
ФИЗИКА

Решение упражнений к учебнику

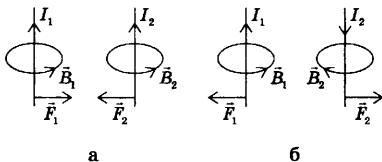
Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева



ГЛАВА 1 МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Упражнение 1.

1. Вокруг проводника с током создается магнитное поле, направление силовых линий которого определяется правилом буравчика. Действие этого поля на проводник с током определяется правилом правой руки (Закон Ампера).



Отсюда следует притяжение проводников, токи в которых текут в одну сторону (а) и отталкивание проводников, токи в которых текут в противоположные стороны (б).

2. Расположение проводников друг относительно друга изменяться не будет, т.к. в указанной геометрии сила Ампера равна 0.

3. Дано:

$$\begin{aligned}
 l &= 0,15 \text{ м} \\
 B &= 0,4 \text{ Тл} \\
 I &= 8 \text{ А} \\
 \sin \alpha &= 1 \\
 S &= 0,025 \text{ м}
 \end{aligned}$$

$$A = ?$$

Решение:

$$\begin{aligned}
 A &= F \cdot S; F = IB \sin \alpha; \\
 A &= IB \sin \alpha \cdot S; \\
 A &= 8 \text{ А} \cdot 0,4 \text{ Тл} \cdot 0,15 \text{ м} \cdot 0,025 \text{ м} = 0,012 \text{ Дж}.
 \end{aligned}$$

Ответ: $A = 0,012 \text{ Дж}$.

4. Вектор магнитной индукции одной пары катушек направлен горизонтально, другой — вертикально.

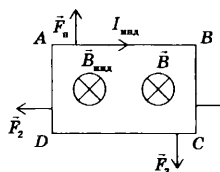
ГЛАВА 2 ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Упражнение 2.

- Т.к. по условию задачи ток в нижней катушке направлен против часовой стрелки, вектор магнитной индукции, вызванной этим током, направлен вверх (правило буравчика). По правилу Ленца в верхней катушке возникает индукционный ток с вектором магнитной индукции, направленным вниз. Сам ток направлен по часовой стрелке (правило буравчика).
- Направление индукционного тока в катушке будет зависеть от того, какой полюс магнита выдвигают из катушки. По правилу Ленца в катушке возникает ток такого направления, чтобы выдвигаемый полюс магнита притягивался обратно к катушке.
- На рис. 37 магнит вдвигается в кольцо полюсом N . Значит, по правилу Ленца в кольце возникает полюс N со стороны магнита, индукционный

ток течет против часовой стрелки (правило буравчика), если смотреть со стороны магнита.

4. $O \xrightarrow{I} O'$



Убывание силы тока в проводнике OO' вызывает уменьшение B , направленного от нас перпендикулярно плоскости рисунка (правило буравчика). По правилу Ленца это вызывает появление $\vec{B}_{\text{инд}} \parallel \vec{B}$. По правилу буравчика в контуре возникает $I_{\text{инд}}$, направленный по часовой стрелке. По правилу левой руки находим, что на каждую из сторон рамки действует сила, растягивающая рамку.

5. В момент замыкания цепи $|\vec{B}|$ тока, проходящего через катушку, увеличивается и пронизывает кольцо. По правилу Ленца в кольце возникает ток, стремящийся уменьшить $|\vec{B}|$, т.е. кольцо будет отталкиваться от катушки. В момент размыкания цепи катушки возникает противоположная картина, кольцо будет притягиваться к катушке.

6. По условию $I \sim t$, следовательно $B \sim t$. Т.к. $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$, $\Phi \sim t$ (все для первой катушки). Во второй катушке $\Phi \sim t$ и возникает $\mathcal{E}_i = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \text{const}$.

Также постоянен и ток индукции, возникающий во второй катушке: $I_i = \mathcal{E}_i / R = \text{const}$. По правилу Ленца I_i противоположен по направлению I . В то же время $I_i = \text{const}$ установится не сразу из-за явления самоиндукции.

7. Действие магнитоэлектрического прибора основано на взаимодействии контура с током и магнитного поля постоянного магнита. На контур с током действуют силы Ампера, создающие вращательный момент. При разомкнутых клеммах тока в контуре нет, контур совершает колебания, которые начались при включенном токе и затухают за счет трения. При замкнутых клеммах колебания затухают как за счет трения, так и за счет возникающего в контуре индукционного тока, т.е. быстрее.

8. Дано:

$$R = 3 \cdot 10^{-2} \text{ Ом};$$

$$\Delta t = 2 \text{ с};$$

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

$I = ?$

Решение:

$$\mathcal{E}_i = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|; \quad I = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = \frac{|\Delta \Phi|}{R \cdot \Delta t};$$

$$I = \frac{1,2 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}}{3 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \cdot 2 \text{ с}} = 0,2 \text{ А.}$$

Ответ: 0,2 А.

9. Дано:

$$v = 900 \text{ км/ч} =$$

$$= 250 \text{ м/с};$$

$$B_{\perp} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл};$$

$$l = 12 \text{ м}$$

$\mathcal{E}_i = ?$

Решение:

Самолет является проводником, движущимся в постоянном магнитном поле. На концах его крыльев возникает разность потенциалов, равная \mathcal{E}_i :

$$\mathcal{E}_i = v \cdot B_{\perp} \cdot l;$$

$$\mathcal{E}_i = 250 \text{ м/с} \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл} \cdot 12 \text{ м} = 0,15 \text{ В.}$$

Ответ: 0,15 В.

10. Дано:

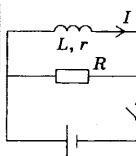
$$L = 0,15 \text{ Гн};$$

$$I = 4 \text{ А};$$

$$R \gg r$$

$$Q = ?$$

Решение:



В обоих случаях сила тока через катушку практически одинакова.

$$Q = W_m = \frac{LI^2}{2};$$

$$Q = \frac{0,15 \text{ Гн} \cdot (4 \text{ А})^2}{2} = 1,2 \text{ Дж.}$$

Ответ: 1,2 Дж.

ГЛАВА 3 МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Упражнение 3.

1. Дано:

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

$$\nu = 2 \text{ Гц}$$

$$K = ?$$

Решение:

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

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

$$K = 4\pi^2\nu^2 m; K = 4\pi^2 \cdot (2 \text{ Гц})^2 \cdot 0,1 \text{ кг} = 15,8 \text{ Н/м.}$$

Ответ: $K = 15,8 \text{ Н/м.}$

2. Дано:

$$l = 98 \text{ м};$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$$T = ?$$

Решение:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}};$$

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

Ответ: $T \approx 20 \text{ с.}$

3. Дано:

$$n_1 = 10;$$

$$n_2 = 6;$$

$$\Delta l = 16 \text{ см} = 0,16 \text{ м}$$

$$l_1 = ?$$

$$l_2 = ?$$

Решение:

$$n_1 \cdot T_1 = n_2 \cdot T_2; n_1 \cdot 2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}} = n_2 \cdot 2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}};$$

$$n_1 \cdot \sqrt{l_1} = n_2 \cdot \sqrt{l_2}; \frac{l_1}{l_2} = \frac{n_2^2}{n_1^2};$$

$$l_1 = l_2 \cdot \frac{n_2^2}{n_1^2} = l_2 \cdot \frac{36}{100} = 0,36 l_2; \left. \begin{array}{l} l_2 - l_1 = 0,16 \text{ м} \\ l_1 = 0,36 l_2 \end{array} \right\}$$

$$l_2 - 0,36 l_2 = 0,16 \text{ м};$$

$$0,64 l_2 = 0,16 \text{ м}; l_2 = 0,25 \text{ м};$$

$$l_1 = l_2 - 0,16 \text{ м} = 0,25 \text{ м} - 0,16 \text{ м} = 0,09 \text{ м.}$$

