

**МИНИСТЕРСТВО РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИИ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ  
ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИЙ**

**КАФЕДРА ФИЗИКИ**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ  
ЗАНЯТИЯМ ПО ФИЗИКЕ**

**ЧАСТЬ 3  
ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ**



**Ташкент 2020**

**Составители:** А.С.Ганиев, Х.Н.Бахронов, И.О.Джуманиязов  
Методическое пособие к практическим занятиям по физике. Часть 3.  
«Электромагнетизм». – Ташкент: 2020. 242 с.

Данное методическое пособие составлено в соответствии с программой курса «Физика-I» и содержит методические указания, основные формулы, примеры решения задач и задачи для самостоятельных работ, распределенные по темам курса физики. По каждой теме подобрано порядка двухсот задач.

Методическое пособие предназначено для студентов первого курса бакалавриата по всем направлениям образования ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий, оно также может быть использована студентами других технических ВУЗов.

Для самостоятельной подготовки по каждой теме приведены контрольные вопросы по теории.

Методическое пособие утверждено и рекомендовано к тиражированию НМС ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий (протокол №11(123) от «23» мая 2019г.)

Ташкентский университет информационных технологий  
имени Мухаммада ал-Хоразмий, 2020

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное руководство представляет собой третью часть сборника тренировочных вопросов и задач, а также кратких методических указаний к практическим занятиям по физике.

Знание законов физики предполагает умение не только формулировать эти законы, но и применять их при решении конкретных практических задач. Умение решать задачи способствует приобщению студентов к самостоятельной творческой работе, учит анализировать изучаемые явления, выделять главные факторы, их обусловившие. Наибольшую пользу приносит процесс решения задач при условии самостоятельности этого процесса, которую и призвано обеспечить данное методическое руководство.

Оно составлено в соответствии с программой курса общей физики и содержит методические указания и задачи, распределенные по темам курса физики. По каждой теме подобрано порядка двухсот задач, в которые включен ряд задач повышенной трудности, они отмечены звездочкой.

Задачи для домашних заданий распределены по вариантам, каждый вариант содержит четыре задачи. Перед каждой темой даются краткие методические указания и рекомендации к решению задач, рассматриваются примеры решения задач в соответствии с разделением на темы в пределах каждой темы.

Сознательное решение задач возможно при условии усвоения соответствующего теоретического материала. Для этого по каждой теме приводятся контрольные вопросы, позволяющие заострить

внимание студентов при подготовке к занятиям на краеугольные проблемы темы или раздела и глубже разобрать их. Пользуясь данным пособием, студент должен:

- целенаправленно, по контрольным вопросам и указанной литературе, изучить предлагаемый раздел;
- самостоятельно, опираясь на изученную теорию, методические указания и примеры, выполнить домашнее задание в соответствии с указанным преподавателем вариантом.

При решении задач целесообразно руководствоваться следующими правилами:

1. Прежде всего, внимательно прочесть условие, вникнуть в него. Если характер задачи позволяет, обязательно сделать пояснительный рисунок.
2. Произвести анализ задачи, выяснить, о каких объектах или процессах идет речь, какие величины его определяют, каким физическим закономерностям подчиняются рассматриваемые явления.
3. Выбрать оптимальный метод решения задачи.
4. Решение задачи проводить сначала в общем виде, при этом искомая величина должна быть выражена через заданные в условии величины.
5. Подстановка числовых данных должна производиться в одной системе единиц – системе СИ.
6. В конце решения производиться проверка соответствия единиц измерения.

7. При оформлении домашнего задания используемые законы и формулы должны быть кратко, но исчерпывающе пояснены.
8. Если представляется возможным, оценить правдоподобность полученного численного ответа.

# ЭЛЕКТРОСТАТИКА

## ТЕМА 3.1

### НАПРЯЖЕННОСТЬ И ПОТЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

#### Контрольные вопросы.

1. Взаимодействие каких зарядов описывает закон Кулона?
2. Определите основные характеристики электрического поля – напряженность и потенциал. Какова связь между ними? Как определяются напряженность и потенциал поля точечного заряда?
3. В чем состоит принцип суперпозиции электрических полей?
4. Сформулируйте теорему Остроградского – Гаусса для потока вектора напряженности электрического поля. Как с ее помощью определяются напряженность и потенциал поля плоскости, двух плоскостей, бесконечно длинной нити, сферы, заряд который равномерно распределен по поверхности?
5. Что называется силовой линией электрического поля, какими свойствами характеризуется силовая линия?
6. Что такое эквипотенциальные поверхности? Как ориентированы силовые линии относительно эквипотенциальных поверхностей?
7. Какое электростатическое поле называется однородным? Укажите, что может явиться источником однородного поля?

8. Что показывает градиент потенциала? Как определяется напряженность электрического поля, если известен потенциал как функция координат?

9. Как определяется работа по перемещению заряда в электрическом поле? Как она выражается через напряженность поля? Через разность потенциалов? От чего зависит величина работы?

10. Почему электрическое поле является потенциальным? В чем состоит критерий потенциальности электрического поля? Как выражается и чему равна циркуляция вектора напряженности электростатического поля?

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ.

Взаимодействие неподвижных электрических зарядов – статическая задача, поэтому электрические и механические силы системы должны удовлетворять условию  $\sum \vec{F}_i = 0$

Электрические заряды взаимодействуют посредством электрического поля, сила взаимодействия может быть рассчитана двумя способами: по закону Кулона (для точечных зарядов) и из соотношения,  $\vec{F}_i = q_i \vec{E}$ , где  $\vec{E}$  - напряженность поля,  $q_i$  – заряд, внесенный в это поле. Напряженность поля, созданного зарядами, равномерно распределенными по поверхности, определяется по формулам, полученным применением теоремы Остроградского – Гаусса. Если поле создается несколькими зарядами, то напряженность определяется по принципу суперпозиции, то есть равна векторной сумме напряженностей полей каждого заряда  $\vec{E} = \sum \vec{E}_i$

Потенциал электрического поля – энергетическая характеристика, скалярная величина, и при наложении нескольких полей потенциалы складываются алгебраически  $\varphi = \sum \varphi_i$ . Для определения величины разности потенциалов обычно используют связь ее с напряженностью поля. При этом надо помнить, что для однородного поля эта зависимость  $\Delta\varphi = E\Delta l$ , а для неоднородного – эта формула неприменима, и надо использовать общую формулу  $\Delta\varphi = \int_1^2 E dl = U$ .

Решать задачи надо в системе единиц СИ, величину  $\varepsilon_0$  – электрическую постоянную – удобно применять в виде  $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\Phi}{\text{м}}$

## ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

### *1. Электрический заряд. Закон Кулона*

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi \varepsilon_0 r^2} \text{ - закон Кулона.}$$

### *2. Напряженность электрического поля.*

$$E = \frac{F}{q} \text{ - определение напряженности поля;}$$

$$E = \sum_{i=1}^n E_i \text{ - принцип суперпозиции;}$$

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{вакуум}}}{E_{\text{диэлектрик}}} \text{ - диэлектрическая проницаемость диэлектрика;}$$

$$E = \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 r^2} \text{ - напряженность поля точечного заряда;}$$



$$\rho = \frac{dq}{dV} - \text{объемная плотность заряда;}$$

$$\sigma = \frac{dq}{dS} - \text{поверхностная плотность заряда,}$$

$$\tau = \frac{dq}{dl} - \text{линейная плотность заряда;}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon} - \text{напряженность поля плоскости;}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon} - \text{напряженность поля конденсатора;}$$

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r} - \text{напряженность поля нити;}$$

$$D = \varepsilon_0\varepsilon E - \text{вектор электрического смещения;}$$

$$d\Phi_E = E d\Omega - \text{поток вектора напряженности;}$$

$$d\Phi = D d\Omega - \text{поток вектора электрического смещения;}$$

### **3. Энергия взаимодействия точечных зарядов. Потенциал**

$$W = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r} - \text{энергия взаимодействия точечных зарядов;}$$

$$\varphi = \frac{W}{q} - \text{определение потенциала;}$$

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r} - \text{потенциал поля точечного заряда;}$$

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i - \text{принцип суперпозиции;}$$

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (q_i \varphi_i) - \text{потенциальная энергия системы точечных зарядов;}$$

$A = -\Delta W = q(\varphi_1 - \varphi_2)$  - работа поля по перемещению заряда;

$\vec{E} = -\text{grad}\phi$  - связь напряженности и потенциала.

Для однородного поля ( $E = \text{const}$ ):

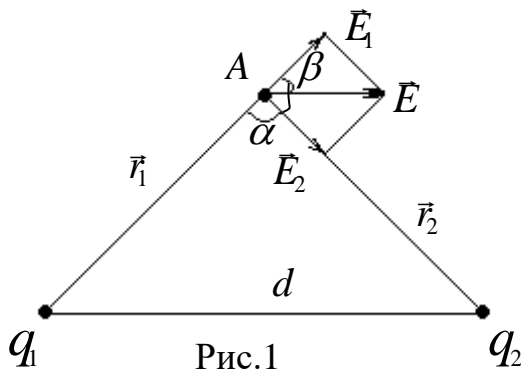
$$E = (\varphi_1 - \varphi_2) / d,$$

где  $d$  - расстояние между двумя точками, измеренное вдоль силовой линии

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### Задача 1.

Два точечных заряда  $q_1 = 10^{-9}$  Кл и  $q_2 = -2 \cdot 10^{-9}$  Кл находятся в воздухе на расстоянии  $d = 10$  см друг от друга. Определить напряженность и потенциал поля, создаваемого зарядом в точке А, если расстояние  $r_1 = 9$  см и  $r_2 = 7$  см.



### Решение:

Результирующая напряженность  $\vec{E}$  в точке А равна, согласно принципу суперпозиции, сумме напряженностей двух полей, создаваемых зарядами  $q_1$  и  $q_2$  в отдельности, т.е.

$E = E_1 + E_2$ , где  $E_1$  - напряженность поля заряда  $q_1$ ,  $E_2$  - напряженность поля заряда  $q_2$ . На рис. 1 вектор  $\vec{E}_1$  направлен от заряда  $q_1$ , так как этот заряд положительный, вектор  $\vec{E}_2$  направлен в сторону заряда  $q_2$ , так как этот заряд отрицательный. Результирующий вектор совпадает по величине и направлению с диагональю параллелограмма,

построенного на слагаемых векторах. Абсолютное значение этого вектора найдем из соотношения

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos\beta} \quad (1)$$

т.к.  $\beta = \pi - \alpha$

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos\alpha} \quad (2)$$

Абсолютную величину напряженностей  $E_1$  и  $E_2$  ищем по формуле напряженности поля точечного заряда

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (3)$$

По теореме косинусов:

$$\cos\alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1r_2} \quad (4)$$

Подставляем значение величин в системе СИ

$$E_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-9}}{(0.09)^2} = 1,11 \cdot 10^3 \frac{B}{m}, \quad E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-9}}{(0.07)^2} = 3,68 \cdot 10^3 \frac{B}{m},$$

$$\cos\alpha = \frac{(0.09)^2 + (0.07)^2 - (0.1)^2}{2 \cdot 0.09 \cdot 0.07} = 0.238,$$

$$E = \sqrt{(1,11 \cdot 10^3)^2 + (3,68 \cdot 10^3)^2 + 2 \cdot 1,11 \cdot 10^3 \cdot 3,68 \cdot 10^3 \cdot 0,238} = 3,58 \cdot 10^3 \frac{B}{m}$$

Потенциал результирующего поля, созданного двумя зарядами  $q_1$   $q_2$ , равен алгебраической сумме потенциалов

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (5)$$

Потенциал  $\varphi_1$  является положительным, т.к. поле создано положительным зарядом  $q_1$ , потенциал  $\varphi_2$  является отрицательным, т.к. по-

ле создано отрицательным зарядом  $q_2$ . Потенциал поля, созданного точечным зарядом, определяется по формуле

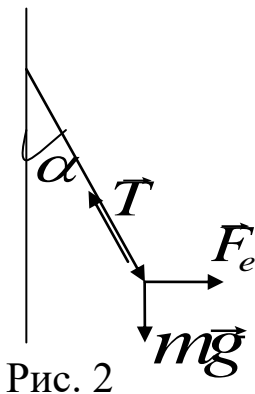
$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon r} = k \frac{q}{r}.$$

Подставляя числовые значения, получим

В соответствии с (5)

$$\varphi_1 = 100\text{В}, \quad \varphi_2 = -25\text{В}, \quad \varphi = 100 + (-25) = -15\text{В}.$$

### Задача 2.



На вертикальной бесконечно протяженной пластине равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью  $\sigma = 3,3 \text{ нКл/м}^2$ . На прикрепленной к пластине нити подвешен маленький шарик массы  $m = 1 \text{ г}$ , несущий заряд того же знака. Найти его заряд  $q$ , если нить образует с вертикалью угол  $\alpha = 30^\circ$ .

### Решение:

Шарик под действием трех сил (силы тяжести  $m\vec{g}$ , силы электрического отталкивания  $F_e$  и силы натяжения нити  $T$ ) находится в равновесии. Следовательно, для него можно записать:

$$m\vec{g} + F_e + T = 0 \quad (1)$$

Переходя от векторного уравнения к проекциям на вертикальное и горизонтальное направления, получим

$$F_e = T \sin \alpha \quad \text{и} \quad m\vec{g} = T \cos \alpha \quad (2)$$

Оттуда

$$F_e = mg \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

Но сила  $F_e$  электрического взаимодействия шарика и пластины равна

$$F_e = qE = q \frac{\sigma}{2\epsilon_0 \epsilon} \quad (4)$$

где  $E = q \frac{\sigma}{2\epsilon_0 \epsilon}$  - напряженность электрического поля, создаваемого заряженной пластиной. Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 1$ , так как нет указаний о наличии среды.

Подставим (4) в (3), получим

$$\frac{q\sigma}{2\epsilon_0 \epsilon} = mg \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (5)$$

Откуда заряд шарика

$$q = \frac{2\epsilon_0 \epsilon mg \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\sigma} \quad (6)$$

Подставив числовые значения, получим

$$q = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,577}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 3,3 \cdot 10^9} = 3 \cdot 10^5 \text{ Кл}$$

Проверим соответствие единиц

$$q = \frac{\text{Кл} \cdot \text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^2 \cdot \text{Кл}} = \text{Кл}$$

### Задача 3.

На шарик радиуса  $R=2$  см помещен заряд  $q=4$  нКл. С какой скоростью  $V$  подлетает к шарика электрону, начавший движение из бесконечно удаленной от него точки?

### Решение:

При притяжении электрона к заряженному шарiku электрическое поле совершает работу

$$A = e(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (1)$$

Где  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл – заряд электрона,  $\varphi_1 - \varphi_2$  – разность потенциалов конечной и начальной точек поля. Для бесконечно удаленной точки

$\varphi_2 = 0$ ,  $\varphi_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}$  – потенциал поверхности шарика. Диэлектрическая

проницаемость  $\epsilon = 1$ , т.к. нет указание о наличии среды. По закону сохранения энергии вся работа электрического поля затрагилась на сообщение электрону кинетической энергии

$$e(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{mv^2}{2} \quad (2)$$

Здесь  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг – масса электрона. С учетом значений  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  получим

$$\frac{eq}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{mv^2}{2} \quad (3)$$

Оттуда скорость электрона

$$v = \sqrt{\frac{2eq}{4\pi\epsilon_0 Rm}} \quad (4)$$

Подставим числовые значения

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^{-12}}{4\pi \cdot \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}} = 8 \cdot 10^5 \text{ м/с}$$

Проверим соответствие единиц

$$[v] = \left[ \frac{Кл \cdot Кл \cdot Н \cdot м^2}{Кг^2 \cdot м \cdot Кг} \right]^{1/2} = \left[ \frac{Кг \cdot м^2}{Кг \cdot с^2} \right]^{1/2} = \frac{м}{с}$$

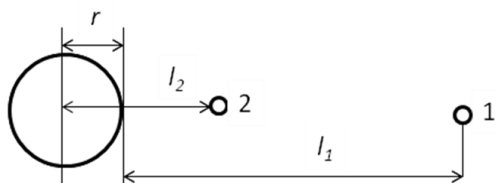
#### Задача 4.

В точке 1 находящейся на расстоянии  $l_1=1,4 м$  от поверхности шара радиуса  $r=20 см$ , имеющего поверхностную плотность заряда  $\sigma=30 мкКл/м^2$ , находится точечный заряд  $q=2 мкКл$  (рис.3). Найти работу совершаемую при перенесении этого заряда в точку 2, находящуюся на расстоянии  $l_2=40 см$  от центра шара.

#### Решение:

Заряд перемещается из точки с меньшим потенциалом в точку с большим потенциалом. Для такого перемещения требуется совершить против сил поля работу  $A=q(\varphi_1 - \varphi_2)$ .

Потенциалы в точках 1 и 2с  $\varphi_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{ш}}{l_1+r}$ ,  $\varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_{ш}}{l_2}$



где  $q_{ш} = \sigma \cdot 4\pi r^2$ . Следовательно

рис.3

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q q_{ш} \cdot \left[ \frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_1+r} \right] = \frac{q\sigma^2}{\epsilon_0} \left[ \frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_1+r} \right] = 0,51 Дж$$

#### Задача 5 .

Два одинаковых шара с массами  $m_1=m_2=m=600 г$  и радиусами  $r_1=r_2=r=2 см$  имеют одинаковые отрицательные заряды. Найти поверхностную плотность электрических зарядов, если известно, что кулоновская сила отталкивания, действующая на шары, уравне-

шивается силой всемирного тяготения. Расстояние между шарами велико по сравнению с их радиусами.

**Решение:**

Запишем равенство сил всемирного тяготения и кулоновского отталкивания, считая заряды и массы точечными:

$$G \frac{m^2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2}, \quad \text{отсюда}$$

$$q = m\sqrt{4\pi\epsilon_0 G} = 0,6\sqrt{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6,67 \cdot 10^{-11}} = 0,052 \mu\text{Кл}$$

**Задача 6.**

Электрический заряд равномерно распределен по окружности радиуса  $R$  с линейной плотностью  $\tau$ . Найти напряженность электростатического поля в центре окружности в произвольной точке прямой, проходящей через центр окружности перпендикулярно к ее поверхности.

**Решение:**

1) Если заряд расположен по окружности равномерно, то в центре окружности напряженность поля равна нулю, так как два заряда, расположенных на концах одного диаметра, создают напряженности поля, равные по величине и противоположные по направлению.

2) Напряженность электростатического поля в произвольной точке  $A$  оси  $MN$  (рис.4), отстоящей от центра на расстоянии  $\Delta$ , создаваемое зарядом  $\tau \cdot \Delta$ , приходящимся на элемент дуги окружности, равна

$$\frac{\tau \cdot \Delta}{h^2 + R^2}.$$



Разложим ее на компоненту, перпендикулярную на оси  $MN$ , и на компоненту вдоль оси. Первые компоненты напряженности от всех зарядов окружности, и в центре окружности в сумме дают ноль, а вторые компоненты в сумме дают:

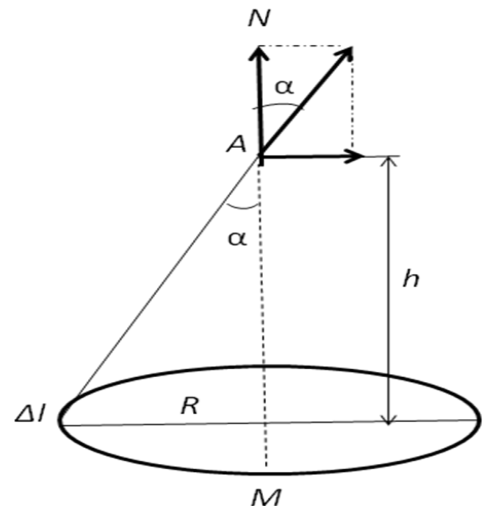


Рис.4

$$E = \sum \frac{\tau \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha}{h^2 + R^2} = \frac{\tau \cdot \cos \alpha}{h^2 + R^2} \sum \Delta l = \frac{\tau \cdot h \cdot 2\pi R}{(h^2 + R^2)^{3/2}}$$

Эта напряженность имеет наибольшее значение при

$$h = \frac{R}{\sqrt{2}}$$

### Задача 7.

Электрон движется по направлению силовых линий однородного поля напряженностью 2,4 В/м. Какое расстояние он пролетит в вакууме до полной остановки, если его начальная скорость  $2 \cdot 10^6$  м/с ? Сколько времени будет длиться полет ( $\mathcal{G}=0$ )?

### Решение:

На электрон в электрическом поле действует сила  $F = q \cdot \vec{E}$ , направленная навстречу его движению. По второму закону Ньютона ускорение электрона под действием силы  $F$  равно:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{q \cdot E}{m}$$

С другой стороны, ускорения  $a$  равно:  $a = \frac{|\mathcal{G} - \mathcal{G}_0|}{t} = \frac{\mathcal{G}_0}{t}$

Приравнивая эти выражения, определим время  $t$  до полной остановки электрона:

$$\frac{g_0}{t} = \frac{q \cdot E}{m}; \quad t = \frac{m g_0}{q E}$$

$$t = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 2 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 24} \approx 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

За это время электрон пройдет путь  $s$ , равный

$$s = g_0 t - \frac{a t^2}{2} = g_0 t - \frac{g_0 t^2}{2t} = \frac{g_0 t}{2};$$

$$s = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 4,7 \cdot 10^{-6}}{2} = 4,7 \text{ м}$$

### Задача 8.

Электрическое поле создается тонкой, бесконечно длинной нитью, равномерно заряженной с линейной плотностью заряда  $10^{-10}$  Кл/м. Определить поток вектора напряженности через цилиндрическую поверхность длиной 2 м, ось которой совпадает с нитью.

### Решение:

Нить длиной  $\ell$  с линейной плотностью заряда  $\tau$  содержит заряд  $q = \tau \ell$ . Линии напряженности направлены по нормали к нити по всевозможным направлениям и будут пронизывать только боковую поверхность цилиндра. В соответствии с теоремой Остроградского – Гаусса поток  $\Phi_e$  вектора напряженности сквозь замкнутую поверхность равен

$$\Phi_e = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0}.$$

Следовательно, 
$$\Phi_e = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{\tau \cdot \ell}{\epsilon \epsilon_0};$$

$$\Phi_e = \frac{10^{10} \cdot 2}{1,885 \cdot 10^{12}} \approx 226 \text{ В/м}$$

### Задача 9.

Заряд  $-1 \text{ нКл}$  переместился в поле заряда  $+1,5 \text{ нКл}$  из точки с потенциалом  $100 \text{ В}$  в точку с потенциалом  $600 \text{ В}$ . Определить работу сил поля и расстояние между точками.

### Решение:

Потенциал  $\varphi$  поля, созданного точечным зарядом  $q$ , равен:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$$

где  $r$  – расстояние от заряда до данной точки поля.

$$\varphi_1 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1}, \quad \text{откуда} \quad r_1 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \varphi_1}$$

$$r_1 = \frac{1,5 \cdot 10^9}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 100} \approx 135 \cdot 10^2 \text{ м}$$

$$\varphi_2 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_2}, \quad \text{откуда} \quad r_2 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \varphi_2}$$

$$r_2 = \frac{1,5 \cdot 10^9}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 600} \approx 2,25 \cdot 10^2 \text{ м}$$

$$\Delta r = r_1 - r_2 = 112,5 \cdot 10^2 \text{ м}$$

Работа сил поля:  $A = q_1(\varphi_1 - \varphi_2)$

$$A = 10^9 \cdot (100 - 600) = 5 \cdot 10^7 \text{ Дж}$$

### Задача 10.

Заряд  $-1 \text{ нКл}$  притянулся к бесконечной плоскости с поверхностной плотностью заряда  $0,2 \text{ мкКл/м}^2$ . На каком расстоянии от

плоскости находился заряд, если работа сил поля по его перемещению равна  $1 \text{ мкДж}$ ?

**Решение:**

Напряженность поля  $E$ , создаваемого равномерно заряженной бесконечной плоскостью, равна

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}.$$

Величина  $E$  является величиной постоянной, а это значит, что сила  $F = qE$ , действующая на заряд  $q$ , будет постоянной.

Работа  $dA$  силы  $F$  на пути  $dr$  равна  $dA_r = Fdr$ . Работа  $A_r$  на пути от  $r$  до 0 будет

$$A = \int_0^r Fdr = \int_0^r qEdr = \int_0^r \frac{q\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} dr = \frac{q \cdot \sigma \cdot r}{2\varepsilon\varepsilon_0};$$

отсюда

$$r = \frac{2\varepsilon\varepsilon_0 A}{|q\sigma|};$$

$$r = \frac{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^6}{10^9 \cdot 2 \cdot 10^7} = 8,85 \cdot 10^2 \text{ м}$$

**Таблица вариантов**

<b>№ Вари- анта</b>	<b>Номер задач</b>				<b>№ Вари- анта</b>	<b>Номер задач</b>			
<b>1</b>	1	51	101	145	<b>26</b>	26	76	126	170
<b>2</b>	2	52	102	146	<b>27</b>	27	77	127	171
<b>3</b>	3	53	103	147	<b>28</b>	28	78	128	172
<b>4</b>	4	54	104	148	<b>29</b>	29	79	129	173
<b>5</b>	5	55	105	149	<b>30</b>	30	80	130	174
<b>6</b>	6	56	106	150	<b>31</b>	31	81	131	175
<b>7</b>	7	57	107	151	<b>32</b>	32	82	132	176
<b>8</b>	8	58	108	152	<b>33</b>	33	83	133	177
<b>9</b>	9	59	109	153	<b>34</b>	34	84	134	178
<b>10</b>	10	60	110	154	<b>35</b>	35	85	135	179
<b>11</b>	11	61	111	155	<b>36</b>	36	86	136	180
<b>12</b>	12	62	112	156	<b>37</b>	37	87	137	181
<b>13</b>	13	63	113	157	<b>38</b>	38	88	138	182
<b>14</b>	14	64	114	158	<b>39</b>	39	89	139	183
<b>15</b>	15	65	115	159	<b>40</b>	40	90	140	184
<b>16</b>	16	66	116	160	<b>41</b>	41	91	141	185
<b>17</b>	17	67	117	161	<b>42</b>	42	92	142	186
<b>18</b>	18	68	118	162	<b>43</b>	43	93	143	187
<b>19</b>	19	69	119	163	<b>44</b>	44	94	144	165
<b>20</b>	20	70	120	164	<b>45</b>	45	95	122	169
<b>21</b>	21	71	121	165	<b>46</b>	46	96	124	170
<b>22</b>	22	72	122	166	<b>47</b>	47	97	126	166
<b>23</b>	23	73	123	167	<b>48</b>	48	98	128	167
<b>24</b>	24	74	124	168	<b>49</b>	49	99	130	171
<b>25</b>	25	75	125	169	<b>50</b>	50	100	125	172

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Электрон вращается по орбите радиуса  $R$  вокруг ядра с зарядом  $Ze$ . Каковы скорость  $v$  и период  $T$  вращения электрона?

2. Определить силу взаимодействия  $F$  двух точечных зарядов по  $q=0,1$  Кл, находящихся в вакууме на расстоянии  $r=1$  м друг от друга.

3. Даны два шарика массой  $m=1$  г. каждый. Какой заряд  $q$  нужно сообщить каждому шару, чтобы сила взаимного отталкивания зарядом уравновесила силу взаимного гравитационного притяжения шариков?

4. На двух одинаковых каплях воды находятся по одному лишнему электрону. Каков радиус капелек  $r$ , если сила электростатического отталкивания уравновешивает силу гравитационного притяжения?

