовательно, при одинаковых скоростях света, свету BO необходимо больше времени движения, то есть молния позади поезда ударит раньше.

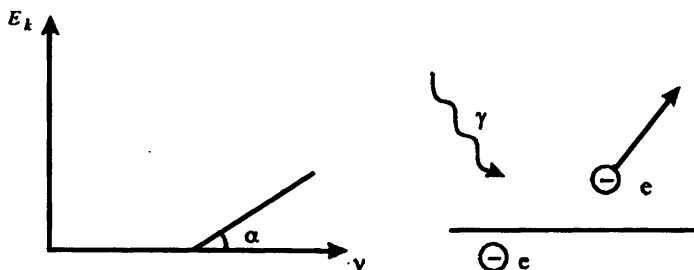
№ 3.

В среде электрон может двигаться со скоростью, больше скорости света в этой среде, так как эта скорость света может быть существенно меньше скорости света в вакууме в результате взаимодействия электромагнитных волн со средой.

ГЛАВА 11. СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ

Упражнение 12.

№ 1.



Для выхода электрона из металла необходимо, чтобы энергия поглощенного фотона $h\nu$ была больше работы выхода электрона из металла A . Оставшаяся часть энергии фотона идет на сообщение электрону кинетической энергии E_k :

$$h\nu = A + E_k,$$

$$E_k = h\nu - A.$$

График зависимости $E_k(\nu)$ – прямая, начинающаяся из точки $E_k = 0$, $\nu = \nu_{\min} = \frac{A}{h}$, ν_{\min} называется красной границей фотоэффекта. Тангенс угла наклона прямой к оси ν равен постоянной Планка h .

№ 2.

Дано:

$$E = 4,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$\lambda = 3,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$\nu = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$n = ?$$

Решение:

Длина волны фотона связана с частотой соотношением:

$$\nu = \frac{v}{\lambda},$$

где v – скорость распространения волны в среде.

Энергия фотона связана с его частотой согласно формуле Планка:

$$E = h\nu = \frac{h\nu}{\lambda}, \nu = \frac{E\lambda}{h}.$$

Абсолютный показатель преломления среды по определению равен:

$$n = \frac{c}{\nu} = \frac{hc}{E\lambda},$$

где c – скорость света в вакууме.

Следовательно:

$$n = \frac{hc}{E\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 10^8}{4,4 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^{-7}} \approx 1,5.$$

Ответ: $n \approx 1,5$.

№ 3.

Дано:

$$\lambda = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$E = ?$$

Решение:

Энергия фотона E выражается формулой Планка:

$$E = h\nu,$$

$$\text{где } \nu = \frac{c}{\lambda}.$$

Следовательно:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7}} \text{ Дж} \approx 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Ответ: $E \approx 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

№ 4.

Дано:

$$W_k = 4,5 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

$$A = 7,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж/с}$$

$$\lambda = ?$$

Решение:

Согласно закону сохранения энергии, энергия фотона $h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ идет на совершение работы выхода A и сообщает электрону кинетическую энергию W_k :

$$\frac{hc}{\lambda} = A + W_k.$$

Следовательно:

$$\lambda = \frac{hc}{A + W_k} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4,5 \cdot 10^{-20} + 7,6 \cdot 10^{-19}} \text{ м} \approx 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

Ответ: $\lambda \approx 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

ГЛАВА 12. АТОМНАЯ ФИЗИКА

Упражнение 13.

№ 1.

Дано:

$$r_0 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$$

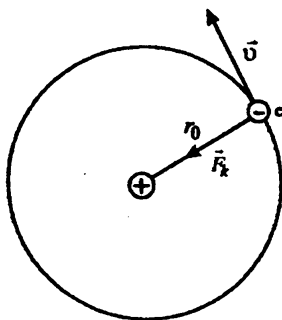
$$\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$v = ? \quad a = ?$$

Решение:



Согласно модели Бора, электрон в атоме водорода представляет собой классическую частицу, вращающуюся вокруг ядра по круговой орбите. Запишем второй закон Ньютона для электрона: $m\vec{a} = \vec{F}_k$, где \vec{F}_k – Кулоновская сила притяжения. По закону Кулона:

$$F_k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_0^2}.$$

$$\text{Следовательно, } ma = F_k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_0^2}.$$