Ответ: $l_1 = 0,09 \text{ м}; l_2 = 0,25 \text{ м.}$

4. Дано:

$$\frac{M_3}{M_{\text{л}}} = 81;$$

$$\frac{R_3}{R_{\text{л}}} = 3,7;$$

$$m = \text{const};$$

$$l = \text{const}$$

$$\frac{T_3}{T_{\text{л}}} - ?$$

Решение:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}; \quad \frac{T_{\text{л}}}{T_3} = \sqrt{\frac{g_3}{g_{\text{л}}}}; \quad g_3 = \frac{\gamma M_3}{R_3^2};$$

$$g_{\text{л}} = \frac{\gamma M_{\text{л}}}{R_{\text{л}}^2}; \quad \frac{g_3}{g_{\text{л}}} = \left(\frac{R_{\text{л}}}{R_3}\right)^2 \cdot \frac{M_3}{M_{\text{л}}}; \quad \frac{T_{\text{л}}}{T_3} = \frac{R_{\text{л}}}{R_3} \sqrt{\frac{M_3}{M_{\text{л}}}};$$

$$\frac{T_{\text{л}}}{T_3} = \frac{1}{3,7} \sqrt{81} = 2,4 \text{ р.}$$

Ответ: увеличится в 2,4 р.

5. Шарик, подвешенный на нити, достигнет положения равновесия через

$$\text{промежуток времени } t_1 = T/4 = \frac{2\pi}{4} \sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{l}{g}} = 1,57 \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

 Шарик, свободно падающий из точки подвеса нити, достигнет того же положения равновесия через промежуток времени t_2 :

$$h = l = \frac{gt_2^2}{2}; \quad t_2 = \sqrt{\frac{2l}{g}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} = 1,4 \sqrt{\frac{l}{g}}; \quad t_1 < t_2.$$

6. Дано:

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

$$t = 2 \text{ с};$$

$$\nu = 5 \text{ Гц}$$

$$S - ?$$

Решение:

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{5 \text{ Гц}} = 0,2 \text{ с}; \quad N = \frac{t}{T}; \quad N = \frac{2 \text{ с}}{0,2 \text{ с}} = 10;$$

$$S_1 = x_m \cdot 4 = 0,04 \text{ м за 1 колебание}; \quad S = S_1 \cdot N;$$

$$S = 0,04 \text{ м} \cdot 10 = 0,4 \text{ м}.$$

 Ответ: $S = 0,4 \text{ м}.$

7. Дано:

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

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

$$K = 16 \text{ Н/м}$$

$$\omega - ?$$

$$W - ?$$

Решение:

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}}; \quad \omega = \sqrt{\frac{16 \text{ Н/м}}{0,2 \text{ кг}}} = 9 \text{ рад/с}; \quad W = \frac{Kx_m^2}{2};$$

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

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

 8. По аналогии с колебаниями нитяного маятника с $l = R$: $T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$.

9. Дано:

$$l = 8 \text{ м};$$

$$T_{\text{св}} = 1,5 \text{ с}$$

$$v - ?$$

Решение:

Фактически нужно определить, при какой скорости наступит явление резонанса:

$$v_{\text{св}} = v_{\text{выл}}; \quad v_{\text{св}} = \frac{l}{T_{\text{св}}}; \quad v_{\text{выл}} = \frac{v}{l};$$

$$v = v_{\text{выл}} \cdot l = v_{\text{св}} \cdot l = \frac{l}{T_{\text{св}}}; \quad v = \frac{8 \text{ м}}{1,5 \text{ с}} \cong 5,3 \text{ м/с}.$$

 Ответ: $v = 5,3 \text{ м/с}.$

ГЛАВА 4 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Упражнение 4.

1. Дано:

$$q = 10^{-5} \text{ Кл};$$

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

Q — ?

Решение:

$$Q = W_p = \frac{q^2}{2C}; \quad Q = \frac{(10^{-5} \text{ Кл})^2}{2 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Ответ: $Q = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$

2. Дано:

$$L = 0,003 \text{ Гн};$$

$$C = 13,4 \text{ пФ} =$$

$$= 1,34 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}$$

T — ?

Решение:

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

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

Ответ: $T = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$

3. Дано:

$$v_1 = 400 \text{ Гц};$$

$$v_2 = 500 \text{ Гц};$$

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

L_1 — ?

L_2 — ?

Решение:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}; \quad v = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}; \quad L = \frac{1}{C(2\pi v)^2};$$

$$L_1 = \frac{1}{10^{-5} \text{ Ф}(2\pi \cdot 400 \text{ Гц})^2} \cong 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ Гн} = 16 \text{ мГн};$$

$$L_2 = \frac{1}{10^{-5} \text{ Ф}(2\pi \cdot 500 \text{ Гц})^2} \cong 1 \cdot 10^{-2} \text{ Гн} = 10 \text{ мГн.}$$

Ответ: $10 \text{ мГн} \leq L \leq 16 \text{ мГн.}$

4. Дано:

$$n = 50 \text{ об/с} = 50 \text{ Гц};$$

$$S = 100 \text{ см}^2 = 0,01 \text{ м}^2;$$

$$B = 0,2 \text{ Тл}$$

\mathcal{E}_m — ?

Решение:

Согласно соотношениям § 31 $\alpha = 2\pi nt$;
 $\Phi = BS \cos 2\pi nt$; $\mathcal{E} = -\Phi' = -2\pi nBS \sin 2\pi nt$,
 откуда $\mathcal{E}_m = 2\pi nBS$;
 $\mathcal{E}_m = 2\pi \cdot 50 \text{ Гц} \cdot 0,2 \text{ Тл} \cdot 0,01 \text{ м}^2 \cong 0,63 \text{ В.}$

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

5. Дано:

$$S = 100 \text{ см}^2 = 0,01 \text{ м}^2;$$

$$\mathcal{E}_m = 1,4 \text{ В};$$

$$N = 200;$$

$$B = 0,15 \text{ Тл};$$

$$\tau = 0,1 \text{ с}$$

\mathcal{E}_τ — ?

Решение:

Решение задачи аналогично решению задачи №4 с учетом того, что при $t = 0$ $\alpha = 0$ и рамки, состоящей из N витков. Из соотношений § 31 для 1 витка: $\Phi_1 = BS \cos \omega t$; $\mathcal{E}_1 = -\Phi_1' = BS \omega \sin \omega t$.
 Для рамки из N витков
 $\mathcal{E}(t) = N\mathcal{E}_1 = NBS \omega \sin \omega t = \mathcal{E}_m \sin \omega t$; $\mathcal{E}_m = NBS \omega$;
 $\omega = \frac{\mathcal{E}_m}{NBS}$; $\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_m \sin \frac{\mathcal{E}_m}{NBS} t$; $t = \tau$;

$$\mathcal{E}_\tau = \mathcal{E}_m \sin \frac{\mathcal{E}_m}{NBS} \tau;$$

$$\mathcal{E}_\tau = 1,4 \sin \frac{1,4 \cdot 0,1}{200 \cdot 0,15 \cdot 0,01} \cong 0,63 \text{ (В)};$$

Ответ: $\mathcal{E}_\tau = 0,63 \text{ В.}$

6. Дано:

$$L = 0,08 \text{ Гн};$$

$$\nu = 1000 \text{ Гц};$$

$$U = 100 \text{ В}$$

 $I_m = ?$

Решение:

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

$$I_m = I \cdot \sqrt{2} = \frac{U \cdot \sqrt{2}}{2\pi\nu L} = \frac{U}{\sqrt{2}\pi\nu L};$$

$$I_m = \frac{100 \text{ В}}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot 1000 \text{ Гц} \cdot 0,08 \text{ Гн}} \approx 0,28 \text{ А.}$$

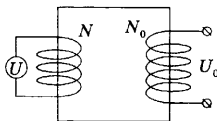
Ответ: $I_m \approx 0,28 \text{ А.}$

ГЛАВА 5 ПРОИЗВОДСТВО, ПЕРЕДАЧА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Упражнение 5.