5. При бомбардировке неподвижного ядра натрия  $\alpha$ - частицей сила отталкивания между ними достигла  $F=140$  Н. На какое наименьшее расстояние  $r$  приблизится  $\alpha$ - частица к ядру атома натрия?

6. Найти силу  $F$ , действующую на заряд  $q=6,7 \cdot 10^{-9}$  Кл, если он помещен на расстояние  $r=2$  см от поверхности заряженного шара радиусом  $R=2$  см и поверхностной плотностью заряда  $\sigma=2 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Кл}}{\text{см}^2}$ .

7. Под действием сил притяжения маленький отрицательно заряженный шарик равномерно движется по окружности вокруг то-

ченного положительного заряда  $q=1,1 \cdot 10^{-9}$  Кл. Радиус окружности равен  $r=1,5$  см, скорость вращения  $v=20$  см/с. Найти отношение заряда шарика к его массе.

8. С какой силой  $F$  притягивается электрон водородного атома к ядру, если диаметр атома водорода  $d=2 \cdot 10^{-8}$  см?

9. Вычислить отношение силы электрического отталкивания двух протонов к силе и гравитационного притяжения. Сделать тот же расчет для электронов.

10. Металлический шарик имеет заряд  $q=3,3 \cdot 10^{-9}$  Кл. Сколько электронов надо отнять от шарика для такой электризации?

11. Вычислить ускорение  $a$ , сообщаемое одним электроном другому, находящемуся от первого на расстоянии  $r=1$  мм.

12. Определить величину  $q$  одинаковых точечных электрических зарядов, взаимодействующих в вакууме с силой  $F=0,1$  Н, если расстояние между зарядами  $r=6$  м.

13. Два заряда находясь в воздухе на расстоянии  $r_1=5$  см взаимодействуют с силой  $F_1=120$  мкН, а некоторой непроводящей жидкости на расстоянии  $r_2=10$  см – силой  $F_2=15$  мкН. Какова относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  жидкости?

14. Определить расстояние  $r$  между двумя одинаковыми электрическими зарядами, находящимися в масле с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=3$ , если сила взаимодействия с ними такая же, как в вакууме на расстоянии  $r=30$  см.

15. Два заряда, каждый из которых состоит из электронов общей массой  $m=1$  г, находится на расстоянии  $r=10^{-11}$  м. С какой силой  $F$  они взаимодействуют?

16. Два точечных заряда  $q_1$  и  $q_2$  находятся на расстоянии  $r$  друг от друга. Если расстояние между ними уменьшается  $\Delta r = 50$  см, сила взаимодействия увеличивается в два раза. Найти расстояние  $r$ .

17. Металлический шарик имеет  $N_1 = 5 \cdot 10^5$  избыточных электронов. Какова сила взаимодействия  $F$  этого шарика с другим таким же шариком, находящимся на расстоянии  $r = 1$  м и имеющим заряд  $q_2 = 3,2 \cdot 10^{-14}$  Кл? Сколько избыточных электронов останется на первом шарике после соприкосновения со вторым?

18. Два заряда, один из которых в три раза больше другого, находясь в вакууме на расстоянии  $r = 30$  см, взаимодействуют с силой  $F = 30$  Н. Определить эти заряды.

19. Как изменятся силы взаимодействия между двумя точечными зарядами если каждый заряд увеличить в 4 раза, а расстояние между зарядами уменьшить вдвое?

20. Во сколько раз надо изменить расстояние между зарядами при увеличении одного из них в 4 раза, чтобы сила взаимодействия осталась прежней?

21. Два точечных отрицательных заряда  $q_1 = -1,8 \cdot 10^{-7}$  Кл и  $q_2 = -0,72 \cdot 10^{-6}$  Кл расположенным на расстоянии  $r = 3$  м друг от друга. Когда в некоторой точке поместили третий заряд  $q_3$ , то все три заряда оказались в равновесии. Определить третий заряд  $q_3$  и его положение.

22. В вершинах квадрата закреплены 4 одинаковых точечных положительных заряда по  $q = 10^{-8}$  Кл. Какой точечный заряд  $q_0$  надо поместить в центре квадрата, что бы вся система находилась в равновесии?



23. В вершинах квадрата со стороной  $a=10$  см расположены 4 одинаковых по величине точечных заряда  $q=40$  нКл. Из которых два положительных и два отрицательных, причем одноименные заряды расположены рядом. Найти силу, действующую на точечный заряд  $q_0=50$  нКл, помещенный в центре квадрата.

24. Четыре одинаковых заряда по  $q=40$  нКл закреплены в вершинах квадрата со стороной  $a=10$  см. Найти силу  $F$ , действующую на один из этих зарядов со стороны трех остальных.

25. Три шарика массой  $m=5$  г каждый подвешены к одному крючку на нитях длиной  $\ell=1$  м. При сообщении шариком одинаковых одноименных зарядов  $q$  шарики разошлись так, что угол между нитями стал  $\alpha=40^\circ$ . Найти заряд шариков  $q$ .

26. В центре квадрата расположен положительный заряд  $q=250$  нКл. Какой отрицательный заряд  $q_0$  надо поместить в каждой вершине квадрата, что бы система зарядов находилась в равновесии?

27. Два одинаковых металлических шарика находятся на расстоянии  $r=60$  см. Сила отталкивания заряженных шариков  $F_1=70$  мкН. После того, как шарики привели в соприкосновение и удалили друг от друга на прежнее расстояние сила отталкивания возросла и стала равной  $F_2=160$  мкН. Вычислить  $q_1$  и  $q_2$ , которые были на шариках до их соприкосновения. Диаметр шарика считать много меньшим расстояния между ними.

28. Два одинаковых шарика массой  $m=0,1$  г каждый подвешены на нитях одинаковой длины  $\ell=0,2$  м закрепленных в одной точке. Один из шариков отвели в сторону и зарядили. После соприкосновения с другим шариком, шарики разошлись так, что нити состави-

ли угол  $\alpha=60^{\circ}$ . Найти величину заряда  $q_1$ , сообщенного первому шару.

29. Шарик массой  $m=4$  г, несущий заряд  $q_1=278$  нКл, подвешен в воздухе на тонкой шелковой нити. При приближении к нему заряда  $q_2$  противоположного знака нить отклонилась от вертикали на  $\alpha=45^{\circ}$ . Найти величину заряда  $q_2$ , если расстояние между  $q_1$  и  $q_2$  в отклоненном состоянии  $r=6$  см.

30. Два одинаковых шарика, подвешенные на нитях одинаковой длины, под действием сообщенного им заряда разошлись так, что нити составили угол  $\alpha=90^{\circ}$ . Через некоторое время угол между ними уменьшился до  $\beta=60^{\circ}$ . Определить, какая доля первоначального заряда осталась на каждом шарике?

31. Заряды  $q_1=q$  и  $q_2=-2q$  находятся на расстоянии  $\ell$  друг от друга. С какой силой действуют эти заряды на третий заряд  $q_3=3q$ , если он расположен на расстоянии  $\ell$  от середины линии, соединяющей эти заряды?  $q=20$  нКл,  $\ell=20$  см.

32. Два одинаковых заряженных шарика подвешены на нитях одинаковой длины. Их опускают в жидкий диэлектрик плотностью  $\rho=800$  кг/м<sup>3</sup>. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы углы расхождения шариков в воздухе и среде были одинаковы? Относительную диэлектрическую проницаемость принять  $\epsilon=2,2$ .

33. Два шарика одинакового радиуса и одинаковой массы подвешены на нитях так, что их поверхности соприкасаются. Какой заряд нужно сообщить шарикам, чтобы натяжение нитей стало

$T=0,098 \text{ Н}$  ? Расстояние от точки подвеса до центра шарика  $\ell=10 \text{ см}$ , масса шарика  $m=5 \text{ г}$ .

34. Два одинаково проводящих шарика с зарядами  $q_1=+2 \text{ нКл}$  и  $q_2=-1 \text{ нКл}$  соприкоснулись вследствие притяжения и вновь разошлись на расстояние  $r=4 \text{ см}$ . Определить заряд каждого шарика после соприкосновения и силу взаимодействия между ними.

35. Два шарика равных размеров и масс подвешены так, что их поверхности прикасаются. После сообщения им зарядов по  $q=50 \text{ нКл}$  они оттолкнулись друг от друга, а нити составили в угол  $2\alpha=60^\circ$ . Найти массу шариков, если расстояние от точки подвеса до центра шариков  $\ell=20 \text{ см}$ . Размеры шариков пренебрежимо малы по сравнению с отталкиванием.

36. Два положительных заряда  $q$  и  $4q$  закреплены на расстоянии  $r=60 \text{ см}$  друг от друга. Определить, в какой точке прямой, соединяющей заряды, надо поместить третий заряд, чтобы он находился в равновесии. Какой знак должен иметь этот заряд, чтобы равновесие было устойчивым? Перемещения зарядов возможны только по прямой, проходящей через заряды.

37. Расстояние между двумя точечными зарядами  $q_1=1 \text{ мкКл}$  и  $q_2=-1 \text{ мкКл}$  равно  $r=10 \text{ см}$ . Определить силу  $F$ , действующую на точечный заряд  $q_0=0,1 \text{ мкКл}$ , удаленный на  $r_1=6 \text{ см}$  от первого и на  $r_2=8 \text{ см}$  от второго зарядов.

38. Два одинаковых заряженных шарика подвешены в одной точке на нитях одинаковой длины. При этом нити разошлись на угол  $\alpha$ . Шарика погружаются в масло плотностью  $\rho_0 = 800 \text{ кг/м}^3$ . Какова диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  масла, если угол рас-

хождения нитей при погружении шариков в масло остается неизменным? Плотность материалов шарика  $\rho = 1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

39. Три одинаковых точечных заряда  $q_1=q_2=q_3=1 \text{ нКл}$  расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд  $q_4$  нужно поместить в центр треугольника, чтобы указания системы зарядов находились в равновесии?

40. Тонкая шелковая нить выдерживает максимальное натяжение  $T=9,8 \text{ мН}$ . Подвешенный на этой нити шарик массой  $m=0,6 \text{ г}$  имеет заряд  $q_1=1 \text{ нКл}$ . Снизу в направлении линии подвеса к нему подносят шарик, имеющий заряд  $q_2=-1,3 \text{ нКл}$ . На каком расстоянии  $r$  нить между шариками разорвется?

41. Три одинаковых заряда величиной  $q=7 \text{ нКл}$  каждый помещены в вершинах равностороннего треугольника. Сила, действующая на каждый заряд  $F=0,01 \text{ Н}$ . Определить длину стороны  $a$  треугольника.

42. Четыре одинаковых по абсолютной величине точечных заряда, из которых два положительных и два отрицательных, расположенных в вершинах квадрата со стороной  $a=20 \text{ см}$ , как показано на рис.5. Абсолютная величина

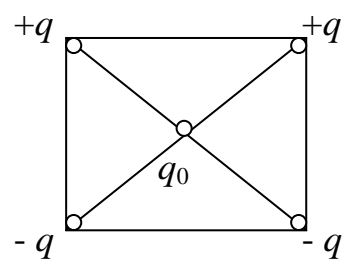


Рис.5

каждого заряда  $q=7 \text{ нКл}$ . Найти силу  $F$ , действующую на помещенный в центр квадрата заряд  $q_0=7 \text{ нКл}$ .

43. Каждый из двух маленьких шариков положительно заряжен так, что их общий заряд  $q=50 \text{ мкКл}$ . Как распределен этот заряд между ними, если они, находясь на расстоянии  $r=2 \text{ м}$  друг от друга, отталкиваются с силой  $F=1 \text{ Н}$ ?

44. На нити подвешен шарик массой  $m=9,8$  г, которому сообщили заряд  $q=1$  мкКл. Когда к нему поднесли снизу заряженный таким же зарядом шарик, сила тяжести нити уменьшилась в четыре раза. Определить расстояние между шариками.

45. Шарик массой  $m$  с зарядом  $q$ , подвешенный на нити длиной  $\ell$ , вращается вокруг неподвижного заряда такого же, как и заряд шарика. Угол между направлением нити и вертикалью равен  $\alpha$ . Найти угловую скорость  $\omega$  равномерного вращения шарика и силу натяжения  $T$  нити.

46. Шарик массой  $m=150$  мг, подвешенный на непроводящей нити, имеет заряд  $q=-10$  нКл. На расстоянии  $r=32$  см от него снизу помещается второй шарик. Каким должен быть по величине и знаку его заряд  $q_0$ , чтобы натяжение нити увеличилось в два раза?

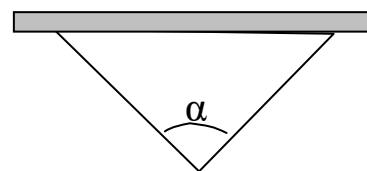


Рис. 6

47. Заряженный шарик массой  $m=588$  мг подвешен на шелковых нитях, образующих угол  $\alpha=90^\circ$  (рис.6) На расстоянии  $r=4,2$  см по вертикали снизу помещают другой шарик с разноименным зарядом такой же величины. При этом натяжение нити увеличивается вдвое. Определить заряд шарика  $q$  и натяжение нити  $T$  при наличии кулоновского взаимодействия.

48. На каком расстоянии снизу от шарика, подвешенного на нити и имеющего заряд  $q=7$  нКл, должна быть расположена стальная пылинка объемом  $V=9$  мм<sup>3</sup>, чтобы она находилась в равновесии, если заряд пылинки равен  $q=-2,1$  нКл? Плотность стали  $\rho=7,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

49. Два заряда  $q_1=25$  нКл и  $q_2=-25$  нКл расположены на расстоянии  $r_1=2,4$  см друг от друга. С какой силой  $F$  эти заряды действуют на заряд  $q_3=2$  нКл, помещенный в точку, удаленную на расстояние  $r_2=15$  см от каждого заряда?

50. Найти силу  $F$ , действующую вдоль силовой линии на заряд  $q=3,5$  Кл, помещенный в однородное электрическое поле, напряженность которого  $E=3,6$  В/см.

51. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром  $d=10$  см равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью  $\sigma=10^{-4}$  Кл/м<sup>2</sup>. Определить напряженность  $E$  поля в точке, отстоящей от поверхности цилиндра на  $a=5$  см.

52. Определить напряженность  $E$  и потенциал  $\varphi$  поля, создаваемого равномерно заряженной сферой с поверхностной плотностью заряда  $\sigma=1$  мкКл/м<sup>2</sup>, в точке, удаленной на  $a=9$  см от поверхности сферы. Радиус сферы  $r=1$  см.

53. Очень длинная равномерно заряженная проволока создает поле, напряженность которого на расстоянии  $r=5$  см от проволоки равна  $E=1,2$  В/см. Найти линейную плотность  $\tau$  заряда проволоки.

54. С какой силой  $F$ , приходящейся на единицу площади, отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно протяженные пластины с одинаковой поверхностной плотностью заряда  $\sigma=2$  Кл/м<sup>2</sup>.

55. Какова напряженность поля двух безграничных взаимно перпендикулярных плоскостей, если на них нанесены равномерно электрические заряды одного знака с поверхностной плотностью  $\sigma$  и  $-2\sigma$ ?

56. Какое расстояние между двумя взаимодействующими нитями с линейной плотностью заряда  $\tau_1=0,1$  мкКл/м и  $\tau_2=0,2$  мкКл/м, если сила взаимодействия между ними, рассчитанная на каждый метр длины, равна  $F=3,6$  мН?

57. Какова поверхностная плотность заряда плоскостей, которые взаимодействуют друг с другом с силой  $F=2$  мкН на единицу площади? Плоскости считать бесконечными, параллельными, заряженными с одинаковой поверхностной плотностью заряда.

58. Бесконечная равномерно заряженная плоскость имеет поверхностную плотность электрических зарядов  $\sigma=9$  мкКл/м<sup>2</sup>. На ней находится алюминиевый шарик с зарядом  $q=3,68 \cdot 10^{-7}$  Кл. Каким должен быть радиус шарика, чтобы он не падал? Плотность алюминия  $\rho=2,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

59. Параллельно бесконечной плоскости, заряженной с поверхностной плотностью заряда  $\sigma=4$  Кл/м<sup>2</sup>, расположена бесконечно длинная прямая нить, заряженная с линейной плотностью  $\tau=100$  нКл/м. Определить силу  $F$ , действующую со стороны плоскости на отрезок нити длиной  $\ell=1$  м.

60. Электрический диполь с зарядами  $q=90$  нКл и расстоянием между ними  $\ell=1$  см находятся в керосине. Определить напряженность электрического поля в центре диполя на его оси.

61. На расстоянии  $r=4$  мм от прямой проволоки длиной  $\ell=150$  см, на которой равномерно распределен заряд  $q_1=0,2$  мкКл, находится пылинка с зарядом  $q_2=-2 \cdot 10^{-16}$  Кл. Определить силу  $F$ , действующую на пылинку.

62. Заряженная капелька масла радиусом  $r=10^{-3}$  мм находится в равновесии в однородном электрическом поле с напряженностью  $E=7,85$  кВ/м. Приняв плотность масла  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup>, определить заряд капельки  $q$ .

63. С какой силой (на единицу длины) отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно длинные параллельные нити с одинаковой линейной плотностью заряда  $\tau=3$  мкКл/м, на расстоянии  $a=20$  см друг от друга?

64. Расстояние  $r$  между двумя точечными зарядами  $q=8$  нКл и  $q=-5,3$  нКл равно  $r=40$  см. Вычислить напряженность поля в точке, лежащей посередине между зарядами. Чему равна напряженность  $E_2$ , если второй заряд будет положительный?

65. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими одинаковый равномерно распределенный по площади заряд с поверхностной плотностью  $\sigma=1$  нКл/м<sup>2</sup>. Определить напряженность поля: а) между пластинами, б) вне пластин.

66. Две круглые пластины площадью по  $S=100$  см<sup>2</sup> каждая расположена параллельно друг другу. Заряд одной пластины  $q_1=+100$  нКл, другой  $q_2=-100$  нКл. Определить силу взаимного притяжения пластин, если расстояние между ними  $d=2$  см.

67. Точечный заряд  $q=1$  мкКл находится вблизи большой равномерно заряженной пластины против ее середины. Вычислить поверхностную плотность  $\sigma$  заряда пластины, если на точечный заряд действует сила  $F=60$  мН.



68. Большая металлическая пластина несет равномерно распределенный по поверхности заряд с поверхностной плотностью  $\sigma=10$  нКл/м<sup>2</sup>. На малом расстоянии от пластины находится точечный заряд  $q=100$  нКл. Найти силу  $F$ , действующую на заряд.

69. Между пластинами плоского конденсатора находится точечный заряд  $q=30$  нКл. Поле конденсатора действует на заряд с силой  $F_1=10$  мН. Определить силу  $F_2$  взаимного притяжения пластин, если площадь каждой пластины  $S=100$  см<sup>2</sup>.

70. Маленький шарик подвешен на тонкой шелковой нити в пространстве плоского воздушного конденсатора, пластины которого расположены горизонтально. Шарик несет на себе заряд  $q_1=4$  нКл. Если пластинам сообщить заряд  $q_2=1$  мкКл, то натяжение нити увеличится вдвое. Площадь пластин конденсатора равна  $S=100$  см<sup>2</sup>. Определить массу шарика. Массой нити пренебречь. Поле внутри конденсатора считать однородным.

71. Маленький шарик, несущий заряд  $q_1=2$  нКл, подвешен на тонкой шелковой нити между вертикальными пластинами незаряженного конденсатора. Когда пластины конденсатора зарядили зарядом  $q_2=0,9$  мкКл, шарик отклонится от вертикали на угол  $\alpha=30^\circ$ . Найти массу шарика  $m$ . Площадь пластины конденсатора  $S=30$  см<sup>2</sup>. Массой нити пренебречь. Поле внутри конденсатора считать однородным.

72. Электрон влетает в плоский конденсатор, расположенный горизонтально, параллельно его пластинам со скоростью  $10$  Мм/с. Напряженность поля в конденсаторе  $E=100$  В/см, длина конденса-

тора  $\ell=5$  см. Найти величину и направление скорости электрона при вылете его из конденсатора.

73. Расстояние между зарядами  $q_1=-44$  нКл и  $q_2=+0,1$  мкКл равно  $r=5$  см. Определить напряженность и потенциал поля в точке, удаленной на  $r_1=4$  см от первого и на  $r_2=3$  см от второго зарядов.

74. Вертикальная бесконечно протяженная плоскость заряжена равномерно. Поверхностная плотность заряда  $\sigma=9,8$  мкКл/м<sup>2</sup>. К плоскости на нити подвешен заряженный шарик массой  $m=1$  г. Определить заряд шарика  $q$ , если нить образует с плоскостью угол  $\alpha=45^\circ$ . Нить считать невесомой, а также достаточно длинной, чтобы можно было пренебречь влиянием шарика на распределение заряда на плоскости.

75. Протон и  $\alpha$ -частица, двигаясь с одинаковой скоростью, влетают в плоский конденсатор параллельно пластинам. Во сколько раз отклонение протона полем конденсатора будет больше отклонения  $\alpha$ -частицы? Заряд  $\alpha$ -частицы в два раза больше заряда протона, а масса  $\alpha$ -частицы в четыре раза больше массы протона.

76. Расстояние между двумя точечными зарядами  $+9q$  и  $+q$  равно  $r=8$  см. На каком расстоянии  $r_1$  от первого заряда находится точка, в которой напряженность суммарного поля данных зарядов равно нулю?

77. Вертикальная бесконечно протяженная плоскость заряжена равномерно. К плоскости на нити подвешен заряженный шарик  $q=0,88 \cdot 10^{-4}$  Кл,  $m=10$  г. Нить образует с плоскостью угол  $\alpha=45^\circ$ . Найти поверхностную плотность заряда плоскости. Нить считать невесомой, а так же достаточно длинной.

78. Даны два точечных положительных заряда по  $q=2,5 \cdot 10^{-8}$  Кл. Расстояние между зарядами  $r_1=5$  см. Найти напряженность  $E$  и потенциал  $\varphi$  поля в точке, удаленной на  $r_2=5$  см от каждого заряда.

79. В двух вершинах равностороннего треугольника ( $a=4$  м) расположены равные по величине, но разные по знаку точечные заряды по  $q=3,2 \cdot 10^{-5}$  Кл каждый. Определить напряженность  $E$  и потенциал  $\varphi$  электрического поля в третьей вершине треугольника

80. Расстояние между двумя длинными тонкими проводами, расположенными параллельно друг другу, равно  $\ell=20$  см. Оба провода равномерно заряжены разноименными зарядами с линейной плотностью  $\tau=1,1 \cdot 10^{-9}$  Кл/м. Определить напряженность электрического поля  $E$  в точке, находящейся на расстоянии  $r=20$  см как от первого, так и от второго провода.

81. Два длинных прямых провода, расположенные параллельно друг другу на расстоянии  $\ell=20$  см, равномерно заряжены с линейной плотностью  $\tau_1=10^{-9}$  Кл/м и  $\tau_2=2 \cdot 10^{-9}$  Кл/м. Определить положение прямой, на которой напряженность поля равна нулю.

82. Расстояние между двумя длинными тонкими проволоками, расположенными параллельно друг другу равно  $d=10$  см. Проволоки заряжены разноименными зарядами с линейной плотностью  $\tau_1=-0,66 \cdot 10^{-7}$  Кл/см и  $\tau_2=+4,4 \cdot 10^{-8}$  Кл/см. Найти напряженность поля  $E$  в точке, расположенной на расстоянии  $r_1=6$  см от первой и  $r_2=8$  см от второй проволоки.

83. Электрон движется в плоском горизонтальном конденсаторе параллельно его пластинам со скоростью  $v=3,6 \cdot 10^4$  км/с. Напряженность поля внутри конденсатора  $E=37$  В/см. Длина пластин

конденсатора  $\ell=20$  см. На сколько сместится электрон в вертикальном направлении под действием электрического поля за время его движения в конденсаторе?

84. В вершинах правильного шестиугольника со стороной  $a$  помещаются точечные заряды одинаковой величины. Найти потенциал и напряженность поля в центре шестиугольника, если знаки всех зарядов одинаковы.

85. Электрон с начальной скоростью  $v_0=3 \cdot 10^6$  м/с влетел в однородное электрическое поле напряженностью  $E=150$  В/м. Вектор начальной скорости перпендикулярен линиям напряженности электрического поля. Найти: 1) силу, действующую на электрон; 2) ускорение, приобретаемое электроном; 3) скорость электрона через  $t=0,1$  мкс.

86. К заряженной бесконечно протяженной плоскости подвешен на нити шарик, заряженный одноименным зарядом  $q=1$  нКл и массой  $m=1$  г. Какой угол  $\alpha$  образует нить с плоскостью, если поверхностная плотность заряда плоскости  $\sigma=4 \cdot 10^{-9}$  Кл/см<sup>2</sup>

87. Бесконечный, равномерно заряженный вертикальной плоскости подвешен на нити одноименно заряженный шарик массой  $m=40$  мг и зарядом  $q=670$  нКл. Натяжение нити, на которой висит шарик,  $T=490$  мкН. Найти поверхностную плотность заряда  $\sigma$  на плоскости.

88. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами  $q_1=40$  нКл и  $q_2=-10$  нКл, находящимися на расстоянии  $r=10$  см друг от друга. Найти напряженность поля в точке, удаленной от первого заряда на  $r_1=12$  см, а от второго на  $r_2=6$  см.

89. В вершинах равностороннего треугольника расположены три равных одноименных заряда  $q$ . Какова напряженность поля  $E$  в центре треугольника? Чему будет равна напряженность поля  $E$ , если один заряд станет иметь противоположный знак?

90. Электрическое поле создано бесконечной плоскостью, заряженной с поверхностной плотностью  $\sigma=400 \text{ нКл/м}^2$  и бесконечной прямой нитью, заряженной с линейной плотностью  $\tau=100 \text{ нКл/м}$ . Определить силу, действующую на заряд  $q=10 \text{ нКл}$ , находящийся на расстоянии  $r=10 \text{ см}$  от нити, если заряд и нить лежат в одной плоскости, параллельной заряженной плоскости.

91. В вершинах квадрата со стороной  $a=2,84 \text{ см}$  расположены заряды  $q_1=+1,6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ ,  $q_2=+3,2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ ,  $q_3=-3,2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ ,  $q_4=-1,6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ . Определить потенциал  $\varphi$  и напряженность  $E$  электрического поля в центре квадрата.

92. Определить напряженность  $E$  поля, создаваемого точечным диполем с электрическим моментом  $P=2 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}\cdot\text{м}$ , на расстоянии  $r=10 \text{ см}$  от центра диполя в направлении, перпендикулярном оси диполя.

93. Расстояние между зарядами диполя  $\ell=1 \text{ мкм}$ . Найти величину зарядов диполя, если напряженность в точке, удаленной от обоих зарядов на расстояние  $r=2 \text{ см}$ , равна  $E_0=1,8 \text{ В/м}$ .

94. В вершинах при острых углах ромба, составленного из двух равносторонних треугольников со стороной  $a$  помещены положительные заряды  $q$ . В вершине при одном из тупых углов ромба помещен так же положительный заряд  $q_0$ . Определить напряженность электрического поля  $E$  в четвертой вершине ромба.

95. Диагонали ромба имеют длину  $d_1=96$  см и  $d_2=32$  см. на концах длинной диагонали расположены точечные заряды  $q_1=22$  нКл и  $q_2=120$  нКл, на концах короткой – заряды  $q_3=3$  нКл и  $q_4=13$  нКл. Определить величину и направление (относительно короткой диагонали) напряженности  $E$  электрического поля в центре ромба.