Скорость и ускорение при движении по окружности связаны соотношением:

$$a = \frac{v^2}{r_0}.$$

Перепишем закон Ньютона в виде:

$$\frac{mv^2}{r_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_0^2}, \quad v^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{mr_0}.$$

$$x = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{4 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1,05 \cdot 10^{-34}} \text{ м/с} =$$

$$= \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \frac{e^4}{\hbar^2} 2 \cdot 10^6 \text{ м/с};$$

$$a = \frac{v^2}{r_0} = \frac{m}{(4\pi\epsilon_0)^3} \frac{e^6}{\hbar^4} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^6}{(4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}) \cdot (1,05 \cdot 10^{-34})^4} \text{ м/с}^2 \approx$$

$$\approx 10^{23} \text{ м/с}^2$$

Ответ: $v \approx 2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$; $a \approx 10^{23} \text{ м/с}^2$.

№ 2.

Дано:

$$E_4 = -0,85 \text{ эВ}$$

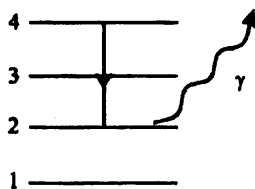
$$E_2 = -3,4 \text{ эВ}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$\lambda - ?$$

Решение:



Согласно второму постулату Бора энергия излученного фотона равна разности энергий стационарных состояний атома:

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = E_4 - E_2, \quad \lambda = \frac{hc}{E_4 - E_2},$$

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \frac{1}{3,4 - 0,85} \text{ м} \approx 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

Ответ: $\lambda \approx 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

№ 4.

Дано:

$$E_1 = -13,55 \text{ эВ}$$

$U_i = ?$

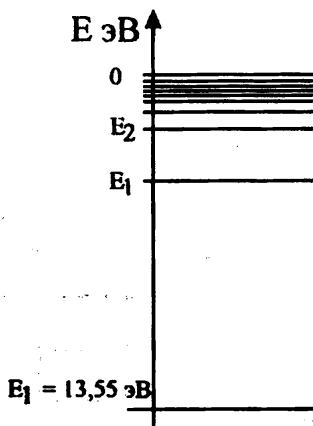
Решение:

Электрон в атоме водорода находится на самом нижнем энергетическом уровне.

Для того, чтобы ионизировать атом водорода, необходимо передать ему энергию U , достаточную для отрыва электрона. Излишек энергии идет на сообщение электрону кинетической энергии $\frac{mv^2}{2}$.

По закону сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = E_1 + U$$



видно, что если $v = 0$, то энергия U – минимальная. Минимальная энергия, достаточная для ионизации называется энергией ионизации U_i :

$$E_1 + U_i = 0, U_i = -E_1 = 13,55 \text{ эВ.}$$

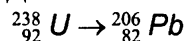
Ответ: $U_i = 13,55 \text{ эВ.}$

ГЛАВА 13. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

Упражнение 14.

№ 1.

Дано:

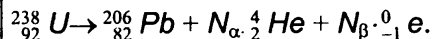


$N_\alpha - ?$

$N_\beta - ?$

Решение:

Запишем распад урана в символическом виде:



Эта символическая запись выражает правило смещения Содди: при каждом α – распаде ядро теряет заряд $2e$, а его масса убывает на 4. При β – распаде заряд увеличивается на $1e$, масса практически не меняется. Запишем условия сохранения массы и заряда:

$$238 = 206 + 4N_\alpha, \quad 92 = 82 - 2N_\alpha + N_\beta.$$

Из первого уравнения получим $N_\alpha = 8$, а из второго $N_\beta = 6$.

Уран испытывает 8 α – превращений и 6 β – превращений.

Ответ: $N_\alpha = 8$, $N_\beta = 6$.

№ 2.