1. Устройство индукционного генератора таково, что сердечник ротора вращается вокруг своей оси и магнитное поле направлено перпендикулярно оси. По правилу левой руки определяем силу Лоренца, действующую на электроны сердечника ротора. Возникающие вихревые токи направлены вдоль оси сердечника ротора. Для уменьшения потерь, вызванных вихревыми токами, стальные пластины сердечника ротора изолируют и располагают перпендикулярно его оси.
2. Согласно соотношениям, выведенным в § 31, ЭДС $\mathcal{E} = B \sin \alpha$, α — угол между нормалью к рамке и \vec{B} . Значит, ЭДС максимальна при $\sin \alpha = \pm 1$, т.е. при $\alpha = \pi/2$, т.е. при положении рамки параллельно линиям магнитной индукции.
3. Одну и ту же трансформаторную катушку можно заполнить проводом с большей толщиной и меньшим числом витков и проводом с меньшей толщиной и большим числом витков.

4.



Для определения числа витков обмотки трансформатора можно воспользоваться баллистическим методом. Для этого нужно собрать схему из эталонной катушки с известным числом витков N_0 , подключенной к источнику переменного напряжения U_0 , сердечника, исследуемой катушки с неизвестным числом витков N и вольтметра.

Получился трансформатор на холостом ходу, для которого имеет место

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

5. При подключении трансформатора к источнику постоянного тока (напряжения) по нему пройдет ток $I = U/R$, где R — активное сопротивление катушки. В единицу времени выделится количество тепла $Q = I^2 R = U^2/R$ (Закон Джоуля — Ленца). При подключении того же трансформатора к источнику переменного напряжения: $I' = U'/\omega L$, где ωL — индуктивное сопротивление катушки. Пусть $U = U'$, тогда $Q' = I'^2 R = \frac{U^2 R}{(\omega L)^2}$;

$\frac{Q}{Q'} = \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2$. Т.к. $\omega L \gg R$, $Q \gg Q'$. Это означает, что обмотки трансформатора, случайно подключенного к постоянному току, могут сгореть.

6. Рассмотрим катушку трансформатора, подключенную к источнику переменного напряжения с частотой ω и напряжением U . Активное сопротивление катушки R , индуктивность L ($R \ll \omega L$). $I = \frac{U}{\omega L}$;

$Q = I^2 R = \left(\frac{U}{\omega L}\right)^2 \cdot R$ — такое количество тепла выделяется в катушке, работающей в обычном режиме. При замыкании одного витка возникает переменная ЭДС индукции $\mathcal{E}_1 = \frac{U}{N-1}$, где N — число витков катушки.

Сопротивление витка $R_1 = R/N$, в нем течет ток $I_1 = \mathcal{E}_1/R_1 = \frac{U \cdot N}{(N-1)R} \approx \frac{U}{R}$,

т.к. $N \gg 1$. $Q_1 = I_1^2 R_1 = \frac{U^2}{R^2} \cdot \frac{R}{N} = U^2/RN$ — такое количество теплоты выделяется в витке, замкнутом накоротко. В обычном режиме в одном витке катушки выделяется количество теплоты $Q_1 = \frac{Q}{N} = \frac{U}{\omega L} \cdot \frac{R}{N}$; $\frac{Q_1}{Q'} = \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2$.

Т.к. $\omega L \gg R$, $Q_1 \gg Q_1'$ и трансформатор может сгореть.

7. Дано:

$$\begin{aligned} U_0 &= 11 \text{ кВ} = 1,1 \cdot 10^4 \text{ В}; \\ U_1 &= 110 \text{ кВ} = 1,1 \cdot 10^5 \text{ В}; \\ U_2 &= 35 \text{ кВ} = 3,5 \cdot 10^4 \text{ В}; \\ U_3 &= 6 \text{ кВ} = 6 \cdot 10^3 \text{ В}; \\ U_4 &= 220 \text{ В} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_1 & - ? \\ K_2 & - ? \\ K_3 & - ? \\ K_4 & - ? \end{aligned}$$

Решение:

$$K_1 = \frac{U_0}{U_1}; \quad K_1 = \frac{1,1 \cdot 10^4 \text{ В}}{1,1 \cdot 10^5 \text{ В}} = \frac{1}{10};$$

$$K_2 = \frac{U_1}{U_2}; \quad K_2 = \frac{1,1 \cdot 10^5 \text{ В}}{3,5 \cdot 10^4 \text{ В}} = \frac{22}{7};$$

$$K_3 = \frac{U_2}{U_3}; \quad K_3 = \frac{3,5 \cdot 10^4 \text{ В}}{6 \cdot 10^3 \text{ В}} = \frac{35}{6};$$

$$K_4 = \frac{U_3}{U_4}; \quad K_4 = \frac{6 \cdot 10^3 \text{ В}}{220 \text{ В}} = \frac{300}{11}.$$

Ответ: $K_1 = 1/10$; $K_2 = 22/7$;
 $K_3 = 35/6$; $K_4 = 300/11$.

ГЛАВА 6 МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

Упражнение 6.

1. Дано:

$$\begin{aligned} t &= 4 \text{ с}; \\ v &= 330 \text{ м/с} \\ S & - ? \end{aligned}$$

Решение:

$$2S = t \cdot v; \quad S = t \cdot v/2;$$

$$S = \frac{4 \text{ с} \cdot 330 \text{ м/с}}{2} = 660 \text{ м}.$$

Ответ: $S = 660 \text{ м}$.

2. Дано:

$$\begin{aligned} \tau &= 3 \text{ с}; \\ S &= 1060 \text{ м}; \\ v_{\text{воз}} &= 330 \text{ м/с} \end{aligned}$$

$$v_{\text{ст}} = ?$$

Решение:

$$t_{\text{воз}} = \frac{S}{v_{\text{воз}}}; \quad t_{\text{ст}} = \frac{S}{v_{\text{ст}}}; \quad t_{\text{воз}} - t_{\text{ст}} = \tau; \quad t_{\text{ст}} = t_{\text{воз}} - \tau;$$

$$v_{\text{ст}} = \frac{S}{t_{\text{ст}}} = \frac{S}{t_{\text{воз}} - \tau}; \quad t_{\text{воз}} = \frac{1060 \text{ м}}{330 \text{ м/с}} = 3,21 \text{ с};$$

$$v_{\text{ст}} = \frac{1060 \text{ м}}{3,21 \text{ с} - 3 \text{ с}} = 5048 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_{\text{ст}} = 5048 \text{ м/с}$.

3. Дано:

$$\begin{aligned} \lambda &= 7,175 \text{ м}; \\ T &= 0,005 \text{ с} \end{aligned}$$

$$v = ?$$

Решение:

$$\lambda = \frac{v}{\nu}; \quad \nu = \frac{1}{T}; \quad \nu = \frac{\lambda}{T}; \quad v = \frac{7,175 \text{ м}}{0,005 \text{ с}} = 1435 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v = 1435 \text{ м/с}$.

4. Дано:

$$\begin{aligned} x &= 25 \text{ см} = 0,25 \text{ м}; \\ v &= 680 \text{ Гц}; \\ v &= 340 \text{ м/с} \end{aligned}$$

$$\Delta\phi = ?$$

Решение:

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

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

Ответ: $\Delta\phi = 180^\circ$.