96. Какой угол  $\alpha$  с вертикалью составляет нить, на которой висит заряженный шарик массой  $m=0,25$  г, помещенный в горизонтальное электрическое поле напряженностью  $E=36$  В/м? Заряд шарика  $q=7$  мкКл.

97. В однородном электрическом поле с напряженностью  $E=1$  мВ/м, направленный под углом  $\alpha=30^\circ$  к вертикали, висит на нити шарик массой  $m=2$  г, несущий заряд  $q=10$  нКл. Найти силу натяжения нити  $T$ .

98. Электрон движется в направлении однородного электрического поля с напряженностью  $E=120$  В/м. Какое расстояние пролетит электрон до полной потери скорости, если его начальная скорость  $v_0=1000$  км/с? За какое время будет пройдено это расстояние?

99. На сколько изменится ускорение тела, падающего на землю, если ему сообщить заряд  $q=+4 \cdot 10^{-8}$  Кл? Масса тела  $m=5$  г, напряженность поля у поверхности земли  $E=100$  В/м.

100. Вблизи бесконечной заряженной плоскости находится точечный заряд  $q=3$  нКл. Под действием поля заряд перемещается вдоль силовой линии на расстояние  $\ell=10$  см. При этом совершается работа  $A=1$  мДж. Найти поверхностную плотность заряда пластины.

101. Пылинка массой  $m=10^{-9}$  г несущая на себе 5 электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов  $U=3 \cdot 10^6$  В. Какова кинетическая энергия  $W_k$  пылинки? Какую скорость  $v$  приобрела пылинка?

102. Какая совершается работа при перенесении точечного заряда в  $q=2 \cdot 10^{-8}$  Кл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии  $d=1$  см от поверхности шара радиусом  $R=1$  см с поверхностной плотностью заряда  $\sigma=10^{-9}$  Кл/см<sup>2</sup>.

103. Какую работу надо совершить, чтобы два шарика с зарядами  $q_1$  и  $q_2$ , находящиеся на расстоянии  $r_1$  друг от друга сблизить до расстояния  $r_2$ ?  $q_1=10^{-8}$  Кл,  $q_2=3 \cdot 10^{-9}$  Кл,  $r_1=0,02$  м,  $r_2=0,03$  м.

104. Ион атома  $Li^+$  прошел разность потенциалов  $U_1=400$  В. Ион атома натрия  $Na^+$  - разность потенциалов  $U_2=300$  В. Найти отношение скоростей этих ионов.

105. Пылинка массой  $m=10^{-5}$  г, несущая на себе заряд  $q=10^{-8}$  Кл влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов  $U=150$  В пылинка имела скорость  $v=20$  м/с. Какая была скорость пылинки до того, как она влетела в поле?

106. Электрон, обладающий кинетической энергией  $W_k=1,6 \cdot 10^{-18}$  Кл, влетел в однородное электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов  $U=8$  В его скорость изменилась. Какой она стала?

107. При перемещении заряда  $q=0,2$  мКл в электрическом поле совершается работа  $A=0,6$  Дж. Вычислить разность потенциалов между начальной и конечной точками перемещения.

108. При перемещении заряда  $q=0,3$  Кл в однородном электрическом поле между двумя точками, находящимися на расстоянии  $r=0,25$  м одна от другой, совершается работа  $A=150$  Дж. Определить разность потенциалов  $U$  между указанными точками и напряженность поля  $E$ .

109. Найти отношение скоростей ионов  $Ca^{++}$  и  $Na^+$ , прошедших одинаковую разность потенциалов.

110. На какое расстояние могут приблизиться друг к другу два электрона, если они движутся навстречу с относительной скоростью  $V=10$  Мм/с?

111. Шарик массой  $m=1$  г и зарядом  $q=10^{-8}$  Кл перемещается из точки  $A$ , потенциал которой равен  $\varphi_1=600$  В, в точку  $B$ , потенциал которой равен нулю. Чему была равна его скорость  $v_1$  в точке  $A$ , если в точке  $B$  она стала равной  $20$  см/с?

112. Электрон с энергией  $W_k=1,6 \cdot 10^{-17}$  Дж (в бесконечности) движется вдоль силовой линии по направлению к поверхности металлической заряженной сферы радиусом  $R=5$  см. определить минимальное расстояние, на которое приблизится электрон к поверхности сферы, если заряд ее  $q=-10^{-9}$  Кл.

113. Заряженная частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов равную  $U=600$  кВ, приобрела скорость  $v=5,4$  Мм/с. Определить удельный заряд частицы (отношение заряда к массе)  $q/m$ .

114. определить потенциал точки поля, находящейся на расстоянии  $r=10$  см от центра заряженного шара радиусом  $R=1$  см, если известна поверхностная плотность заряда на шаре, равная  $\sigma=10^{-11}$  Кл/см<sup>2</sup>.



115. Шарик массой  $m=40$  мг, заряженный зарядом  $q_1=1$  нКл, движется со скоростью  $v=10$  см/с. На какое расстояние может приблизиться шарик к положительному точечному заряду  $q_2=2$  нКл.

116. Определить потенциальную энергию  $W_p$  системы двух точечных зарядов  $q_1=100$  нКл и  $q_2=10$  нКл, находящихся на расстоянии  $r=10$  см друг от друга.

117. Найти скорость  $v$  электрона, прошедшего разность потенциалов  $U=100$  В.

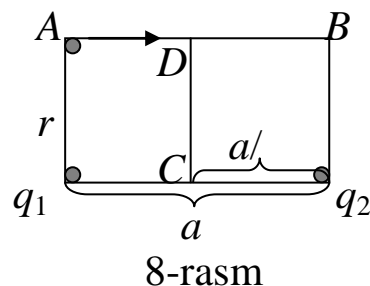
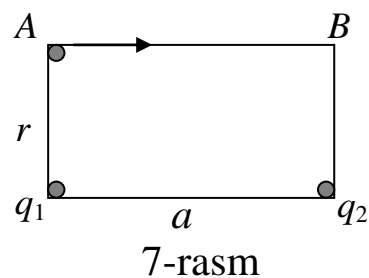
118. Маленький металлический шарик с массой  $m=1$  г которому сообщен заряд  $q_1=10^{-7}$  Кл, брошен издалека со скоростью  $v=1$  м/с в металлическую сферу с зарядом  $q_2=3 \cdot 10^{-7}$  Кл. При каком минимальном значении радиуса сферы шарик достигнет ее поверхности?

119. Определить ускоряющую разность потенциалов, которую должен пройти в электрическом поле электрон, обладающий скоростью  $v=10^6$  м/с, чтобы скорость его возросла в  $n=2$  раза.

120. Во сколько раз энергия электростатического воздействия двух частиц с зарядом  $q$  и массой  $m$  больше энергии их гравитационного воздействия? Задачу решить для 1) электронов и 2) протонов.

121. Определить работу электрических сил при перемещении заряда  $q=1$  нКл из т.  $A$  в т.  $B$ , если  $q_1=3$  нКл и  $q_2=-3$  нКл (рис.7),  $r=6$  см,  $a=8$  см.

122. Шарик радиусом  $R_1=2$  см с зарядом  $q=18$  нКл находится в воздухе. Найти радиусы



эквивалентных поверхностей, потенциалы которых отличаются друг от друга на  $\Delta\varphi=15 \text{ В}$ .

123. Найти работу электрических сил при перенесении заряда  $q=1 \text{ нКл}$ : а) из точки  $A$  в точку  $B$ , б) из точки  $C$  в точку  $D$ , если  $r=6 \text{ см}$ ,  $a=8 \text{ см}$ ,  $q_1=q_2=+3,3 \text{ нКл}$  (Рис.8).

124. Поле образовано точечным диполем с электрическим моментом  $p=10^{-10} \text{ Кл}\cdot\text{м}$ . Определить разность потенциалов  $U$  двух точек поля, расположенных симметрично относительно диполя на его оси, на расстоянии  $r=10 \text{ см}$  от центра диполя.

125. В вершинах квадрата расположены точечные заряды  $q_1=+1 \text{ нКл}$ ,  $q_2=-2 \text{ нКл}$ ,  $q_3=+3 \text{ нКл}$ ,  $q_4=-4 \text{ нКл}$ . Найти потенциал в центре квадрата, если сторона квадрата  $a=10 \text{ см}$ .

126. На шарик радиуса  $r=2 \text{ см}$  помещен заряд  $q=4 \text{ нКл}$ . С какой скоростью  $v$  подлетает к шарикку электрон, начавший движение из бесконечно удаленной точки?

127. Электрон, пролетая в электрическом поле путь от точки  $A$  к точке  $B$ , увеличил свою скорость с  $v_1=1000 \text{ км/с}$  до  $v_2=3000 \text{ км/с}$ . Найти разность потенциалов между точками  $A$  и  $B$  поля.

128. Поле создано точечным зарядом  $+q$ . Потенциалы точек  $A$  и  $C$  равны  $\varphi_A=15 \text{ В}$  и  $\varphi_B=5 \text{ В}$

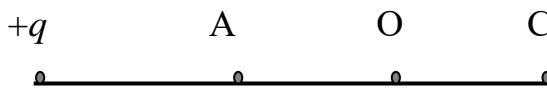


Рис. 9

(Рис.9). Найти потенциал точки  $O$ , лежащей посередине между точками  $A$  и  $C$ .

129. Два одноименных заряда по  $q=1 \text{ нКл}$  каждый находятся на некотором расстоянии друг от друга. Определить потенциал точки, лежащей на расстоянии  $r = 9 \text{ см}$  от каждого заряда.

130. Заряды  $q$ ,  $-2q$ ,  $3q$  расположены в вершинах правильного треугольника со стороной  $a$ . Какова потенциальная энергия этой системы?

131. Электрон влетает из точки, потенциал которой  $\varphi_1=450$  В, со скоростью  $v_1=190$  м/с. Какую скорость  $v_2$  он будет иметь в точке с потенциалом  $\varphi_2=475$  В?

132. Два электрона движутся под действием сил отталкивания. Какую скорость будут они иметь, когда расстояние между ними станет бесконечно большим? В начальный момент времени электроны находились на расстоянии  $r=1$  см друг от друга.

133. Электрическое поле создано точечным зарядом  $q_1=6$  нКл. Каково изменение потенциальной энергии  $\Delta W_p$  заряда  $q_2=1$  нКл при переносе его из точки  $A$  на расстояние  $r_1=20$  см от  $q_1$  в точку  $B$  на расстояние  $r_2=50$  см от  $q_2$ .

134. Определить потенциал  $\varphi$  электрического поля в точке, удаленной от зарядов  $q_1=-0,2$  мкКл и  $q_2=0,5$  мкКл соответственно на  $r_1=15$  см и  $r_2=25$  см.

135. Какова потенциальная энергия системы четырех одинаковых зарядов  $q=10$  нКл, расположенных в вершинах квадрата со стороной  $a=10$  см?

136. Какую работу  $A$  нужно совершить для того, чтобы переместить заряд  $q$  из точки  $A$  в точку  $B$  в поле двух точечных зарядов  $q_1$  и  $q_2$  (Рис.10)?

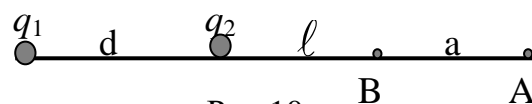


Рис.10

137. Электрическое поле создано двумя одинаковыми положительными точечными зарядами  $q$ . Найти работу

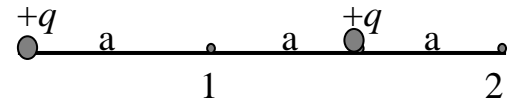


Рис.11

$A$  сил поля по перемещению заряда  $q_1=10$  нКл из точки 1 с потенциалом  $\varphi_1=300$  В в точку 2 (Рис.11).

138. Определить работу  $A$  по перемещению заряда  $q_1=50$  нКл из точки 1 в точку 2 (Рис.12) в поле, созданном двумя зарядами, модуль которых  $|q|=1$  мкКл и  $a=0,1$  м.

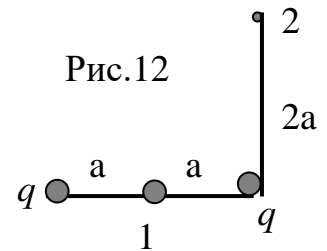


Рис.12

139. Бесконечная плоскость заряжена отрицательно с поверхностной плотностью  $\sigma=35,4$  нКл/м<sup>2</sup>. По направлению силовой линии поля, созданного плоскостью, летит электрон. Определить минимальное расстояние  $\ell$ , на которое может подойти к плоскости электрон, если на расстоянии  $\ell_0=5$  см он имел кинетическую энергию  $W_k=1,28 \cdot 10^{-17}$  Дж.

140. С какой минимальной скоростью  $v$  должен обладать протон, чтобы он мог достигнуть поверхности заряженного до потенциала  $\varphi=400$  В металлического шара радиуса  $R$ , если начальное расстояние протона от поверхности шара  $r=3R$ ?

141. Электрон движется вдоль силовой линии однородного электрического поля. В некоторой точке поля с потенциалом  $\varphi_1=100$  В электрон имел скорость  $v_1=6$  Мм/с. Определить потенциал  $\varphi_2$  точки поля, в которой скорость электрона  $v_2=0,5 v_1$ .

142. По вершинам правильного шестиугольника со стороной  $a=5$  см расположены равные точечные заряды  $q=6,6$  нКл. Опреде-

лечь работу  $A$  электрических сил при перенесении заряда  $q_1=3,3$  нКл из центра шестиугольника в середину одной из его сторон.

143. В вершинах правильного шестиугольника со стороной  $a=5$  см расположенные равные по модулю точечные заряды  $|q|=6,6$  нКл, но заряды в соседних вершинах противоположны по знаку. Определить работу  $A$  электрических сил при перенесении заряда  $q_1=3,3$  нКл из центра шестиугольника в середину одной из его сторон.

144. Найти разность потенциалов между двумя точками, находящимися на расстоянии  $d=0,6$  м в однородном электрическом поле, напряженность которого  $E=3,6$  В/см.

145. Найти разность потенциалов  $\Delta\varphi$  между двумя точками  $M$  и  $N$  поля бесконечной равномерно заряженной плоскости. Поверхностная плотность заряда  $\sigma=10^{-8}$  Кл/м<sup>2</sup>. Точки  $M$  и  $N$  лежат на расстоянии  $r_1=10$  см и  $r_2=15$  см от плоскости.

146. Две параллельные плоскости заряжены с поверхностными плотностями  $\sigma_1=2$  мкКл/м<sup>2</sup> и  $\sigma_2=0,8$  мкКл/м<sup>2</sup>, находятся на расстоянии  $d=0,6$  см друг от друга. Найти разность потенциалов  $\Delta\varphi$  между плоскостями.

147. Электрическое поле создано бесконечной равномерно заряженной плоскостью. Поверхностная плотность заряда  $\sigma=10^{-8}$  Кл/м<sup>2</sup>. Найти работу  $A$ , необходимую для перемещения точечного заряда  $q=1,6 \cdot 10^{-6}$  Кл из точки  $M$  в точку  $N$ . Точки  $M$  и  $N$  лежат на расстоянии  $r_1=5$  см и  $r_2=13$  см от плоскости.

148. Около заряженной бесконечно протяженной плоскости находится точечный заряд  $q=2 \cdot 10^{-8}$  Кл. Под действием поля заряд перемещается по силовой линии на расстояние  $d=20$  см. при этом

совершается работа  $A=10$  мкДж. Найти поверхностную плотность заряда  $\sigma$  на плоскости.

149. Пылинка массой  $m=10^{-12}$  г, несущая на себе один электрон находится в равновесии между пластинами плоского конденсатора. Определите расстояние  $d$  между пластинами и поверхностную плотность заряда  $\sigma$  пластин конденсатора, если разность потенциалов равна  $U=600$  В. Поле считать однородным.

150. Капля масла диаметром  $d=0,01$  мм удерживается в равновесии между горизонтальными пластинами, расстояние между которыми  $\ell=25$  мм. Какой заряд  $q$  находится на капле, если равновесие достигается при разности потенциалов  $\Delta\varphi=3,6 \cdot 10^4$  В

151. Электрическое поле создано положительным точечным зарядом. Потенциал поля в точке, удаленной от заряда на  $r=12$  см, равен  $\varphi=24$  В. Определить величину и направление градиента потенциала в этой точке.

152. Бесконечная плоскость заряжена отрицательно с поверхностной плотностью  $\sigma=35,4$  нКл/м<sup>2</sup>. По направлению силовой линии поля, созданного плоскостью, летит электрон. Определить минимальное расстояние  $\ell$ , на которое электрон может подойти к плоскости, если на расстоянии  $\ell_0=5$  см он имел кинетическую энергию  $W_k=1,28 \cdot 10^{-17}$  Дж.

153. К двум очень длинным параллельным пластинам приложено напряжение  $U=6$  кВ. Поверхностная плотность зарядов на пластинах  $\sigma=3,2 \cdot 10^{-6}$  Кл/м<sup>2</sup>. Определить расстояние  $d$  между пластинами.

154. Заряд  $q=12,2 \cdot 10^{-9}$  Кл, сосредоточенный на пылинке, притянулся к равномерно заряженной плоскости площадью  $S=2\text{ м}^2$  с поверхностной плотностью заряда  $\sigma=10^{-5}$  Кл/м<sup>2</sup>. Определить, какое расстояние  $\ell$  при этом пролетела пылинка, если работа, совершенная полем, равна  $A=56 \cdot 10^{-5}$  Дж.

155. В поле заряда  $q_1=2,223 \cdot 10^{-6}$  Кл перемещается заряд  $q_2=3 \cdot 10^{-8}$  Кл. Вычислить работу  $A$  совершаемую полем, если перемещение происходило между точками с напряженностью  $E_1=400$  В/м и  $E_2=2 \cdot 10^4$  В/м.

156. В горизонтально расположенном плоском воздушном конденсаторе в равновесии удерживаются пылинки с зарядом  $q=4,8 \cdot 10^{-19}$  Кл. Какова масса пылинки, если разность потенциалов на пластинах  $\Delta\varphi=60$  В, а расстояние между ними  $d=12 \cdot 10^{-3}$  м? Какова индукция поля?

157. Две параллельные плоскости, заряженные с поверхностными плотностями  $\sigma_1=2$  мкКл/м<sup>2</sup> и  $\sigma_2=-0,8$  мкКл/м<sup>2</sup>, находятся на расстоянии  $d=0,6$  см друг от друга. Определить разность потенциалов  $U$  между пластинами.

158. Протон, начальная скорость которого  $\mathcal{U}_0=100$  км/с влетел в однородное электрическое поле с напряженностью  $E=300$  В/см так, что вектор скорости совпал с направлением линий напряженности. Какой путь  $d$  должен пройти протон в направлении линий поля, чтобы его скорость удвоилась.

159. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобрел скорость  $\mathcal{U}=10^5$  м/с. Расстояние между пластинами  $d=8$  мм. Найти: 1) разность потенциалов  $\Delta\varphi$

между пластинами; 2) поверхностную плотность заряда  $\sigma$  на пластинах.

160. Две круглые металлические пластины радиусом  $R=10$  см каждая, заряженные разноименно, расположены одна против другой параллельно друг другу. Расстояние между пластинами  $d=1$  см, сила взаимного притяжения  $F=2$  мН. Определить разность потенциалов  $U$  между пластинами.

161. Разность потенциалов между катодом и анодом электронной лампы  $U=90$  В, расстояние  $d=1$  мм. С каким ускорением  $a$  движется электрон от анода к катоду? Какова скорость  $v$  электрона в момент удара об анод? За какое время  $t$  электроны пролетают расстояние между катодом и анодом? Поле считать однородным.

162. Найти работу перемещения заряда  $q=10$  нКл из точки 1 в точку 2, находящихся между двумя разноименно заряженными бесконечными параллельными плоскостями, если поверхностная плотность заряда  $\sigma=0,4$  мкКл/м<sup>2</sup>, а расстояние между плоскостями  $d=3$  см.

163. Электрическое поле образовано двумя параллельными пластинами, находящимися на расстоянии  $d=2$  см друг от друга; разность потенциалов между ними  $U=120$  В. Какую скорость получил электрон под действием поля, пройдя по силовой линии расстояние  $l=3$  мм? Начальная скорость электрона равна нулю.

164. Электрическое поле образовано бесконечно длинной нитью, заряженной с линейной плотностью  $\tau=10^{-10}$  Кл/м. определить разность потенциалов  $U$  двух точек поля, отстоящих от нити на расстоянии  $r_1=5$  см и  $r_2=10$  см.



165. Электрон, движущийся со скоростью  $v = 400 \text{ км/с}$ , влетает в пространство между двумя пластинками. Длина пластинок  $\ell = 6 \text{ см}$ . На пластинке конденсатора наложено напряжение  $U = 40 \text{ В}$ . На сколько увеличится скорость электрона по выходе его из конденсатора по сравнению с начальной? Расстояние между обкладками  $d = 0,5 \text{ см}$ .

166. Заряженная капелька массой  $m = 5 \cdot 10^{-11} \text{ г}$  находится в пространстве между обкладками горизонтально расположенного конденсатора, расстояние между которыми  $d = 1 \text{ см}$ . Пока поля нет, капелька падает равномерно благодаря силе сопротивления воздуха. Когда к пластинам прикладывается разность потенциалов  $U = 600 \text{ В}$ , скорость капельки уменьшается в два раза. Чему равен заряд капельки  $q$ ?

167. Электрическое поле образовано бесконечно длинной нитью с равномерно распределенным зарядом. При переносе точечного заряда  $q = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$  из точки  $A$  в точку  $B$  (точки  $A$  и  $B$  отстоят от нити на  $3 \text{ см}$  и  $9 \text{ см}$ ) силы поля совершили работу  $A = 10^{-9} \text{ Дж}$ . Определить линейную плотность заряда нити.

168. Электрическое поле образовано положительно заряженной бесконечно длинной нитью. Двигаясь по силовой линии под действием этого поля от точки, находящейся на расстоянии  $r_1 = 1 \text{ см}$  от нити, до точки  $r_2 = 4 \text{ см}$ ,  $\alpha$ -частица изменила свою скорость от  $2 \cdot 10^5 \text{ м/с}$  до  $3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ . Найти линейную плотность заряда на нити.

169. Две плоскопараллельные пластины площадью по  $200 \text{ см}^2$  расположены горизонтально. Верхняя пластина закреплена. Какую разность потенциалов надо приложить к пластинам, чтобы нижняя

удерживалась в равновесии на расстоянии  $d=0,5$  см от верхней, если ее масса  $m=4$  г. Заряды пластин равные, но разноименные.

170. Какую работу надо совершить, чтобы сблизить две нити, бесконечно длинные параллельные с одинаковой линейной плотностью заряда  $\tau=3 \cdot 10^{-6}$  Кл/мм с расстояния  $r_1=20$  мм до  $r_2=10$  мм друг от друга?

171. Через точку, расположенную на  $R_1=45$  см от заряда, создающего поле, проходит одна эквипотенциальная поверхность. Напряженность в этой точке поля  $E_1=5$  кВ/м. На каком расстоянии  $R_2$  от заряда, создающего поле, надо провести другую эквипотенциальную поверхность, чтобы разность потенциалов между ними была  $\Delta\varphi=25$  В?

172. Электрон влетает в плоский горизонтальный конденсатор параллельно пластинам со скоростью  $\mathcal{U}=9 \cdot 10^6$  м/с. Найти полное, нормальное и тангенциальное ускорение электрона через  $t=10^{-8}$  с после его попадания в конденсатор, если разность потенциалов между пластинами  $U=100$  В, а расстояние  $d=1$  см.

173. Какую скорость получит электрон под действием поля, созданного бесконечной длинной нитью с линейной плотностью заряда  $\tau=2 \cdot 10^{-9}$  Кл/см, приблизившись к нити с расстояния в  $r_1=1$  см до расстояния  $r_2=0,5$  см.

174. Электрон влетел в пространство между пластинами плоского конденсатора со скоростью  $v=10$  Мм/с, направленной параллельно пластинам. Насколько приблизится электрон к положительно заряженной пластине за время движения внутри конденсатора

(поле считать однородным): если расстояние между пластинами  $d=16$  мм, разность потенциалов  $U=30$  В и длина пластин  $\ell=6$  см?

175. Электрическое поле, образованное бесконечно длинной нитью с равномерно распределенным зарядом  $\tau=10^{-10}$  Кл/м. Какая работа  $A$  совершается при переносе точечного заряда  $q=3,2 \cdot 10^{-19}$  Кл из точки  $B$  в точку  $C$ ? Точки  $B$  и  $C$  расположены на расстоянии  $r_1=1$  см и  $r_2=9$  см от нити.

176. Сколько электронов содержит заряд пылинки с массой  $m=10^{-11}$  г, если она удерживается в равновесии в плоском конденсаторе с расстоянием между пластинами  $d=5$  мм, заряженным до разности потенциалов  $U=76,5$  В?

177. Две пластины площадью  $S=200$  см<sup>2</sup> находятся в керосине ( $\epsilon=2,1$ ) на расстоянии  $r=4$  мм друг от друга. С какой силой  $F$  они взаимодействуют, если они заряжены до разности потенциалов  $U=150$  В?

178. Разность потенциалов между двумя коаксиальными цилиндрами с радиусами  $R_1=3$  см и  $R_2=10$  см, заряженными равными разноименными зарядами, равна  $U=450$  В. Определить линейную плотность заряда  $\tau$  на каждом цилиндре.

179. Поток электронов, получивших свою скорость под действием напряжения  $U_1=5000$  В, влетает в середину между пластинками плоского конденсатора. Какое самое меньшее напряжение  $U_2$  нужно наложить на конденсатор, чтобы электроны не вылетали из него, если длина конденсатора  $\ell=5$  см, а расстояние между пластинами  $d=1$  см.

180. Потенциал электрического поля в некоторой области зависит только от координаты  $X: \varphi = -\frac{ax^2}{2} + c$ . Какова будет напряженность поля  $E$ ?

181. Электрон влетел в плоский конденсатор, имея скорость  $v = 10 \text{ Мм/с}$ , направленную параллельно пластинам. В момент вылета из конденсатора направление скорости электрона составило угол  $\alpha = 35^\circ$  с первоначальным направлением скорости. Определить разность потенциалов  $U$  между пластинами, если длина пластин  $\ell = 10 \text{ см}$ , расстояние между ними  $d = 2 \text{ см}$ . Поле считать однородным.

182. Потенциал поля, создаваемого некоторой системой зарядов имеет вид  $\varphi = a(x^2 + y^2) + bz^2$ , где  $a > 0$  и  $b > 0$ . Найти вектор напряженности  $E$  и его модуль.

183. Пылинка массой  $m = 10 \text{ мг}$  покоится в однородном электростатическом поле с разностью потенциалов  $U_1 = 6 \text{ кВ}$ . Расстояние между пластинами, создающими поле,  $d = 6 \text{ см}$ . Какое надо приложить напряжение  $U_2$  к пластинам, чтобы пылинка осталась в равновесии, потеряв заряд, равный заряду  $N = 4 \cdot 10^3$  электронов?

184. Пылинка массой  $m = 10^{-11} \text{ г}$  взвешена в плоском конденсаторе, расстояние между пластинами которого  $d = 0,5 \text{ см}$ , при напряжении  $U = 154 \text{ В}$ . Пылинка освещается ультрафиолетовым светом и, теряя заряд, выходит из равновесия. Чтобы вернуть ее в равновесие, напряжение увеличили на  $\Delta U = 8 \text{ В}$ . Какой заряд  $\Delta q$  потеряла пылинка?