Дано:

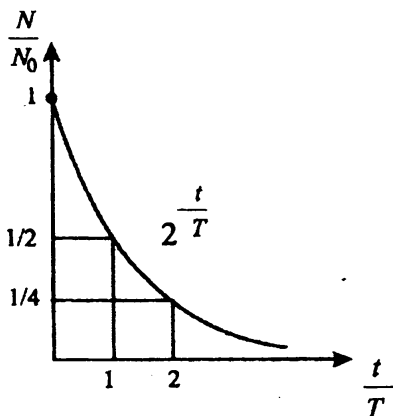
$$T = 1600 \text{ лет}$$

$$\kappa = 4$$

$t - ?$

Решение:

Согласно основному закону радиоактивного распада: $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$



$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{k} N = 2^{-\frac{t}{T}}, \quad \log_2 \frac{1}{k} = -\frac{t}{T}, \quad \log_2 k = \frac{t}{T},$$

$$t = T \log_2 k = T \log_2 4 = 2 \cdot 1600 \text{ лет} = 3200 \text{ лет.}$$

Ответ: $t = 3200$ лет.

№ 3.

Дано:

$$T = 3,82 \text{ сут.};$$

$$t = 1,91 \text{ сут.}$$

$$\frac{N_0}{N} = ?$$

Решение:

Согласно основному закону радиоак-

тивного распада: $\frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T}}, \quad \frac{N_0}{N} = 2^{\frac{t}{T}}$

$$\frac{N_0}{N} = 2^{\frac{1,91}{3,82}} = 2^{\frac{1}{2}} = \sqrt{2} \approx 1,41.$$

Ответ: $\frac{N_0}{N} \approx 1,41.$

№ 4.

Дано:



Решение:

Символическое обозначение элемента в таблице Менделеева: ${}^m_n\text{Z}$,

где m – массовое число,
 n – зарядовое число.

Заряд ядра определяется числом протонов: n – число протонов, m – сумма протонов и нейтронов, $m - n$ – количество нейтронов в ядре.

Ответ:

Элемент	протоны	нейтроны
F	9	10
Ar	18	22
Br	35	45
Cs	55	78
Au	79	118

№ 5.

Дано:

$$m_p = 1,00728 \cdot \frac{m_c}{12}$$

$$m_n = 1,00866 \cdot \frac{m_c}{12}$$

$$m_D = 2,01355 \cdot \frac{m_c}{12}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$m_c = 1,995 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$$

Решение:

Энергией связи ядра называют энергию, которую необходимо передать ядру для его полного расщепления. Найдем энергию связи с помощью соотношения Эйнштейна:

$$E = mc^2,$$

$$m_D < m_n + m_p$$

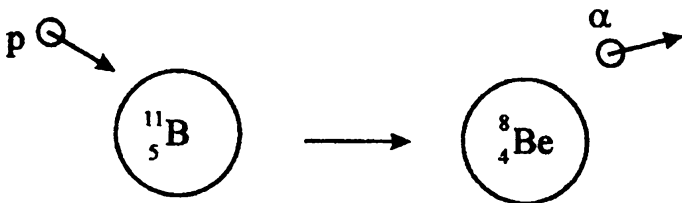
$$\Delta M = m_n + m_p - m_D.$$

$$E_{св} = \Delta M c^2 = (m_p + m_n - m_D)c^2;$$

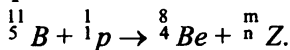
$$E_{св} = (1,00728 - 1,00866 - 2,01355) \cdot 1,995 \cdot 10^{-26} \cdot \frac{(3 \cdot 10^8)^2}{12} \text{ Дж} \approx \\ \approx 3,57 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} \approx 2,2 \text{ МэВ}.$$

Ответ: $E_{св} \approx 3,57 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} \approx 2,2 \text{ МэВ}$.

№ 6.



Запишем ядерную реакцию в символическом виде:



Вспользуемся законом сохранения заряда и массы:

$$11 + 1 = 8 + m,$$

$$m = 4;$$

$$5 + 1 = 4 + n,$$

$$n = 2;$$

${}^4_2\text{Z}$ – ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$.

Ответ: ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$.

№ 7.