5. Дано:

$$\begin{aligned} v_{\text{воз}} &= 340 \text{ м/с} \\ v_{\text{вод}} &= 1435 \text{ м/с} \\ v_{\text{воз}} &= v_{\text{вод}} \end{aligned}$$

$$\lambda_{\text{воз}} / \lambda_{\text{вод}} = ?$$

Решение:

$$\lambda = \frac{v}{\nu}; \quad \frac{\lambda_{\text{воз}}}{\lambda_{\text{вод}}} = \frac{v_{\text{воз}}}{v_{\text{вод}}}; \quad \frac{\lambda_{\text{воз}}}{\lambda_{\text{вод}}} = \frac{340}{1435} = \frac{1}{4,2}.$$

Ответ: при переходе из воздуха в воду длина волны звука увеличивается в 4,2 р.

ГЛАВА 7 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Упражнение 7.

1. Дано:

$$\begin{aligned} L &= 2 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}; \\ C_1 &= 12 \text{ пФ} = \\ &= 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}; \\ C_2 &= 450 \text{ пФ} = \\ &= 4,5 \cdot 10^{-10} \text{ Ф} \end{aligned}$$

$$\lambda_1 = ?$$

$$\lambda_2 = ?$$

Решение:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{LC_1}}; \quad \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{LC_2}};$$

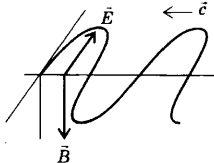
$$\lambda = \frac{c}{\nu}; \quad \nu = \frac{\omega}{2\pi}; \quad \lambda = \frac{2\pi c}{\omega};$$

$$\lambda_1 = 2\pi c \sqrt{LC_1}; \quad \lambda_2 = 2\pi c \sqrt{LC_2};$$

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

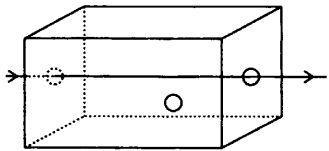
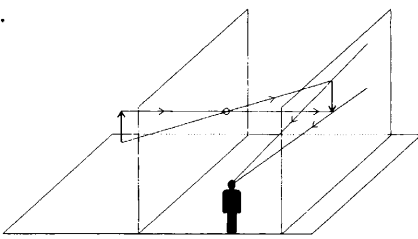
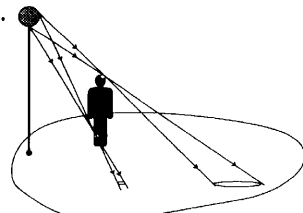
$$\lambda_2 = 2\pi \cdot 3 \cdot 10^8 \sqrt{2 \cdot 10^{-4} \cdot 4,5 \cdot 10^{-10}} \approx 565 \text{ (м)}.$$

Ответ: $\lambda_1 = 92 \text{ м}; \lambda_2 = 565 \text{ м}$.

2.  Антенна дипольного типа, изображенная на рис. 145 должна быть ориентирована так, чтобы ее перекладина была параллельна \vec{E} волны. Это необходимо для создания разности потенциалов между двумя частями антенны. Отсюда следует, что \vec{B} волны направлен вертикально.
3. Как известно, при распространении радиоволн на Земле существенную роль играет ее ионосфера. Особенно это относится к длинным, средним и коротким волнам. На Луне ионосферы нет, поэтому радиосвязь на таких волнах невозможна. Она возможна только на ультракоротких волнах.

ГЛАВА 8 СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ

Упражнение 8.

1.  Для того, чтобы увидеть пучок света через отверстие в передней стенке, нужно, чтобы в него попал свет. При указанных в задаче условиях свет в это отверстие не попадает. Если загрязнить в коробке воздух какими-либо рассеивающими свет частицами, через отверстие в передней стенке пучок увидеть можно.
2.  Явление объясняется сочетанием нескольких факторов: свет попадает в комнату через маленькое отверстие; далее он попадает на противоположную стену так, что отражается от нее и попадает в глаз человека. Возможный ход лучей показан на рисунке.
3.  Описанное явление объясняется двумя факторами: 1) фонарь как источник света имеет существенные размеры; 2) расстояние от головы человека до Земли больше, чем расстояние от ног до Земли. Это обуславливает разные размеры теней и разную степень их размытости.

4. Дано:

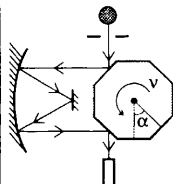
$$L = 71 \text{ км} = 7,1 \cdot 10^4 \text{ м};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$K = 8$$

$v = ?$

Решение:



Время, за которое свет доходит от источника до трубы $t = L/c$. Для того, чтобы источник был виден непрерывно, за это время призма должна повернуться на угол

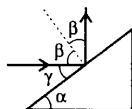
$$\alpha = \frac{2\pi}{K} \cdot n, \text{ где } n = 1, 2, 3 \dots$$

Отсюда $\frac{t}{T} = \frac{2\pi n}{K \cdot 2\pi}$; $v = \frac{1}{T} = \frac{n}{Kt} = \frac{c}{KL} n$;

$$v = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot n}{8 \cdot 7,1 \cdot 10^4 \text{ м}} \equiv 528 \cdot n \text{ Гц}$$

Ответ: $v = 528 \cdot n \text{ Гц}$.

5.



$$2\beta = 90^\circ; \beta = 45^\circ;$$

$$\alpha = \gamma; \gamma = 90^\circ - \beta = 45^\circ.$$

Зеркало нужно расположить под углом 45° к горизонту.

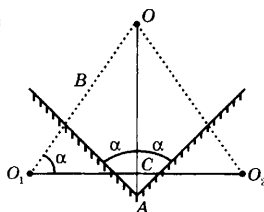
6. Дано:

$$2\alpha = 30^\circ;$$

$$OA = 10 \text{ см}$$

$O_1O_2 = ?$

Решение:



Из построения следует:

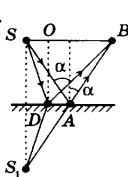
$$O_1O_2 = 2O_1C; O_1C = OO_1 \cdot \cos\alpha; OO_1 = 2OB =$$

$$= 2OA \cdot \sin\alpha; O_1C = 2OA \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha = OA \cdot \sin 2\alpha;$$

$$O_1O_2 = 2OA \cdot \sin 2\alpha; O_1O_2 = 2 \cdot 10 \text{ см} \cdot 0,5 = 10 \text{ см}.$$

Ответ: $O_1O_2 = 10 \text{ см}$.

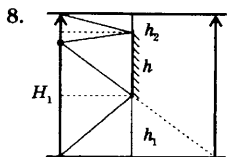
7.



1) Отложим на отраженном из т. А луче отрезок $AB = SA$. Из построения видно, что $\angle SBD < \angle SBA$; $\angle BSD > \angle BSA$. $\angle SBD \neq \angle BSD$; $\angle ODS = 90^\circ - \angle OSD$; $\angle ODB = 90^\circ - \angle OBD$; $\angle ODS \neq \angle ODB$. При падении луча в точку D и отражении его в точку B закон отражения не выполняется.

2) Построим т. S_1 , симметричную т. S относительно плоскости зеркала. Длина пути света через т. A: $SA + AB = S_1A + AB = L_1$. Длина пути света через т. D: $SD + DB = S_1D + DB = L_2$. $L_2 > L_1$ всегда, т.к. ломаная линия всегда длиннее прямой.

$$t_1 = L_1/c; t_2 = L_2/c; t_2 > t_1.$$



Введем обозначения:

H — высота человека;

H_1 — расстояние от пола до уровня глаз;

h_1 — расстояние от пола до нижней точки зеркала;

h_2 — расстояние от макушки до верхней точки зеркала;

h — высота зеркала.

