# ПРАКТИКУМ
# ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ
# К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО РАЗДЕЛАМ
# «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ», «КОЛЕБАНИЯ»

ОМСК 2022

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Омский государственный университет путей сообщения

# ПРАКТИКУМ
# ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО РАЗДЕЛАМ «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ», «КОЛЕБАНИЯ»

Утверждено методическим советом университета
в качестве учебно-методического пособия для самостоятельной работы
студентов первого курса очной формы обучения

Омск 2022

УДК 537.2 (075.8)
ББК 22.331я73
Г32

**Практикум для самостоятельной подготовки студентов к решению задач по разделам «Электричество и магнетизм», «Колебания»**: Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов по физике / С. А. Гельвер, И. А. Дроздова, Р. С. Курманов, В. Л. Литневский, Ю. М. Сосновский, С. В. Вознюк; Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2022. 36 с.

Практикум содержит примеры решения задач по разделам «Электростатика», «Законы постоянного тока», «Электромагнетизм», «Колебания» дисциплины «Физика». Представлены примеры решения задач и задания для самостоятельной работы студентов. В приложении приведены необходимые справочные данные для решения задач.

Предназначен для студентов первого курса всех специальностей.

Библиогр.: 8 назв. Табл. 5. Рис. 10. Прил. 1.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доцент В. В. Дмитриев;
канд. техн. наук, доцент Т. В. Ковалева.

ОГЛАВЛЕНИЕ

## ВВЕДЕНИЕ

При изучении курса физики большое значение имеет самостоятельная работа. Самостоятельное решение задач по изучаемому разделу физики позволяет глубже понять физические законы, развивает навыки применения теоретических знаний для решения практических задач.

Целью настоящего практикума является оказание помощи студентам в освоении методов решения типовых физических задач по разделам «Электричество и магнетизм», «Колебания». Практикум содержит два основных раздела: примеры решения задач и задачи для самостоятельной работы. В нем представлены примеры решения задач по электростатике, законам постоянного тока, магнетизму и колебаниям.

Перед решением задач следует изучить теоретический материал по соответствующей теме. Теоретические сведения, необходимые для решения задач, можно почерпнуть из учебников [1 – 5], помогут также конспекты лекций и практических занятий.

В результате внимательного прочтения условия задачи необходимо прежде всего понять, какие физические явления или процессы описаны в данной задаче. Затем рекомендуется изучить примеры решения задач по данной теме, представленные в настоящем пособии, и просмотреть конспект практического занятия по данной теме. После этого следует переписать в тетрадь условие задачи полностью и кратко (столбиком), правильно обозначить используемые величины и рационально расставить индексы (это рекомендуется сделать после того, как выполнен рисунок), перевести единицы измерения всех величин в единицы системы СИ.

Задачи рекомендуется решать в общем виде, т. е. сначала получить формулу для искомой величины, а затем подставить в нее численные данные. Такой подход позволяет выработать общие приемы решения задач по каждому разделу физики.

Решение задачи необходимо сопровождать краткими пояснениями. На занятии по контролю самостоятельной работы студент должен быть готов дать исчерпывающие пояснения по всему ходу решения задачи.

Получив численное значение искомой величины, необходимо оценить его правдоподобность там, где это возможно. Например, модуль заряда частицы не может получиться меньше элементарного заряда, а скорость частицы – больше скорости света.

В течение семестра в рамках контроля самостоятельной работы студент должен решить восемь задач, номера которых определяются по таблице вариантов. **Номер варианта студент определяет по двум последним цифрам шифра в зачетной книжке.** Студенты, имеющие две последние цифры шифра 51, 52, …, выполняют, соответственно, вариант 1, 2, ... . Если две последние цифры 00, то выполняется вариант 50.

## 1. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

З а д а ч а 1. Бесконечная заряженная плоскость с поверхностной плотностью заряда 6,00 нКл/м$^2$ расположена перпендикулярно бесконечно длинной заряженной нити с линейной плотностью заряда –5,00 нКл/м. На биссектрисе угла между плоскостью и нитью на расстоянии 500 мм от вершины угла находится точечный заряд –10,0 нКл. Найти величину и направление напряженности электрического поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от его вершины на расстоянии 100 мм; разность потенциалов электрического поля между двумя точками, расположенными на биссектрисе угла на расстоянии 100 и 300 мм от вершины.

| Дано: | СИ |
|---|---|
| $\sigma$ = 6,00 нКл/м$^2$ | $6\cdot10^{-9}$ Кл/м$^2$ |
| $\tau = -5{,}00$ нКл/м | $-5\cdot10^{-9}$ Кл/м |
| $q = -10{,}0$ нКл | $-10\cdot10^{-9}$ Кл |
| a = 100 мм | 0,1 м |
| b = 300 мм | 0,3 м |
| c = 500 мм | 0,5 м |
| $\alpha$ = 45 $^{\circ}$ | |
| $\vec{E}$ – ? | |
| $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – ? | |

*Решение.*

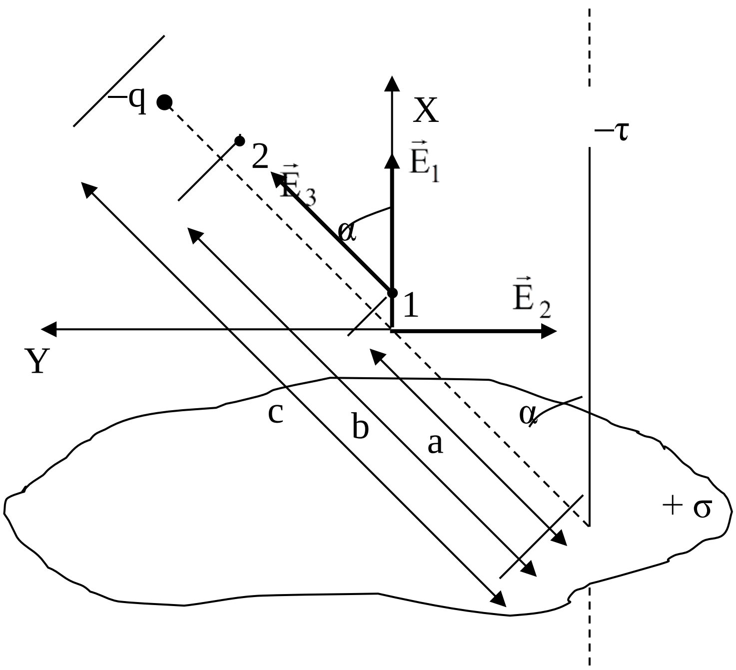



Рис. 1.1

Электрическое поле создается тремя заряженными телами: бесконечной плоскостью, бесконечно длинной нитью и точечным зарядом. В точке 1 (рис. 1.1), лежащей на биссектрисе угла на расстоянии a, равном 10 см, от вершины, определяем направление векторов напряженности $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$, $\vec{E}_3$ электрического поля, созданного плоскостью ($\vec{E}_1$), заряженной нитью ($\vec{E}_2$) и точечным зарядом ($\vec{E}_3$). Результирующую напряженность $\vec{E}$ в этой точке найдем по принципу суперпозиции электрических полей:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3. \qquad (1.1)$$

Для записи векторного уравнения (1.1) в скалярной форме выбираем инерциальную систему отсчета и находим проекции всех векторов на координатные оси:

$$\begin{cases} E_x = \quad E_1 + E_3 \cos\alpha; \\ E_y = -E_2 + E_3 \sin\alpha. \end{cases} \qquad (1.2)$$

Значение напряженности полей, создаваемых каждым электрическим зарядом, вычислим по формулам:

для бесконечной заряженной плоскости –

$$E_1 = 2\,\pi\, k_e |\sigma|, \qquad (1.3)$$

где $k_e = 9 \cdot 10^9 \dfrac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$ – электрическая постоянная (см. прил.);

для бесконечно длинной заряженной нити –

$$E_2 = k_e \frac{2\,|\tau|}{a_y}, \qquad (1.4)$$

где $a_y = a \sin\alpha$ – кратчайшее расстояние от нити до точки 1;

для точечного электрического заряда –

$$E_3 = k_e \frac{|q|}{(c - a)^2}. \qquad (1.5)$$

С учетом формул (1.3) – (1.5) получим:

$$\begin{cases} E_x = k_e \left( 2\,\pi\,|\sigma| + \dfrac{|q|}{(c - a)^2} \cos\alpha \right); \\ E_y = k_e \left( -\dfrac{2\,|\tau|}{a \cdot \sin\alpha} + \dfrac{|q|}{(c - a)^2} \sin\alpha \right). \end{cases} \qquad (1.6)$$

Производим вычисления:

$$E_x = 9 \cdot 10^9 \left( 2\pi \cdot 6 \cdot 10^{-9} + \frac{10 \cdot 10^{-9}}{(0{,}5 - 0{,}1)^2} \cos 45^\circ \right) = 737 \text{ (В/м)};$$

$$E_y = 9\cdot 10^9\left(-\frac{2\cdot 5\cdot 10^{-9}}{0{,}1\sin 45^o} + \frac{10\cdot 10^{-9}}{(0{,}5 - 0{,}1)^2}\sin 45^o\right) = -875 \text{ (В/м)}.$$

Величину напряженности в точке 1 найдем по формуле:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}; \tag{1.7}$$

$$E = \sqrt{(737)^2 + (-875)^2} = 1144 \text{ (В/м)}.$$

Для вычисления разности потенциалов между точками 1 и 2 электрического поля воспользуемся связью между разностью потенциалов поля и напряженностью этого поля

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_L \vec{E}\, d\vec{r} \tag{1.8}$$

и принципом суперпозиции электрических полей (потенциал результирующего электрического поля в точке равен алгебраической сумме потенциалов полей, создаваемых в этой точке отдельными зарядами).