Дано:



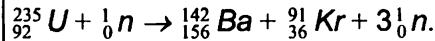
$$E_{\text{свBa}} = 8,38 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$$

$$E_{\text{свKr}} = 8,55 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$$

$$E_{\text{свU}} = 7,59 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$$

$E - ?$

Решение:



Массовые числа равны U , Ba , Kr : равны:

$$A_U = 235,$$

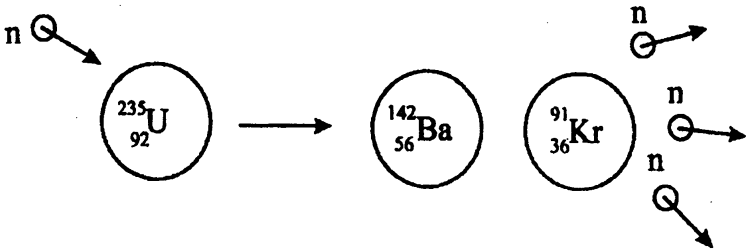
$$A_{Ba} = 142,$$

$$A_{Kr} = 91.$$

Запишем закон сохранения энергии для данной реакции:

$$E_{\text{пол}} = A_U \cdot E_{\text{свU}} = A_{Ba} \cdot E_{\text{свBa}} + A_{Kr} \cdot E_{\text{свKr}} + E,$$

где E – выделившаяся в результате реакции энергия.



$$E = A_U \cdot E_{\text{свU}} - A_{Ba} \cdot E_{\text{свBa}} - A_{Kr} \cdot E_{\text{свKr}},$$

$$E = (235 \cdot 7,59 - 142 \cdot 8,38 - 91 \cdot 8,55) \text{ МэВ} \approx 200 \text{ МэВ}.$$

Ответ: $E \approx 200 \text{ МэВ}$.

ГЛАВА 17. СТРОЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

Упражнение 15

№ 1.

Дано:

$$a = 23 \cdot 10^6 \text{ м},$$

$$T = 1,26 \text{ сут},$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$$

$M - ?$

Решение:

Массой спутника пренебрегаем.

$$M = \frac{a^3 \cdot 4\pi}{G \cdot T^2}$$

$$T = 1,26 \text{ сут} = 1,09 \cdot 10^5 \text{ с}$$

$$M = \frac{(23 \cdot 10^6 \text{ м})^3 \cdot 4\pi^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2 \cdot (1,09 \cdot 10^5 \text{ с})^2} \approx 6 \cdot 10^{23} \text{ кг}$$

Ответ: $M = 6 \cdot 10^{23} \text{ кг}$

№ 2.

Дано:

$$S = 0,4 \text{ а.е.},$$

$$\alpha = 23''$$

$D - ?$

Решение:

$$D = 2 \cdot S \cdot \sin(\alpha/2)$$

$$S = 0,4 \text{ а.е.} = 0,4 \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ км} = 6 \cdot 10^7 \text{ км}$$

$$\Rightarrow D = 2 \cdot 6 \cdot 10^7 \text{ км} \cdot 5,75 \cdot 10^{-5} = 6900 \text{ км}$$

Ответ: $D = 6900 \text{ км}$

№ 3.

Дано:

$$\alpha = 61'$$

$$\alpha = 57'$$

$e - ?$

Решение:

$$e = \frac{1 \alpha_1 - \alpha_2}{2 \alpha_1 + \alpha_2} = \frac{1 \cdot 61' - 57'}{2 \cdot 61' + 57'} \approx 0,017$$

Ответ: $e = 0,017$

№ 4.

Дано:

$$v = 1000 \text{ км/с}$$

$$a = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$$

$t - ?$

Решение:

$$t = \frac{a}{v} = \frac{1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}}{10^6 \text{ м/с}}$$

$$= 1,5 \cdot 10^5 \text{ с} = 1,736 \text{ сут}$$

Ответ: $t = 1,736 \text{ суток}$

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Эта часть книги поможет вам при подготовке к лабораторным работам курса физики и при их выполнении. Она содержит некоторые рекомендации и комментарии к выполнению работ курса, а также образцы лабораторных работ, выполненных в соответствии с заданиями учебника. Следует, конечно, помнить, что учитель по своему усмотрению и возможностям кабинета может вносить изменения и дополнения в ход работ, описанных в учебнике, а также в обеспечение работы материалами и инструментами. Но в общих чертах цель работы и способ ее выполнения остается неизменным. Поэтому знакомство с приведенными образцами работ поможет подробнее познакомиться с предстоящими вам измерениями и вычислениями. Однако, полученные в выполненных нами работах результаты могут сильно отличаться от тех, которые вы будете получать на уроках. Происходит это потому, что использованное оборудование и материалы, возможно, отличаются от предложенных вам учителем, кроме того, даже при использовании одинакового оборудования результаты могут существенно различаться по всевозможным причинам.