Из построения следует:

$$h_1 = H_1/2; h_2 = (H - H_1)/2; h + h_1 + h_2 = H;$$

$$h = H - h_1 - h_2 = H - H_1/2 - (H - H_1)/2 = H/2.$$

Ответ: высота зеркала $H/2$; оно должно располагаться на расстоянии $H_1/2$ от пола.

9. Дано:

$$n_b = 1,33;$$

$$n_a = 2,42;$$

$$n_c = 1,63;$$

$$n_n = 1,31$$

$$n_{ва} = ?$$

$$n_{сл} = ?$$

Решение:

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2}; n_{ва} = \frac{n_b}{n_a}; n_{сл} = \frac{n_c}{n_n};$$

$$n_{ва} = \frac{1,33}{2,42} \approx 0,55; n_{сл} = \frac{1,63}{1,31} \approx 1,24.$$

Ответ: $n_{ва} \approx 0,55; n_{сл} \approx 1,24.$

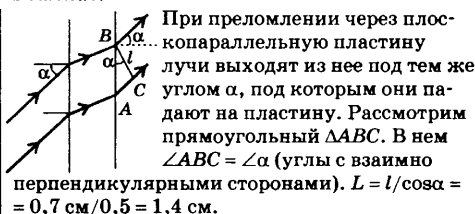
10. Дано:

$$\alpha = 60^\circ;$$

$$l = 0,7 \text{ см}$$

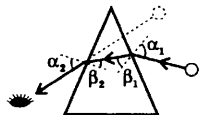
$$L = ?$$

Решение:



Ответ: $L = 1,4 \text{ см}.$

11.



Призма всегда изготавливается из материала более плотного, чем воздух. Вследствие этого луч, идущий от предмета, при входе в призму отклоняется к ее основанию ($\beta_1 < \alpha_1$). Этот же луч на выходе из призмы снова отклоняется к ее основанию ($\beta_2 < \alpha_2$). В результате изображение предмета, находящееся на продолжении вышедшего луча, находится выше самого предмета.

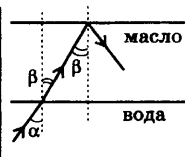
12. Дано:

$$n_b = 1,33$$

$$n_m = 1,52$$

Выйдет ли луч в воздух — ?

Решение:



Вычислим углы полного внутреннего отражения света на границе вода — воздух α_0 и масло — воздух β_0 :

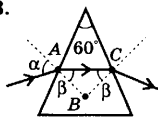
$$\alpha_0 = \arcsin \frac{1}{n_b}; \beta_0 = \arcsin \frac{1}{n_m}.$$

Т.к. по условию задачи $\alpha > \alpha_0$, $\sin \alpha > \sin \alpha_0$; $\sin \alpha > \frac{1}{n_n}$. При переходе такого

луча в масло $\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{n_n}{n_m}$; $\sin \beta = \frac{n_n}{n_m} \cdot \sin \alpha$; $\sin \alpha > \frac{1}{n_n}$; $\sin \beta > \frac{1}{n_m}$; $\sin \beta > \sin \beta_0$;

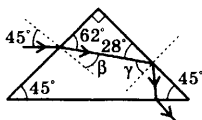
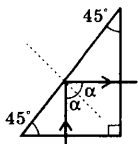
$\beta > \beta_0$. Луч попадает на границу масло — воздух под углом, большим угла внутреннего отражения и в воздух не выходит.

13. По условию задачи т. А и С равноотстоят от вершины призмы, значит луч АС параллелен основанию призмы. Рассмотрим $\triangle ABC$: он равнобедренный; $\angle ABC = 120^\circ$. Следовательно, $\beta = 30^\circ$. Для того, чтобы луч АС вышел из призмы, нужно, чтобы $\sin \beta > \frac{1}{n}$; $n < \frac{1}{\sin \beta}$; $n < 2$. $n_{\max} = 2$.



14. Вариант 1.

Призмы окружены воздухом. Примем $n_{ст} = 1,5$; $\alpha_0 = \arcsin(1/n_{ст}) \approx 41^\circ$. $\alpha = 45^\circ$, $\alpha > \alpha_0$ — полное внутреннее отражение;

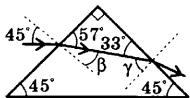
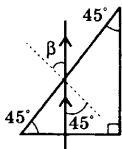


$\sin \beta = \frac{\sin 45^\circ}{n_{ст}} = 0,47$; $\beta = 28^\circ$, $\gamma = 62^\circ > \alpha_0$ — полное внутреннее отражение и выход через нижнюю грань.

Вариант 2.

Призмы окружены водой. $n_{стн} = \frac{1,5}{1,33} = 1,13$; $\alpha_0 = \arcsin(1/n_{стн}) = 62^\circ$;

$\alpha = 45^\circ$, $\alpha < \alpha_0$ — выход луча.



$\sin \beta = \frac{\sin 45^\circ}{1,13} = 0,54$; $\beta = 33^\circ$, $\gamma = 57^\circ$, $\gamma < \alpha_0$ — выход луча.

Упражнение 9.

1. Дано:

$d = 12,5 \text{ см};$

$l = 1 \text{ мм} = 0,1 \text{ см};$

$L = 2,4 \text{ см}$

$F = ?$

Решение:

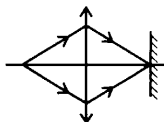
$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$; $F = \frac{d \cdot f}{d + f}$; Увеличение $\frac{L}{l} = \frac{f}{d}$;

$f = \frac{L \cdot d}{l}$; $F = \frac{dL}{l + L}$; $F = \frac{12,5 \cdot 2,4}{0,1 + 2,4} = 12(\text{см}).$

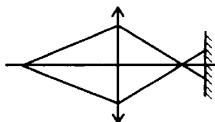
Ответ: $F = 12 \text{ см}.$

2. При закрывании правой половины линзы изображение останется тем же, т.к. взаимное расположение линзы, предмета и экрана не изменилось. Уменьшится число лучей, доходящих от предмета до экрана, т.е. яркость изображения.

3.



а) рис.

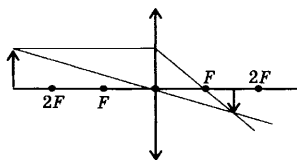


б) рис.

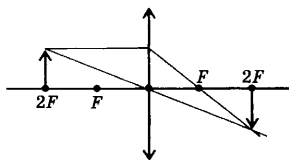
При настройке фотоаппарата на фотографирование лица (наводке на резкость) подбирается необходимое расстояние между линзой и пленкой (рис. а). Для отдаленного леса это приводит к тому, что изображением точки является пятно (рис. б), резкость отсутствует. Для резкого изображения леса нужно увеличить расстояние между линзой и пленкой, это следует из формулы линзы. Изображение лица станет расплывчатым.

4. Показатель преломления ткани глаза близок к показателю преломления воды. Лучи, попадающие в глаз, практически не преломляются. Эффект аналогичен дальновзоркости глаза, близкие предметы плохо различимы.

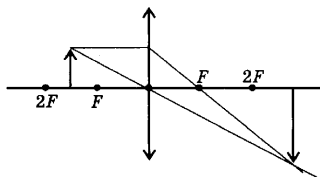
5.



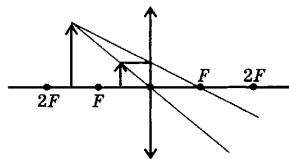
1) $d > 2F$



2) $d = 2F$

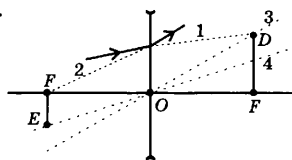


3) $F < d < 2F$



4) $d < F$

6.