185. Между двумя вертикальными пластинами, находящимися на расстоянии  $d = 2 \text{ см}$  друг от друга, висит заряженный шарик мас-

сой  $m=0,1$  г. После того, как на пластины была подана разность потенциалов  $U=1000$  В, нить с шариком отклонилась на угол  $\alpha=5^\circ$ . Найти заряд шарика  $q$ .

186. В плоский конденсатор длиной  $\ell=5$  см влетает электрон под углом  $\alpha=15^\circ$  к пластинам. Энергия электрона  $W=2,4 \cdot 10^{-15}$  Дж. Расстояние между пластинами  $d=1$  см. Определить величину напряжения на конденсаторе  $U$ , при котором электрон при выходе из конденсатора будет двигаться параллельно пластинам.

187. Тонкий прямой стержень длиной  $\ell=10$  см равномерно заряжен с линейной плотностью заряда  $\tau=10^{-7}$  Кл/м. На продолжении оси стержня, на расстоянии  $r=10$  см от ближайшего конца, находится точечный заряд  $q=10^{-8}$  Кл. Определить силу взаимодействия  $F$  точечного заряда.

188. На продолжении оси тонкого прямого стержня, равномерно заряженного с линейной плотностью заряда  $\tau=1$  нКл/см, на расстоянии  $r=10$  см от конца стержня находится точечный заряд  $q=0,1$  мкКл. Второй конец стержня уходит в бесконечность. Определить силу  $F$  взаимодействия стержня и точечного заряда.

189. Тонкий длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью  $\tau=0,2$  мкКл/см. Определить силу  $F$ , действующую на точечный заряд  $q=10$  нКл, находящийся на расстоянии  $r=2$  см от стержня, вблизи его середины.

190. Тонкое полукольцо радиусом  $R=10$  см несет равномерно распределенный заряд  $q_1=0,2$  мкКл. В центре кривизны полукольца находится точечный заряд  $q_2=10$  нКл. Найти силу взаимодействия  $F$  точечного заряда и заряженного полукольца.

191. Заряд  $q_1=10$  нКл равномерно распределен по тонкому кольцу радиусом  $R=10$  см. Определить силу взаимодействия заряженного кольца с точечным зарядом  $q_2=0,5$  нКл, находящимся на оси кольца на расстоянии  $a=10$  см от его центра.

192. Определить напряженность  $E$  поля, создаваемого зарядом, равномерно распределенным по тонкому прямому стержню с линейной плотностью заряда  $\tau=200$  нКл/м, в точке, лежащей на продолжении оси стержня на расстоянии  $a=20$  см от ближайшего конца. Длина стержня  $\ell=40$  см.

193. Определить напряженность  $E$  поля, создаваемого тонким длинным стержнем равномерно заряженным с линейной плотностью  $\tau=20$  мкКл/м в точке, находящейся на расстоянии  $a=2$  см от стержня, вблизи его середины.

194. Используя теорему Гаусса, определить напряженность электрического поля равномерно заряженного шара радиуса  $R$  внутри и вне шара, если объемная плотность заряда  $\rho$ .

195. Тонкое кольцо радиусом  $R=8$  см несет заряд, равномерно распределенный с линейной плотностью  $\tau=10$  нКл/м. Какова напряженность  $E$  электрического поля в точке равноудаленной от всех точек кольца на расстояние  $r=10$  см?

196. На отрезке прямого провода равномерно распределен заряд с линейной плотностью  $\tau=1$  мкКл/м. Определить работу  $A$  сил поля по перемещению заряда  $q=1$  нКл из точки  $B$  в точку  $C$ . Точки  $B$  и  $C$  лежат на продолжении оси провода. Длина провода  $\ell$ , точка  $B$  лежит на расстоянии  $\ell$  от конца провода, точка  $C$  лежит на расстоянии  $\ell$  от точки  $B$ .

197. Тонкий стержень согнут в полукольцо. Стержень заряжен с линейной плотностью  $\tau=133$  нКл/м. Какую работу надо совершить, чтобы перенести заряд  $q=6,7$  нКл из центра полукольца в бесконечность?

198. По тонкому проволочному кольцу радиуса  $R$ , находящемуся в вакууме, равномерно распределен заряд  $q$ . Приняв ось кольца за ось  $X$ , найти зависимость потенциала на оси кольца от координаты  $X$ .

199. На находящейся в вакууме круглой очень тонкой пластинке радиуса  $R$  равномерно распределен заряд  $q$ . Приняв ось пластинки за ось  $X$ , найти потенциал  $\varphi$  и проекцию напряженности поля  $E_x$  для точек, лежащих на оси, как функцию  $X$ .

200. Заряд  $q=2$  мкКл равномерно распределен по объему шара радиуса  $R=40$  мм. Найти потенциал  $\varphi_0$  в центре шара.

## ТЕМА 3.2

# ДИЭЛЕКТРИКИ И ПРОВОДНИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ. ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

### Контрольные вопросы

1. Как ведут себя диэлектрики в электрическом поле? Что такое полярные и неполярные диэлектрики?
2. Как величина вектора поляризации связана с поверхностной плотностью связанных зарядов? С напряженностью внешнего электрического поля?
3. Дайте определение вектора электрического смещения. Как он связан с напряженностью электрического поля? Как связаны поверхностные плотности связанных и свободных зарядов?
4. Как ведут себя проводники в электрического? Чему равна напряженность электрического поля внутри заряженного проводника?
5. Каковы условия равновесия зарядов в проводнике? Как распределяются заряды в зараженном проводнике? Как распределен потенциал?
6. Что такое электроёмкость проводника? От чего она зависит? Как определяется электроёмкость уединенного шара? Конденсаторов различной формы? Системы конденсаторов, соединенных: а) последовательно; б) параллельно?
7. Как определяется энергия системы зарядов? Энергия заряженного проводника? Конденсатора?



8. Почему можно считать, что энергия заряженного проводника равна энергии его электрического поля? Как выразить энергию конденсатора через величины, характеризующие электрического поля?

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ**

1. В задачах о проводниках в электростатическом поле нужно проанализировать условия равновесия зарядов в данной системы проводников, учитывая, что напряженность электрического поля внутри заряженного проводника равна нулю, а потенциал одинаков по всей поверхности проводника. Любое движение зарядов в заряженном проводнике будет только до тех пор, пока потенциалы всех точек поверхности проводника не сравняются.

2. Энергия заряженного проводника сосредоточена в электрическом поле, окружающем проводник, поэтому может быть выражена как через характеристики проводника, так и через характеристики поля. Применения закона сохранения энергии позволяет, как и в механике, не рассматривать сам процесс измерения характеристик поля.

3. Внутри диэлектрика, помещенного в электрическое поле, напряженность электрического поля не равна нулю. Это поле обусловлено, как внешним электрическим полем, так и связанными зарядами на поверхности диэлектрика.

4. Запись всех формул следует производить в системе единиц СИ. и при вычисления все данные в условиях задач также нужно выражать в единицах этой системы.

## ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

### *1. Поляризация диэлектриков. Диполь*

$P = ql$  - электрический дипольный момент;

$M = PE$  - момент силы, действующий на диполь в электрическом поле;

$P = \frac{\sum_{i=1}^n p_{\text{молекул}}}{\Delta V}$ ,  $P = \varepsilon_0 \chi E$  - поляризованность (вектор поляризации) диэлектрика;

$\varepsilon = 1 + \chi$ , где  $\chi$  - диэлектрическая восприимчивость диэлектрика;

$D = \varepsilon_0 E + P$  - вектор электрического смещения.

### *2. Проводники. Емкость*

$C = \frac{q}{\varphi}$ ,  $C = \frac{q}{U}$  - определение емкости проводника, конденсатора;

$C = 4\pi \varepsilon_0 R$  - емкость шара.

### *3. Заряженная частица в электрическом поле.*

$W = q\Delta\varphi$  - энергия, приобретенная заряженной частицей в электрическом поле;

$E = \frac{U}{d}$  - связь между напряженностью поля и напряжением на конденсаторе.

### *4. Конденсаторы. Емкость*

$$C = \frac{\varepsilon_0 \mathcal{E} S}{d} - \text{емкость плоского конденсатора};$$

$$C = \sum_{i=1}^n C_i - \text{общая емкость при параллельном соединении конденсаторов};$$

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} - \text{общая емкость при последовательном соединении конденсаторов}.$$

**5. Энергия электростатического поля. Плотность энергии поля.**

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q\varphi}{2} - \text{энергия заряженного проводника};$$

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2} - \text{энергия заряженного конденсатора};$$

$$F = -\text{grad}_{\text{пот}} W - \text{связь между консервативной силой и потенциальной энергией};$$

$$w = \frac{dW}{dV} - \text{определение объемной плотности энергии поля};$$

$$w = \frac{EL}{2} - \text{объемная плотность энергии электростатического поля}.$$

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### Задача 1.

К пластинам плоского воздушного конденсатора ( $\varepsilon_l=1$ ) приложена разность потенциалов  $U_l=3000 \text{ В}$ . После отклонения конденсатора. От источника напряжения пространство между пласти-

нами заполняется эбонитом ( $\epsilon_2=2.6$ ). Какова будет разность потенциалов  $u_2$  между пластинами после заполнения?

**Решение.**

Так как конденсатор был отключен от источника напряжения, то заряд на пластинах до и после заполнения будет одним и тем же.

$$q_1=q_2 \quad (1)$$

Выражая заряд конденсатора через емкость и напряжение можно записать

$$q_1=C_1U_1, \quad q_2=C_2U_2 \quad (2)$$

Емкость плоского конденсатора определяется соотношением

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

Где  $\epsilon_0$ —электрическая постоянная;  $\epsilon$ —относительная диэлектрическая проницаемость;  $S$ —площадь пластин конденсатора;  $d$ — расстояние между пластинами.

Следовательно, емкость конденсатора до заполнения

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 S}{d} \quad (3)$$

После заполнения

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2 S}{d} \quad (4)$$

Подставляя (3) и (4) в (2) и используя условия (1), запишем

$$\frac{\epsilon_0 \epsilon_1 S U_1}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2 S U_2}{d}, \quad (5)$$

Отсюда

$$U_2 = \frac{\varepsilon_1 U_1}{\varepsilon_2} \quad (6)$$

Произведём вычисления

$$U_2 = \frac{300\text{В}}{2.6} = 115\text{В}$$

### Задача 2.

Две металлических шарика, первый с зарядом  $q_1 = 10^{-8}$  Кл и радиусом  $R_1 = 3$  см и второй радиусом  $R_2 = 2$  см и потенциалом  $U = 9000$  В, находившиеся далеко друг от друга, соединяют проволочкой, емкостью которой можно пренебречь. Найти заряды и потенциалы шаров после соединения, а также работу разряда, происшедшего вследствие соединения.

### Решение.

1. Заряд и потенциал каждого шара после соединения можно найти, если учесть, что по закону сохранения заряда суммарный заряд шаров остается неизменным, а также, что поверхность любого проводника является эквипотенциальной, т.е. потенциалы обоих шаров после разряда будут одинаковы.

По закону сохранения заряда

$$q_1 + q_2 = q_1' + q_2' \quad (1)$$

Выражая заряды  $q_2$ ,  $q_1'$  и  $q_2'$  через емкости и потенциалы

$$q_2 = C_2 \varphi; \quad q_1' = C_1 \varphi; \quad q_2' = C_2 \varphi \quad (2)$$

где  $\varphi$  – общий потенциал шаров после соединения.

Емкости уединенного шара связана с его радиусом соотношением

$$C = 4\pi\varepsilon_0 R \quad (3)$$

Поэтому

$$C_1 = 4\pi\epsilon_0 R_1, \quad C_2 = 4\pi\epsilon_0 R_2 \quad (4)$$

Объединяя (4) и (2) и подставляя их в (1) получим

$$q_1 + \pi\epsilon_0 R_2 \varphi_2 = (4\pi\epsilon_0 R_1 + 4\pi\epsilon_0 R_2) \varphi \quad (5)$$

Отсюда

$$\varphi = \frac{q_1 + 4\pi\epsilon_0 R_2 \varphi_2}{4\pi\epsilon_0 (R_1 + R_2)} \quad (6)$$

Подставляя числовые значения и произведя вычисления, получим

$$\varphi = \frac{10^8 \text{ Кл} + 4 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 2 \cdot 10^2 \text{ м} \cdot 9 \cdot 10^3 \text{ В}}{3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} (3+2) \cdot 10^2 \text{ м}} = 540 \text{ В}$$

Используя выражение (2), (4) и (6), найдем теперь заряды шаров после соединения

$$q_1' = C_1 \varphi = \frac{4\pi\epsilon_0 R_1 (q_1 + 4\pi\epsilon_0 R_2 \varphi_2)}{4\pi\epsilon_0 (R_1 + R_2)} = \frac{R_1 (q_1 + 4\pi\epsilon_0 R_2 \varphi_2)}{R_1 + R_2} = 1.8 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$q_2' = C_2 \varphi = \frac{R_2 (q_1 + 4\pi\epsilon_0 R_2 \varphi_2)}{R_1 + R_2} = 1.2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

2. Работу разряда найдём, используя закон сохранения энергии. Работа разряда будет равна разности между суммарной энергией шаров до соединения и общей энергии после разряда.

$$A = W_1 + W_2 - W \quad (7)$$

где  $W_1$ ,  $W_2$  – энергии шаров до соединения;  $W$  – общая энергия шаров после разряда. Но данные условия задачи можно записать

$$W_1 = \frac{q_1^2}{2C_1} = \frac{q_1^2}{8\pi\epsilon_0 R_1} \quad (8)$$

$$W_2 = \frac{C_2 \varphi_2^2}{2} = \frac{4\pi\epsilon_0 R_2 \varphi_2^2}{2} \quad (9)$$

$$W = \frac{(q_1 + 4\pi\epsilon_0 R_2 \varphi_2)^2}{2(C_1 + C_2)} = \frac{(q_1 + 4\pi\epsilon_0 R_2 \varphi_2)^2}{8\pi\epsilon_0 (R_1 + R_2)} \quad (10)$$

Подставляя (8), (9) и (10) в (7), получим

$$A = \frac{q_1^2}{8\pi\epsilon_0 R_1} + \frac{4\pi\epsilon_0 R_2 \varphi_2^2}{2} - \frac{(q_1 + 4\pi\epsilon_0 R_2 \varphi_2)^2}{8\pi\epsilon_0 (R_1 + R_2)} \quad (11)$$

Подставим числовые данные и произведём вычисления

$$A = 2.4 \cdot 10^{-5} \text{ Дж.}$$

### Задача 3.

Пространство между пластинами плоского конденсатора выполнено диэлектриком, диэлектрическая восприимчивость которого  $\chi=1$ . На пластины конденсатора подана разность потенциалов  $U = 4000 \text{ В}$ . Найти поверхностную плотность заряда на пластинах  $\sigma$  м.н. диэлектрике  $\sigma_{св}$ . Расстояние между пластинами  $d = 5 \text{ мм}$ .

### Решение:

Поверхностная плотность связанных зарядов на диэлектрике  $\sigma_{св}$  численно равна модулю вектора поляризации, который пропорционален напряженности поля в диэлектрике.

$$\sigma_{св} = P = \chi\epsilon_0 E \quad (1)$$

Так как в однородном поле

$$E = U/d \quad (2)$$

$$\text{то } \sigma_{св} = \chi\epsilon_0 E = \chi\epsilon_0 \frac{U}{d} = 1 \cdot 8.85 \cdot 10^{12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \cdot \frac{4000 \text{ В}}{5 \cdot 10^{-2} \text{ м}} = 7.1 \cdot 10^6 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \quad (3)$$

Выразим теперь напряженность электрического поля через поверхностную плотность заряда на пластинах

$$E = \frac{U}{d} = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} \quad (4)$$

или

$$\sigma = \frac{\epsilon_0 \epsilon U}{d} \quad (5)$$

Для нахождения  $\sigma$  нужно найти относительную диэлектрическую проницаемость диэлектрика  $\varepsilon$ , которая связана с диэлектрической восприимчивостью соотношением

$$\varepsilon = 1 + \chi \quad (6)$$

Подставляя (6) в (5), получим

$$\sigma = \frac{\varepsilon_0(1+\chi)U}{d} = 1.4 \cdot 10^5 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \quad (7)$$

Проверим соответствие единиц

$$\sigma = \frac{[\varepsilon_0][U]}{[d]} = \frac{\text{Ф} \cdot \text{В}}{\text{м} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} \cdot \frac{\text{В}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

#### Задача 4.

Конденсатор емкостью  $16 \text{ мкФ}$  последовательно соединен с конденсатором неизвестной емкости, и они подключены к источнику постоянного напряжения  $12 \text{ В}$ . Определить емкость второго конденсатора, если заряд батареи  $24 \text{ мкКл}$ .

**Решение:** Напряжение  $U$ , заряд  $q$ , емкость конденсатора  $C$  связаны соотношением

$$U = \frac{q}{C}$$

Тогда

$$U_1 = \frac{q}{C_1}$$

$$U_1 = \frac{q}{C_1} = \frac{24 \cdot 10^5}{16 \cdot 10^5} = 1,5 \text{ В}$$

При последовательном соединении напряжение на батарее равно

$$U = U_1 + U_2 \text{ и } U_2 = U - U_1 = 10,5 \text{ В}$$



а емкость

$$C_2 = \frac{q}{U_2};$$

$$C_2 = \frac{q}{U_2} = \frac{2,4 \cdot 10^5}{105} \approx 2,3 \cdot 10^6 \Phi,$$

### Задача 5.

Заряд конденсатора  $q=1\text{мкКл}$ , площадь пластин  $S=100\text{ см}^2$ , зазор между пластинами заполнен слюдой ( $\epsilon=6$ ). Определить силу  $F$  притяжения пластин.

### Решение:

Сила притяжения между двумя разноименно заряженными обкладками конденсатора равна:

$$F = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2 S}{2} \quad (1)$$

Напряженность однородного поля плоского конденсатора

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon S} \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), рассчитаем  $F$

$$F = \frac{q^2}{2\epsilon \epsilon_0 S}$$

$$F = \frac{10^{12}}{2 \cdot 6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^2} \approx 0,94 \text{Н}$$

### Задача 6.

Энергия плоского воздушного конденсатора  $0,2 \text{ нДж}$ , разность потенциалов на обкладках  $60 \text{ В}$ , площадь пластин  $1 \text{ см}^2$ . Определить расстояние между обкладками конденсатора.

**Решение:**

Энергия конденсатора

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 SU^2}{2d},$$

откуда

$$d = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 SU^2}{2W}$$
$$d = \frac{1,885 \cdot 10^{-12} \cdot 10^4 \cdot 60^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-10}} \approx 0,008 \text{ м}$$

**Задача 7.**

Найти как изменится емкость воздушного конденсатора, если параллельно его обкладкам ввести металлическую пластину толщиной  $d' = 1 \text{ мм}$ . Площадь обкладки конденсатора  $150 \text{ см}^2$ , расстояние между обкладками  $d = 6 \text{ мм}$ .

**Решение:**

Емкость конденсатора при внесении в него металлической пластины изменяется. Это вызвано тем, что при внесении металлической пластины уменьшается расстояние между пластинами от  $d$  до  $(d - d')$ . Используем формулу емкости плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

В данном случае получим, что изменение емкости конденсатора равно:

$$\Delta C = C_2 - C_1 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d-d'} - \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S d'}{d(d-d')}$$

Подставив числовые значения, получим:

$$\Delta C = \frac{1,885 \cdot 10^{12} \cdot 1,5 \cdot 10^2 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^3} = 4,43 \cdot 10^{12} \text{ Ф} = 4,43 \text{ нФ}$$

### Задача 8.

Со скоростью  $2 \cdot 10^7 \text{ м/с}$  электрон влетает в пространство между обкладками плоского конденсатора в середине зазора в направлении, параллельном обкладкам. При какой минимальной разности потенциалов на обкладках электрон не вылетит из конденсатора, если длина конденсатора  $\ell = 10 \text{ см}$ , а расстояние между обкладками  $d = 1 \text{ см}$ ?

### Решение:

На электрон, влетающий в поле конденсатора, со стороны поля будет действовать сила  $F = qE$ , где  $E = \frac{U}{d}$ ,  $d$  – зазор между обкладками конденсатора. Под действием силы электрон приобретает ускорение  $a$ , равное  $a = \frac{F}{m}$ , и, двигаясь с этим ускорением, пройдет путь

$$\frac{d}{2} = \frac{at^2}{2}$$

Чтобы электрон не «упал» на нижнюю пластину конденсатора, время его полета  $t$  между обкладками должно быть

$$t \leq \frac{\ell}{v}$$

Учитывая это и второй закон Ньютона, получим:

$$\frac{d}{2} = \frac{at}{2} = \frac{F}{m} \cdot \frac{\ell^2}{2\mathcal{E}} = \frac{qE\ell^2}{2m\mathcal{E}} = \frac{qU\ell^2}{2dm\mathcal{E}}, \quad \text{отсюда} \quad U = \frac{d^2 m \mathcal{E}}{q \ell^2};$$

$$U = \frac{1 \cdot 10^4 \cdot 9,1 \cdot 10^{31} \cdot 4 \cdot 10^4}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 10^2} = 2275B.$$

### Задача 9.

Найти объемную плотность энергии электрического поля, создаваемого заряженной металлической сферой радиусом  $R=5$  см на расстоянии  $r=5$  см от ее поверхности, если поверхностная плотность заряда на ней  $\sigma=2 \cdot 10^{-6}$  Кл/м<sup>2</sup>.

### Решение:

Напряженность поля, создаваемого заряженной сферой с поверхностной плотностью  $\sigma$  и радиусом  $R$ , на расстоянии  $R + r$  от центра сферы определяется по формуле

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0(R+r)^2} = \frac{\sigma \cdot S}{4\pi\epsilon_0(R+r)^2},$$

Где  $S=4\pi R^2$  – площадь сферы.

Объемная плотность энергии  $w$  определяется по формуле

$$w = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} = \frac{\epsilon_0 \cdot \sigma^2 \cdot (4\pi)^2 \cdot R^4}{2 \cdot (4\pi)^2 \cdot (\epsilon_0)^2 \cdot (R+r)^4},$$

$$w = \frac{4 \cdot 10^{12} \cdot 0,05^4}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{12} \cdot 0,1^4} \approx 0,014 \text{ Дж/м}^3$$

### Задача 10.

Площадь пластин плоского слюдяного ( $\epsilon=6$ ) конденсатора  $S=1,1$  см<sup>2</sup>, зазор между ними  $d=3$  мм. При разряде конденсатора выделилась энергия  $W=1$  мкДж. До какой разности потенциалов был заряжен конденсатор?

### Решение:

Энергия поля конденсатора  $W$ , выделяемая при его разрядке, равна:

$$W = \frac{CU^2}{2},$$

где  $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$  - емкость плоского конденсатора. Отсюда

$$U = \sqrt{\frac{2W}{C}} = \sqrt{\frac{2Wd}{\epsilon\epsilon_0 S}},$$

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^3}{6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1,1 \cdot 10^4}} \approx 101 \text{ В.}$$

**Таблица вариантов**

<b>№ Вари- анта</b>	<b>Номер задач</b>				<b>№ Вари- анта</b>	<b>Номер задач</b>			
<b>1</b>	1	51	86	129	<b>26</b>	26	76	111	154
<b>2</b>	2	52	87	130	<b>27</b>	27	77	112	155
<b>3</b>	3	53	88	131	<b>28</b>	28	78	113	156
<b>4</b>	4	54	89	132	<b>29</b>	29	79	114	157
<b>5</b>	5	55	90	133	<b>30</b>	30	80	115	158
<b>6</b>	6	56	91	134	<b>31</b>	31	81	116	159
<b>7</b>	7	57	92	135	<b>32</b>	32	82	117	160
<b>8</b>	8	58	93	136	<b>33</b>	33	83	118	161
<b>9</b>	9	59	94	137	<b>34</b>	34	84	119	162
<b>10</b>	10	60	95	138	<b>35</b>	35	85	120	149
<b>11</b>	11	61	96	139	<b>36</b>	36	67	121	150
<b>12</b>	12	62	97	140	<b>37</b>	37	68	122	151
<b>13</b>	13	63	98	141	<b>38</b>	38	69	123	152
<b>14</b>	14	64	99	142	<b>39</b>	39	70	124	153
<b>15</b>	15	65	100	143	<b>40</b>	40	71	125	154
<b>16</b>	16	66	101	144	<b>41</b>	41	72	126	155
<b>17</b>	17	67	102	145	<b>42</b>	42	73	127	156
<b>18</b>	18	68	103	146	<b>43</b>	43	74	128	157
<b>19</b>	19	69	104	147	<b>44</b>	44	75	106	158
<b>20</b>	20	70	105	148	<b>45</b>	45	76	108	159
<b>21</b>	21	71	106	149	<b>46</b>	46	77	110	160
<b>22</b>	22	72	107	150	<b>47</b>	47	78	111	161
<b>23</b>	23	73	108	151	<b>48</b>	48	79	112	162
<b>24</b>	24	74	109	152	<b>49</b>	49	80	113	148
<b>25</b>	25	75	110	153	<b>50</b>	50	81	114	147

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Какова поверхностная плотность заряда проводящего шара диаметром  $d = 20 \text{ см}$ . Шар заряжен до потенциала  $\varphi = 10 \text{ В}$ .

2. Принимая Землю за проводящий шар радиуса  $R = 6400 \text{ км}$ , определить заряд  $q$  и потенциал  $\varphi$  земли, если напряженность электрического поля около её поверхности  $E = 100 \text{ В/м}$ .

3. Шарик заряженный до потенциала  $\varphi = 800 \text{ В}$ , имеет поверхностную плотность заряда  $\sigma = 0,3 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}^2$  Найти радиус шарика  $R$ .

4. Шарик радиусом  $R = 2 \text{ см}$ . Заряжается отрицательно до потенциала  $\varphi = 2000 \text{ В}$ . Найти массу  $m$  всех электронов, составляющих заряд, сообщенный шарика при зарядке.

5. Поверхностная плотность заряда проводящего шарика  $\sigma = 3,2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/м}^2$  Найти напряженность  $E$  и потенциал  $\varphi$  поля в точке, удаленной от поверхности шара на  $3 R_{ш}$ . Радиус шара  $R_{ш} = 0,2 \text{ м}$ .

6. Изолированному шару сообщили заряд равный  $q = 10^{-8} \text{ Кл}$ . Определить напряженности электрического поля на расстоянии  $r = 5 \text{ см}$  от поверхности шара, если известно, что потенциал шара равен  $\varphi = 1,82 \cdot 10^3 \text{ В}$ .

7. Заряд  $q = 0,5 \text{ нКл}$  равномерно распределен на поверхности полого металлического шарика радиусом  $R = 2,5 \text{ см}$ . Найти потенциал  $\varphi$  и  $E$  напряженность электрического поля в центре шарика, на его поверхности и на расстоянии  $r = 5 \text{ см}$  от центра шарика.

8. Определить, до какого потенциала  $\varphi$  заряжен проводящий шар, если в точках, удаленных от его поверхности в вакууме на

$r_1=5$  см и  $r_2=10$  см потенциалы равны соответственно  $\varphi_1=300$  В и  $\varphi_2=210$  В.

**9.** Определить напряженность  $E$  и потенциал  $\varphi$  пол, создаваемого равномерно заряженной сферой с поверхностной плотностью заряда  $\sigma=10^{-9}$  Кл/м<sup>2</sup>, в точке, удаленной на  $r_1=16$  см от центра сферы, и на  $r_2=35$  см от него. Радиус сферы  $R=20$  см.