Разность потенциалов между точками 1 и 2, создаваемая заряженной плоскостью, можно вычислить по формуле:

$$(\varphi_1 - \varphi_2)_1 = \int_{x_1}^{x_2} E_1 dx = 2\pi k_e \sigma (x_2 - x_1), \tag{1.9}$$

где $x_1$ и $x_2$ – кратчайшее расстояние от плоскости до точек 1 и 2;

$x_2 - x_1 = (b - a)\cos\alpha$.

Разность потенциалов между точками 1 и 2, создаваемая заряженной нитью, рассчитывается по уравнению:

$$(\varphi_1 - \varphi_2)_2 = \int_{a_y}^{b_y} E_2 dy = 2 k_e \tau \int_{a_y}^{b_y} \frac{dy}{y} = 2 k_e \tau \ln\frac{b_y}{a_y}, \tag{1.10}$$

где $b_y$ и $a_y$ – кратчайшее расстояние от нити до точек 1 и 2; $b_y = b\sin\alpha$; $a_y = a\sin\alpha$.

Разность потенциалов в точках 1 и 2, создаваемая точечным зарядом, вычисляется по выражению:

$$(\varphi_1 - \varphi_2)_3 = \int_{r_1}^{r_2} E_3 dr = k_e q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = k_e \frac{q}{r_1} - k_e \frac{q}{r_2}, \qquad (1.11)$$

где $r_1$ и $r_2$ – кратчайшее расстояние от точечного заряда до точек 1 и 2; $r_1$ = c – a = = 0,4 (м); $r_2$ = c – b = 0,2 (м).

Результирующая разность потенциалов $(\varphi_1 - \varphi_2)$ электрического поля между точками 1 и 2 в соответствии с принципом суперпозиции вычисляется по формуле:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = (\varphi_1 - \varphi_2)_1 + (\varphi_1 - \varphi_2)_2 + (\varphi_1 - \varphi_2)_3. \qquad (1.12)$$

Из-за громоздкости формулы (1.12) проведем вычисления слагаемых по отдельности:

$$(\varphi_1 - \varphi_2)_1 = 2\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 6 \cdot 10^{-9} \cdot (0{,}3 - 0{,}1) \cdot \cos 45^{\circ} = 48 \text{ (В)};$$

$$(\varphi_1 - \varphi_2)_2 = 2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot (-5 \cdot 10^{-9}) \cdot \ln \frac{0{,}3}{0{,}1} = -99 \text{ (В)};$$

$$(\varphi_1 - \varphi_2)_3 = 9 \cdot 10^9 \cdot \left(-10 \cdot 10^{-9}\right) \cdot \left(\frac{1}{0{,}4} - \frac{1}{0{,}2}\right) = 225 \text{ (В)}.$$

Окончательный результат:

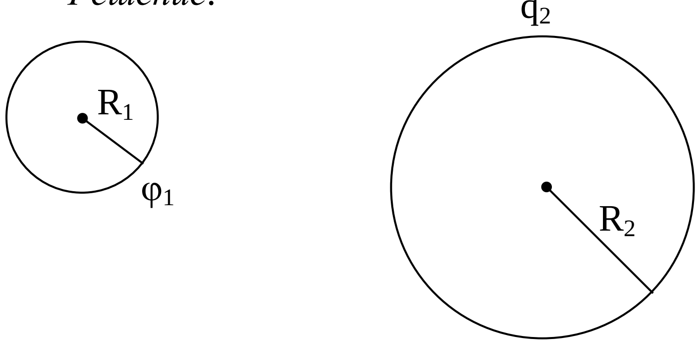
$$\varphi_1 - \varphi_2 = 48 - 99 + 225 = 174 \text{ (В)}.$$

Ответ: $\vec{E}\,\{737 \text{ В/м}; -875 \text{ В/м}\}$; E = 1144 В/м; $\varphi_1 - \varphi_2 = 174$ В.

З а д а ч а 2. Два металлических шарика радиусом 10,0 и 50,0 мм заряжены: первый – до потенциала 600 В, а второй имеет заряд 3,00 нКл (рис. 1.2). Определить, насколько изменятся потенциалы шариков после их соединения.

| Дано: | СИ |
|---|---|
| $R_1$ = 10 мм | $1 \cdot 10^{-2}$ м |
| $R_2$ = 50 мм | $5 \cdot 10^{-2}$ м |
| $\varphi_1$ = 600 В | |
| $q_2$ = 3,00 нКл | $3 \cdot 10^{-9}$ Кл |
| $\Delta\varphi_1$ – ? $\Delta\varphi_2$ – ? | |

*Решение.*




*а* *б*

Рис. 1.2

Потенциал второго шарика до соединения вычисляют по формуле:

$$\varphi_2 = k_e \frac{q_2}{R_2}; \tag{1.13}$$

$$\varphi_2 = 540\ (В).$$

Так как потенциалы шариков разные, то после их соединения начнется перезарядка, которая будет продолжаться до тех пор, пока потенциалы шариков не уравняются:

$$\varphi_1' = \varphi_2'. \tag{1.14}$$

Используя условие (1.14) и применяя закон сохранения электрического заряда, запишем:

$$\begin{cases} k_e \dfrac{q_1'}{R_1} = k_e \dfrac{q_2'}{R_2}; \\ q_1 + q_2 = q_1' + q_2'. \end{cases} \tag{1.15}$$

Решая систему (1.15), получим:

$$\varphi_1' = \varphi_2' = k_e \frac{q_1 + q_2}{R_1 + R_2}. \tag{1.16}$$

Тогда, учитывая, что $q_1 = \dfrac{\varphi_1 R_1}{k_e}$, запишем:

$$\varphi_1 - \varphi_1' = \frac{\varphi_1 R_2 - k_e q_2}{R_1 + R_2}; \tag{1.17}$$

$$\varphi_2 - \varphi_2' = -\frac{R_1}{R_2} \frac{\varphi_1 R_2 - k_e q_2}{R_1 + R_2}. \tag{1.18}$$

Производим вычисления:

$$\varphi_1 - \varphi_1' = \frac{600 \cdot 5 \cdot 10^{-2} - 9 \cdot 10^{9} \cdot 3 \cdot 10^{-9}}{(1 + 5) \cdot 10^{-2}} = 50\ (В);$$

$$\varphi_2 - \varphi_2' = -\frac{1}{5} \cdot 50 = -10\ (В).$$

Ответ: потенциал первого шарика уменьшится на 50 В, а второго – возрастет на 10 В.

З а д а ч а 3. В схеме на рис. 1.3 ЭДС $\mathcal{E}_1$ = 2,00 В; $\mathcal{E}_2$ = 1,50 В; $\mathcal{E}_3$ = 3,00 В; $\mathcal{E}_4$ = 4,50 В. Внутренние сопротивления всех источников r одинаковы и равны 0,5 Ом. Сопротивления резисторов: $R_1$ = 1,00 Ом; $R_2$ = 2,00 Ом; $R_3$ = 3,00 Ом. Найти силу тока во всех участках цепи. Какое количество тепла выделяется в резисторе $R_2$ за одну минуту?

Дано:

$\mathscr{E}_1$ = 2,00 В

$\mathscr{E}_2$ = 1,50 В

$\mathscr{E}_3$ = 3,00 В

$\mathscr{E}_4$ = 4,50 В

$r_1 = r_2 = r_3 = r_4$ = 0,5 Ом

$R_1$ = 1,00 Ом

$R_2$ = 2,00 Ом

$R_3$ = 3,00 Ом

t = 60 c

$I_1$ – ? $I_2$ – ?

$I_3$ – ? $Q_2$ – ?

*Решение.*

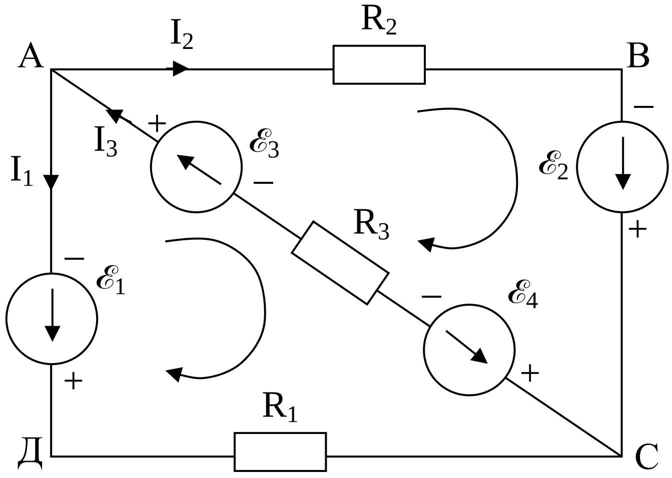



Рис. 1.3

Так как электрическая цепь, приведенная на рис. 1.3, разветвленная, то для решения задачи нельзя использовать закон Ома для замкнутой цепи. Решаем задачу с помощью правил Кирхгофа.