Для определения F нужно провести следующие построения: продолжить падающий луч (1); продолжить преломленный луч (2); провести побочную оптическую ось, параллельную преломленному лучу (3); провести побочную оптическую ось, параллельную падающему лучу (4). Далее нужно найти точки пересечения прямых 1 и 3 (т. D) и прямых 2 и 4 (т. E). Перпендикуляры, опущенные из точек D и E на главную оптическую ось, определяют положение F .

1 и 3 (т. D) и прямых 2 и 4 (т. E). Перпендикуляры, опущенные из точек D и E на главную оптическую ось, определяют положение F .

7. Дано:

$$d = 1,8 \text{ м};$$

$$\Gamma = 1/5$$

$$F = ?$$

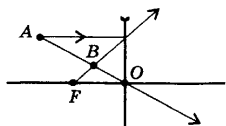
Решение:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}; \quad F = \frac{d \cdot f}{d + f}; \quad \Gamma = \frac{f}{d}; \quad f = \Gamma \cdot d;$$

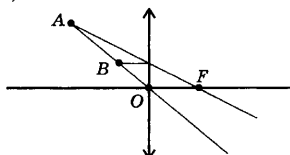
$$F = \frac{\Gamma d^2}{d + \Gamma d} = \frac{\Gamma d}{1 + \Gamma}; \quad F = \frac{0,2 \cdot 1,8 \text{ м}}{1 + 0,2} = 0,3 \text{ м}.$$

Ответ: $F = 0,3 \text{ м}$.

8. При построении основополагающими фактами является то, что источник и изображение находятся по одну сторону от оптической оси и расстояние от оптической оси до источника и изображения. Исходя из этого понятно, что в случае 1) фигурирует рассеивающая линза, в случае 2) — собирающая. В обоих случаях центр линзы находится на пересечении прямой, проходящей через источник и изображение, и оптической оси. Положение фокуса — см. рис. 1, 2.

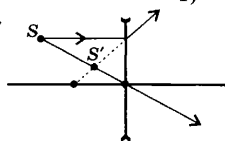


1)



2)

9.

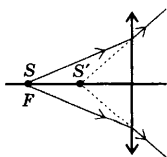


10. Дано:

$$d = F$$

$$f = ?$$

Решение:

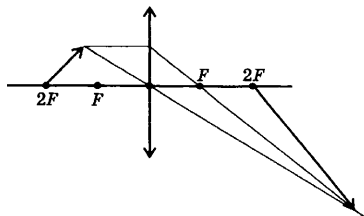


$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \quad \text{— формула рас-}$$

$$\text{сеивающей линзы. } f = \frac{F}{2}.$$

Ответ: $f = \frac{F}{2}$.

11.



Упражнение 10.

1. Дано:

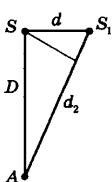
$$\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м};$$

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

$$D = 9 \text{ м}$$

Что в т. А — ?

Решение:



Разность хода для лучей из точек S и S₁: $\Delta d = d_2 - D$; $(d_2 - D) \times (d_2 + D) = d_2^2 - D^2$; $d_2 + D \approx 2D$;

$$d_2 - D = \frac{d_2^2 - D^2}{2D} = \frac{d^2}{2D};$$

$$\frac{d_2 - D}{\lambda} = \frac{d^2}{2D \cdot \lambda};$$

$\frac{d_2 - D}{\lambda} = \frac{(3 \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{2 \cdot 9 \text{ м} \cdot 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 1$ — это условие образования максимума в процессе интерференции волн, т.е. в т. А будет светлое пятно.

2.



пленка сбоку;



интерференционная картина при освещении пленки монохроматическим светом;



интерференционная картина при освещении пленки белым светом.

Мыльная пленка на рамке будет иметь разную толщину, сверху тоньше, снизу толще за счет силы тяжести. Световые лучи, падающие на пленку, будут отражаться от ее передней и задней поверхностей. Из-за разной толщины пленки разность хода световых лучей, попавших на различные участки пленки, будет неодинаковой. При освещении пленки монохроматическим светом будут возникать чередующиеся темные и светлые полосы. При освещении пленки белым светом на ней будет видна радужная пленка, т.к. разность хода лучей с разной длиной волны также зависит от толщины пленки.

3. При изменении отверстия в экране суммарная освещенность экрана не изменяется, а перераспределяется за счет явления дифракции света.

4. Дано:

$$d = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ см} =$$

$$= 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$\Delta\phi = 2 \text{ } 30'$$

 λ — ?

Решение:

$$d \sin\phi = k\lambda, \quad k = 1, 2 \dots$$

$$k = 1; \quad \sin\phi_1 = \frac{\lambda}{d} \ll 1; \quad \sin\phi_1 \sim \phi_1;$$

аналогично $\sin\phi_2 \sim \phi_2$ и $\sin\phi_3 \sim \phi_3$;

$$d(\sin\phi_3 - \sin\phi_2) = \lambda;$$

$$d(\phi_3 - \phi_2) = \lambda; \quad d \cdot \Delta\phi = \lambda \quad (\Delta\phi \text{ — в радианах});$$

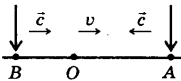
$$2 \text{ } 30' = 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ рад};$$

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

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

ГЛАВА 9 ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Упражнение 11.

1.  Т.к. наблюдатель в поезде увидел удары молнии от т. А и В одновременно, то $OA = (c + v) \cdot t$; $OB = (c - v) \cdot t$. Следовательно, $OB < OA$, и неподвижный наблюдатель в т. О сначала увидит молнию в т. В.

2. Дано:

$$\frac{m}{m_0} = 40000 = 4 \cdot 10^4;$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$\Delta v = ?$

Решение:

$$\Delta v = c - v; m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0 c}{\sqrt{c^2 - v^2}};$$

$$c^2 - v^2 = (c - v)(c + v) \approx 2c(c - v) = 2c\Delta v;$$

$$m = \frac{m_0 c}{\sqrt{2c \cdot \Delta v}}; \Delta v = \frac{c}{2} \left(\frac{m_0}{m} \right)^2;$$

$$\Delta v = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot (4 \cdot 10^4)^2} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 0,1 \text{ м/с.}$$

Ответ: $\Delta v = 0,1 \text{ м/с.}$

3. Дано:

$$m = 1 \text{ кг};$$

$$\Delta T = 50 \text{ К};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$C_B = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{кг}}$$

$\Delta m = ?$

Решение:

При нагревании воды ее энергия увеличивается на $\Delta E = C_B m \Delta T$; $E = mc^2$; $\Delta E = c^2 \Delta m$;

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{C_B m \Delta T}{c^2};$$

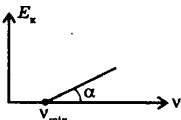
$$\Delta m = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 50}{(3 \cdot 10^8)^2} \text{ кг} \approx 2,3 \cdot 10^{-12} \text{ кг.}$$

Ответ: $\Delta m = 2,3 \cdot 10^{-12} \text{ кг.}$

4. Электрон в среде может двигаться со скоростью, превышающей скорость света в среде. Предельной для него является скорость света в вакууме.

ГЛАВА 11 СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ

Упражнение 12.

1.  Для фотоэлектрона $h\nu = A + E_K$; $E_K = h\nu - A$;
 $v_{\min} = \frac{A}{h}$ — красная граница фотоэффекта
 $h = \frac{E_K + A}{\nu} = \text{tg} \alpha.$

2. Дано:

$$E = 4,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

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

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

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

$$n = ?$$

Решение:

$$n = \frac{c}{v}; \quad v = \nu \cdot \lambda;$$

$$\nu = \frac{E}{h}; \quad n = \frac{ch}{E \cdot \lambda};$$

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

Ответ: $n \approx 1,5$.