Лабораторная работа № 1.

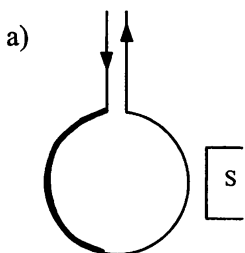
Наблюдение действия магнитного поля на ток

Теоретическая часть:

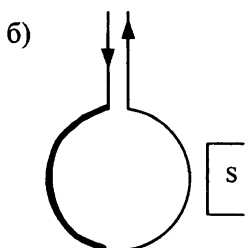
В работе № 4 мы рассмотрим взаимодействие соленоида с магнитом. Как известно, в соленоиде под током возникает магнитное поле, которое будет взаимодействовать с постоянным магнитом. Мы проведем серию из четырех опытов с различным расположением катушки и магнита. Следует ожидать, что их взаимодействие также будет различным (притягивание или отталкивание).

Примерный ход выполнения работы:

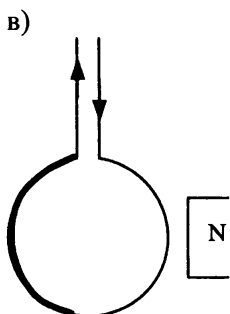
Мы наблюдаем следующие явления, которые удобно представить в виде рисунков:



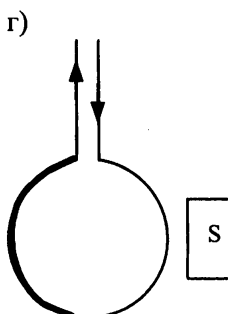
притягиваются



притягиваются



притягиваются



отталкиваются

Лабораторная работа № 2.

Изучение явления электромагнитной индукции

Цель работы:

экспериментальное изучение явления магнитной индукции и проверка правила Ленца.

Теоретическая часть:

Явление электромагнитной индукции заключается в возникновении электрического тока в проводящем контуре, который либо покоится в переменном по времени магнитном поле, либо движется в постоянном магнитном поле таким образом, что число линий магнитной индукции, пронизывающих контур, меняется. В нашем случае разумнее было бы менять во времени маг-

нитное поле, так как оно создается движущимися (свободно) магнитом. Согласно правилу Ленца, возникающий в замкнутом контуре индукционный ток своим магнитным полем противодействует тому изменению магнитного потока, которым он вызван. В данном случае наблюдать это мы можем по отклонению стрелки миллиамперметра.

Пример выполнения работы:

1. Вводя магнит в катушку одним полюсом (северным) и выводя ее, мы наблюдаем, что стрелка амперметра отклоняется в разные стороны. В первом случае число линий магнитной индукции, пронизывающих катушку (магнитный поток) растет, а во втором случае наоборот. Причем в первом случае линии индукции, созданные магнитным полем индукционного тока, выходят из верхнего конца катушки, так как катушка отталкивает магнит, а во втором случае, наоборот, входят в этот конец. Так как стрелка амперметра отклоняется, то направление индукционного тока меняется. Именно это показывает нам правило Ленца.

Вводя магнит в катушку южным полюсом, мы наблюдаем картину, противоположную первой.

2. (Случай с двумя катушками)

В случае с двумя катушками при размыкании ключа стрелка амперметра смещается в одну сторону, а при замыкании в другую.

Это объясняется тем, что при замыкании ключа, ток в первой катушке создает магнитное поле. Это поле увеличивается, и число линий индукции, пронизывающих вторую катушку, растет. При размыкании число линий, пронизывающих катушку, уменьшается. Следовательно, по правилу Ленца в первом случае и во втором индукционный ток противодействует тому изменению, которым он вызван. Изменение направления индукционного тока нам показывает тот же амперметр, и это подтверждает правило Ленца.

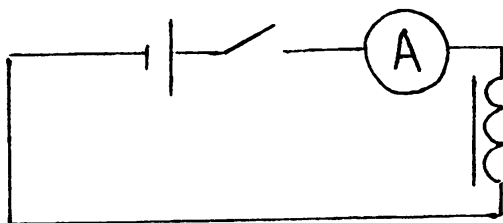


Рис. 1.