Выбираем узел А, произвольно расставляем направление токов в подходящих к узлу проводах и записываем для него первое правило Кирхгофа: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю (токи, подходящие к узлу, берем со знаком «плюс», отходящие – со знаком «минус»):

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0. \tag{1.19}$$

Выбираем в цепи замкнутый контур – АВСА, указываем произвольно направление обхода контура и расставляем на источниках ЭДС стрелки, указывающие направление переноса заряда сторонними силами внутри источников (от «минуса» – к «плюсу»). Записываем для этого контура второе правило Кирхгофа: алгебраическая сумма снижения напряжения в замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре (если направление тока на сопротивлении совпадает с направлением обхода в контуре, то падение напряжения на этом сопротивлении имеет знак «плюс», если не совпадает – знак «минус»; если направление стрелки у ЭДС совпадает с направлением обхода контура, то перед ЭДС ставим знак «плюс», если противоположно – знак «минус»):

$$I_2(R_2+r_2)+I_3(r_4+R_3+r_3)=\mathcal{E}_2-\mathcal{E}_4+\mathcal{E}_3. \tag{1.20}$$

Выбираем другой замкнутый контур – ACDA – и аналогично записываем для него второе правило Кирхгофа:

$$-I_3(r_4+R_3+r_3)-I_1(R_1+r_1)=-\mathcal{E}_3+\mathcal{E}_4-\mathcal{E}_1. \tag{1.21}$$

Для нахождения силы тока в участках цепи необходимо решить систему трех линейных уравнений:

$$\begin{cases} -I_1-I_2+I_3=0; \\ I_2(2+0,5)+I_3(0,5+3+0,5)=1,5-4,5+3; \\ -I_3(0,5+3+0,5)-I_1(1+0,5)=-3+4,5-2. \end{cases} \tag{1.22}$$

Решаем систему методом Крамера:

$$\begin{cases} -I_1-I_2+I_3=0; \\ 0+2,5I_2+4I_3=0; \\ -1,5I_1+0-4I_3=-0,5. \end{cases} \tag{1.23}$$

$$\Delta=\begin{vmatrix} -1 & -1 & 1 \\ 0 & 2,5 & 4 \\ -1,5 & 0 & -4 \end{vmatrix}=19,75;$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 0 & 2,5 & 4 \\ -0,5 & 0 & -4 \end{vmatrix} = 3,25; \quad I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{3,25}{19,75} = 0,165\,(\text{А});$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 4 \\ -1,5 & -0,5 & -4 \end{vmatrix} = -2; \quad I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-2}{19,75} = -0,101\,(\text{А});$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} -1 & -1 & 0 \\ 0 & 2,5 & 0 \\ -1,5 & 0 & -0,5 \end{vmatrix} = 1,25; \quad I_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{1,25}{19,75} = 0,064\,(\text{А}).$$

Проверка по первому закону Кирхгофа:

$$-0,165 - (-0,101) + 0,064 = 0; \;\; 0 = 0.$$

Количество тепла, выделяемого при прохождении тока по проводнику $R_2$, вычислим по закону Джоуля – Ленца:

$$Q_2 = I_2^2 R_2 t; \qquad (1.24)$$

$$Q_2 = (-0,101)^2 \cdot 2 \cdot 60 = 1,23\,(\text{Дж}).$$

Ответ: $I_1 = 0,165$ А; $I_2 = -0,101$ А; $I_3 = 0,064$ А; $Q_2 = 1,23$ Дж.

Задача 4. По контуру в виде равностороннего треугольника со стороной 200 мм течет ток силой 15,0 А. Перпендикулярно плоскости контура проходят два бесконечно длинных прямых изолированных проводника, в которых протекают токи силой в 30,0 А в противоположных направлениях. Проводники проходят через две вершины треугольника. Найти величину и направление индукции магнитного поля в точке пересечения высот треугольника.

| Дано: | СИ |
|---|---|
| a = 200 мм | 0,2 м |
| $I_1$ = 15,0 А | |
| $I_2 = I_3$ = 30,0 А | |
| $\vec{B}$ – ? | |

*Решение.*

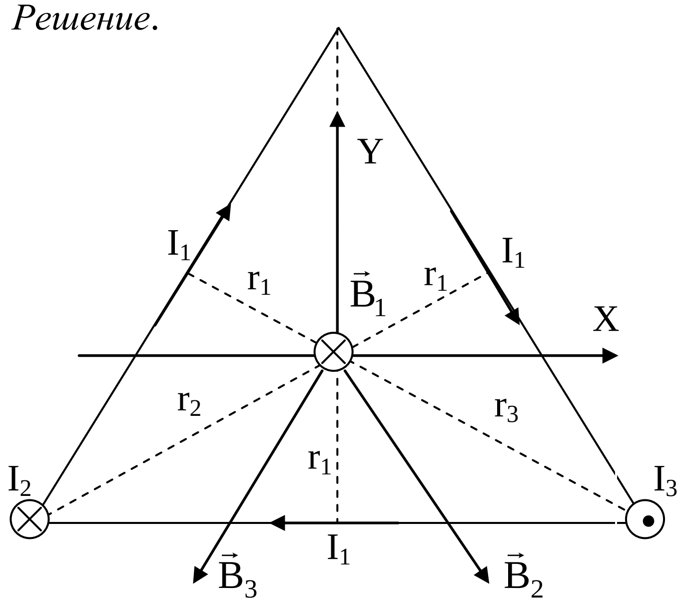



Рис. 1.4

Магнитное поле создается замкнутым контуром, состоящим из трех проводников конечной длины, и двумя бесконечно длинными проводниками. Определяем с помощью «правила буравчика» направление индукции магнитного поля, создаваемого каждым проводником в центре треугольника (рис. 1.4) и на основании принципа суперпозиции магнитных полей записываем:

$$\vec{B} = \vec{B}_1' + \vec{B}_1'' + \vec{B}_1''' + \vec{B}_2 + \vec{B}_3, \tag{1.25}$$

где $\vec{B}_1'$, $\vec{B}_1''$ и $\vec{B}_1'''$ – магнитная индукция поля проводников конечной длины замкнутого контура с током $I_1$;

$\vec{B}_2$ и $\vec{B}_3$ – магнитная индукция полей бесконечно длинных проводников с токами $I_2$ и $I_3$.

Для записи векторного уравнения (1.25) в скалярной форме выбираем удобную инерциальную систему отсчета (см. рис. 1.4, ось OZ – на нас) и находим проекции всех векторов на координатные оси:

$$\begin{cases} B_X = B_2 \cos 60^o - B_3 \cos 60^o; \\ B_Y = -B_2 \sin 60^o - B_3 \sin 60^o; \\ B_Z = -B_1 = -B_1' - B_1'' - B_1'''. \end{cases} \tag{1.26}$$

Магнитную индукцию поля, создаваемого каждой стороной треугольного контура, вычислим по формуле:

$$B_1' = B_1'' = B_1''' = k_m \frac{I_1}{r_1}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2), \tag{1.27}$$

где $r_1 = \frac{a}{2}\,\mathrm{tg}\,30^o$ – кратчайшее расстояние от проводника с током $I_1$ до центра треугольника;

$\alpha_1 = 30^o$; $\alpha_2 = 150^o$ $\left(\cos 30^o = -\cos 150^o = \frac{\sqrt{3}}{2};\ \mathrm{tg}\,30^o = \frac{1}{\sqrt{3}}\right)$.

Тогда

$$B_Z = -B_1 = -3B'_1 = -18k_m \frac{I_1}{a}. \tag{1.28}$$

Магнитную индукцию поля, создаваемого бесконечно длинными проводниками, вычислим по формулам:

$$B_2 = k_m \frac{2I_2}{r_2}; \tag{1.29}$$

$$B_3 = k_m \frac{2I_3}{r_3}, \tag{1.30}$$

где $r_2 = r_3$ – радиус описанной окружности.

С учетом формул (1.29), (1.30) получим:

$$B_X = 0; \tag{1.31}$$

$$B_Y = -6\,k_m \frac{I_2}{a} \tag{1.32}$$

(так как $I_2 = I_3$).