**10.** Металлический шар диаметром  $d=2$  см заряжен до потенциала  $\varphi=300$  В. Какая работа  $A$  совершается при переносе заряда  $q=10^{-9}$  Кл/м<sup>2</sup>, из точки  $B$  точку  $C$ ? Точки  $B$  и  $C$  расположены на расстоянии  $r_1=40$  см и  $r_2=50$  см от центра шара.

**11.** При переносе точечного заряда в поле, созданном шаром, заряженным до потенциала  $\varphi=600$  В, совершается работа  $A=6 \cdot 10^{-9}$  Дж. Диаметр шара  $d=60$  см. Чеку равен переносимый заряд  $q$ , если он перемещается с расстояния  $r_1=40$  см от центра шара на расстояние  $r_2=50$  см?

**12.** Какова площадь  $S$  пластин плоского конденсатора, если к обкладкам приложена разность потенциалов  $U=90$  В, заряд пластин  $q=10^{-7}$  Кл, и расстояние между ними  $d=5 \cdot 10^{-3}$  м?

**13.** Плоский конденсатор заряжен до разности потенциалов  $U=1000$  В. Сила взаимодействия между пластинами конденсатора, если расстояние между пластинами  $d=0,1$  см?

**14.** На пластинах плоского конденсатора равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью  $\sigma=0,2$  мкКл/м<sup>2</sup>. Расстояние между пластинами  $d_1=1$  мм. На сколько  $\Delta U$  изменится разность потенциалов на его обкладках при увеличении расстояния между пластинами до  $d_2=3$  мм?



**15.** Расстояние между пластинами слюдяного конденсатора  $d=2,2$  мм, а площадь каждой  $S=6 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Пластины притягиваются с силой  $F=0,4$  мН. Определить разность потенциалов  $U$  между пластинами и электрическая проницаемость слюды  $\varepsilon=3$ .

**16.** Плоский конденсатор состоит из 2-х круглых пластин радиусом  $R=20$  см каждая. Расстояние между пластинами  $d=5$  мм. Конденсатор присоединен к источнику напряжения  $U=3000$  В. определить заряд  $q$  и напряженность  $E$  поля конденсатора, если диэлектриком будут: 1) воздух, 2) стекло, диэлектрическая проницаемость стекла  $\varepsilon=7$ .

**17.** Рассчитать, с какой силой  $F$  притягиваются друг к другу, пластины заряженного плоского конденсатора, емкость которого  $C$ , а разность потенциалов  $U$ . Расстояние между пластинами  $d$ .

**18.** Чему равен потенциал шара радиусом  $R_1=3$  см, если ему сообщить заряд  $q=10^{-9}$  Кл и окружить его другим шаром радиусом  $R_2=4$  см, концентрическим с первым и соединенным с Землей?

**19.** Какой радиус  $R$  должен иметь шар, помещенный в масло, чтобы он имел такую же емкость, как и сферический конденсатор с радиусами обкладок  $R_1=10$  см и  $R_2=10,5$  см, в котором пространство между обкладками заполнено маслом. Диэлектрическая проницаемость масла  $\varepsilon=2,5$ .

**20.** 2 концентрические металлический заряженные сферы радиусами  $R_1$  и  $R_2$  ( $R_1=6$  см,  $R_2=10$  см) несут на себе заряды  $q_1=10^{-9}$  Кл и  $q_2=2 \cdot 10^{-9}$  Кл. Найти напряженность и потенциал в точках: 1)  $r_1=5$  см, 2)  $r_2=8$  см 3)  $r_3=15$  см (от центра сфер).

21. Два металлических шара радиусами  $R_1=2$  см и  $R_2=6$  см соединены проводником, емкостью которого можно пренебречь. Шарам сообщен заряд  $q=1$  нКл. Какова поверхностная плотность зарядов  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  на шарах?

22. Шар радиусом  $R_1=6$  см заряжен до потенциала  $\varphi_1=300$  В, а шар радиусом  $R_2=4$  см – до потенциала  $\varphi_2=500$  В. Определить потенциал шаров  $\varphi$  после того, как их соединили металлическим проводником, емкостью соединительного проводника пренебречь.

23. Между пластинами плоского конденсатора находится плотно прилегающая стеклянная пластина ( $\epsilon=7$ ). Конденсатор заряжен до разности потенциалов  $U_1=100$  В. Какова будет разность потенциалов  $U_2$ , если вытащить стеклянную пластину из конденсатора?

24. К воздушному конденсатору, заряженному до разности потенциалов  $U_1=600$  В и отключенному от источника напряжения присоединили параллельно второй незаряженный конденсатор таких же размеров, но с диэлектриком (фарфор). Определить диэлектрическую проницаемость фарфора, если после присоединения второго конденсатора разность потенциалов уменьшилась до  $U_2=100$  В

25. Конденсатор емкостью  $C_1=0,2$  мкФ был заряжен до напряжения  $U_1=320$  В. После того, как его соединили параллельно со вторым конденсатором, заряженным до напряжения  $U_2=450$  В, напряжение на нем изменилось до  $U_2=400$  В. Вычислить емкость второго конденсатора  $C_2$ .

**26.** Три одинаковых капли ртути, заряженных потенциалом  $\varphi=20\text{В}$ , сливаются в одну. Каков потенциал  $\varphi$  образовавшейся капли?

**27.** Два шара, один диаметром  $d_1=10\text{ см}$  и зарядом  $q_1=6\cdot 10^{-10}\text{ Кл}$ , другой – диаметром  $d_2=30\text{ см}$  и зарядом  $q_2=-2\cdot 10^{-9}\text{ Кл}$ , соединяют длинной тонкой проволокой, емкостью которой можно пренебречь. Какой заряд  $\Delta q$  переместится по ней?

**28.** Заряженный до потенциала  $\varphi_1=100\text{ В}$  шар радиусом  $R_1=20\text{ см}$  соединяют с незаряженным шаром длинным проводником. После этого соединения потенциал шаров оказался  $\varphi=300\text{ В}$ . Каков радиус  $R_2$  второго шара?

**29.** Поверхностная плотность заряда на пластинах плоского конденсатора  $\sigma=3\cdot 10^{-7}\text{ Кл/м}^2$ . Площадь пластины  $S=100\text{ см}^2$ . Емкость конденсатора  $C=10\text{ нФ}$ . Определить скорость  $\mathcal{U}$ , которую приобретает электрон, пройдя в конденсаторе путь от одной пластины до другой.

**30.** Какой заряд  $q$  пройдет по проводам, соединяющим обкладкам плоского конденсатора с зажимами аккумулятора при погружении конденсатора в керосин ( $\varepsilon=2$ )? Площадь пластины конденсатора  $S=150\text{ см}^2$ , расстояние между пластинами  $d=5\text{ мм}$ , ЭДС аккумулятора  $\varepsilon=9,42\text{ В}$ .

**31.** Плоский конденсатор зарядили при помощи источника с напряжением  $U=200\text{ В}$ . Затем конденсатор был отключен от источника. Каким станет напряжение между пластинами, если расстояние между ними увеличить от  $d_1=0,2\text{ мм}$ , до  $d_2=0,7\text{ мм}$ , а пространство между пластинами заполнить слюдой ( $\varepsilon=7$ )?

**32.** Конденсаторы емкостью  $C_1=1 \text{ мкФ}$  и  $C_2=0,7 \text{ мкФ}$  заряжены до разности потенциалов  $U_1=20 \text{ В}$  и  $U_2=50 \text{ В}$  соответственно. После зарядки конденсаторы соединили одноименными полюсами. Определить разность потенциалов  $U$  между обкладками после их соединения.

**33.** Конденсаторы емкостью  $C_1=4 \text{ мкФ}$  заряжен до разности потенциалов  $U_1=10 \text{ В}$ . Какой заряд  $q$  будет на обкладках этого конденсатора, если к нему подключить параллельно другой конденсатор емкостью  $C_2=6 \text{ мкФ}$ , заряженной до разности потенциалов  $U_2=20 \text{ В}$ ? Соединены обкладки, имеющие разноименные заряды.

**34.** Металлическому шару с радиусом  $R_1$  сообщили заряд  $q_1$  и соединили его тонкой длинной проволокой с незаряженным шаром, радиус которого  $R_2$ . Определить заряд  $q$  и потенциал  $\varphi$  каждого шара после соединения. Зарядом проволоки пренебречь.

**35.** Два проводящих шара, радиусы которых  $R_1=4 \text{ см}$  и  $R_2=10 \text{ см}$ , имели электрические заряды соответственно  $q_1=+0,6 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$  и  $q_2=-3 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ . Как перераспределиться заряды, если шары соединить длинным проводником? Зарядом проволоки пренебречь.

**36.** Конденсатор, заряженный до разности потенциалов  $U_1=20 \text{ В}$ , соединили с заряженным до разности потенциалов  $U_2=4 \text{ В}$  с другим конденсатором емкостью  $C_2=33 \text{ мкФ}$ . Определить емкость первого конденсатора  $C_1$ , если напряжение на обкладках конденсаторов после их соединения  $U=2 \text{ В}$  (соединялись обкладками, имеющие разноименные заряды).

**37.** Конденсатор емкостью  $C_1=1 \text{ мкФ}$  заряжен до разности потенциалов  $U_1=100 \text{ В}$ . Другой конденсатор емкостью  $C_2=2 \text{ мкФ}$  так-

же заряжен до разности потенциалов  $U_2$ . Найти  $U_2$ , если известно что при соединении разноименных обкладок напряжение на пластинах оказалось равным  $U=200 В$ .

**38.** Два проводящих шара, радиусы которых  $R_1=10 см$  и  $R_2=5 см$ , заряженные до потенциалов  $\varphi_1=20 В$  и  $\varphi_2=10 В$  соответственно, соединяются тонким проводником. Найти поверхностные плотности зарядов шаров после их соединения.

**39.** Три заряженных шарика, радиусами  $R_1=1см$ ,  $R_2=2см$ ,  $R_3=3см$  соединили проволокой. Как распределяется общий заряд  $q$  между шариками?

**40.** Два шарика, радиусы которых отличаются в 5 раз заряжены равными одноименными зарядами. Во сколько раз изменится сила взаимодействия между ними, если их соединить проволокой?

**41.** Между пластинами заряженного плоского конденсатора ввели диэлектрик с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  так, что он полностью заполнил объем между половинками площадей пластин. Во сколько раз изменилось напряжение на пластинах?

**42.** Плоский конденсатор с размерами пластин  $S=25 \times 25 см^2$  и расстоянием между пластинами  $d=0,5 мм$  заряжен до разности потенциалов  $U_1=20 В$  и отключен от источника. Какова будет разность потенциалов  $U_2$ , если пластины раздвинуть до расстояния  $d_2=5 мм$ ?

**43.** Шар радиусом  $R_1=6 см$  заряжен до потенциала  $\varphi_1=300 В$ . Его соединили проводником с шаром, заряженным до  $\varphi_2=500 В$ . Какой должен быть радиус  $R_2$  второго шара, чтобы после соединения

установился потенциал  $\varphi=380$  В? Емкостью соединительного проводника пренебречь.

44. Расстояние между пластинами плоского конденсатора  $d_1=1$  мм. При изменении расстояния до  $d_2=3$  мм разность потенциалов изменилась на  $\Delta U=22,6$  В. Какова поверхностная плотность заряда  $\sigma$  на обкладках конденсатора?

45. Радиус центральной жилы коаксиального кабеля  $r=1,5$  см, радиус оболочки  $R=3,5$  см. Между центральной жилой и оболочкой приложена разность потенциалов  $U=2300$  В. Вычислить напряженность электрического поля  $E$  на расстоянии  $x=2$  см от оси кабеля.

46. Воздушный цилиндрический конденсатор имеет радиус внутреннего цилиндра  $r=1,5$  см, радиус внешнего цилиндра  $R=3,5$  см. Между цилиндрами приложена разность потенциалов  $U=2300$  В. Какую скорость  $v$  получит электрон под действием поля этого конденсатора, двигаясь с расстояния  $l_1=2,5$  см до расстояния  $l_2=2$  см от оси цилиндра.

47. Найти емкость сферического конденсатора, состоящего из двух концентрических сфер радиусами  $R_1=10$  см и  $R_2=10,5$  см. Пространство между сферами заполнено маслом. Какой радиус должен иметь шар, помещенный в масло, чтобы иметь такую же емкость?

48. Радиус внутреннего шара воздушного сферического конденсатора  $r=1$  см, радиус внешнего шара  $R=4$  см. Между шарами приложена разность потенциалов  $U=3000$  В. Найти напряженность электрического поля на расстоянии  $x=3$  см от центра шаров.

49. Проводники. Заряженные одинаковым зарядом, имеют потенциалы  $\varphi_1=40 \text{ В}$  и  $\varphi_2=60 \text{ В}$ . Каким будет потенциал этих проводников, если соединить их тонкой проволокой?

50. Плоский конденсатор, между обкладками которого находится слюдяная пластинка ( $\varepsilon=7$ ), присоединен к аккумулятору. Заряд конденсатора равен  $q=14 \text{ мкС}$ . Какой заряд  $\Delta q$  пройдет при удалении пластины?

51. Два конденсатора емкостью  $C_1=2 \text{ мкФ}$  и  $C_2=3 \text{ мкФ}$  соединены последовательно и присоединены к батарее, ЭДС в которой  $\varepsilon=30 \text{ В}$ . Определить заряд  $q$  каждого конденсатора и разность потенциалов  $U$  между его обкладками.

52. К батарее с ЭДС  $\varepsilon=300 \text{ В}$  подключены два плоских конденсатора емкостями  $C_1=2 \text{ нФ}$  и  $C_2=3 \text{ нФ}$ . Определить заряд  $q$  и напряжение  $U$  на пластинах конденсаторов при параллельном соединении.

53. К батарее с ЭДС  $\varepsilon=100 \text{ В}$  присоединили последовательно три конденсатора, емкости которых равны  $C_1=0,1 \text{ мкФ}$ ,  $C_2=0,15 \text{ мкФ}$ ,  $C_3=0,06 \text{ мкФ}$ . Определить заряд каждого конденсатора и разность потенциалов между его обкладками.

54. Конденсатор емкостью  $C_1=0,6 \text{ мкФ}$  был заряжен до напряжения  $U_1=300 \text{ В}$  и соединен со вторым конденсатором  $C_2=0,4 \text{ мкФ}$ , заряженным до напряжения  $U_2=150 \text{ В}$ . Найти величину заряда  $\Delta Q$ , перетекшего с пластины первого конденсатора на второй.

55. Конденсаторы  $C_1=0,2 \text{ мкФ}$ ,  $C_2=0,6 \text{ мкФ}$ ,  $C_3=0,3 \text{ мкФ}$  и  $C_4=0,5 \text{ мкФ}$  соединены, как показано на рисунке 1. Разность потенциалов точек

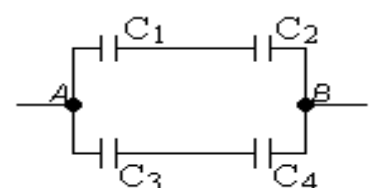


Рис. 1

А и В  $U=320$  В. Вычислить напряжение на каждом из конденсаторов.

56. Два воздушных конденсатора емкостью  $C_1=C_2=2 \cdot 10^{-10}$  Ф каждый, соединены последовательно и подключены к источнику, ЭДС которого  $\varepsilon=10$  В. Как изменится заряд конденсаторов, если пространство между пластинами одного из них заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon=2$ ?

57. Три одинаковых плоских конденсатора соединены последовательно. Емкостью такой батареи конденсаторов  $C=9 \cdot 10^{-11}$  Ф. Площадь каждой пластины  $S=100$  см<sup>2</sup>, диэлектрик-стекло, Какова толщина стекла? Диэлектрическая проницаемость стекла  $\varepsilon=7$ .

58. Конденсаторы  $C_1=0,2$  мкФ,  $C_2=0,1$  мкФ,  $C_3=0,3$  мкФ,  $C_4=0,4$  мкФ соединены как показано на рис.2. Определить емкость  $C$  батареи конденсаторов.

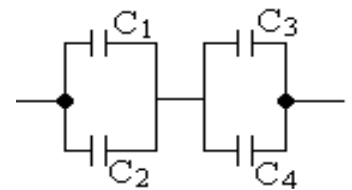


Рис. 2

59. Конденсаторы  $C_1=10$  мкФ,  $C_2=4 \cdot 10$  мкФ,  $C_3=2 \cdot 10$  мкФ и  $C_4=3 \cdot 10$  мкФ соединены так, как показано на рис. 2. Определить емкость  $C$  батареи конденсаторов.

60. Два конденсатора емкостью по  $C_1=0,5$  мкФ соединены параллельно. Последовательно к ним присоединен конденсатор емкостью  $C_2=1$  мкФ. Определить заряд каждого конденсатора и разность потенциалов на его обкладках, если данная система конденсаторов присоединена к батарее с ЭДС  $\varepsilon=20$  В.

61. Конденсатор построен из  $n$  латунных листов, проложенных стеклянными прокладками толщиной по  $d=2$  мм. Площадь латунных листов и стеклянных прокладок одинакова и равна  $S=200$  см<sup>2</sup>.



Диэлектрическая проницаемость стекла  $\varepsilon=7$ . Найти емкость  $C$  конденсатора, если  $n=21$ .

62. Батарея из 3-х последовательно соединенных конденсаторов  $C_1=100 \text{ нФ}$ ,  $C_2=200 \text{ нФ}$ ,  $C_3=500 \text{ нФ}$  присоединена к аккумулятору, который сообщил батарее заряд  $q=3,3 \text{ нКл}$ . Определить напряжение на каждом конденсаторе.

63. Два конденсатора, емкостью по  $C=0,4 \text{ мкФ}$  соединены последовательно. Параллельно к ним присоединен конденсатор емкостью  $C_1=0,2 \text{ мкФ}$ . Определить заряд каждого конденсатора и разность потенциалов на его обкладках, если данная система конденсаторов присоединена к батарее с ЭДС  $\varepsilon=20 \text{ В}$ .

64. Два воздушных конденсатора емкостью  $C_1=5 \text{ мкФ}$  и  $C_2=30 \text{ нФ}$  соединены последовательно и подключены к батарее с ЭДС  $\varepsilon=20$ . Затем второй конденсатор заливается керосином. Какой заряд  $q$  протечет при этом по цепи? Диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon_k=2$ .

65. Емкость батареи конденсаторов на рис.3  $C=5 \text{ мкФ}$ . Какова емкость  $C_1$  и заряд  $Q_1$  первого конденсатора, если  $C_2=1 \text{ мкФ}$  и  $C_3=4 \text{ мкФ}$ , а приведенное напряжение  $U=220 \text{ В}$ ?

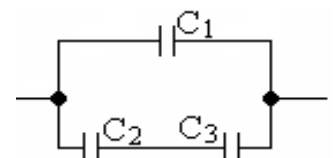


Рис. 3

66. Конденсаторы с емкостями  $C_1=2 \text{ мкФ}$ ,  $C_2=2 \text{ мкФ}$ ,  $C_3=3 \text{ мкФ}$ ,  $C_4=1 \text{ мкФ}$  соединены как показано на рис. 4. найти общий заряд  $q$  батареи конденсаторов разность потенциалов  $U$  точек  $A$  и  $B$ , если напряжение на обкладках четвертого конденсатора равным  $U_4=100 \text{ В}$ .

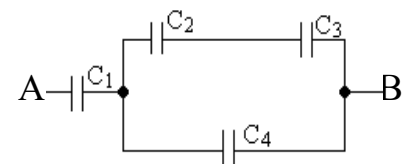


Рис. 4

67. Два воздушных конденсатора емкостью  $C=0,2$  нФ каждый соединены последовательно и подключены к источнику напряжения  $U=30$  В. После зарядки конденсаторы отключаются от источника, затем внутрь одного из них вносят диэлектрик с  $\varepsilon=3$ . Чему равно напряжение  $U_2$  на этих конденсаторах после заполнения?

68. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора соединены последовательно к батарее, которая подключена к источнику с ЭДС  $\varepsilon=12$  В. Определить, насколько изменится напряжение на одном из конденсаторов, если другой погрузить в трансформаторное масло.

69. Два одинаковых плоских конденсатора соединены параллельно и заряжены до разности потенциалов  $U=150$  В. Определить разность потенциалов на конденсаторах, если после отключения от источника напряжения у одного конденсатора уменьшили расстояние между пластинами в два раза.

70. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора емкостью  $C=100$  нФ каждый соединены в батарею последовательно. Определить насколько изменится емкость батареи, если пространство между пластинами одного из конденсаторов заполнить парафином ( $\varepsilon=2$ ).

71. Плоский воздушный конденсатор состоит из трех пластин, соединенных, как показано на рис.5. Определить емкость конденсатора, если площадь каждой пластины  $S=100$  см<sup>2</sup>, а расстояние между пластинами  $d=0,5$  см.

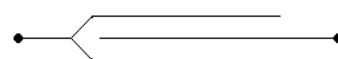


Рис. 5

72. Имеется три различных конденсатора, емкость одного из них  $C_1=2 \text{ мкФ}$ . Когда все три конденсатора соединены последовательно, емкость цепи равна  $C_0=1 \text{ мкФ}$ . Когда все три конденсатора соединены параллельно, то емкость цепи  $C=11 \text{ мкФ}$ . Определить емкости  $C_2$  и  $C_3$  двух других конденсаторов.

73. В плоский воздушный конденсатор с площадью обкладок  $S$  и расстоянием между ними  $d$  вставлена параллельно обкладкам металлическая пластинка, размеры которой равны размерам обкладок. Определить емкость конденсатора после внесения пластинки, если её толщина немного меньше  $d$  и расположена она на расстоянии  $l$  от одной из обкладок.

74. Между обкладками плоского воздушного конденсатора (расстояние между обкладками  $d$ , площадь обкладок  $S$ ) вводится параллельно обкладкам металлическая пластина толщиной  $d_1=d/3$ . Определить емкость  $C_1$  конденсатора с введенной проводящей пластинкой.

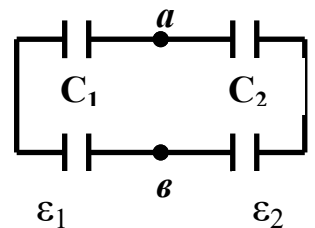


Рис 6

75. Найти разность потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$  между точками “а” и “в” схемы, изображенной на рисунке 6. Емкости конденсаторов  $C_1=0,5 \text{ мкФ}$ ,  $C_2=1 \text{ мкФ}$ , с ЭДС  $E_1=2 \text{ В}$  и  $E_2=3 \text{ В}$ .

76. В воздушный конденсатор внесена диэлектрическая пластинка с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=2$  и расположена как показано на рис. 7. Определить во сколько раз изменилась емкость конденсатора при внесении в него пластинки.

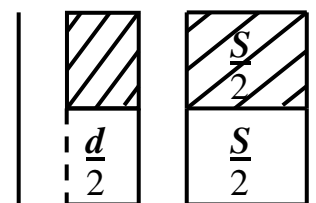


Рис. 7

77. Определить разность потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$  между точками “а” и “в” в схеме, изображенной на рис.8

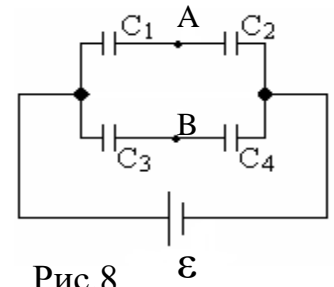


Рис.8

78. Плоский воздушный конденсатор заряжен до разности потенциалов  $U=50\text{ В}$  и отключен от источника напряжения. После этого в конденсатор параллельно обкладкам вносится металлический лист толщиной  $d_1=5\text{ мм}$ . Площади обкладок и металлического листа равны.

79. В схеме, изображенной на рис.9, емкостью батареи конденсаторов не меняется при замыкании ключа  $K$ . Определить  $C_x$ .

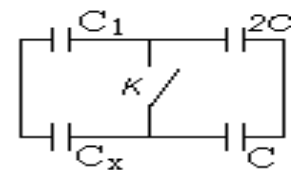


Рис.9

80. Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  при помощи переключателя  $K$  присоединяются сначала к батарее с ЭДС  $\varepsilon$ , а потом к незаряженному конденсатору  $C_3$  рис.10. Найти заряд  $q$ , который появится на конденсаторе  $C_3$ .

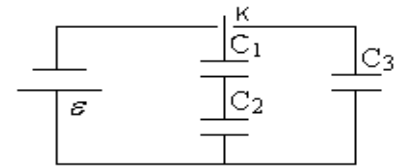


Рис.10

81. Воздушный конденсатор емкостью  $C$ , заполняют диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ . Конденсатор какой емкости  $C_x$  надо подключить последовательно с данным, чтобы такая батарея вновь имела емкость  $C$ ?

82. Найти емкость системы конденсаторов, включенных между точками  $A$  и  $B$ , как показано на рис.11.

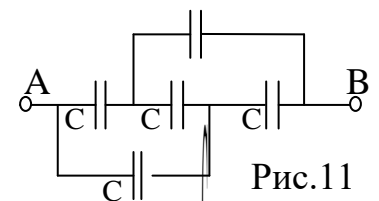


Рис.11

83. Батарея из четырех одинаковых конденсаторов включена один раз по схеме рис.12а, а другой раз – по схеме

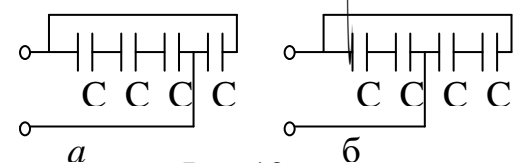


Рис.12

рис.12б. В каком случае емкость батареи будет больше?

84. Как изменится заряд  $q$  и разность потенциалов  $U$  обкладок конденсатора  $C_3$  (рис.13) при пробое конденсатора  $C_2$ ? Во сколько раз ?

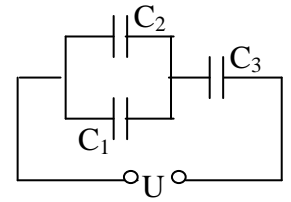


Рис.13

85. Четыре конденсатора соединены по схеме, изображенной на рис.14. Полюсы источника напряжения можно присоединить либо к точкам “а” и “в” либо к точкам “m” и “n”. Емкости конденсаторов  $C_1=2$  мкФ и  $C_2=5$  мкФ.

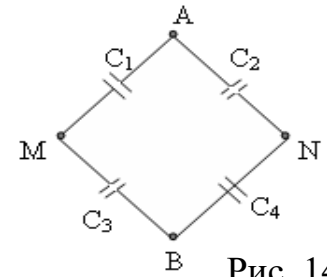


Рис. 14

Найти емкости  $C_x$  и  $C_y$ , при которых заряды на обкладках всех конденсаторов по модулю будут равны между собой независимо от того, каким способом будет присоединен источник конденсатора.

86. Заряд каждой пластины  $q=10^{-8}$  Кл, энергия конденсатора  $W=0,4$  мкДж, сила взаимного притяжения пластин  $F=5 \cdot 10^{-3}$  Н. Определить разность потенциалов  $U$  между пластинами и расстояние  $d$  между ними.

87. Определить, какое количество теплоты  $q$  выделится при заземлении заряженного до потенциала  $\phi=3$  кВ шара радиусом  $R=3$ .

88. Плоский конденсатор с площадью пластин  $S=300$  см<sup>2</sup> каждая заряжен до разности потенциалов  $U=1000$  В. Расстояние между пластинами  $d=4$  см. Диэлектрик стекло ( $\epsilon=7$ ). Определить энергию поля конденсатора и плотность энергии поля.