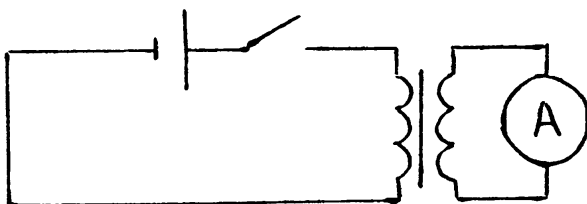


Рис. 2.

Лабораторная работа № 3. **Определение ускорения свободного падения**

Теоретическая часть:

Существуют разные способы определения ускорения свободного падения. Мы воспользуемся для этого маятником – шариком на нити. Период колебания такого маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

или

$$\frac{t}{n} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (2)$$

Зная длину маятника l , время и количество колебаний – t и n , соответственно, мы можем рассчитать ускорение свободного падения g :

$$g = \frac{4\pi^2 l \cdot N^2}{t^2}$$

Пример выполнения работы:

№	t, c	t_{CP}, c	$\Delta t, c$	$\Delta t_{CP}, c$	l, m
1	59	60	1	1	0,56
2	60		0		
3	60		0		
4	61		1		
5	58		2		
6	62		2		

Вычисления:

$$t_{CP} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} = \frac{59c + 60c + 60c + 61c + 58c + 62c}{6} = 60c.$$

$$\Delta t_{CP} = \frac{|t_1 - t_{CP}| + |t_2 - t_{CP}| + \dots + |t_n - t_{CP}|}{n} =$$

$$= \frac{|59c - 60c| + |61c - 60c| + |58c - 60c| + |62c - 60c|}{6} = 1c$$

$$g_{CP} = 4\pi^2 \frac{l \cdot N}{t_{CP}^2} = 4\pi^2 \frac{0,56m \cdot 40^2}{60^2 c^2} \approx 9,83m/c^2.$$

Относительная погрешность измерения времени:

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta t}{t} = \frac{1c}{60c} \approx 0,017.$$

Относительная погрешность измерения длины нити: $\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l}$,

$$\Delta l = \Delta l_{Л} + \Delta l_{ОТС} \Rightarrow \varepsilon_l = \frac{\Delta l_{Л} + \Delta l_{ОТС}}{l} = \frac{0,05m + 0,05m}{0,56m} \approx 0,18$$

Относительная погрешность измерения g :

$$\varepsilon_g = \varepsilon_l + 2\varepsilon_{\pi} + 2\varepsilon_t = \varepsilon_l + 2\varepsilon_t = 0,18 + 2 \cdot 0,017 \approx 0,2.$$

$$\Delta g = g_{CP} \cdot \varepsilon_g \approx 1,97m/c^2.$$

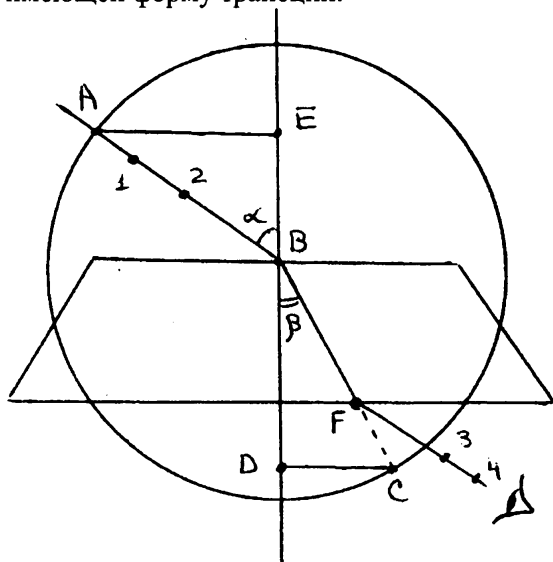
Таким образом:

$$9,83m/c^2 - 1,97m/c^2 \leq g \leq 9,83m/c^2 + 1,97m/c^2.$$

Лабораторная работа № 4.

Измерение показателя преломления стекла

Цель работы: измерение показателя преломления стеклянной пластины, имеющей форму трапеции.



Теоретическая часть:

Показатель преломления стекла относительно воздуха определяется по формуле:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta'}$$

где $\sin \alpha$ – угол падения на грань пластины из воздуха в стекло,
 β – угол преломления светового пучка в стекле.