Производим вычисления:

$$B_Y = -6 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{30{,}0}{0{,}2} = -9 \cdot 10^{-5}\ (\text{Тл}) = -90\ (\text{мкТл});$$

$$B_Z = -18 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{15{,}0}{0{,}2} = -1{,}35 \cdot 10^{-4}\ (\text{Тл}) = -135\ (\text{мкТл}).$$

Значение результирующей магнитной индукции поля в центре рассчитаем по формуле:

$$B = \sqrt{B_X^2 + B_Y^2 + B_Z^2}; \tag{1.33}$$

$$B = 1{,}62 \cdot 10^{-4}\ (\text{Тл}) = 0{,}162\ (\text{мТл}).$$

Ответ: $\vec{B} = \{0;\ -90\ \text{мкТл};\ -135\ \text{мкТл}\};\ B = 0{,}162\ \text{мТл}.$

З а д а ч а 5. В однородном горизонтальном магнитном поле находится прямолинейный медный проводник с током 20,0 А, расположенный горизонтально и перпендикулярно полю. Какова должна быть магнитная индукция поля, чтобы проводник, имеющий поперечное сечение 2,00 мм$^2$, находился в равновесии?

| Дано: | СИ |
|---|---|
| $I = 20{,}0$ А | |
| $S = 2{,}00$ мм$^2$ | $2 \cdot 10^{-6}$ м$^2$ |
| $\rho = 8900$ кг/м$^3$ | |
| $B$ – ? | |

*Решение.*

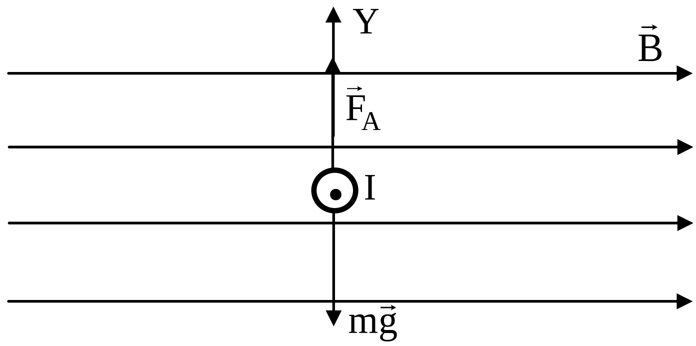



Рис. 1.5

На проводник с током (рис. 1.5) действует сила тяжести $m\vec{g}$ (со стороны Земли) и сила Ампера $\vec{F}_A$ (со стороны магнитного поля). Чтобы проводник находился в равновесии, сила $\vec{F}_A$ должна быть направлена против $m\vec{g}$ и должна быть равной ей по величине:

$$m\vec{g} + \vec{F}_A = 0. \qquad (1.34)$$

В проекции на ось ОУ имеем:

$$-mg + F_A = 0, \qquad (1.35)$$

где $m = \rho V = \rho S l;\quad F_A = IlB\sin\alpha;$

$\rho$ – плотность материала проводника (медь);

$V = Sl$ – объем проводника, находящегося в магнитном поле;

$\alpha = 90^{\circ}$ – угол между направлениями магнитной индукции и тока в проводнике.

С учетом изложенного выше получим:

$$B = \frac{\rho S g}{I}. \tag{1.36}$$

Производим вычисления:

$$B = \frac{8900 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 9{,}81}{20} = 8{,}7 \cdot 10^{-3} \text{ (Тл)} = 8{,}7 \text{ (мТл)}.$$

Ответ: B = 8,7 мТл.

З а д а ч а 6. Рамка площадью 60,0 см$^2$, имеющая 200 витков, равномерно вращается с частотой 5,00 об/с в однородном магнитном поле с индукцией 0,50 Тл. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Сопротивление витков рамки равно 12 Ом. Определить мгновенное значение ЭДС индукции, соответствующее углу поворота рамки в 30$^o$, и максимальный ток, индуцируемый в рамке. В начальный момент времени плоскость рамки перпендикулярна магнитному полю.

| Дано: | СИ |
|---|---|
| $N = 200$ | |
| $S = 60{,}0$ см$^2$ | $6 \cdot 10^{-3}$ м$^2$ |
| $\nu = 5{,}00$ об/с | |
| $B = 0{,}5$ Тл | |
| $R = 12{,}0$ Ом | |
| $\alpha_1 = 30^o$ | |
| $\mathscr{E}_i$ – ? $I_{i\,max}$ – ? | |

*Решение*.

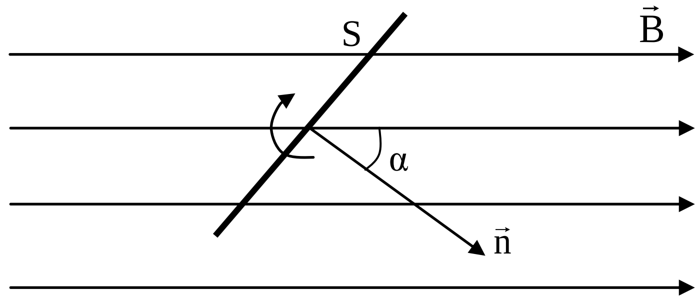



Рис. 1.6

При вращении рамки в магнитном поле (рис. 1.6) меняется потокосцепление с рамкой, вследствие чего в рамке согласно явлению электромагнитной индукции индуцируется ЭДС индукции, мгновенное значение которой определяется по основному закону электромагнитной индукции (по закону Фарадея – Ленца):

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Psi_m}{dt} = -N\frac{d\Phi_m}{dt}, \qquad (1.37)$$

где N – число витков в рамке.

Магнитный поток через рамку

$$\Phi_m = B\,S\cos\alpha. \qquad (1.38)$$

При равномерном вращении рамки угол поворота рамки изменяется по закону:

$$\alpha = \omega t = 2\pi\nu t, \qquad (1.39)$$

где $\omega$ – циклическая (круговая) частота вращения, $с^{-1}$;

$\nu$ – линейная частота вращения, об/с.

С учетом уравнений (1.38) и (1.39) получим выражение для расчета ЭДС индукции:

$$\mathcal{E}_i = -N\frac{d}{dt}BS\cos(2\pi\nu t) = 2\pi\nu NBS\sin(2\pi\nu t). \qquad (1.40)$$

Вычисляем мгновенное значение ЭДС индукции, соответствующее углу поворота рамки $\alpha_1 = 30^o$:

$$\mathcal{E}_i = 2\pi\cdot 5\cdot 200\cdot 0{,}5\cdot 6\cdot 10^{-3}\cdot\sin 30^o = 9{,}42\ (В).$$

Величину индукционного тока в рамке можно найти, воспользовавшись законом Ома:

$$I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = \frac{2\pi\nu NBS}{R}\sin(2\pi\nu t). \qquad (1.41)$$

Максимальное значение $I_{i\ max}$ будет соответствовать максимальному значению синуса: $\sin(2\pi\nu t) = 1$, тогда

$$I_{i\ max} = \frac{2\pi\nu NBS}{R}. \qquad (1.42)$$

Производим вычисления:

$$I_{i\ max} = \frac{2\pi\cdot 5\cdot 200\cdot 0{,}5\cdot 6\cdot 10^{-3}}{12} = 1{,}57\ (А).$$

Ответ: $\mathcal{E}_i = 9{,}42$ В; $I_{i\ max} = 1{,}57$ А.

З а д а ч а 7. В идеальном колебательном контуре индуктивность катушки равна 100 мГн, а амплитуда колебаний силы тока в цепи – 20 А. Найти энергию электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки в тот момент времени, когда мгновенное значение силы тока в два раза меньше амплитудного значения.

| Дано: | СИ |
|---|---|
| $L$ = 100 мГн | 0,1 Гн |
| $I_0$ = 20 мА | 0,2 А |
| $i = I_0/2$ | |
| $W_e$ – ? | |
| $W_m$ – ? | |

*Решение.*

Полная энергия идеального колебательного контура складывается из энергии электрического и магнитного полей:

$$W = W_e + W_m = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}. \qquad (1.43)$$

В идеальном колебательном контуре отсутствует диссипация энергии, поэтому полную энергию можно вычислить через максимальные значения энергии электрического или магнитного поля:

$$W = W_{e\,max} = W_{m\,max} = \frac{LI_0^2}{2}. \qquad (1.44)$$

Энергия магнитного поля для момента времени, когда $i = I_0/2$,

$$W_m = \frac{Li^2}{2} = \frac{LI_0^2}{8}. \qquad (1.45)$$

Тогда энергия электрического поля конденсатора

$$W_e = W - W_m = \frac{LI_0^2}{2} - \frac{LI_0^2}{8} = \frac{3}{8}LI_0^2. \qquad (1.46)$$

Производим вычисления:

$$W_e = \frac{3}{8}0{,}1 \cdot 0{,}02^2 = 15 \text{ (мкДж)}; \quad W_m = \frac{1}{8}0{,}1 \cdot 0{,}02^2 = 5 \text{ (мкДж)}.$$

Ответ: $W_e$ = 15 мкДж; $W_m$ = 5 мкДж.

З а д а ч а 8. Амплитуда затухающих колебаний математического маятника длиной 800 мм уменьшилась в два раза за 3 мин. Чему равна добротность этого осциллятора?

| Дано: | СИ |
|---|---|
| $l$ = 800 мм | 0,8 м |
| $t_1$ = 3 мин | 180 с |
| $A_0/A = 2$ | |
| $t_2 = T$ | |
| $Q - ?$ | |

*Решение.*

Добротностью осциллятора называется увеличенное в $2\pi$ раз отношение энергии, первоначально запасенной осциллятором, к потерям энергии за один период:

$$Q = 2\pi \frac{W_0}{(W_0 - W)_T}. \qquad (1.47)$$

При затухающих колебаниях амплитуда и энергия убывают по законам:

$$A = A_0 \exp(-\beta t); \qquad (1.48)$$

$$W = W_0 \exp(-2\beta t), \qquad (1.49)$$

где $\beta$ – коэффициент затухания осциллятора, который можно найти из соотношения:

$$\beta = \frac{1}{t_1} \ln \frac{A_0}{A}; \qquad (1.50)$$

$$\beta = \frac{1}{180} \ln 2 = 3{,}85 \cdot 10^{-3}\ (\text{с}^{-1}).$$

Тогда потеря энергии осциллятором за один период

$$W_0 - W = W_0 \left[1 - \exp\left(-2\beta T\right)\right]. \qquad (1.51)$$

Период затухающих колебаний математического маятника

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{l} - \beta^2}} \approx 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \qquad (1.52)$$

а так как $\beta^2 << \frac{g}{l}$, то это случай слабозатухающих колебаний.