89. Шар, погруженный в керосин, имеет потенциал  $\phi=4500$  В и поверхностную плотность заряда  $\sigma=11$  мкКл/м<sup>2</sup>. Найти энергию шара  $W$ .

90. Пластины плоского конденсатора притягиваются друг к другу с силой  $F=0,05 \text{ Н}$ . Площадь каждой пластины  $S=100 \text{ см}^2$ . Найти объемную плотность энергии  $w$  поля в конденсаторе.

91. Разность потенциалов между пластинами плоского воздушного конденсатора с площадью  $S=100 \text{ см}^2$  каждая равна  $U=280 \text{ В}$ . Поверхностная плотность заряда на пластинах  $\sigma=495 \text{ нКл/м}^2$ . Найти энергию поля  $W$  в конденсаторе и силу притяжения пластин  $F$ .

92. Конденсаторы емкостью  $C_1=1 \text{ мкФ}$ ,  $C_2=2 \text{ мкФ}$  и  $C_3=3 \text{ мкФ}$  включены в цепь с напряжением  $U=1,1 \text{ кВ}$  параллельно. Определить энергию поля в этой батарее конденсаторов.

93. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора  $S=100 \text{ см}^2$ , расстояние между ними  $d=5 \text{ мм}$ . Найти, какая разность потенциалов  $U$  была приложена к пластинам, если известно, что при разряде конденсатора выделилось  $W=4,19 \text{ мДж}$  тепла.

94. Конденсаторы емкостью  $C_1=1 \text{ мкФ}$ ,  $C_2=2 \text{ мкФ}$ ,  $C_3=3 \text{ мкФ}$  последовательно включены в цепь с напряжением  $U=1,1 \text{ кВ}$ . Определить энергии  $W_1$ ,  $W_2$  и  $W_3$  каждого конденсатора.

95. Какое количество теплоты  $W$  выделится при разряде плоского конденсатора, если разность потенциалов между пластинами  $U=15 \text{ кВ}$ , расстояние  $d=1 \text{ мм}$ , площадь пластины  $S=300 \text{ см}^2$ , диэлектрик – слюда ( $\epsilon=7$ )

96. Расстояние между пластинами плоского конденсатора  $d=2 \text{ мм}$ , разность потенциалов  $U=600 \text{ кВ}$ . Заряд каждой пластины  $q=40 \text{ нКл}$ . Определить энергию  $W$  поля конденсатора и силу  $F$  взаимно притяжения пластин.

97. При разрядке батареи, состоящей из 20 параллельно включенных конденсаторов емкостью  $C_0=4 \text{ мкФ}$  каждый, выделилось  $W=10 \text{ Дж}$  тепла. Определить, до какой разности потенциалов были заряжены конденсаторы.

98. Какой заряд сообщен шару, если шар заряжен до потенциала  $\varphi=10 \text{ кВ}$ , а энергия, запасенная шаром  $W=2,02 \text{ Дж}$ .

99. Радиусы обкладок сферического конденсатора  $R_1=1 \text{ м}$  и  $R_2=2 \text{ м}$ . Энергия поля, заключенного между обкладками  $W=20,2 \text{ мДж}$ . Каков заряд  $q$  конденсатора?

100. К пластинам конденсатора, каждая из которых имеет площадь  $S=100 \text{ см}^2$ , приложена разность потенциалов  $U=280 \text{ В}$ . Напряженность поля в конденсаторе  $E=550 \text{ В/см}$ . Определить энергию  $W$  поля в конденсаторе.

101. Расстояние между пластинами заряженного плоского конденсатора уменьшили в два раза. Во сколько раз изменится энергия поля в конденсаторе, если конденсатор отключен от источника напряжения?

102. Расстояние между пластинами плоского конденсатора с диэлектриком из прорафинированной бумаги ( $\epsilon=2$ ) равно  $d=2 \text{ мм}$ , а напряжение между обкладками  $U=200 \text{ В}$ . Найти плотность  $w$  энергии поля.

103. Шесть одинаковых конденсаторов соединили параллельно в батарею и зарядами до  $U=4000 \text{ В}$ . При разрядке батареи выделилось  $W=0,24 \text{ Дж}$  тепла. Какова емкость  $C$  одного конденсатора?

104. Две металлические пластины расположены параллельно на расстоянии  $d=0,6 \text{ см}$  друг от друга. Напряженность поля между ни-

ми  $E=700 \text{ В/см}$ . Какая энергия  $W$  запасена в таком конденсаторе, если заряд на пластинах  $q=0,8 \text{ мКл}$ ?

105. Заряженный конденсатор подключили параллельно к такому же незаряженному конденсатору. Во сколько раз изменилась энергия поля?

106. Конденсатор зарядили до разности потенциалов  $U_1=200 \text{ В}$  и отключили от источника напряжения. Когда пространство между пластинами заполнили диэлектриком, разность потенциалов стала равна  $U_2=100 \text{ В}$ . Определить диэлектрическую проницаемость диэлектрика  $\epsilon$ . Емкость конденсатора без диэлектрика равна  $C=10^{-7} \text{ Ф}$ . Какую работу  $A$  произвели, заполняя пространство между пластинами диэлектриком?

107. Расстояние между пластинами плоского конденсатора  $d=0,5 \text{ см}$ , диэлектрик-парафин ( $\epsilon=2$ ), площадь пластины  $S=100 \text{ см}^2$ . Конденсатор зарядили до разности потенциалов  $U=200 \text{ В}$  и, не отключая от источника напряжения, вынули диэлектрик. На сколько изменилась энергия конденсатора?

108. Два удаленных изолированных шара радиусами  $R_1$  и  $R_2$  были заряжены до потенциалов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  соответственно. Затем их соединили тонким проводником. Чему равно изменения энергии  $\Delta W$  система шаров?

109. Емкость плоского конденсатора  $C=2 \text{ мкФ}$ , диэлектрик-слюда. Конденсатор зарядили до разности потенциалов  $U=600 \text{ В}$  и отключили от источника напряжения. Какую работу  $A$  нужно произвести, чтобы вынуть слюду ( $\epsilon=6$ )?



110. Расстояние между пластинами плоского конденсатора равно  $d=1$  см, площадь каждой пластины  $S=100$  см<sup>2</sup>, диэлектрик-воздух. Конденсатор зарядили до разности потенциалов  $U=800$  В и затем отключили от источника напряжения. Какую нужно совершить работу  $A$ , чтобы раздвинуть пластины заряженного конденсатора до расстояния в  $d=3$  см?

111. Два металлических шарика радиусами  $R_1=3$  см и  $R_2=4$  см имеют: первый потенциал,  $\varphi_1=3$  кВ, а второй-заряд  $q_2=20$  нКл. Найти энергию  $W$ , которая выделится при разрядке, если шары соединить проводником.

112. Плоский конденсатор заполнен диэлектриком и на его пластины подана разность потенциалов. Его энергия при этом равна  $W=20$  мкДж. После того, как конденсатор отключили от источника напряжения, диэлектрик вынули из конденсатора. Работа которую надо было совершить против сил электрического поля, чтобы вынуть диэлектрик, равна  $A=70$  мкФ. Найти диэлектрическую проницаемость диэлектрика.

113. Плоский воздушный конденсатор зарядили до разности потенциалов  $U=700$  В и, не отключая от источника напряжения, раздвинули пластины до расстояния  $d_2=2$  см (первоначальное расстояние  $d_1=1$  см). Какая при этом была произведена работу  $A$ ? Площадь каждой пластины конденсатора  $S=100$  см<sup>2</sup>.

114. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено Фарфором ( $\epsilon=5$ ), объем которого  $V=100$  см<sup>3</sup>. Поверхностная плотность заряда на пластинами конденсатора  $\sigma=8.85$

$\text{нКл/м}^2$ . Вычислить работу  $A$ , которую нужно совершить для того, чтобы удалить диэлектрик из конденсатора.

115. Заряженный шар радиусом  $R_1=2 \text{ см}$  приводится в соприкосновение с незаряженным шаром радиусом  $R_2=3 \text{ см}$ . После того, как шары разъединили энергия второго шара оказалась равной  $W_2=0,4 \text{ Дж}$ . Какой заряд  $q_1$  был на первом шаре до соприкосновения со вторым?

116. Конденсатор емкостью  $C_1=0,7 \text{ нФ}$  зарядили до разности потенциалов  $U=1,5 \text{ кВ}$  и отключили от источника напряжения. Затем к нему присоединили параллельно которой незаряженный конденсатор емкостью  $C_2=0,45 \text{ нФ}$ . Какое количество энергии  $W$  делится при разряде после соединения?

117. Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C=1 \text{ нФ}$  заряжен до разности потенциалов  $U=300 \text{ В}$ . После отключения от источника напряжения расстояние между пластинами было увеличено в 5 раз. Определить работу  $A$  внешних сил по раздвижению пластин.

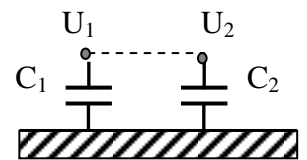


Рис. 15

118. Определить количество теплоты  $W$ , выделившейся при соединении проводом верхних (незаземленных обкладок двух конденсаторов рис.15). Разность потенциалов между верхними обкладками конденсаторов и землей соответственно равны  $U_1=100 \text{ В}$  и  $U_2=-50 \text{ В}$ . Емкость конденсаторов  $C_1=2 \text{ мкФ}$  и  $C_2=0,5 \text{ мкФ}$ .

119. Определить количество электрической энергии  $W$ , перешедшее в тепло при соединении одноименно заряженными обклад-

ками конденсаторов  $C_1=2 \text{ мкФ}$  и  $C_2=0,5 \text{ мкФ}$ , заряженных до напряжения  $U_1=100 \text{ В}$  и  $U_2=50 \text{ В}$  соответственно.

120. Пять параллельно соединенных одинаковых конденсаторов емкостью  $C_0=0,1 \text{ мкФ}$  заряжаются до общей разности потенциалов  $U_1=30 \text{ кВ}$ . Определить среднюю мощность разряда  $\langle N \rangle$ , если батарея разряжается за  $t=1,5 \text{ мкс}$ . Остаточное напряжение равно  $U_2=0,5 \text{ кВ}$ .

121.  $N$  шаровых капель радиусом  $r$  заряжены до одинакового потенциала  $\varphi_1$ . Все капли соединяются в одну большую. Определить изменение электрической энергии  $\Delta W$ .

122. Шар радиусом  $R_1=60 \text{ см}$ , заряженный до потенциала  $\varphi_1=150 \text{ В}$  соединен тонкой проволокой с шаром, имеющим заряд  $q_2=30 \text{ нКл}$  и электрическую энергию  $W=18 \text{ мкДж}$ , и незаряженным шаром емкостью  $C_3=5 \text{ нФ}$ . Определить изменения их общей энергии  $\Delta W$  после соединения.

123. Два плоских конденсатора емкостями  $C_1$  и  $C_2$  соединили последовательно и зарядили от источника напряжения  $U$ . После отключения от источника конденсаторы соединили параллельно. Какая энергия  $\Delta W$  выделится при перезарядке конденсаторов.

124. Плоский воздушный конденсатор с площадью по  $S=80 \text{ см}^2$  и расстоянием между ними  $d=1,5 \text{ мм}$  заряжается от источника с напряжением  $U=100 \text{ В}$ , отключается от него и погружается в жидкий диэлектрик с проницаемостью  $\varepsilon=2,5$ . На сколько изменится при этом энергия конденсатора?

125. Плоский воздушный конденсатор с расстоянием между пластинами  $d_1=5 \text{ см}$  и площадью пластин  $S=500 \text{ см}^2$  присоединен и

источнику с ЭДС  $\varepsilon=2000$  В. Параллельно пластинам в конденсатор вводится металлическая пластинка толщиной  $d_2=1$  см. Какую работу  $A$  совершает при этом батарея?

126. Расстояние между пластинами заряженного плоского конденсатора уменьшили в два раза. Во сколько раз изменяется энергия поля в конденсаторе, если конденсатор не отключен от источника напряжения?

127. Один миллион сферических проводящих капелек сливаются в одну каплю. Радиус каждой капли  $r=500$  мкм, заряд  $q=1,6 \cdot 10^{-14}$  Кл. Какая энергия расходуется на преодоление сил отталкивания присоединением капелек?

128. Пластину из эбонита ( $\varepsilon=3$ ) поместили в однородное электрическое поле напряженностью  $E=1$  кВ/м. Найти плотность связанных зарядов по поверхности пластины.

129. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено стеклом ( $\varepsilon=7$ ). Расстояние между пластинами  $d=4$  мм. На пластины подано напряжение  $U=1200$  В. Найти поверхностную плотность связанного заряда на стекле и диэлектрическую восприимчивость  $\chi$  стекла.

130. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено маслом ( $\varepsilon=5$ ). Расстояние между пластинами  $d=1$  мм. Какую разность потенциалов  $U$  надо подать на пластины чтобы поверхностная плотность связанных зарядов на масле было равно  $\sigma=6,2 \cdot 10^{-10}$  Кл/см<sup>2</sup>?

131. Между пластинами плоского конденсатора зажата пластинка стекла. Площадь пластин конденсатора  $S=100$  см<sup>2</sup>. Пластинка

ны конденсатора притягиваются друг к другу с силой равной  $F=4,9 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$ . найти поверхностную плотность  $\sigma$  связанных зарядов на поверхности стекла.

132. Между пластинами плоского конденсатора находится парафин. При присоединении пластин к источнику напряжения давление пластин на парафин стало  $P=5 \text{ Н/м}^2$ . Найти поверхностную плотность  $\sigma$  связанных зарядов на парафине и диэлектрическую проницаемость парафина  $\epsilon$ .

133. Найти емкость конденсатора, содержащего в качестве диэлектрика слой слюды ( $\epsilon_1=6$ ) толщиной  $d_1=2 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$  и слой парафина ( $\epsilon_2=2$ ) толщиной  $d_2=10^{-3} \text{ мм}$ , если площадь пластин  $S=25 \text{ см}^2$ .

134. Между пластинами плоского конденсатора вложена пластинка слюды ( $\epsilon=6$ ). Какое давление испытывает эта пластинка при напряженности электрического поля  $E=10 \text{ кВ/см}^2$ ?

135. Стеклянную пластинку выдвинули в плоский конденсатор так, что она вплотную прилегает к его обкладкам. Расстояние между обкладками  $a=10 \text{ см}$ . При разности потенциалов  $U=3 \text{ В}$  поверхностная плотность связанных зарядов на стекле  $\sigma_b = 1,59 \text{ нКл/м}^2$ . Найти диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$ .

136. Расстояние между пластинами плоского конденсатора  $d=1,3 \text{ мм}$ , площадь пластин  $S=20 \text{ см}^2$ . В пространстве между пластинами конденсатора два слоя диэлектрика: слюды ( $\epsilon=6$ ) толщиной  $d_1=0,7$ ; и эбонита ( $\epsilon_2=3$ ) толщиной  $d_2=0,3 \text{ мм}$ . Определить емкость  $C$  конденсатора.

137. Диэлектрическая проницаемость газообразного аргона при нормальных условиях равна  $\epsilon = 1,00054$ . Определить дипольный

момент  $A$  атома аргона в электрическом поле с напряженностью  $E=10 \text{ кВ/м}$ , если концентрация молекул при этих условиях равна  $n=2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .

138. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Заряд пластин равен  $q$ , площадь пластин  $S$ . Найти плотность связанных зарядов  $\sigma'$  на поверхности диэлектрика.

139. Две параллельно бесконечные плоскости заряжены равномерно с разноименно. Между ними находится диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=3$ . Поверхностная плотность связанных зарядов на диэлектрике  $\sigma_b=1,33 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/см}^2$ . найти поверхностную плотность  $\sigma$  свободных зарядов на пластинах.

140. Шарик радиусом  $R=5 \text{ см}$  и зарядом  $q=210 \text{ нКл}$  находится внутри диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=7$ . Определить поверхностную плотность  $\sigma$  поляризационного заряда, возникающего у поверхности заряженного шарика.

141. При какой напряженности электрического поля поверхностная плотность связанных зарядов на стекле ( $\epsilon=7$ ) равна  $\sigma_b=0,26 \text{ Кл/м}^2$ ?

142. Плоский конденсатор с площадью пластин  $S=300 \text{ см}^2$  каждый заряжен до разности потенциалов  $U=1000 \text{ В}$ . Расстояние между пластинами  $d=4 \text{ см}$ . Энергия поля конденсатора  $W=2,3 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$ . Найти диэлектрическую восприимчивость  $\chi$  диэлектрика, заполняющего объем между пластинами.

143. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектриков: слоем стекла толщиной

$d_1=2$  см и слоем парафина толщиной  $d_2=0,3$  см. Разность потенциалов между обкладками  $U=300$  В. Определить напряженность поля и падения потенциала в каждом из слоев.

144. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком. На пластины подана разность потенциалов  $U_1=650$  В. Если, отключив источник напряжения, вынуть диэлектрик из конденсатора, то разность потенциалов на пластинах возрастёт до  $U_2=1800$  В. Найти поверхностную плотность связанных зарядов  $\sigma_b$  и диэлектрическую восприимчивость  $\chi$  диэлектрика.

145. Пространство между пластинами плоского конденсатора объемом  $V=20$  см<sup>3</sup> заполнено диэлектриком ( $\epsilon=5$ ). Пластины конденсатора присоединены к источнику напряжения. При этом поверхностная плотность на диэлектрике  $\sigma_b = 8.55$  мкКл/м<sup>2</sup>. Какую работу  $A$  нужно совершить, чтобы вытащить диэлектрик из конденсатора после отклонения источника напряжения?

146. Решить предыдущую задачу для случая, если диэлектрик вытаскивают при включенном источнике напряжения.

147. Расстояние между пластинами плоского конденсатора  $d=1$  см, на нижней пластине лежит лист слюды ( $\epsilon=6$ ) толщиной  $d_1=0,5$  см. Конденсатор заряжен до напряжения  $U=300$  В. Определить напряженности  $E_1$  и  $E_2$  электрического поля в воздухе и в слюде.

148. В одном из двух одинаковых по своим размерам плоских конденсаторов, использована для прокладки между пластинами парафинированная бумага ( $\epsilon=2$ ). Второй конденсатор с неизвестным

диэлектриком имеет в 3,5 раза большую емкость, чем первый. Каково отношение  $\sigma_1/\sigma_2$  плотностей связанных зарядов при подключении к одному и тому же источнику напряжения?

149. Расстояние между пластинами плоского конденсатора  $d=5$  мм, разность потенциалов  $U=150$  В. На нижней пластине лежит плитка парафина ( $\epsilon=2$ ) толщиной  $d_1=4$  мм. Определить поверхностную плотность  $\sigma$  зарядов этой пластинки.

150. В плоский воздушный конденсатор вдвинули стеклянную пластинку ( $\epsilon=7$ ) так, что она образовала с пластинами конденсатора угол  $\alpha=45^\circ$ . Определить на какой угол  $\beta$  от первоначального направления отклоняются силовые линии электрического поля конденсатора в пластине.

151. Между пластинами плоского конденсатора, находящимися на расстоянии  $d=1$  см друг от друга, приложена разность потенциалов  $U_1=100$  В. К одной из пластин прилежит плоскопараллельная пластинка кристаллического бромистого таллия ( $\epsilon=173$ ) толщиной  $d_1=2,5$  мм. После отклонения конденсатора от источника напряжения пластинка кристалла вынимают. Какова будет после этого разность потенциалов  $U_2$  между пластинами конденсатора?

152. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком, диэлектрическая восприимчивость которого  $\chi=0,08$ . На пластины конденсатора подана разность потенциалов  $U=4$  кВ. Найти поверхностные плотности зарядов  $\sigma$  и  $\sigma'$  на пластинах и на диэлектрике. Расстояние между пластинами  $d=5$  мм.



153. Внутри шара из однородного изотропного диэлектрика с  $\varepsilon=5$  создан однородное электрическое поле напряженности  $E=100 \text{ В/м}^2$ . Найти поверхностную плотность связанных зарядов  $\sigma$ .

154. В однородное электрическое поле с напряженностью  $E_0=100 \text{ В/м}^2$  помещена бесконечно плоскопараллельная пластина из однородного и изотропного диэлектрика с  $\varepsilon=2$ . Пластина расположена перпендикулярно к  $E_0$ . Определить электрическое смещение  $z$  внутри пластины и поляризованность диэлектрика  $P$ .

155. Бесконечная пластина толщиной  $d$  из изотропного диэлектрика поляризована так, что поляризованность её равна  $P$  и направлена перпендикулярно пластине. Найти объемную плотность связанных зарядов  $P$ .

156. Стеклянная пластинка с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon=6$  внесена в однородное электрическое поле с напряженностью  $E=10 \text{ В/м}$  и расположена так, что угол между нормалью к пластинке и направлением внешнего поля равен  $\alpha_1=30^\circ$ . Найти напряженность  $E_2$  поля в пластинке, угол  $\alpha_2$ , который это поле образует с нормалью к пластинке, а также плотность  $\sigma$  связанных зарядов, возникших на поверхностях пластинки.

157. В зазор между разноименными плоскостями ввели пластину из диэлектрика, не несущую сторонних зарядов (рис.16). Пунктиром на рисунке показана воображаемая замкнутая поверхность, частично проходящая внутри диэлектрика, частично

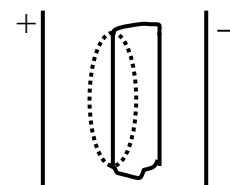


Рис.16

вне его. Чему равен поток вектора электрического смещения  $D$  через эту поверхность?

158. Плоский слой диэлектрика ( $\epsilon=2$ ) толщиной  $d=0,5$  см равномерно заряжен с объемной плотности заряда  $\rho=2,7$  нКл/см<sup>3</sup>. Какова напряженность поля  $E$  а) в середине слоя? б) внутри слоя на расстоянии  $l=0,1$  см от поверхности? в) вне слоя?

159. Шарик радиус  $R=2$  см, сделанный из диэлектрика, заряжен с объемной плотностью заряда  $\rho=2,3$  нКл/см<sup>3</sup>. Какова напряженность поля  $E$  на расстоянии  $r=3$  см от центра шара?

160. Слой диэлектрика толщиной  $d=5$  см равномерно заряжен с объемной плотностью заряда  $\rho=0,01$  нКл/см<sup>3</sup>. Найти разность потенциалов между поверхностью слоя и его серединой. Диэлектрическая проницаемость диэлектрика  $\epsilon=3$ .

161. У поверхности фарфора ( $\epsilon=7$ ) напряженность электрического поля в воздухе  $E=200$  В/см, направление поля образует с нормалью у поверхности угол  $\alpha_1=40^\circ$ . Определить: а) угол  $\beta$  между направлением поля и нормалью в фарфоре; б) напряженность поля в фарфоре; в) поверхностную плотность  $\sigma$  связанных зарядов на фарфоре.

162. Точечный заряд  $q=20$  нКл находится в вакууме на расстоянии  $a=50$  мм от заземлённой плоской металлической стенки. Найти силу  $F$ , с которой стенка притягивает к себе заряд.

163\*. Точечный заряд  $q$  находится между двумя проводящими полуплоскостями. Расстояние заряда до каждой полуплоскости равно  $l$ . Найти модуль вектора  $F$ , действующей на заряд.

164\*. Точечный диполь с электрическим моментом  $P$  находится на расстоянии  $l$  от бесконечной проводящей плоскости.

Найти модуль вектора силы  $F$ , действующей на диполь, если вектор  $P$  перпендикулярен плоскости.

165\*. На расстоянии  $a=10$  см от бесконечной проводящей плоскости находится точечный заряд  $q=20$  нКл. Вычислить напряженность  $E$  электрического поля в точке, удаленной от плоскости на расстоянии  $a$  и от заряда  $q$  на расстоянии  $\Delta a$ .

166\*. Точечный заряд  $q$  находится на расстоянии  $l$  от бесконечной проводящей плоскости. Определить поверхностную плотность  $\sigma$  зарядов, индуцированных на плоскость, как функция расстояния  $r$  от основания перпендикуляра, смещенного из заряда  $q$  на плоскость.

167\*. Найти емкость систем конденсаторов, показанных рис.17.

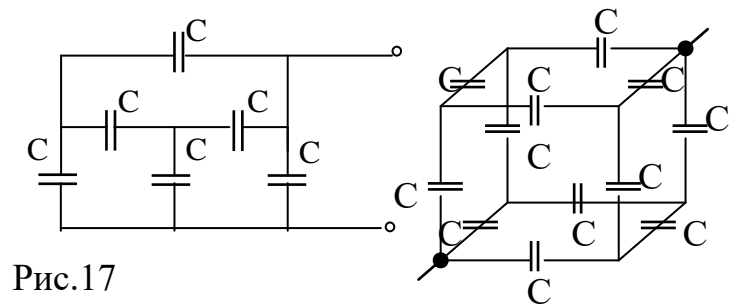
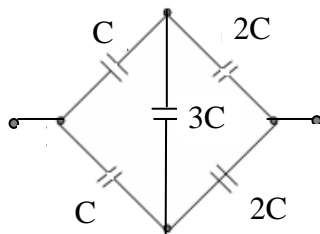


Рис.17

## ТЕМА 3.3

### ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.

#### Контрольные вопросы

1. Каковы условия существования электрического тока? Дайте определение основных характеристик тока – силы и плотности тока.

2. Какова роль источника тока в электрической цепи? Что такое сторонние силы? Дайте определение ЭДС источника. Какая разница между ЭДС, напряжением и разностью потенциалов?

3. От чего зависит сила тока в электрической цепи? Сформулируйте закон Ома для однородного участка цепи, замкнутой цепи, неоднородного участка цепи в интегральной и дифференциальной форме.

4. От чего зависит сопротивление проводника? Как определяется сопротивление системы проводников, соединенных: а) последовательно; б) параллельно?

5. Какова природа носителей тока в металлах? Как объясняется сопротивление прохождению тока в металлах с точки зрения классической теории электропроводности металлов?

6. Сформулируйте правила Кирхгофа для расчета разветвленных электрических цепей. На основе каких физических законов они установлены?

7. Какая работа совершается сторонними и электрическими силами при прохождении электрического тока? Каким законом описывается тепловое действие тока?

8. Как определяется мощность источника тока? Какая мощность выделяется во внешней цепи? Чему равен КПД источника тока?

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ**

1. При использовании обобщенного закона Ома в интегральной форме и определении работы и мощности электрического тока нужно обратить внимание на различие между разностью потенциалов, ЭДС и напряжением. Каждая из этих величин – это работа перемещения единичного заряда в цепи. Но разность потенциалов – это работа кулоновских сил, ЭДС – это работа сторонних сил, а напряжение – суммарная работа кулоновских и сторонних сил, равная произведению силы тока на полное сопротивление рассматриваемого участка.

2. При анализе электрических схем с последовательным и параллельным соединением проводников следует учесть, что при последовательном соединении через все участки цепи проходит одинаковый заряд (одинаковый ток). Напряжения на последовательных участках будут различными, и складываясь, дадут общее напряжение в цепи. Соединение различных точек цепи проводником, сопротивлением которого можно пренебречь, выравнивает потенциалы этих точек. Поэтому у параллельно соединенных проводников общим будет напряжение, а общий ток разделится пропорционально сопротивлениям проводников.

3. При составлении уравнений по правилам Кирхгофа для расчета разветвленных цепей нужно выбрать произвольно направле-

ния токов, текущих по участкам разветвленной цепи, указав их на схеме стрелками, и выбрать произвольно направление обхода контуров. При составлении уравнений следует придерживаться следующего правила знаков: ток, входящий в узел, берется со знаком «+»; произведение  $IR$  берется со знаком «+», если предполагаемое направление тока совпадает с направлением обхода контура; ЭДС берется со знаком «+», если при обходе контура приходится идти от минуса к плюсу внутри источника (от плюса к минусу на внешнем участке контура).

## ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

### *1. Электрический ток. Законы Ома и Кирхгофа*

$$I = \frac{dq}{dt} \text{ - определение силы тока;}$$

$$\Delta q = \int_0^t I dt \text{ - заряд, прошедший через сечение проводника;}$$

$$j = \frac{dI}{dS} \text{ - определение плотности тока;}$$

$$j = q_0 n v \text{ - плотность тока при направленном движении заряженных частиц;}$$

$$j = \gamma E \text{ - закон Ома в дифференциальной форме;}$$

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \text{ - связь удельной электропроводимости и удельного сопротив-$$

ления;

$$R = \rho \frac{l}{S} \text{ - сопротивление проводника;}$$

$$R = \sum_i R_i \text{ - общее сопротивление при последовательном соединении;}$$

$\frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}$  - общее сопротивление при параллельном соединении;

$I = \frac{U}{R}$  - закон Ома для однородного участка цепи;

$\mathcal{E} = \frac{dA_{\text{стор}}}{dq}$  - определение электродвижущей силы;

$\mathcal{E} = I(R+r)$  - закон Ома для замкнутой цепи;

$\sum_i I_i = 0$  - первое правило Кирхгофа (для узла);

$\sum_i I_i R_i = \sum_k \mathcal{E}_k$  - второе правило Кирхгофа (для замкнутого контура).

## 2. Закон Джоуля-Ленца

$P = I^2 R = UI = \frac{U^2}{R}$  - полезная мощность тока;

$dQ = UI dt$ ,  $\Delta Q = \int_0^t UI dt = \int_0^t I^2 R dt$  - закон Джоуля-Ленца;

$w = \frac{dW}{dV dt}$  - определение удельной тепловой мощности тока;

$w = \rho j^2 = \gamma E^2 = jE$  - закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме.

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### Задача 1.

Потенциометр с сопротивлением  $R=100 \Omega$  подключен к источнику ЭДС  $E=150 \text{ В}$  с внутренним сопротивлением  $r=50 \Omega$  (рис1). Определить показание  $U$ , вольтметра с сопротивлением  $R=500 \Omega$ , соединенного с одной из клемм потенциометра подвижным контактом, установленным посередине потенциометра? Какова разность

потенциалов  $U_2$  между теми же точками потенциометра при отключенном вольтметре?

**Решение:**

Показание  $U_1$  вольтметра, подключенного к точкам  $A$  и  $B$ , определяется по формуле

$$U_1 = J_1 \cdot R_1 \quad (1)$$

где  $J_1$  – сила тока в неразветвленной части цепи;  $R_1$  – общее сопротивление параллельно соединенных вольтметра и половины потенциометра, которое можно найти по правилам параллельного соединения

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R/2}$$

откуда

$$R_1 = \frac{R \cdot R_v}{R + 2R_v} \quad (2)$$

Сила тока  $J_1$  в неразветвленной части цепи определяется по закону Ома для замкнутой цепи

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_3 + r} \quad (3)$$

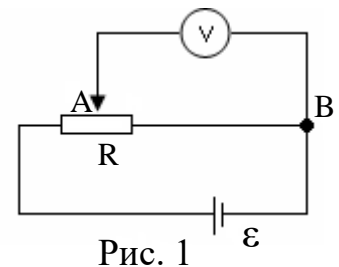
где  $R_3$  – сопротивление внешней цепи, равное

$$R_3 = \frac{R}{2} + R_1 \quad (4)$$

Используя выражения (2), (3) и (4), можно определить  $U_1$  как

$$U_1 = \left( \frac{\varepsilon}{\frac{R}{2} + \frac{R R_v}{R + 2R_v} + r} \right) \cdot \frac{R R_v}{R + 2R_v} \quad (5)$$

Подставляя числовые выражения получим:





$$U_1 = (150 / (50 + (100 \cdot 500 / (100 + 1000)) + 50)) \cdot (100 \cdot 500 / (100 + 1000)) = 46.9 \text{ В}$$

Разность потенциалов  $U_2$  между точками  $A$  и  $B$  при отключенном вольтметре равна

$$U_2 = I_2 \frac{R}{2} \quad (6)$$

Где по закону Ома для замкнутой цепи

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R+r} \quad (7)$$

$$U_2 = \frac{\varepsilon}{R+r} \cdot \frac{R}{2} \quad (8)$$

Подставляя числовые значения получим

$$U_2 = \frac{150}{100+50} \cdot 50 = 50 \text{ В.}$$

### Задача2.

Три одинаковых элемента с ЭДС, равной  $E$ , с подключенными к ним одинаковыми сопротивлениями  $R$ , составляют цепь, изображенную на рис.2. Найти суммарную мощность  $P$ , выделяющуюся

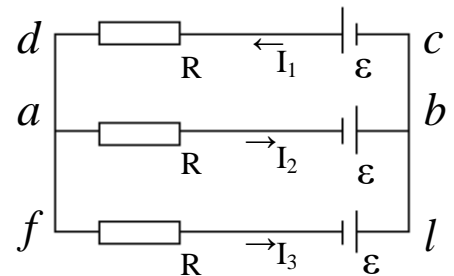


Рис. 2

на всех сопротивлениях схемы. Внутренними сопротивлениями элементов пренебречь.

### Решение:

Выделяемая на каждом участке цепи мощность определяется как

$$P_i = I_i^2 R \quad (1)$$

Где  $i$  – номер выделяемого участка,  $J_i$  – ток в нем,  $R_i$  – его сопротивление. Суммарная мощность, выделяющаяся в схеме, будет

$$P = \sum_{i=1}^3 P_i = \sum_{i=1}^3 I_i^2 R_i \quad (2)$$

Так как рассматриваемую разветвленную цепь можно разбить на 3 участка. Таким образом для решения задачи необходимо найти силы токов  $J_1, J_2, J_3$  во всех участках цепи. Для этого можно использовать правила Кирхгофа. Выберем направление токов  $J_1, J_2$  и  $J_3$ , как указано на рисунке 2, и условимся обходить контуры против часовой стрелки. Тогда для узла «в» уравнение по 1 правилу Кирхгофа будет выглядеть

$$-I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad (3)$$

Для контуров abdc и cefd составим уравнение по 2 правилу Кирхгофа

$$I_1 R + I_2 R = \mathcal{E} + \mathcal{E} = 2\mathcal{E} \quad (4)$$

$$I_1 R + I_3 R = \mathcal{E} + \mathcal{E} = 2\mathcal{E} \quad (5)$$

Совместное решение системы уравнений (3), (4) и (5) даст значение токов

$$I_1 = \frac{4\mathcal{E}}{3R}, \quad I_2 = I_3 = \frac{2\mathcal{E}}{R}. \quad (6)$$

Подставляя выражения (6) в (2), окончательно получим

$$P = I_1^2 R + I_2^2 R + I_3^2 R = \frac{16\mathcal{E}^2}{9R} + \frac{4\mathcal{E}^2}{9R} + \frac{4\mathcal{E}^2}{9R} = \frac{8\mathcal{E}^2}{3R} \quad (7)$$

**Таблица вариантов**

<b>№ Вари- анта</b>	<b>Номер задач</b>				<b>№ Вари- анта</b>	<b>Номер задач</b>			
<b>1</b>	1	36	71	106	<b>26</b>	26	61	96	131
<b>2</b>	2	37	72	107	<b>27</b>	27	62	97	132
<b>3</b>	3	38	73	108	<b>28</b>	28	63	98	133
<b>4</b>	4	39	74	109	<b>29</b>	29	64	99	134
<b>5</b>	5	40	75	110	<b>30</b>	30	65	100	135
<b>6</b>	6	41	76	111	<b>31</b>	31	66	101	136
<b>7</b>	7	42	77	112	<b>32</b>	32	67	102	137
<b>8</b>	8	43	78	113	<b>33</b>	33	68	103	138
<b>9</b>	9	44	79	114	<b>34</b>	34	69	104	139
<b>10</b>	10	45	80	115	<b>35</b>	35	70	105	140
<b>11</b>	11	46	81	116	<b>36</b>	21	67	98	129
<b>12</b>	12	47	82	117	<b>37</b>	22	68	99	130
<b>13</b>	13	48	83	118	<b>38</b>	23	69	100	131
<b>14</b>	14	49	84	119	<b>39</b>	24	66	101	132
<b>15</b>	15	50	85	120	<b>40</b>	25	65	102	133
<b>16</b>	16	51	86	121	<b>41</b>	26	64	103	134
<b>17</b>	17	52	87	122	<b>42</b>	27	63	104	135
<b>18</b>	18	53	88	123	<b>43</b>	28	62	105	136
<b>19</b>	19	54	89	124	<b>44</b>	29	61	97	137
<b>20</b>	20	55	90	125	<b>45</b>	30	70	96	138
<b>21</b>	21	56	91	126	<b>46</b>	31	60	95	139
<b>22</b>	22	57	92	127	<b>47</b>	32	59	94	140
<b>23</b>	23	58	93	128	<b>48</b>	33	58	93	128
<b>24</b>	24	59	94	129	<b>49</b>	34	57	91	126
<b>25</b>	25	60	95	130	<b>50</b>	35	56	90	127

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Какое напряжение  $U$  можно подать на катушку, имеющую 1000 витков медного провода со средним диаметром витков  $d=6$  см, если допустимая плотность тока  $j = 2$  А/мм<sup>2</sup> ?

2. Имеется моток медной проволоки площадью поперечного сечения  $S=0,1$  м. масса всей проволоки  $m=0,3$  кг. Определить сопротивление проволоки  $R$ ?

3. К зажимам источника напряжения присоединили медную проволоку длиной  $l=2$  м. Плотность тока в проволоке  $j=10^5$  А/м<sup>2</sup>. Определить напряжение  $U$  на зажимах.

4. Определить среднюю скорость направленного движения электронов в металлическом проводнике сечением  $S=0,3$  см<sup>2</sup>, по которому течет ток с силой  $I=12$  А, если в каждом кубическом сантиметре проводника  $n=5 \cdot 10^{21}$  свободных электронов.

5. Элемент с ЭДС  $E=2$  В имеет внутреннее сопротивление  $r=0,5$  Ω. Определить падение напряжения внутри элемента при силе тока  $I=0,25$  А и внешнем сопротивлении цепи  $R$ .

6. При внешнем сопротивлении  $R_1=3$  Ω ток в цепи  $I_1=0,3$  А, а при  $R_2=5$  Ω,  $I_2=0,2$  А. Определить ток короткого замыкания  $I_{кз}$ .

7. Какой величины надо взять дополнительное сопротивление, чтобы можно было включить в сеть с напряжением  $U=220$  В лампу, которая горит нормально при напряжении  $U_l=120$  В и токе  $I_l=4$  А ?

8. Две лампы и добавочное сопротивление  $R$  соединены последовательно и включены в сеть с напряжением  $U=110$  В. Найти

величину добавочного сопротивления, если падения напряжения на каждой лампе  $U_l=40\text{ В}$ , а ток в цепи  $I=12\text{ А}$ .

9. Элемент с ЭДС  $E=1,1\text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r=10\ \Omega$  замкнут на внешнее сопротивление  $R=9\ \Omega$ . Найти силу тока в цепи, падения напряжения во внешней цепи?

10. Два элемента с ЭДС  $E=2\text{ В}$  каждый соединены параллельно и замкнуты на сопротивление  $R=1,4\ \Omega$ . Внутренние сопротивления этих элементов  $r_1=1\ \Omega$  и  $r_2=1,5\ \Omega$ . Найти токи  $I_1$  и  $I_2$  в каждом из элементов и ток  $I$  во всей цепи.

11. Два элемента с ЭДС  $E=2\text{ В}$ , каждый соединены последовательно на сопротивление  $R=0,5\ \Omega$ . Внутренние сопротивления элементов  $r_1=1\ \Omega$  и  $r_2=1,5\ \Omega$ . Найти разности потенциалов  $U_1$  и  $U_2$  на зажимах каждого элемента.

12. Элемент, амперметр и некоторое сопротивление включены последовательно. Сопротивление сделано из медной проволоки длиной  $l_1=100\text{ м}$  и поперечным сечением  $S_1=2\text{ мм}^2$ . Сопротивление амперметра  $R_a=0,05\ \Omega$ , амперметр показывает ток  $I_1=1,43\text{ А}$ . Если же взять сопротивление из алюминиевой проволоки длиной  $l_2=57,3\text{ м}$  и поперечным сечением  $S_2=1\text{ мм}^2$ , то амперметр покажет ток  $I_2=1\text{ А}$ . Найти ЭДС элемента и его внутреннее сопротивление. Удельные сопротивления меди алюминия

13. Амперметр, сопротивление которого  $R_a=0,16\ \Omega$ , зашунтирован сопротивлением  $R_{ш}=0,04\ \Omega$  амперметр показывает  $I_a=8\text{ А}$  Чему равен ток  $I$  в магистрали ?

14. Имеется предназначенный для измерения напряжения токов до  $I_a=10\text{ А}$  амперметр сопротивлением  $R_a=0,18\ \Omega$  шкала которо-

го разделена на  $N=100$  делений. какое сопротивление надо взять и как его включить чтобы этим амперметром можно было измерить силу тока до  $I=100$  А? как изменится при этом цена деления амперметра .

15. Имеется предназначенный для измерения напряжений до  $U_V=30$  В вольтметр сопротивлением  $R_V=2000\Omega$  шкала которого разделена на  $N=150$  делений. Какое сопротивление  $R$  надо взять и как его включить, чтобы этим вольтметром можно было измерять разности потенциалов до  $U=75$  В? как изменится при этом цена деления вольтметра?

16. В лаборатории, удаленной от генератора на  $l=100$  м включили электрический нагревательный прибор, потребляющий ток  $I=10$  А. На сколько понизилось напряжение на зажимах электрической лампочки, горящей в лаборатории? Сечение медных проводов удельное сопротивление  $r=1,7 \cdot 10^{-5} \Omega \cdot \text{м}$ .

17. Определить плотность тока в железном проводнике длиной  $l=10$  м, если провод находится под напряжением  $U=6$  В удельное сопротивление железа  $r=9,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ .

18. К источнику ЭДС  $E=1,5$  В присоединили катушку с сопротивлением  $R=0,1$  Ом. Амперметр показал ток  $I=0,5$  А. Когда к источнику тока присоединили последовательно ещё один источник тока, такой же, как ЭДС, то ток в катушке оказался равным  $I=0,4$  А. Определить внутреннее сопротивление  $r_1$  и  $r_2$  источников ЭДС.

19. Два элемента с ЭДС  $\varepsilon_1=1,2$  В и  $\varepsilon_2=0,9$  В и внутренними сопротивлениями  $r=0,1 \Omega$ ,  $r_1=0,3\Omega$  соединены одноименными по-

люсами. Сопротивление соединительных проводов  $R=0,2 \Omega$ . Определить  $I$  ток в цепи.

20. Плотность тока в медном проводнике ( $\rho=1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ ) равна  $j=3 \text{ А/мм}$ . Найти напряженность  $E$  электрического поля в проводнике.

21. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от 0 до  $I=3 \text{ А}$  в течение  $t=10 \text{ с}$ . Определить заряд  $Q$  прошедший в проводнике.

22. Сила тока в проводнике меняется со временем по уравнению  $I=4+2t$ , где выражено в Амперах,  $t$  – в секундах. Какой заряд проходит через поперечное сечение проводника за время от  $t=2$  и  $t=6$ ? При какой силе  $J_1$  постоянного тока через поперечное сечение проводника за это же время проходит такой же заряд?

23. Напряжения на шинах электростанции  $U=6,6 \text{ кВ}$ . Потребитель находится на расстоянии  $l=10 \text{ км}$ . Определить площадь  $S$  сечения медного провода ( $\rho=1,7^8 \Omega \cdot \text{м}$ ), которые следует взять для устройства двухпроводной линии передачи, если сила тока линии  $I=20 \text{ А}$  и потери напряжения в проводах не должны превышать 3%.

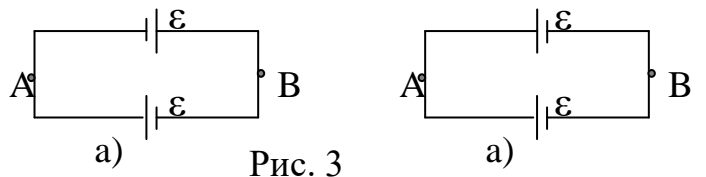
24. Катушка и вольтметр соединены последовательно и присоединены к источнику клеммами. К клеммам катушки присоединен вольтметр с сопротивлением  $R=2000 \Omega$ . Амперметр показывает  $I=0,25 \text{ А}$  вольтметр  $U=100 \text{ В}$ . Определить сопротивление катушки. Сколько процентов составит ошибка, если при определении сопротивления катушки не будет проводимость вольтметра?

25. В сеть с напряжением  $U=120 \text{ В}$ , Включили катушку с напряжением  $R=5000 \Omega$  и вольтметр, соединенные последовательно. Показание вольтметра  $U=80 \text{ В}$ . Когда взятую катушку заменили

другой, вольтметр показывал  $U=50 \text{ В}$ . определить сопротивление другой катушки.

26. Внутреннее сопротивление батареи аккумуляторов равно  $r=3 \ \Omega$ . Сколько процентов от точного сечения ЭДС составляет погрешность, если измеряя разность потенциалов на зажимах батареи вольтметром с сопротивлением  $R=200 \ \Omega$ , принять её равной ЭДС?

27. Два одинаковых источника ЭДС  $\varepsilon=1,2 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r=0,4 \ \Omega$



соединены, как показано на рис. 3а, б. Определить силу тока в цепи и разность потенциалов между точками А и В в первом и втором случаях.

28. По алюминиевому проводу проходит ток  $I=2 \text{ А}$ . Площадь поперечного сечения его  $S=2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ . Найти скорость направленного движения электронов, предполагая, что число свободных электронов равно числу атомов.

29. Допустимый ток в медных воздушных проводах сечением  $S=1 \text{ мм}^2$  не превышает  $I=11 \text{ А}$ . Определить среднюю скорость направленного движения электронов, если считать, что на каждый атом меди приходится один электрон проводимости.

30. Сравнить токи короткого замыкания для случаев, когда n одинаковых элементов соединены параллельно и последовательно.

31. При токе  $I_1=0,5 \text{ А}$  напряжение на участке некоторой цепи равно  $U_1=8 \text{ В}$ . При токе  $I_2=1,5 \text{ А}$  напряжение на этом же участке равно  $U_2=20 \text{ В}$ . Какова ЭДС  $E$ , действующая на этом участке?



32. Принимая, что на каждый атом меди, приходится один свободный электрон, определить для медного провода длиной  $l=15$  км и сечением  $S=1$  мм<sup>2</sup>, по которому идет ток под напряжением  $U=7$  В, сколько времени потребуется для перемещения свободного электрона от одного конца провода к другому.

33. Через вольтметр со шкалой на  $U_0=100$  В протекает ток  $I=0,1$  мА. Показание вольтметра при этом  $U_1=1$  В. Если к вольтметру присоединить добавочное сопротивление  $R=90$  кОм, какую наибольшую разность потенциалов  $U_2$  можно будет измерять этим прибором?

34. Батарея аккумуляторов с ЭДС  $E=6$  В замкнута на два последовательно соединенных реостата сопротивлением  $R_0=5$  кОм каждый. Что покажет вольтметр, присоединенный к клеммам одного реостата, если сопротивление вольтметра  $R=10$  кОм. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

35. Электромагнитный прибор с ценой деления ампер и внутренним сопротивлением употребляется как вольтметр с добавочным сопротивлением  $R$ . Какова будет цена деления в вольтах?

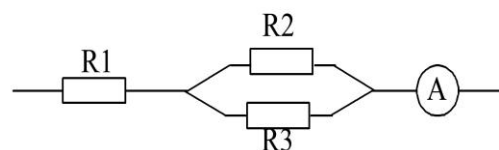


Рис. 4

36. Определить падения напряжения в сопротивлениях  $R_1=40$  Ом,  $R_2=2$  Ом и  $R_3=4$  Ом (рис.4) если амперметр показывает  $I_1=3$  А. Найти токи  $I_2$  и  $I_3$  в сопротивлениях  $R_2, R_3$ .

37. Определить силу тока, показываемую амперметром в схеме рис.5. Напряжение на зажимах элемента в замкнутой

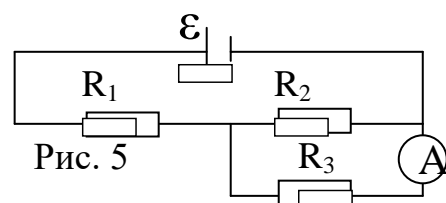


Рис. 5

цепи  $U=2,1 \text{ В}$ ,  $R_1=5\Omega$ ,  $R_2=6\Omega$ ,  $R_3=3\Omega$ . Сопротивлением амперметра пренебречь

38. В схеме на рис.6  $R_2=20 \Omega$ ,  $R_3=15 \Omega$  и сила тока, текущего через сопротивление, равна  $I=0,3 \text{ А}$ . Амперметр показывает ток  $I_{ra}=0.8 \text{ А}$ . Найти сопротивление  $R$ .

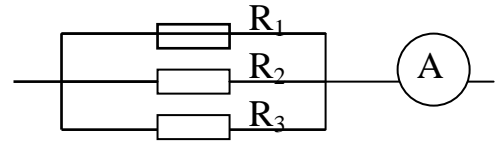


Рис. 6

39. В схеме на рис.7 ЭДС батареи  $E=100 \text{ В}$ ,  $R_1=R_3=40\Omega$ ,  $R_2=80\Omega$ ,  $R_4=34 \Omega$ . Найти силу тока  $I_2$ , текущего через сопротивление  $R_2$ . Сопротивлением батареи пренебречь.

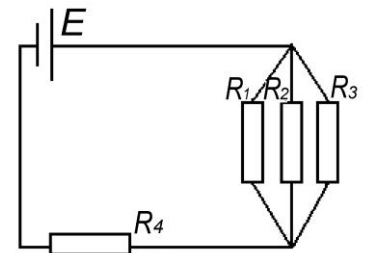


Рис. 7

40. В схеме на рис.8 ЭДС  $E=120 \text{ В}$ ,  $R_3=20\Omega$ ,  $R_4=25\Omega$ , падения напряжения на сопротивлении  $R_1$   $U_1=40\text{В}$  Амперметр показывает ток  $I=2 \text{ А}$ . Найти сопротивление  $R_2$ . Сопротивлением батареи и амперметра пренебречь.

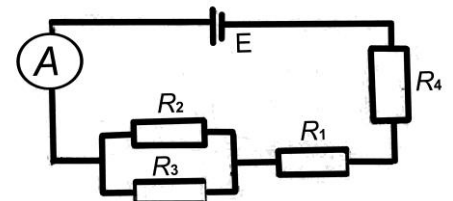


Рис. 8

41. В схеме на рис.9 ЭДС  $E=100 \text{ В}$ ,  $R_1=100 \Omega$ ,  $R_2=200 \Omega$  и  $R_3=300\Omega$ . Какое напряжение показывает вольтметр, если его сопротивление  $R_v=2000 \Omega$ ? Сопротивлением батареи пренебречь.

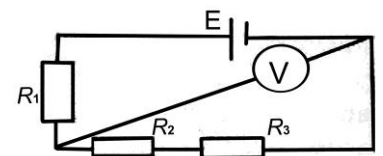


Рис. 9

42. В схеме на рис.9  $R_1=R_2=R_3=200 \Omega$ . Вольтметр показывает  $U=100\text{В}$ , сопротивление вольтметра  $R_v=1\text{к}\Omega$ . Найти ЭДС  $E$  батареи. Сопротивлением батареи пренебречь.

43. Найти показания  $I$  амперметра и  $U$  вольтметра в схеме на рис.10, если сопротивление вольтметра  $R_V=1 \text{ к}\Omega$ , ЭДС  $E=110 \text{ В}$ , сопротивление  $R_1=400 \text{ }\Omega$  и  $R_2=600 \text{ }\Omega$ . Сопротивлением батареи и амперметра пренебречь.

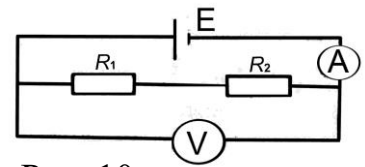


Рис. 10

44. Найти показания амперметра и вольтметра в схеме на рис.11, если сопротивлении вольтметра  $R_V=1 \text{ к}\Omega$ , ЭДС  $E=220 \text{ В}$ ,  $R_1=R_2=600 \text{ }\Omega$ . Сопротивлением батареи и амперметра пренебречь.

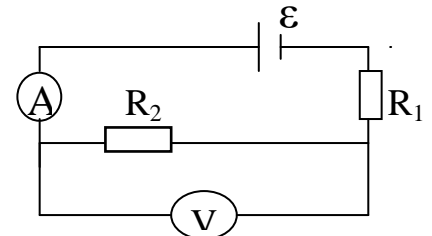


Рис. 11

45. Найти показания амперметра и вольтметра в схеме на рис. 12, если сопротивление вольтметра  $R_V=2 \text{ к}\Omega$ , ЭДС  $E=110 \text{ В}$ , сопротивления  $R_1=R_2=400 \text{ }\Omega$ .

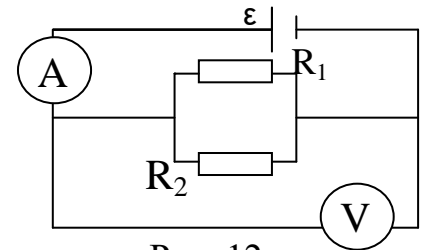


Рис. 12

46. Найти показания амперметра и вольтметра в схеме на рис. 13, если сопротивление вольтметра  $R_V=1 \text{ к}\Omega$ , ЭДС  $E=110 \text{ В}$ ,  $R_1=500 \text{ }\Omega$ ,  $R_2=300 \text{ }\Omega$ .

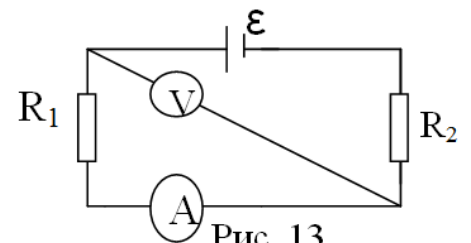


Рис. 13

47. Два параллельно соединенных сопротивления  $R_1=4 \text{ }\Omega$  и  $R_2=6 \text{ }\Omega$  подключены к источнику тока ЭДС  $E=5 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением  $r = 0,1 \text{ }\Omega$ , найти точки  $I_1$  и  $I_2$ , текущие через сопротивление.

48. Для измерения напряжения на участке электрической цепи включены последовательно 2 вольтметра (рис.14). Первый вольтметр сопротивлением  $R_1=5000 \text{ }\Omega$ , дал показание  $U_1=20 \text{ В}$ .

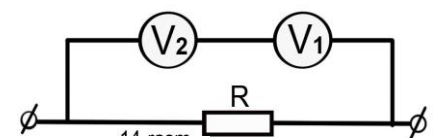


Рис. 14

А второй дал показания  $U_2=2 \text{ В}$ . Определить сопротивление  $R_2$  второго вольтметра.

49. В сети с напряжением включены две электрические лампы сопротивлением по  $U=120\Omega$  каждая. Какой ток  $I$  пойдет через каждую лампу при параллельном и последовательном их соединении?