Т.к. $\sin \alpha = \frac{AE}{AB}$, $\sin \beta = \frac{CD}{BC}$ и $AB = BC$ (как радиусы), то фор-

мула примет вид:

$$n_{np} = \frac{AE}{DC} \quad (1)$$

Максимальная абсолютная погрешность определяется по формуле:

$$\Delta n = n_{np} \cdot \mathcal{E},$$

где ε – относительная погрешность измерения показателя преломления

$$\varepsilon = \frac{\Delta AE}{AE} + \frac{\Delta DC}{DC}$$

Примерный ход работы:

Измерено:		Вычислено:				
AE , мм	DC , мм	$n_{\text{ПР}}$	ΔAE , мм	ΔDC , мм	ε , %	Δn
34	22	1,5	2	2	15	0,23
22	14	1,55			23	0,3

Вычисления:

$$n_{\text{ПР1}} = AE_1 / DC_1 = 34 \text{ мм} / 22 \text{ мм} = 1,5.$$

$$n_{\text{ПР2}} = AE_2 / DC_2 = 22 \text{ мм} / 14 \text{ мм} \approx 1,55.$$

$$\Delta AE = \Delta DC = \Delta AE_{\text{инст}} + \Delta AE_{\text{отс}} = 1 \text{ мм} + 1 \text{ мм} = 2 \text{ мм}.$$

Относительная погрешность измерения показателя преломления:

$$\varepsilon_1 = \Delta AE_1 / AE_1 + \Delta DC_1 / DC_1 = 2 \text{ мм} / 34 \text{ мм} + 2 \text{ мм} / 22 \text{ мм} \approx 0,15.$$

$$\varepsilon_2 = \Delta AE_2 / AE_2 + \Delta DC_2 / DC_2 = 2 \text{ мм} / 22 \text{ мм} + 2 \text{ мм} / 14 \text{ мм} \approx 0,23.$$

Максимальная абсолютная погрешность:

$$\Delta n_1 = n_{\text{ПР1}} \varepsilon_1 = 1,5 \cdot 0,15 \approx 0,23.$$

$$\Delta n_2 = n_{\text{ПР2}} \varepsilon_2 = 1,55 \cdot 0,23 \approx 0,4.$$

Окончательный результат:

$$1,5 - 0,23 \leq n_1 \leq 1,5 + 0,23,$$

$$1,55 - 0,4 \leq n_2 \leq 1,55 + 0,44.$$

Вывод по проделанной работе:

Экспериментально определив показатель преломления стекла, мы доказали, что эта величина постоянна для двух сред, не зависящая от угла падения.

Лабораторная работа № 5.

Определение оптической силы и фокусного расстояния собирающей линзы

Оборудование: линейка, два прямоугольных треугольника, длиннофокусная собирающая линза, лампочка с колпачком, источник тока, соединительные провода, экран, направляющая рейка.

Теоретическая часть:

В школьном курсе физики мы рассматриваем простейшие тонкие линзы, то есть такие, толщина которых много меньше образующих линзы радиусов. Для тонких линз справедлива формула:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F},$$

где d – расстояние от предмета до линзы,
 f – расстояние от линзы до изображения,
 F – фокусное расстояние.

Оптической силой линзы называют величину:

$$D = \frac{1}{F}.$$

Таким образом, экспериментально измерив значения d и f , мы можем вычислить величины D и F . Работа № 5 очень простая и не должна вызвать больших затруднений при ее выполнении.

Примерный ход работы:

№	$f, 10^{-3} \text{ м}$	$f_{CP}, 10^{-3} \text{ м}$	$d, 10^{-3} \text{ м}$	$D_{CP}, \text{ дптр}$	$F_{CP}, \text{ м}$
1	201	200	500	7	0,143
2	203				
3	196				

Вычисления:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f_{CP}} = \frac{1}{F_{CP}} \Rightarrow F_{CP} = \frac{f_{CP} \cdot d}{d + f_{CP}} = \frac{200 \text{ мм} \cdot 500 \text{ мм}}{200 \text{ мм} + 500 \text{ мм}} \approx$$
$$\approx 143 \text{ мм} = 1,43 \cdot 10^{-1} \text{ м}.$$

$$D_{CP} = \frac{1}{F_{CP}} = \frac{1}{1,43 \cdot 10^{-1} \text{ м}} \approx 7 \text{ дптр}$$