Тогда окончательно имеем:

$$Q = \frac{2\pi}{1 - \exp(-2\beta T)} = \frac{2\pi}{1 - \exp\left(-2\beta \cdot 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\right)}. \qquad (1.53)$$

Производим вычисления:

$$Q = \frac{2\pi}{1 - \exp\left(-2 \cdot 3{,}85 \cdot 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot \sqrt{\frac{0{,}8}{9{,}81}}\right)} = 458.$$

Ответ: $Q = 458$.

## 2. ТАБЛИЦА ВАРИАНТОВ И НОМЕРА ЗАДАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

| Вариант | Номера задач | | | | | | | | Вариант | Номера задач | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 01 | 1 | 11 | 21 | 31 | 41 | 51 | 61 | 71 | 26 | 6 | 18 | 30 | 32 | 44 | 56 | 68 | 80 |
| 02 | 2 | 12 | 22 | 32 | 42 | 52 | 62 | 72 | 27 | 7 | 19 | 21 | 33 | 45 | 57 | 69 | 71 |
| 03 | 3 | 13 | 23 | 33 | 43 | 53 | 63 | 73 | 28 | 8 | 20 | 22 | 34 | 46 | 58 | 70 | 72 |
| 04 | 4 | 14 | 24 | 34 | 44 | 54 | 64 | 74 | 29 | 9 | 11 | 23 | 35 | 47 | 59 | 61 | 73 |
| 05 | 5 | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 | 65 | 75 | 30 | 10 | 12 | 24 | 36 | 48 | 60 | 62 | 74 |
| 06 | 6 | 16 | 26 | 36 | 46 | 56 | 66 | 76 | 31 | 1 | 14 | 27 | 40 | 43 | 56 | 69 | 72 |
| 07 | 7 | 17 | 27 | 37 | 47 | 57 | 67 | 77 | 32 | 2 | 15 | 28 | 31 | 44 | 57 | 70 | 73 |
| 08 | 8 | 18 | 28 | 38 | 48 | 58 | 68 | 78 | 33 | 3 | 16 | 29 | 32 | 45 | 58 | 61 | 74 |
| 09 | 9 | 19 | 29 | 39 | 49 | 59 | 69 | 79 | 34 | 4 | 17 | 30 | 33 | 46 | 59 | 62 | 75 |
| 10 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 35 | 5 | 18 | 21 | 34 | 47 | 60 | 63 | 76 |
| 11 | 1 | 12 | 23 | 34 | 45 | 56 | 67 | 78 | 36 | 6 | 19 | 22 | 35 | 48 | 51 | 64 | 77 |
| 12 | 2 | 13 | 24 | 35 | 46 | 57 | 68 | 79 | 37 | 7 | 20 | 23 | 36 | 49 | 52 | 65 | 78 |
| 13 | 3 | 14 | 25 | 36 | 47 | 58 | 69 | 80 | 38 | 8 | 11 | 24 | 37 | 50 | 53 | 66 | 79 |
| 14 | 4 | 15 | 26 | 37 | 48 | 59 | 70 | 71 | 39 | 9 | 12 | 25 | 38 | 41 | 54 | 67 | 80 |
| 15 | 5 | 16 | 27 | 38 | 49 | 60 | 61 | 72 | 40 | 10 | 13 | 26 | 39 | 42 | 55 | 68 | 71 |
| 16 | 6 | 17 | 28 | 39 | 50 | 51 | 62 | 73 | 41 | 1 | 15 | 29 | 33 | 47 | 51 | 65 | 79 |
| 17 | 7 | 18 | 29 | 40 | 41 | 52 | 63 | 74 | 42 | 2 | 16 | 30 | 34 | 48 | 52 | 66 | 80 |
| 18 | 8 | 19 | 30 | 31 | 42 | 53 | 64 | 75 | 43 | 3 | 17 | 21 | 35 | 49 | 53 | 67 | 71 |
| 19 | 9 | 20 | 21 | 32 | 43 | 54 | 65 | 76 | 44 | 4 | 18 | 22 | 36 | 50 | 54 | 68 | 72 |
| 20 | 10 | 11 | 22 | 33 | 44 | 55 | 66 | 77 | 45 | 5 | 19 | 23 | 37 | 41 | 55 | 69 | 73 |
| 21 | 1 | 13 | 25 | 37 | 49 | 51 | 63 | 75 | 46 | 6 | 20 | 24 | 38 | 42 | 56 | 70 | 74 |
| 22 | 2 | 14 | 26 | 38 | 50 | 52 | 64 | 76 | 47 | 7 | 11 | 25 | 39 | 43 | 57 | 61 | 75 |
| 23 | 3 | 15 | 27 | 39 | 41 | 53 | 65 | 77 | 48 | 8 | 12 | 26 | 40 | 44 | 58 | 62 | 76 |
| 24 | 4 | 16 | 28 | 40 | 42 | 54 | 66 | 78 | 49 | 9 | 13 | 27 | 31 | 45 | 59 | 63 | 77 |
| 25 | 5 | 17 | 29 | 31 | 43 | 55 | 67 | 79 | 50 | 10 | 14 | 28 | 32 | 46 | 60 | 64 | 78 |

# 3. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

## 3.1. Закон Кулона. Принцип суперпозиции электрических полей

1. Электрическое поле образовано бесконечной плоскостью, заряженной с поверхностной плотностью 1,40 мкКл/м$^2$, и двумя точечными зарядами (20,0 и −40,0 нКл). Заряды расположены на одной прямой, параллельной плоскости, на расстоянии 160 мм друг от друга. Найти значение и направление напряженности электрического поля в середине этого расстояния.

2. Электрическое поле образовано двумя бесконечно длинными нитями, заряженными с линейной плотностью 0,20 и −0,30 мкКл/м и расположенными под углом 60 $^{\circ}$ друг к другу. Найти значение и направление напряженности электрического поля в точке, находящейся внутри угла на его биссектрисе на расстоянии 200 мм от вершины.

3. Бесконечно длинная заряженная нить расположена под углом 120 $^{\circ}$ к бесконечной заряженной плоскости. Линейная плотность заряда нити равна −25,0 нКл/м, поверхностная плотность заряда на плоскости составляет 1,50 нКл/м$^2$. В точке, расположенной на биссектрисе тупого угла на расстоянии 400 мм от его вершины, помещен точечный заряд, равный −8,00 нКл. Найти величину и направление напряженности электрического поля в точке, расположенной на биссектрисе этого угла на расстоянии 100 мм от его вершины.

4. Электрическое поле создано бесконечной заряженной нитью и заряженным шаром. Линейная плотность заряда нити равна 60,0 нКл/м, поверхностная плотность заряда на шаре радиусом 20,0 мм составляет 12,0 мкКл/м$^2$. Кратчайшее расстояние от центра шара до нити равно 120 мм. Найти значение и направление напряженности электрического поля в точке, находящейся между нитью и шаром и отстоящей на 80,0 мм от нити и на 160 мм от центра шара.

5. Через две вершины квадрата со стороной 100 мм проходит бесконечно длинная заряженная нить с линейной плотностью заряда 0,20 мкКл/м, а в двух других вершинах находятся точечные заряды 30,0 и −40,0 нКл. Найти значение и направление силы, действующей на точечный заряд 10,0 нКл, помещенный в центр квадрата.

6. Два небольших одинаковых металлических шарика массой 90,0 мг каждый подвешены на нитях одинаковой длины так, что их поверхности

соприкасаются. После сообщения каждому шарику заряда 30,0 нКл они разошлись на расстояние 200 мм друг от друга. Определить силы натяжения нитей.

7. К точке на боковой поверхности вертикально расположенного бесконечно длинного тонкостенного цилиндра радиусом 50,0 мм с поверхностной плотностью заряда 0,10 мКл/м$^2$ подвешен на нити длиной 800 мм одноименно заряженный шарик массой 30,0 г. Найти заряд шарика, если нить образует с вертикалью угол 30 $^o$.

8. По поверхности шара радиусом 5,00 мм равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью 5,00 мкКл/м$^2$. Шар находится в вершине прямого угла равнобедренного треугольника с длиной катета 40,0 мм. В двух других вершинах находятся точечные заряды 2,00 и −6,00 нКл. Найти потенциал электрического поля в середине гипотенузы треугольника.

9. Через две вершины квадрата со стороной 200 мм проходит бесконечно длинная заряженная нить с линейной плотностью 30,0 нКл/м, а в двух других вершинах находятся точечные заряды 20,0 и −40,0 нКл. Найти разность потенциалов электрического поля между центром квадрата и серединой дальней от нити стороны квадрата, на которой расположены точечные заряды.

10. Бесконечно длинная заряженная нить с линейной плотностью −3,00 нКл/м расположена под углом 60 $^o$ к бесконечной заряженной плоскости с поверхностной плотностью заряда 10,0 нКл/м$^2$. На биссектрисе угла на расстоянии 50,0 см от вершины находится точечный заряд −5,00 нКл. Найти разность потенциалов электрического поля между двумя точками, расположенными на биссектрисе на расстоянии 10,0 и 30,0 см от вершины угла.

### 3.2. Закон сохранения электрического заряда. Электроемкость

11. Два шарика радиусом 50,0 и 10,0 мм имеют одинаковые заряды – по 7,00 нКл. Какое количество электричества переместится с одного шарика на другой, если их соединить проволокой? Каковы будут общий потенциал и заряды шаров после соединения? Найти работу разряда.