3. Дано:

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

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

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$E = ?$$

Решение:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda};$$

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

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

5. Дано:

$$A = 3,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

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

$$v_{\min} = ?$$

Решение:

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

$$h\nu_{\min} = A; \quad v_{\min} = A/h;$$

$$v_{\min} = \frac{3,3 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} \text{ с}^{-1} \approx 5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}.$$

Ответ: $v_{\min} = 5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.

6. Дано:

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

$$v_{\min} = 4,3 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$E_K = ?$$

Решение:

$$h\nu = A + E_K; \quad h\nu_{\min} = A; \quad \nu = \frac{c}{\lambda};$$

$$E_K = h \left(\frac{c}{\lambda} - v_{\min} \right);$$

$$E_K = 6,63 \cdot 10^{-34} \left(\frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{-7}} - 4,3 \cdot 10^{14} \right) \text{ Дж} \approx 3,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Ответ: $E_K = 3,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

7. Дано:

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

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

$$p = ?$$

Решение:

$$p = \frac{h}{\lambda};$$

$$p = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 1,325 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: $p = 1,325 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

ГЛАВА 12
АТОМНАЯ ФИЗИКА

Упражнение 13.

1. Дано:

$$r_0 = \frac{\hbar^2}{kme^2};$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2};$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг};$$

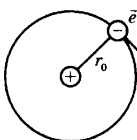
$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл};$$

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

$$v - ?$$

$$a - ?$$

Решение:



$$F_K = ma;$$

$$F_K = k \frac{e^2}{r_0^2};$$

$$a = \frac{F_K}{m} = \frac{ke^2}{r_0^2 \cdot m} = \frac{k^3 me^6}{\hbar^4};$$

$$a = \frac{(9 \cdot 10^9)^3 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^6}{(1,05 \cdot 10^{-34})^4} \frac{\text{М}}{\text{с}^2} = 10^{23} \text{ М/с}^2;$$

$$a = \frac{v^2}{r_0}; \quad v = \sqrt{a \cdot r_0} = \sqrt{\frac{ke^2}{r_0 m}} = \frac{ke^2}{\hbar};$$

$$v = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2}{1,05 \cdot 10^{-34}} \frac{\text{М}}{\text{с}} \approx 2 \cdot 10^6 \text{ М/с}.$$

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

2. Дано:

$$v = 10^9 \text{ см/с} = 10^7 \text{ М/с};$$

$$m = 6,7 \cdot 10^{-24} \text{ г} =$$

$$= 6,7 \cdot 10^{-27} \text{ кг};$$

$$q_\alpha = 2e;$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл};$$

$$q_{Sn} = 50e;$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

$$r_{\min} - ?$$

Решение:

На расстоянии r_{\min} вся кинетическая энергия α -частицы превращается в потенциальную энергию кулоновского взаимодействия с ядром олова: $W_k = W_p$;

$$W_k = \frac{mv^2}{2}; \quad W_p = k \frac{q_\alpha q_{Sn}}{r_{\min}};$$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{kq_\alpha q_{Sn}}{r_{\min}}; \quad r_{\min} = \frac{2kq_\alpha q_{Sn}}{mv^2};$$

$$r_{\min} = \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 100 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2}{6,7 \cdot 10^{-27} \cdot 10^{14}} \text{ м} = 6,9 \cdot 10^{-14} \text{ м}.$$

Ответ: $r_{\min} = 6,9 \cdot 10^{-14} \text{ м}$

3. Дано:

$$E_4 = -0,85 \text{ эВ};$$

$$E_2 = -3,4 \text{ эВ};$$

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

$$\lambda - ?$$

Решение:

$$E_4 - E_2 = \frac{hc}{\lambda};$$

$$\lambda = \frac{hc}{E_4 - E_2};$$

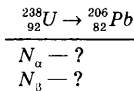
$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{(3,4 - 0,85) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ м} \approx 4,9 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

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

ГЛАВА 13 ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

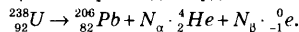
Упражнение 14.

1. Дано:



Решение:

Цепочка распадов будет выглядеть так:



При каждом α -распаде заряд ядра уменьшается на 1: $92 = 82 - 2N_\alpha + N_\beta$ (1).

При каждом α -распаде масса ядра уменьшается на 4, а при β -распаде — не изменяется: $238 = 206 + 4N_\alpha$ (2).

Решая совместно (1) и (2), получаем: $N_\alpha = 8$; $N_\beta = 6$.

Ответ: $N_\alpha = 8$; $N_\beta = 6$.

2. Дано:

$$T = 1600 \text{ лет};$$

$$K = 4$$

$$t = ?$$

Решение:

$$N = N_0 2^{-t/T}; \log_2 \left(\frac{N}{N_0} \right) = -\frac{t}{T};$$

$$t = -T \log_2 \left(\frac{N}{N_0} \right); \frac{N}{N_0} = \frac{1}{K};$$

$$t = T \log_2 K; t = 1600 \cdot \log_2 4 \text{ лет} = 3200 \text{ лет}$$

Ответ: $t = 3200$ лет.

3. Дано:

$$T = 3,82 \text{ сут}$$

$$t = 1,91 \text{ сут}$$

$$N_0/N = ?$$

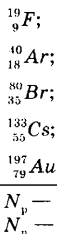
Решение:

$$N = N_0 2^{-t/T}; \frac{N}{N_0} = 2^{-t/T};$$

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

Ответ: $N_0/N \approx 1,41$.

4. Дано:



Решение:

В обозначении ${}_n^m\text{Z}$

n — число протонов в ядре

$m - n$ — число нейтронов в ядре

Отсюда:

элемент	N_p	N_n
F	9	10
Ar	18	22
Br	35	45
Cs	55	78
Au	79	118

5. Дано:

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

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

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

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

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$E_{cb} = ?$$

Решение:

$$E_{cb} = c^2 \cdot \Delta M; \Delta M = m_p + m_n - m_D;$$

$$E_{cb} = c^2 \cdot (m_p + m_n - m_D);$$

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

Ответ: $E_{cb} \approx 2,2 \text{ МэВ}.$

6. ${}^{11}_5\text{B} + {}^1_1\text{p} = {}^8_4\text{Be} + {}^m_n\text{Z};$

Закон сохранения заряда: $5 + 1 = 4 + n; n = 2;$

Закон сохранения массы: $11 + 1 = 8 + m; m = 4;$

${}^4_2\text{Z}$ — ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$ (α -частица).

7. Дано:

$${}^{235}_{92}\text{U}; {}^{142}_{56}\text{Ba}; {}^{91}_{36}\text{Kr};$$

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

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

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

$$E = ?$$

Решение:

$${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} = {}^{142}_{56}\text{Ba} + {}^{91}_{36}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n};$$

$$A_U = 235; A_{Ba} = 142; A_{Kr} = 91;$$

$$A_U \cdot E_{cbU} = A_{Ba} \cdot E_{cbBa} + A_{Kr} \cdot E_{cbKr} + E;$$

$$E = A_U \cdot E_{cbU} - A_{Ba} \cdot E_{cbBa} - A_{Kr} \cdot E_{cbKr};$$

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

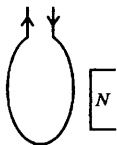
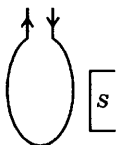
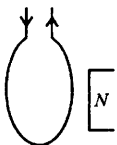
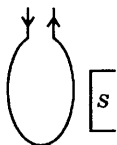
Ответ: $E \approx 200 \text{ МэВ}$

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа 1

Наблюдение действия магнитного поля на ток.