Абсолютная погрешность ΔD измерения оптической силы линзы:

$$\Delta D = \frac{\Delta_1}{d^2} + \frac{\Delta_2}{f^2};$$

толщина линзы

$$h = 5 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \Delta_1 = h/2, \Delta_2 = h.$$

Следовательно:

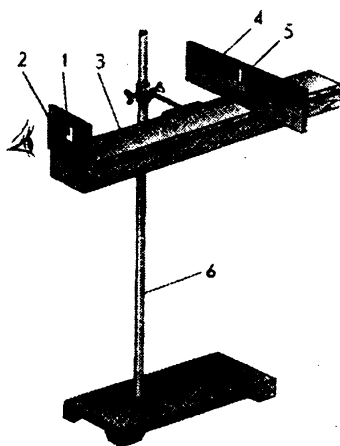
$$\Delta D = \frac{h}{2d^2} + \frac{h}{f^2} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{2 \cdot (0,5 \text{ м})^2} + \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{(0,2 \text{ м})^2} \approx 0,14 \text{ дптр}.$$

Лабораторная работа № 6.

Измерение длины световой волны

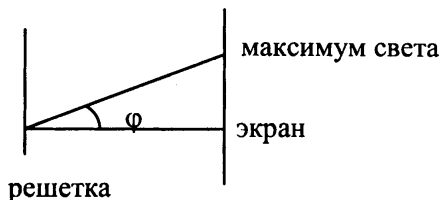
Цель работы: экспериментальное определение световой волны с помощью дифракционной решетки.

Схема установки:



- 1 – решетка
- 2 – держатель
- 3 – линейка
- 4 – черный экран
- 5 – щель
- 6 – штатив

Теоретическая часть:



Длина волны определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k},$$

где d – период решетки,

k – порядок спектра,

φ – угол, под которым наблюдается максимум света.

Так как углы максимумов света первого и второго порядков не превышают 5° , можно вместо синусов брать тангенсы.

$$\operatorname{tg} \alpha = b/a.$$

Расстояние a – отсчитывают по линейке от решетки до экрана, b – по шкале экрана до выбранной линии спектра.

Окончательная формула имеет вид:

$$\lambda = \frac{db}{ka},$$

В данной работе погрешность измерений длин волн не оценивается из-за некоторой неопределенности выбора середины части спектра.

Примерный ход работы:

Свет	d , 1/100 мм	k	a , мм	b слева мм	b справа мм	b ср. мм	λ , мм
красный							
фиолетовый							

Вывод по проделанной работе:

Измерив экспериментально длину волн красного и фиолетового света с помощью дифракционной решетки, мы пришли к выводу, что она позволяет очень точно измерять длины световых волн.

Лабораторная работа № 7.

Наблюдение сплошного и линейчатого спектров

Цель работы: с помощью необходимого оборудования наблюдать (экспериментально) сплошной спектр, неоновый, гелиевый или водородный.

Примерный ход работы:

1. Непрерывный спектр.

Направив взгляд через пластину на изображение раздвижной щели проекционного аппарата, мы наблюдали основные цвета полученного сплошного спектра в следующем порядке:

Фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный.

Данный спектр непрерывен. Это означает, что в спектре представлены волны всех длин. Таким образом, мы выяснили, что (как показывает опыт) сплошные спектры дают тела, находящиеся в твердом или жидком состоянии, а также сильно сжатые газы.

2. Водородный и гелиевый.

Каждый из этих спектров – это частокол цветных линий, разделенных широкими темными полосами. Наличие линейчатого спектра означает, что вещество излучает свет только вполне определенной длины волны.

Водородный: фиолетовый, голубой, зеленый, красный

Гелия: голубой, зеленый, желтый, красный.

Таким образом, мы доказали, что линейчатые спектры дают все вещества в атомарном газообразном состоянии. В этом случае свет излучают атомы, которые практически не взаимодействуют друг с другом. Это самый фундаментальный тип спектров. Изолированные атомы излучают строго определенные длины волн.