12. Шар радиусом 20,0 мм, заряженный до потенциала 4,00 кВ, после отключения от источника напряжения соединяют проволокой с незаряженным шаром радиусом 30,0 мм. Под каким потенциалом окажется первый шар после перезарядки? Найти энергию шаров после разряда и работу разряда.

13. Два заряженных шарика радиусом 80,0 и 160 мм соединили металлической проволокой. Общий заряд шариков до соединения был равен 30,0 нКл. Найти поверхностную плотность распределения зарядов на шариках и потенциал второго шарика после соединения.

14. Шар радиусом 30,0 мм, имеющий энергию 60,0 мкДж, приводится в соприкосновение с шаром радиусом 40,0 мм, заряженным до потенциала 2,00 кВ. Определить энергию шаров после соединения и работу разряда.

15. Заряженный шар радиусом 40,0 мм соединяют с незаряженным шаром радиусом 20,0 мм. Найти энергию каждого шара после соединения и работу разряда, если с первого шара на второй перешел заряд 10,0 нКл.

16. Площадь пластин плоского конденсатора равна 80,0 см$^2$, расстояние между ними составляет 5,00 мм. Напряженность поля между обкладками конденсатора равна 600 В/см. После отключения конденсатора от источника напряжения пластины раздвигаются. При этом разность потенциалов между пластинами увеличивается в два раза. Найти емкость конденсатора, разность потенциалов между пластинами и поверхностную плотность зарядов на пластинах до и после раздвижения. Насколько изменится при этом энергия конденсатора?

17. К пластинам плоского воздушного конденсатора с площадью 200 см$^2$ и расстоянием между ними, равным 4,00 мм, приложена разность потенциалов 500 В. После отключения конденсатора от источника напряжения пространство между пластинами заполняют диэлектриком, диэлектрическая проницаемость которого равна четырем. Какова будет разность потенциалов между пластинами после заполнения диэлектриком? Каковы емкость конденсатора и поверхностная плотность заряда на его пластинах до и после заполнения диэлектриком? Насколько изменится энергия конденсатора после заполнения его диэлектриком?

18. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 2,6. Площадь пластин равна 52,00 см$^2$, расстояние между ними составляет 6,00 мм. Напряженность поля в конденсаторе равна 210 В/см. После отключения конденсатора от источника напряжения из него удаляют диэлектрик. Найти заряд на пластинах конденсатора и его электроемкость до и после удаления диэлектрика. Насколько изменится энергия конденсатора после удаления диэлектрика?

19. Пластины плоского конденсатора площадью 200 см$^2$ заряжены с поверхностной плотностью 1,50 мкКл/м$^2$. После отключения конденсатора от источника напряжения пространство между пластинами заполняют диэлектриком. При этом разность потенциалов между ними изменяется от 600 до 300 В. Найти расстояние между пластинами и диэлектрическую проницаемость диэлектрика. Каковы электроемкость конденсатора и напряженность поля в нем до и после заполнения диэлектриком?

20. Плоскому конденсатору с площадью пластин 120 см$^2$ сообщен заряд 4,00 нКл. Пространство между пластинами заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 6. После отключения пластин от источника напряжения диэлектрик из него вынимают. Насколько изменится объемная плотность энергии конденсатора после удаления диэлектрика?

### 3.3. Законы постоянного тока

21. К источнику напряжения параллельно подключены пять электродвигателей мощностью 1,50 кВт каждый. Длина подводящих медных проводов составляет 250 м, их сечение равно 4,00 мм$^2$. Определить напряжение на зажимах источника и потерю мощности в подводящих проводах, если сила тока в них равна 27,7 А.

22. Определить напряжение на зажимах источника питания, если он обеспечивает в цепи ток 2,00 А. Цепь состоит из двух параллельно включенных лампочек мощностью 30,0 Вт каждая. Потери мощности в подводящих проводах составляют 10 % от полезной мощности.

23. От генератора с напряжением 20,0 кВ требуется передать потребителю мощность 100 кВт. Потери напряжения в линии не должны превышать 2 %. Какую общую длину должны иметь медные подводящие провода сечением 25,0 мм$^2$?

24. Сопротивление обмотки электрочайника равно 16,0 Ом. Определить промежуток времени, в течение которого в нем закипит 0,60 кг воды, имеющей начальную температуру 10 ºС, если КПД электрочайника составляет 60 %, напряжение в сети равно 120 В.

25. Для нагревания 4,50 кг воды от 23 ºС до кипения нагреватель потребляет 0,50 кВт·ч электрической энергии. Чему равен КПД нагревателя?

26. Электрическая плитка имеет две спирали. При включении одной из них вода в чайнике закипает через 900 с, при включении другой – через 1800 с. Через сколько секунд закипит вода в чайнике, если включить обе спирали: 1) последовательно; 2) параллельно?

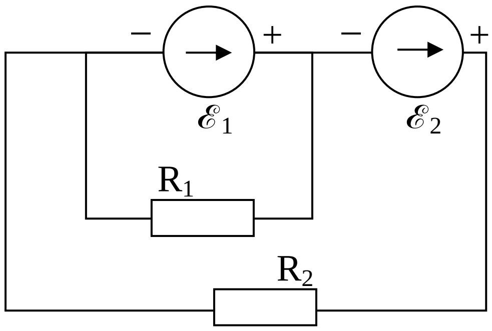



Рис. 3.1

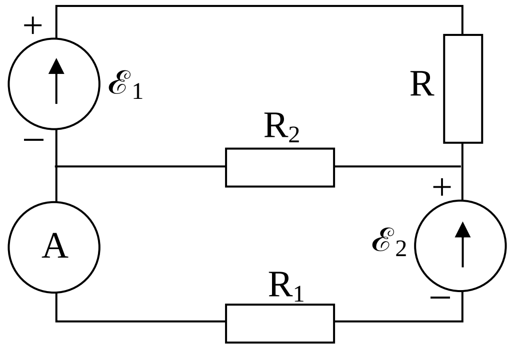



Рис. 3.2

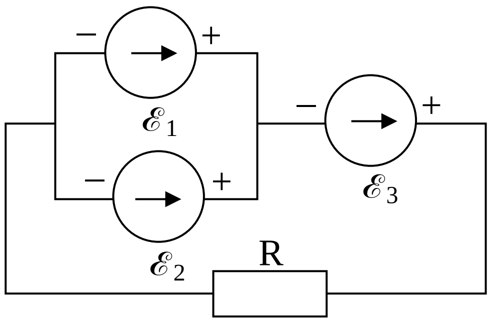



Рис. 3.3

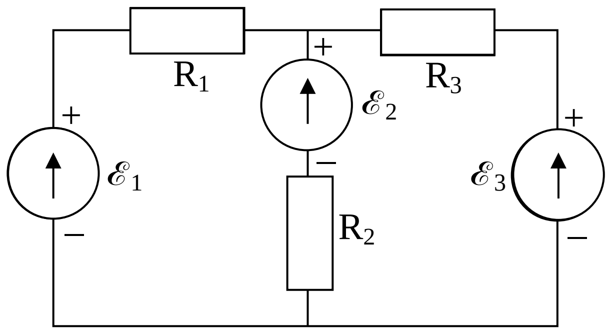



Рис. 3.4

27. В схеме, приведенной на рис. 3.1, $\mathscr{E}_1$ и $\mathscr{E}_2$ – два элемента с одинаковым внутренним сопротивлением, равным 0,50 Ом ($\mathscr{E}_1$ = 2,00 В; $\mathscr{E}_2$ = 3,00 В). Найти силу тока, текущего: 1) через сопротивление $R_1$ = 0,50 Ом; 2) через сопротивление $R_2$ = 1,50 Ом; 3)через элемент $\mathscr{E}_1$.

28. Определить показания амперметра и напряжение на концах сопротивления $R_2$ (рис. 3.2), если $\mathscr{E}_1$ = 4,00 В; $\mathscr{E}_2$ = 3,00 В; R = 6,00 Ом; $R_1$ = 2,00 Ом; $R_2$ = 1,00 Ом. Внутренними сопротивлениями источников и амперметра пренебречь.

29. Три источника тока и резистор соединены по схеме, представленной на рис. 3.3. Определить силу тока в резисторе, если $\mathscr{E}_1$ = 5,00 В; $r_1$ = 2,00 Ом; $\mathscr{E}_2$ = 4,00 В; $r_2$ = 1,00 Ом; $\mathscr{E}_3$ = 3,00 В; $r_3$ = 0,50 Ом; R = 2,50 Ом.

30. В схеме на рис. 3.4 $\mathscr{E}_1$ – элемент с ЭДС, равной 4,00 В; $\mathscr{E}_2$ = 3,00 В; $\mathscr{E}_3$ = 5,00 В; $R_1$ = 2,00 Ом; $R_2$ = 6,00 Ом; $R_3$ = 1,00 Ом. Найти силу тока, текущего через сопротивление $R_2$, и падение напряжения на сопротивлении $R_1$.

### 3.4. Принцип суперпозиции магнитных полей

31. Два прямолинейных проводника большой длины расположены параллельно на расстоянии 500 мм друг от друга. По ним в противоположных направлениях текут токи силой 20,0 и 24,0 А. Определить значение и направление магнитной индукции поля в двух точках: одна находится посредине между проводами, другая – на расстоянии 400 мм от первого провода и 300 мм от второго.