Как известно, рамка с током представляет собой магнит, направление магнитных силовых линий которого определяется правилом буравчика. Исходя из того, что ток в рамке может проходить в одном из двух направлений, а магнит к рамке может быть поднесен одним из 2 полюсов, получаем 4 варианта взаимодействия рамки с магнитом:



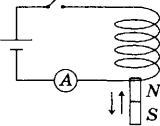
1) притяжение 2) отталкивание 3) отталкивание 4) притяжение.

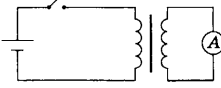
Лабораторная работа 2

Изучение явления электромагнитной индукции.

Явление электромагнитной индукции состоит в возникновении ЭДС индукции (и, следовательно, электрического тока) в замкнутом контуре при изменении магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром. Согласно правилу Ленца, индукционный ток имеет такое направление, при котором собственное магнитное поле контура противодействует изменению индуцирующего магнитного потока. Судить о направлении индукционного тока можно по направлению отклонения стрелки миллиамперметра, включенного в цепь контура.

Пример выполнения работы.

1.  Вдвигая и выдвигая магнит, увеличиваем или уменьшаем магнитный поток, пронизывающий катушку. Стрелка амперметра отклоняется в разные стороны, это подтверждает правило Ленца.

2.  Аналогичный эксперимент, но изменение магнитного потока через катушку 2 вызывается замыканием и размыканием ключа в цепи катушки 1. Стрелка амперметра при этом также отклоняется в разные стороны, что подтверждает правило Ленца.

Лабораторная работа 3

Определение ускорения свободного падения при помощи маятника.

Один из способов определения ускорения свободного падения — с помощью маятника. Если маятник — небольшой шарик на длинной нити и его отклонения от положения равновесия невелики, то $T = 2\pi\sqrt{l/g}$. Для точного определения T нужно измерять время t , за которое происходит N колебаний.

$$\text{Тогда } T = \frac{t}{N}; \quad g = \frac{4\pi^2 l N^2}{t^2} = \left(\frac{2\pi N}{t}\right)^2 \cdot l;$$

Пример выполнения работы:

Измеряется время 40 колебаний маятника длиной 0,56 м.

N опыта	t , с	$t_{\text{ср}}$, с	Δt , с	$\Delta t_{\text{ср}}$, с
1	59	60	1	1
2	60		0	
3	60		0	
4	61		1	
5	58		2	
6	62		2	

$$t_{\text{ср}} = \frac{\sum t_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^6 t_i}{6}; \quad \Delta t_i = |t - t_i|; \quad \Delta t_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^6 |t - t_i|}{6}; \quad \varepsilon_i = \frac{\Delta t_{\text{ср}}}{t_{\text{ср}}};$$

$$g_{\text{ср}} = \left(\frac{2\pi N}{t_{\text{ср}}} \right)^2 l; \quad \Delta g = \varepsilon_g \cdot g_{\text{ср}}; \quad \varepsilon_g = 2\varepsilon_n + 2\varepsilon_l + \varepsilon_t; \quad \varepsilon_n \ll \varepsilon_l, \varepsilon_t;$$

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l_{\text{л}} + \Delta l_{\text{отс}}}{l} = \frac{0,05\text{м} + 0,05\text{м}}{0,56\text{м}} = 0,18; \quad \varepsilon_t = \frac{1\text{с}}{60\text{с}} = 0,017;$$

$$\varepsilon_g = 0,18 + 2 \cdot 0,017 \approx 0,2; \quad g_{\text{ср}} = \left(\frac{2\pi \cdot 40}{60} \right)^2 \cdot 0,56 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 9,83 \frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$\Delta g = 9,83 \cdot 0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 1,97 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad 9,83 - 1,97 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right) \leq g \leq 9,83 + 1,97 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right);$$

$g = 9,8$ принадлежит к полученному интервалу.

Лабораторная работа 4 Изменение показателя преломления стекла.

Цель работы: измерить показатель преломления стекла относительно воздуха с помощью трапецеидальной стеклянной пластинки.

Из рис. 273 учебника следует, что искомым показателем преломления стекла относительно воздуха $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{AE}{DC}$; относительная погрешность измерения n :

$\varepsilon = \frac{\Delta AE}{AE} + \frac{\Delta DC}{DC}$; максимальная абсолютная погрешность измерения n : $\Delta n = n \cdot \varepsilon$.

Приблизительный ход работы.

Измерено		Вычислено				
AE, мм	DC, мм	n	ΔAE , мм	ΔDC , мм	ε , %	Δn
33	22	1,50	2	2	15	0,22
22	14	1,57			23	0,36

Вычисления: $n_1 = AE_1/DC_1 = 33 \text{ мм}/22 \text{ мм} = 1,50$;

$$n_2 = AE_2/DC_2 = 22 \text{ мм}/14 \text{ мм} = 1,57;$$

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

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta AE_1}{AE_1} + \frac{\Delta DC_1}{DC_1} = \frac{2\text{мм}}{33\text{мм}} + \frac{2\text{мм}}{22\text{мм}} = 0,15;$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta AE_2}{AE_2} + \frac{\Delta DC_2}{DC_2} = \frac{2\text{мм}}{22\text{мм}} + \frac{2\text{мм}}{14\text{мм}} = 0,23;$$

$$\Delta n_1 = n_1 \cdot \varepsilon_1 = 1,5 \cdot 0,15 \approx 0,22; \quad \Delta n_2 = n_2 \cdot \varepsilon_2 = 1,57 \cdot 0,23 \approx 0,36;$$

$$1,50 - 0,22 \leq n_1 \leq 1,50 + 0,22;$$

$$1,57 - 0,36 \leq n_2 \leq 1,57 + 0,36;$$

Вывод: относительный коэффициент преломления не зависит от угла падения света.

Контрольный вопрос: предпочтительнее метод, использованный в работе, его погрешность измерений меньше.

Лабораторная работа 5
Определение фокусного расстояния
и оптической силы собирающей линзы.

В работе мы используем тонкую линзу, для которой справедливо соотношение: $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$; оптическая сила линзы $D = \frac{1}{F}$.

Если измерить расстояние d от предмета до линзы и расстояние f от изображения предмета до линзы, можно вычислить F и D .

Образец выполнения работы:

N опыта	$f, 10^{-3}$ м	$f_{\text{cp}}, 10^{-3}$ м	$d, 10^{-3}$ м	$D_{\text{cp}},$ дптр	$F_{\text{cp}},$ м
1	201	200	500	7	0,143
2	203				
3	196				

Вычисления:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_{\text{cp}}}; \quad F_{\text{cp}} = \frac{200 \cdot 500}{200 + 500} \text{ мм} \cong 143 \text{ мм} = 0,143 \text{ м};$$

$$D_{\text{cp}} = \frac{1}{F_{\text{cp}}} = \frac{1}{0,143 \text{ м}} \cong 7 \text{ дптр.} \quad \Delta D = \frac{\Delta_1}{d^2} + \frac{\Delta_2}{f^2};$$

$$\text{при толщине линзы } h = 5 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \rightarrow \Delta_1 = \frac{h}{2}; \quad \Delta_2 = h;$$

$$\Delta D = \frac{h}{2d^2} + \frac{h}{f^2} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \left(\frac{1}{2 \cdot (0,5 \text{ м})^2} + \frac{1}{(0,2 \text{ м})^2} \right) \approx 0,14 \text{ дптр.}$$

$$(7 - 0,14) \text{ дптр} \leq D \leq (7 + 0,14) \text{ дптр.}$$