32. По проводнику, согнутому в виде прямоугольника со сторонами 80,0 и 120 мм, течет ток силой 50,0 А. Определить значение и направление напряженности магнитного поля в точке пересечения диагоналей прямоугольника.

33. Два круговых витка радиусом 270 и 240 мм расположены в параллельных плоскостях. Центры витков лежат на общем перпендикуляре, расстояние между центрами составляет 680 мм. По виткам текут токи в противоположных направлениях. Результирующая магнитная индукция поля в точке, расположенной между витками на общем перпендикуляре на расстоянии 360 мм от центра первого витка, равна 3,30 мкТл и направлена в сторону магнитной индукции первого витка. Найти силу тока в первом витке, если сила тока во втором витке равна 30,0 А.

34. Проволочный виток радиусом 250 мм расположен в плоскости земного магнитного меридиана. В центре установлена небольшая магнитная стрелка, способная поворачиваться вокруг вертикальной оси. На какой угол отклонится стрелка, если по витку пустить ток силой 15,0 А? Горизонтальную составляющую индукции земного магнитного поля принять равной 20,0 мкТл.

35. Ток силой 50,0 А течет по бесконечно длинному проводнику, согнутому под углом 60 º. Найти значение и направление напряженности магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии 200 мм.

36. Два бесконечно длинных прямых проводника скрещены под прямым углом. По проводникам текут токи силой 100 и 50,0 А. Кратчайшее расстояние между проводниками составляет 200 мм. Определить значение и направление магнитной индукции поля в точке, лежащей на середине общего перпендикуляра к проводникам.

37. По проводнику, изогнутому в виде окружности, течет ток. Напряженность магнитного поля в центре окружности равна 50,0 А/м. Не изменяя силу тока в проводнике, проводнику придали форму квадрата. Определить напряженность магнитного поля в центре квадрата.

38. По двум длинным параллельным прямолинейным проводникам, расположенным на расстоянии 50,0 мм друг от друга, текут одинаковые токи с силой 10,0 А в противоположных направлениях. Определить значение и направление магнитной индукции поля в точке, удаленной от каждого проводника на расстояние 50,0 мм.

39. По изолированному круговому проводнику радиусом 300 мм течет ток силой 1,80 А. Перпендикулярно плоскости кольца на расстоянии 100 мм от его центра находится длинный прямой проводник с током. Найти силу этого тока, если магнитная индукция поля в центре кольца равна 5,00 мкТл.

40. По проволочной рамке, имеющей форму правильного шестиугольника, проходит ток силой 17,3 А. При этом в центре рамки образуется магнитное поле с индукцией 30,0 мкТл. Найти длину проволоки, из которой сделана рамка, если она содержит 10 витков.

### 3.5. Сила Лоренца и сила Ампера

41. Электрон с кинетической энергией 4,00 кэВ попадает в однородное магнитное поле с индукцией 10,0 мТл перпендикулярно его линиям. Найти радиус кривизны траектории электрона в магнитном поле.

42. Протон влетает в однородное магнитное поле с индукцией 0,10 Тл под углом 30 ° к направлению поля и движется по спирали, радиус которой 1,50 см. Найти кинетическую энергию протона.

43. Альфа-частица, ускоренная разностью потенциалов 300 В, движется параллельно прямолинейному длинному проводнику на расстоянии 4,00 мм от него. Какая сила подействует на альфа-частицу, если по проводнику пустить в направлении ее движения ток силой 5,00 А?

44. Электрон из состояния покоя прошел вдоль линий однородного электрического поля с напряженностью 300 В/см путь 50,0 мм и попал в однородное магнитное поле с индукцией 1,00 мТл перпендикулярно его линиям индукции. Найти тангенциальное и нормальное ускорение электрона в электрическом и магнитном полях.

45. Протон, имеющий кинетическую энергию 1,00 кэВ, влетает в однородное электрическое поле с напряженностью 800 В/см перпендикулярно его силовым линиям. Каковы должны быть направление и значение индукции однородного магнитного поля, чтобы протон не испытывал отклонения?

46. В однородном вертикально направленном магнитном поле с индукцией 20,0 мТл подвешен на двух одинаковых нитях перпендикулярно линиям индукции тонкий медный проводник диаметром 1,00 мм. Какой силы ток нужно пропустить по проводнику, чтобы он отклонился и нити образовали с вертикалью угол 30 º?

47. Прямолинейный бесконечно длинный проводник с силой тока 6,00 А расположен в плоскости прямоугольного контура со сторонами 200 и 100 мм параллельно его большей стороне. Проводник контур не пересекает. Расстояние от проводника до ближайшей стороны контура равно 40,0 мм. Определить силу, действующую со стороны проводника на контур, если сила тока в контуре равна 5,00 А.

48. Длинный прямолинейный провод, по которому протекает ток силой 10,0 А, закреплен горизонтально, параллельно этому проводу внизу на расстоянии 2,00 мм расположен второй провод, сделанный из алюминиевой проволоки диаметром 0,50 мм. Какой ток (по значению и направлению) нужно пропустить по второму проводу, чтобы он смог висеть в воздухе без опоры?

49. Перпендикулярно линиям однородного вертикально направленного магнитного поля с индукцией 20,0 мТл подвешен на нитях медный проводник с площадью поперечного сечения 3,00 мм$^2$. С каким ускорением начнет выталкиваться из поля проводник, если по нему пропустить ток силой 5,00 А?

50. По трем длинным прямолинейным проводникам, расположенным на расстоянии 250 мм друг от друга, протекает ток силой 5,00, 10,0 и 15,0 А соответственно. В первом и третьем проводниках ток протекает в одном направлении, во втором – навстречу ему. Найти значение и направление силы, действующей на единицу длины третьего проводника.

## 3.6. Явление электромагнитной индукции

51. В однородном магнитном поле, индукция которого равна 0,08 Тл, вращается катушка, содержащая 400 витков. Период обращения катушки равен 3,00 с, площадь ее поперечного сечения составляет 6,00 см$^2$. Определить максимальное значение ЭДС индукции во вращающейся катушке и ЭДС индукции через 0,25 с после начала вращения. Первоначально плоскость витков катушки была перпендикулярна магнитному полю.

52. Квадратная рамка из железной проволоки сечением 4,00 мм$^2$ помещена в магнитное поле, величина индукции которого изменяется по закону

$B = B_0\sin2\pi\nu t$, где $B_0$= 40,0 мТл; $\nu$ = 25,0 Гц. Плоскость рамки площадью 36,0 см$^2$ расположена перпендикулярно к направлению магнитного поля. Какой максимальной силы ток индуцируется в рамке?

53. Магнитная индукция поля между полюсами двухполюсного генератора равна 0,80 Тл. Ротор имеет 100 витков сопротивлением 12,0 Ом и площадью поперечного сечения 400 см$^2$. Сколько оборотов в секунду делает ротор, если максимальное значение ЭДС индукции, возникающей в витках ротора, равно 200 В? Вычислить мгновенное значение силы тока для угла поворота 60 $^o$, если в начальный момент времени плоскость витков ротора была перпендикулярна магнитному полю.

54. Квадратная рамка со стороной 2,00 см, состоящая из 100 витков, расположена в магнитном поле так, что нормаль к рамке образует угол 60 $^o$ с направлением поля. Величина магнитной индукции поля изменяется с течением времени по закону $B = B_0\cos(\omega t)$, где $B_0$ = 0,20 Тл; $\omega$ = 314 мин$^{-1}$. Определить значение ЭДС индукции в рамке в момент времени 4,00 с.

55. Круглая рамка из 200 витков алюминиевой проволоки сечением 3,00 мм$^2$ равномерно вращается с частотой 2,00 об/с в однородном магнитном поле с индукцией 0,50 Тл. Площадь рамки составляет 12,0 см$^2$. Ось вращения рамки совпадает с диаметром рамки и перпендикулярна полю. Определить максимальную ЭДС индукции, возникающую в рамке. Какой максимальный силы ток индуцируется в рамке?

56. Рамка площадью 100 см$^2$ содержит 1000 витков провода сопротивлением 12,0 Ом. К концам обмотки подключено внешнее сопротивление 20,0 Ом. Рамка равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией 0,10 Тл, делая 3,00 об/с. Чему равно максимальное значение мощности переменного тока в цепи?

57. В однородном магнитном поле с индукцией 0,40 Тл равномерно вращается металлический стержень длиной 300 мм. Ось вращения параллельна линиям индукции и проходит через один из концов стержня перпендикулярно к его длине. Чему равна разность потенциалов, возникающая на концах стержня, если он делает 16,0 об/с?

58. В однородном магнитном поле с индукцией 3,00 мТл вращается квадратная рамка со стороной 200 мм, состоящая из 30,0 витков медного провода сечением 1,00 мм$^2$. Определить число оборотов рамки в секунду, если в ней индуцируется ток, максимальное значение силы тока которого равно 2,00 А.

59. По горизонтальным рельсам, расположенным в вертикальном магнитном поле с индукцией 10,0 мТл, скользит проводник длиной 800 мм с постоянной скоростью 36,0 км/ч. Концы рельсов замкнуты на постоянное сопротивление 25,0 Ом. Сопротивлением рельсов и проводника пренебречь. Определить, какое количество теплоты выделится в сопротивлении за 10 с.

60. Медный обруч массой 5,00 кг расположен в плоскости магнитного меридиана. Горизонтальная составляющая напряженности магнитного поля Земли равна 16,0 А/м. Какое количество электричества индуцируется в обруче, если его повернуть около вертикальной оси на четверть оборота?

### 3.7. Гармонические колебания

61. Материальная точка массой 5 г совершает гармонические колебания по закону синуса с циклической частотой 0,5 $с^{-1}$, амплитудой 3 см и нулевой начальной фазой. Определить скорость точки в момент времени, когда ее смещение равно 1,5 см и положительно; максимальную силу, действующую на точку; полную энергию колеблющейся точки.

62. Амплитуда гармонических колебаний пружинного маятника равна 2 см, его полная энергия – 300 мкДж. При каком смещении от положения равновесия на маятник действует возвращающая сила 22,5 мН?

63. Математический маятник массой 3 г совершает гармонические колебания на нити длиной 50 см по закону синуса с начальной фазой, равной нулю. В некоторый момент времени координата маятника равна 5 см, а его скорость – 10 см/с. Найти координату и скорость маятника, а также возвращающую силу, действующую на него спустя 0,5 с от этого момента времени.

64. Частица массой 10 г совершает гармонические колебания по закону синуса с периодом 2 с и начальной фазой, равной нулю. Полная энергия колеблющейся частицы равна 0,01 мДж. Найти наибольшее значение силы, действующей на частицу, и записать уравнение данных колебаний.

65. Пружинный маятник массой 2 г совершает гармонические колебания по закону синуса на пружине жесткостью 8 мН/м. Начальная фаза колебаний равна нулю, амплитуда колебаний – 5 см. Определить ускорение маятника, возвращающую силу, действующую на него, и величину его потенциальной энергии в момент времени, когда скорость маятника равна 8 см/с.

66. Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 5 мкФ и катушки индуктивностью 0,2 Гн. Определить максимальную силу тока в контуре, если в начальный момент времени на обкладках конденсатора была максимальная разность потенциалов, равная 90 В. Написать закон изменения с течением времени силы тока в контуре и энергии электрического поля.

67. В идеальном колебательном контуре, имеющем конденсатор емкостью 0,5 мкФ и катушку индуктивностью 17 мГн, в начальный момент времени заряд конденсатора был равен 20 нКл, а сила тока, протекающего в цепи контура, составляла 1 мА. Написать закон изменения с течением времени разности потенциалов на обкладках конденсатора и силы тока в контуре, если заряд на пластинах меняется по косинусоидальному закону.

68. В идеальном колебательном контуре с индуктивностью 100 мГн совершаются гармонические колебания с частотой $500\pi$ с$^{-1}$. Найти емкость контура и написать закон изменения силы тока в контуре и закон изменения с течением времени энергии магнитного поля, если в начальный момент времени разность потенциалов на обкладках конденсатора была максимальной – 50 В.

69. Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 3 мкФ и катушки индуктивностью 0,3 Гн. Найти период собственных колебаний в контуре; максимальную силу тока в катушке и максимальную энергию магнитного поля, если в начальный момент времени заряд конденсатора был максимальным и равным 2 мкКл. Записать закон изменения с течением времени разности потенциалов на обкладках конденсатора.

70. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 1 мкФ и катушки индуктивностью 0,6 Гн. Конденсатор зарядили количеством электричества 5 мкКл и замкнули на катушку. Написать закон изменения с течением времени заряда и разности потенциалов на обкладках конденсатора; силы тока в цепи; энергии электрического и магнитного полей.

### 3.8. Затухающие колебания

71. В колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивностью 20 мГн и конденсатора емкостью 1 нФ, за время одного периода происходит убывание энергии в 1,5 раза. Определить сопротивление контура.

72. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 0,2 мкФ, катушки индуктивностью 5 мГн и сопротивления. Найти логарифмический декремент затухания и сопротивление контура, при котором за 1 мс амплитудное значение напряжения на обкладках конденсатора уменьшается в три раза.

73. Определить период затухающих колебаний в контуре с логарифмическим декрементом затухания, равным 0,05, если за 5 с энергия колебаний уменьшается в 20 раз. Чему равна добротность этого контура?

74. Какую долю первоначальной энергии потеряет колебательный контур с катушкой индуктивностью 24 мГн и конденсатором емкостью 510 нФ за 50 мс при логарифмическом декременте затухания, равном 0,01?

75. Колебательный контур содержит катушку индуктивностью 0,5 Гн и конденсатор емкостью 0,3 мкФ, логарифмический декремент затухания равен 0,05. За сколько времени контур потеряет 90 % своей энергии?

76. Чему равен логарифмический декремент математического маятника длиной 90 см, если за 2 мин амплитуда колебаний уменьшилась в три раза? Какова добротность этого осциллятора?

77. Энергия затухающих колебаний маятника, происходящих в некоторой среде, за 2 мин уменьшилась в 100 раз. Определить коэффициент сопротивления среды, если масса маятника равна 100 г.

78. Математический маятник длиной 50 см, выведенный из положения равновесия, отклонился при первом колебании на 5 см, при втором (в ту же сторону) – на 4 см. Найти коэффициент затухания маятника.

79. Гиря массой 500 г подвешена на пружине жесткостью 32 Н/м. За время 88 полных колебаний амплитуда уменьшилась в два раза. Определить коэффициент затухания, частоту затухающих колебаний и добротность осциллятора.

80. Небольшая гиря массой 500 г подвешена к пружине жесткостью 0,2 Н/см и совершает упругие колебания в некоторой среде. Логарифмический декремент затухания равен 0,004. Определить число полных колебаний, которые должна совершить гиря, чтобы амплитуда колебаний уменьшилась в два раза. За какое время произойдет это уменьшение?

## Библиографический список

1. Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. – Москва : Академия, 2006. – 560 с. – Текст : непосредственный.

2. Детлаф, А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – Москва : Высшая школа, 2003. – 607 с. – Текст : непосредственный.

3. Савельев, И. В. Курс общей физики. В 5 книгах. Кн. 2. Электричество и магнетизм / И. В. Савельев. – Москва : АСТ, 2005. – 336 с. – Текст : непосредственный.

4. Оселедчик, Ю. С. Физика. Модульный курс : учебное пособие / Ю. С. Оселедчик, П. И. Самойленко, Т. Н. Точилина. – Москва : Юрайт, 2012. – 526 с. – Текст : непосредственный.

5. Грабовский, Р. И. Курс физики / Р. И. Грабовский. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 608 с. – Текст : непосредственный.

6. Яворский, Б. М. Справочник по физике / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. – Москва : Мир и образование, 2008. – 1056 с. – Текст : непосредственный.

7. Физика : Большой энциклопедический словарь / под ред. А. М. Прохорова. – Москва : Большая российская энциклопедия, 2003. – 944 с. – Текст : непосредственный.

8. Физические величины / под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с. – Текст : непосредственный.

# СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Таблица П.1

Заряд и масса частиц

| Частица | Заряд, Кл | Масса, кг |
|---|---|---|
| Электрон | $-1{,}6\cdot10^{-19}$ | $9{,}1\cdot10^{-31}$ |
| Протон | $+1{,}6\cdot10^{-19}$ | $1{,}67\cdot10^{-27}$ |
| Альфа-частица | $+3{,}2\cdot10^{-19}$ | $6{,}64\cdot10^{-27}$ |

Таблица П.2

Плотность и удельное электрическое сопротивление проводников

| Вещество | Плотность $\rho$, г/см$^3$ | Удельное электрическое сопротивление $\rho_e$, нОм·м |
|---|---|---|
| Алюминий | 2,7 | 25 |
| Железо | 7,8 | 98 |
| Медь | 8,9 | 17 |

Таблица П.3

Десятичные приставки

| Наименование | Обозначение | Множитель | Наименование | Обозначение | Множитель |
|---|---|---|---|---|---|
| милли | м | $10^{-3}$ | кило | к | $10^{3}$ |
| микро | мк | $10^{-6}$ | мега | М | $10^{6}$ |
| нано | н | $10^{-9}$ | гига | Г | $10^{9}$ |

Таблица П.4

Физические постоянные

| Наименование | Обозначение | Значение |
|---|---|---|
| Электрические постоянные | $k_e$ | $9{,}0\cdot10^{9}$ Н·м$^2$/Кл$^2$ |
| | $\varepsilon_0$ | $8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м |
| Магнитные постоянные | $k_m$ | $1{,}0\cdot10^{-7}$ Тл·м/А |
| | $\mu_0$ | $4\pi\cdot10^{-7}$ Гн/м |

*Учебное издание*

ГЕЛЬВЕР Сергей Александрович, ДРОЗДОВА Илга Анатольевна,
КУРМАНОВ Рамиль Султангареевич, ЛИТНЕВСКИЙ Владимир Леонидович,
СОСНОВСКИЙ Юрий Михайлович, ВОЗНЮК Сергей Викторович

ПРАКТИКУМ
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ
К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО РАЗДЕЛАМ
«ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ», «КОЛЕБАНИЯ»

---

Редактор Н. А. Майорова

***

Подписано в печать 13.12.2022. Формат 60 × 84 $^{1}/_{16}$.
Офсетная печать. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 2,3. Уч.-изд. л. 2,5.
Тираж 30 экз. Заказ .

**

Редакционно-издательский отдел ОмГУПСа
Типография ОмГУПСа

*

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35