50. На сколько равных частей нужно разрезать однородный проводник, имеющий сопротивление  $R=36 \Omega$ , что бы сопротивление его частей соединенных параллельно было  $R_1=1 \Omega$ ?

51. Вольтметр, внутреннее сопротивление которого  $R_V=50 \text{ к}\Omega$  подключенный к источнику вместе с дополнительным сопротивлением  $R_2=120 \text{ к}\Omega$ , показывает напряжения  $U_1=100 \text{ В}$ . Определить напряжение  $U_2$  на зажимах источника.

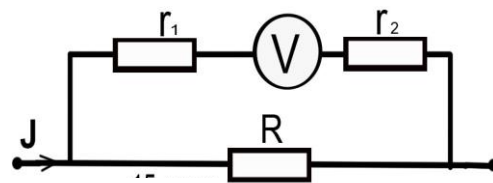


Рис. 15

52. Определить показания вольтметра (рис. 15) и меньшее внутреннее сопротивление  $r_1=5 \text{ к}\Omega$ , если ток до разветвления  $I=1 \text{ А}$ , сопротивление  $r_2=2 \text{ к}\Omega$  и  $R=500 \Omega$ .

53. В электрической цепи изображенной на рис.16, амперметр показывает ток  $I=0,04 \text{ А}$ , вольтметр напряжение  $U=20 \text{ В}$ . Определить

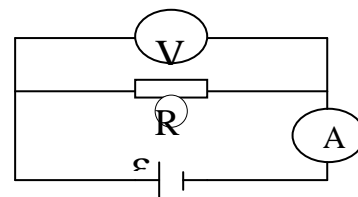


Рис. 16

сопротивление вольтметра, если  $R=1000\Omega$ .

54. Определить общее сопротивление цепи, изображенного на рис.17.

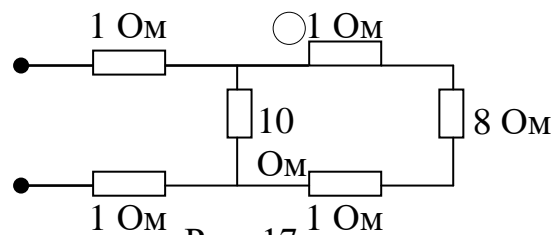


Рис. 17

55. К источнику с напряжением

$U=12\text{ В}$  присоединена линия, питающая две лампы (рис.18). Сопротивления участков линии  $r_1=r_2=r_3=r_4=1,5\Omega$ . Сопротивление каждой лампы  $R=36\ \Omega$ . Определить падение напряжения  $U_1, U_2$  на каждой лампе.

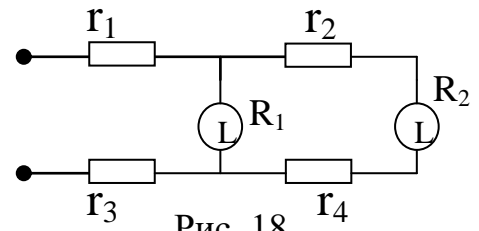


Рис. 18

56. Три реостата включены по схеме, изображенной на рис.19, если реостаты включены в цепь в точках  $AB$ , то сопротивление цепи  $R_I=20\ \Omega$ , а если в точках  $AC$ , то  $R_2=15\ \Omega$ . Определить сопротивления реостатов  $r_1, r_2$  и  $r_3$ , если известно  $r_1=2r_2$ .

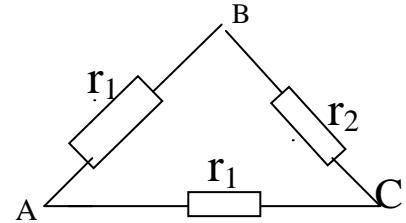


Рис. 19

57. Найти величины токов в отдельных проводниках (рис.20), если  $R_1=3\Omega, R_2=2\Omega, R_3=7,55\ \Omega, R_4=2\Omega, R_5=5\ \Omega, R_6=10\ \Omega, U_{AB}=100\text{В}$ .

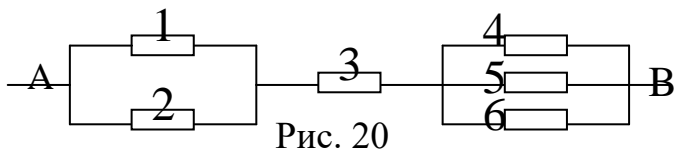


Рис. 20

58. Найти эквивалентное сопротивление цепи и показание амперметра, если  $U=110\text{В}$  (рис.21).

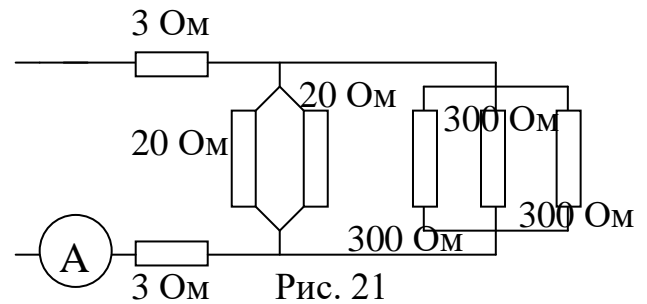


Рис. 21

59. Определить общее сопротивление цепи рис.22 и напряжение между точкой  $A$  и  $B$ , если амперметр показывает  $4\text{ А}$ .

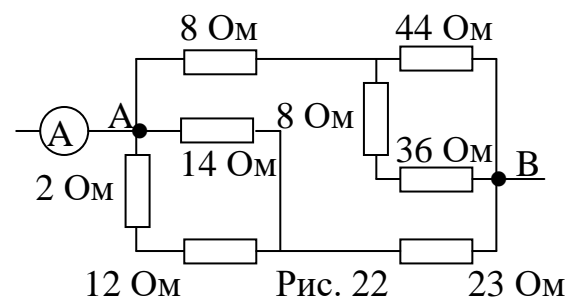
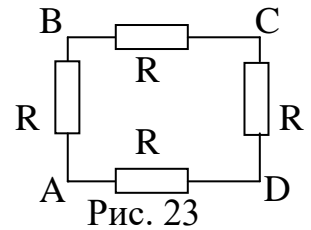
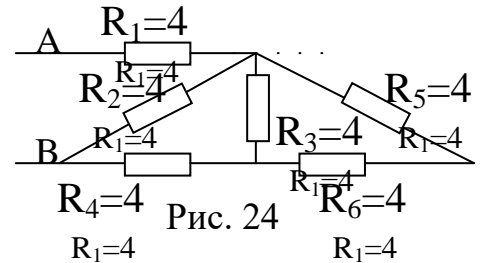


Рис. 22

60. Четыре одинаковых сопротивления по  $R=10 \Omega$ , каждое соединено, как показано на рис.23. Каким будет общее сопротивление, если ток подвести к точкам  $A$  и  $C$ ? К точкам  $A$  и  $D$ ?

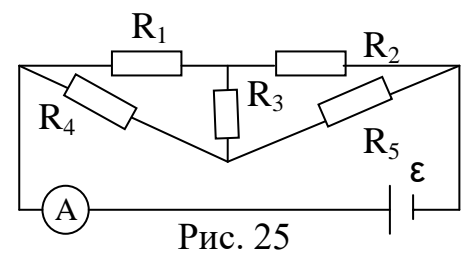


61. Найти общее сопротивление и токи в проводниках, соединенных по схеме, приведенной на рис. 24. Если, напряжения на зажимах  $AB$   $U=12$  В.

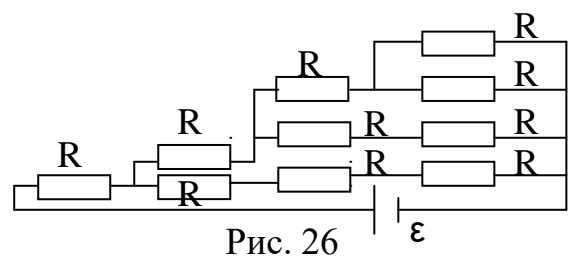


62. К источнику с ЭДС  $E=8,8$  В присоединены последовательно сопротивление  $R_1$ , величина которого неизвестно, и сопротивление  $R_2=1000 \Omega$ . К концам сопротивлений подключен вольтметр сопротивлением  $R=5000 \Omega$ , показывающий напряжение  $U=4$  В. Какое падение напряжения  $U_1$  будет на сопротивление  $R_1$ , если отключить вольтметр? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

63. Какой ток покажет амперметр, включенный в схему, изображенную на рис. 25, если  $R_1=1,25 \Omega$ ,  $R_2=3 \Omega$ ,  $R_4=7 \Omega$ , и ЭДС источника  $E=2,8$  В. Сопротивлением амперметра и источника пренебречь.



64. Найти ток, идущий через источник ЭДС схеме, изображенной на рис.26, если все сопротивления одинаковы и равны  $R=34 \Omega$ , ЭДС источника  $E=7,3$  В. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



65. Цепь составлена из девяти одинаковых сопротивлений  $r$  по схеме, изображенной на рис.27. Сопротивление всей цепи  $R=1,5 \Omega$ . Определить сопротивление  $r$ .

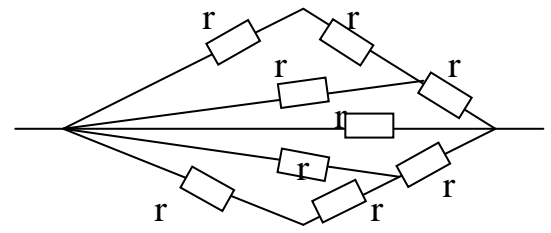


Рис. 27

66. К источнику ЭДС  $E=12V$  и внутренним сопротивлением  $r=0,6\Omega$  подключается нагрузка из трех одинаковых сопротивлений  $R$  соединенных по схеме на рис.28. Амперметр показывает ток  $I=2 A$ , определить каждое сопротивление  $R$ .

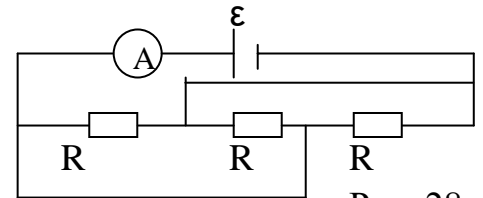


Рис. 28

67. В сети с напряжением  $U=24 V$ , подключили два последовательно соединенных резистора. При этом сила тока стала равной  $I=0,6 A$ . Когда резисторы подключили параллельно, суммарная сила тока стала равная  $I=3,2 A$ . Определить сопротивление  $R_1$  и  $R_2$  резистора.

68. Определить сопротивление цепей показанных на рис.29 а, б.

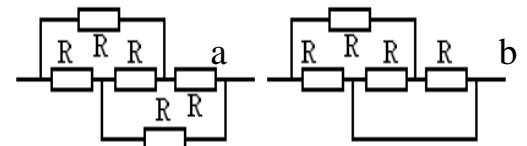


Рис. 29

69. Определить общее сопротивление цепи на рис.30, если  $R_1=0,5 \Omega$ ,  $R_2=1,5 \Omega$ ,  $R_3=R_4=R_6=1 \Omega$ ,  $R_5=2/3 \Omega$ .

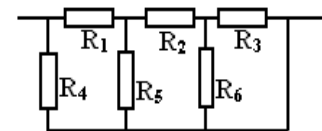


Рис. 30

70. Определить ток в цепи и в сопротивлении  $R_3$ , (рис.31), если батарея состоит из трех параллельно соединенных элементов с ЭДС по  $E=1,44 V$  и внутренним сопротивлением по  $r=0,6 \Omega$  каждый, а  $R_1=R_2=1,2 \Omega$ ,  $R_3=2 \Omega$ ,  $R_4=3 \Omega$ .

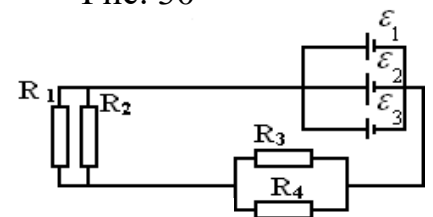


Рис. 31

71. Электрическая цепь состоит из двух гальванических элементов, трех сопротивлений и гальванометра рис.32. В этой цепи  $r_1=100\Omega$   $r_2=500\Omega$ ,  $r_3=20\Omega$ , ЭДС элемента  $E_1=2\text{ В}$ . Гальванометр регистрирует ток  $I=50\text{ мА}$ . Определить ЭДС второго элемента  $\varepsilon_2$ . Сопротивлением гальванометра и внутренним сопротивлением элементов пренебречь.

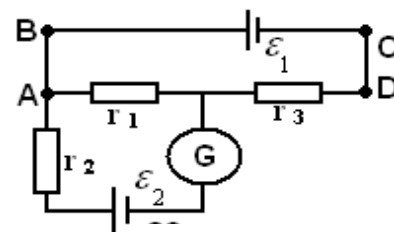


Рис. 32

72. Два источника ЭДС:  $\varepsilon_1=14\text{ В}$  с внутренним сопротивлением  $r_1=2\Omega$  и  $\varepsilon_2=6\text{ В}$  с внутренним сопротивлением  $r_2=4\Omega$ , а так же реостат  $R=10\Omega$  соединены, как показано на рис.33. Определить силы токов в реостате и в источниках ЭДС.

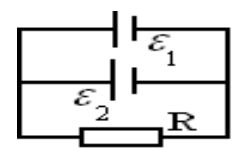


Рис. 33

73. Определить силу тока в каждом элементе и напряжение на зажимах реостата (см.рис.34), если  $\varepsilon_1=8\text{ В}$ ,  $r_1=1\Omega$ ,  $\varepsilon_2=4\text{ В}$ ,  $r_2=0,5\Omega$  и  $R=50\Omega$ .



Рис. 34

74. Определить напряжение на сопротивлениях:  $r_1=2\Omega$ ,  $r_2=r_3=r_4=4\Omega$ , включенных в цепь, как показано на рис.35, если  $\varepsilon_1=10\text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=4\text{ В}$ . Сопротивлениями источников ЭДС пренебречь.

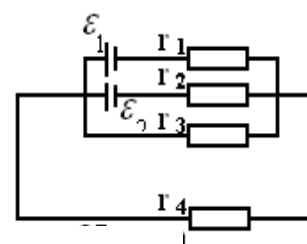


Рис. 35

75. Три сопротивления  $r_1=35\Omega$ ,  $r_2=1\Omega$  и  $r_3=3\Omega$ , а так же источник ЭДС  $\varepsilon=1,4\text{ В}$ , соединены, как показано на рис.36. Определить ЭДС источника, который надо подключить в цепь между точками A и B, чтобы в сопротивлении  $r_3$  шел ток силой  $I=1\text{ А}$ . Сопротивлением источников тока пренебречь.

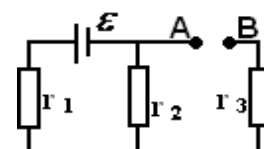


Рис. 36



76. Определить силу тока в сопротивлении  $r_3$  (рис.37) и напряжения концах этого сопротивление если  $\varepsilon_1=4\text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=3\text{ В}$ ,  $r_1=2\ \Omega$ ,  $r_2=6\ \Omega$ ,  $r_3=1\ \Omega$ . Внутренним сопротивлением источников ЭДС пренебречь.

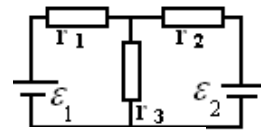


Рис. 37

77. В цепи (рис.38) внутреннее сопротивление источников ЭДС  $r_1=1,5\ \Omega$ ,  $r_2=0,5\ \Omega$ , ЭДС  $\varepsilon_1=50\text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=10\text{ В}$ . Найти сопротивление  $R_1$  при котором сила тока в этом сопротивлении равна нулю.

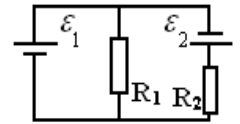


Рис. 38

78. В схеме рис.39  $\varepsilon_1=\varepsilon_2$ ;  $R_1=R_2=100\ \Omega$ . Вольтметр показывает  $U_v=200\text{ В}$ , сопротивление вольтметра равно  $R_v=100\ \Omega$ . Найти  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ . Внутренними сопротивлениями источников пренебречь.

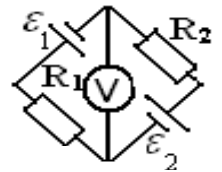


Рис. 39

79. В схеме рис. 39  $\varepsilon_1=\varepsilon_2=400\text{ В}$ ;  $R_1=R_2=400\ \Omega$ . Сопротивление вольтметра  $R_v=200\ \Omega$ . Найти показание вольтметра. Сопротивлением источников пренебречь.

80. В схеме рис.40  $\varepsilon_1=10\text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=2\text{ В}$ ,  $R_1=1\ \Omega$ ,  $R_2=4\ \Omega$ ,  $R_3=3\ \Omega$ . Найти силу тока во всех участках цепи. Внутренним сопротивлением элементов пренебречь.

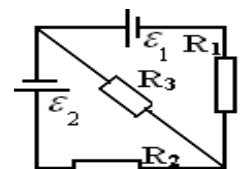


Рис. 40

81. В схеме рис. 41  $\varepsilon_1=4\text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=2\text{ В}$ ,  $R_1=5\ \Omega$ ,  $R_2=10\ \Omega$ ,  $R_3=5\ \Omega$ . Найти силу тока во всех участках цепи. Внутренним сопротивлением элементов пренебречь.

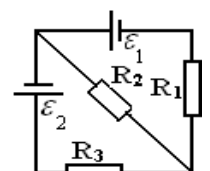


Рис. 41

82. Три источника ЭДС  $\varepsilon_1=1\text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=3\text{ В}$ ,  $\varepsilon_3=2\text{ В}$  соединены как показано на рис.42. Внутреннее сопротивление источников равны  $r_1=r_2=r_3=0,2\ \Omega$ . Определить токи в ветвях.

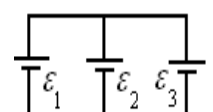


Рис. 42

83. Три источника ЭДС  $\varepsilon_1=10 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=5 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_3=1 \text{ В}$  и три сопротивления  $R_1=1 \text{ }\Omega$ ,  $R_2=2 \text{ }\Omega$ ,  $R_3=3\Omega$  соединены как показано на рис.43. Определить токи в сопротивлениях. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

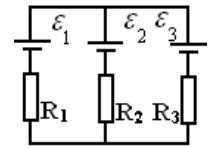


Рис. 43

84. Какую силу тока показывает гальванометр в схеме(рис.44), если  $\varepsilon_1=2 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=1,2 \text{ В}$ ,  $R_2=900 \text{ }\Omega$ ,  $R_3=300 \text{ }\Omega$  и падение напряжения на сопротивлении  $R_1$  равно  $U_1=2 \text{ В}$ . Сопротивлением источников пренебречь.

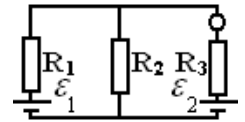


Рис. 44

85. Три источника ЭДС  $\varepsilon_1=\varepsilon_2=4 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_3=6 \text{ В}$  и реостат  $R=3 \text{ }\Omega$  соединены как показано на рис.45. Определить ток в реостате, если  $r_1=r_3=1 \text{ }\Omega$ ,  $r_2=2 \text{ }\Omega$ .

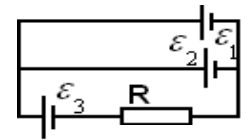


Рис. 45

86. Три гальванических элемента  $\varepsilon_1=1,3 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=1,5 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_3=2 \text{ В}$ ,  $r_1=r_2=r_3=0,2 \text{ }\Omega$  включены как показано на рис.46. Сопротивление  $R=0,55 \text{ }\Omega$ . Определить токи в элементах.

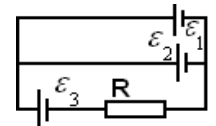


Рис. 46

87. На рис.47 изображена схема, на которой  $R_1=500 \text{ }\Omega$ ,  $R_2=200 \text{ }\Omega$ ,  $R_3=1000 \text{ }\Omega$ ,  $\varepsilon_1=1,8 \text{ В}$ . Гальванометр регистрирует ток силой  $I=0,5 \text{ мА}$ , идущий в направлении, указанном стрелкой. Определить ЭДС

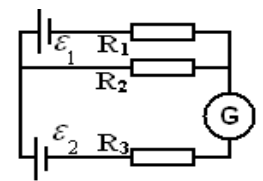


Рис. 47

второго гальванического элемента, пренебрегая внутренними сопротивлениями обоих элементов и сопротивлением гальванометра.

88. Три гальванических элемента и три вольтметра соединены по схеме, показанной на рис.48. ЭДС элементов равен  $\varepsilon_1=1 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=2 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_3=1,5 \text{ В}$ . Сопротивления вольтметров равны  $R_1=2 \cdot 10^3 \text{ }\Omega$ ,  $R_2=3 \cdot 10^3 \text{ }\Omega$ ,

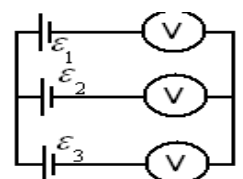


Рис. 48

$R_3=4 \cdot 10^3 \Omega$ . Сопротивления элементов ничтожно малы. Каковы показания вольтметров?

89. На схеме, показанной на рис.49, сопротивления  $R_1=R_2=R_3=R_4=10 \Omega$ ,  $\varepsilon_1=1,5 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=1,8 \text{ В}$ . Определить токи в сопротивлениях. Внутренними сопротивлениями источников пренебречь.

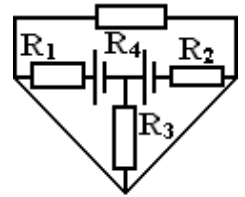


Рис. 49

90. Какими должны быть сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , и  $R_4$ , из схемы, изображенной на рис.50, чтобы в каждом из них шел ток в  $I=0,1 \text{ А}$ , если источники ЭДС имеют  $\varepsilon_1=1 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=2 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_3=3 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_4=4 \text{ В}$ .

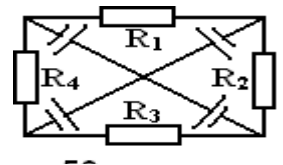


Рис. 50

Внутренними сопротивлениями источников ЭДС пренебречь.

91. Найти напряжение на сопротивлении  $R_2=10 \Omega$  (рис.51), если ЭДС источников  $\varepsilon_1=2 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=2,8 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_3=1,4 \text{ В}$ , причем их внутреннее сопротивление одинаковы и равны  $r=0,5 \Omega$  и  $R_1=5 \Omega$ .

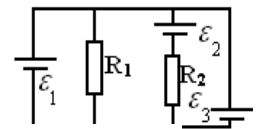


Рис. 51

92. Определить показание вольтметра, если он включен в схему, указанную на рис. 52. Сопротивление вольтметра  $R_v=300 \Omega$ . ЭДС каждого из элементов  $\varepsilon_1=\varepsilon_2=2,2 \text{ В}$ . Сопротивления  $R_1=100 \Omega$ ,  $R_2=200 \Omega$ ,

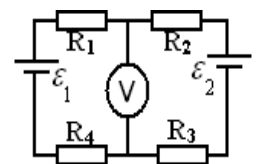


Рис. 52

$R_3=400 \Omega$ ,  $R_4=300 \Omega$ . Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

93. В цепи, показанной на рис. 53, ток через гальванометр не течет. Определить, чему равно сопротивление  $R_x$ , если все остальные сопротивления  $R=9 \Omega$ ,  $\varepsilon_1=15 \text{ В}$ ,  $r_1=2,8 \Omega$ ,  $\varepsilon_2=2,7 \text{ В}$ .

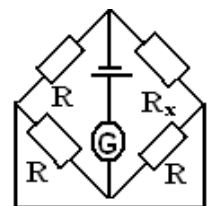


Рис. 53

94. Найти токи, протекающие в каждой ветви электрической цепи на рис.54, если  $\varepsilon_1=6,5$  В,  $\varepsilon_2=3,9$  В,  $r_1=r_2=r_3=r_4=r_5=r_6=10$   $\Omega$ . Внутреннее сопротивление источников ЭДС не учитывать.

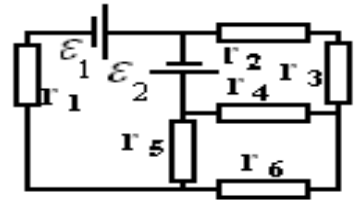


Рис. 54

95. Три гальванических элемента  $\varepsilon_1=1,3$  В,  $\varepsilon_2=1,5$  В и  $\varepsilon_3=2$  В с внутренними сопротивлениями  $R_1=R_2=R_3=0,2$   $\Omega$  включены, как показано на рис.55. Со-

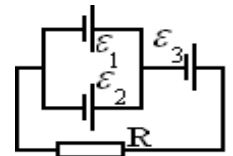


Рис. 55

противление  $R=0,55$   $\Omega$ . Определить токи  $I_1, I_2$  и  $I_3$  в элементах.

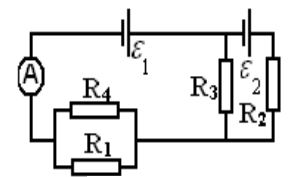


Рис. 56

96. В схеме на рис. 56  $\varepsilon_1=2\varepsilon_2$ ,  $R_1=R_3=20$   $\Omega$ ,  $R_2=15$   $\Omega$ ,  $R_4=30$   $\Omega$ . Амперметр показывает ток  $I_1=1,5$

А. Найти величины  $E_1, E_2$ , а так же силы токов  $I_2$  и  $I_3$ , идущих через сопротивление  $R_2$  и  $R_3$ . Сопротивлением батареи и амперметра пренебречь.

97. Найти показание миллиамперметра в схеме на рис.57, если  $\varepsilon_1=\varepsilon_2=1,5$  В,  $r_1=r_2=0,5$   $\Omega$ ,  $R_1=R_2=2$   $\Omega$  и  $R_3=1$   $\Omega$ . Сопротивление миллиамперметра  $R_A=3\Omega$ .

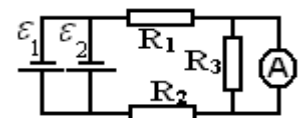


Рис. 57

98. В цепи на рис. 58  $\varepsilon_1=2$  В,  $\varepsilon_2=5$  В,  $R_3=20$   $\Omega$ . Сопротивления подобраны так, что ток через батарею  $\varepsilon_1$  не идет. Чему равно напряжение  $U_2$  на зажимах сопротивления  $R_2$  и сила тока  $I_3$  через сопротивления  $R_3$ ? Внутренними сопротивлениями батареи можно пренебречь. Чему равны сопротивления  $R_1, R_2$  и  $R_4$ ?

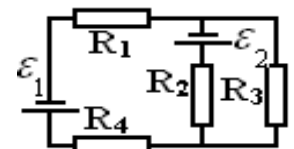


Рис. 58

99. В цепи на рис.59 известны все сопротивления и сила тока  $I_4$  через сопротивление  $R_4$ . Найти ЭДС ба-

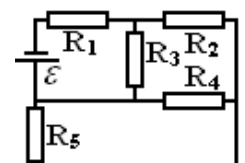


Рис. 59

тарей  $\varepsilon$ . Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

100. В цепи на рис. 60  $\varepsilon=10\text{ В}$ ,  $R_1=5\Omega$ ,  $R_2=R_3=1\Omega$ ,  $r=3\Omega$ . Внутренним сопротивлением батареи пренебречь. Найти силы токов в каждой ветки.

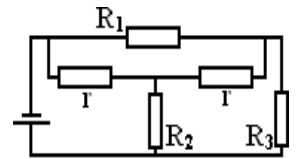


Рис. 60

101. Чему равна ЭДС  $\varepsilon$  батареи в схеме на рис. 60, если при величинах сопротивлений, указанных в предыдущей задаче, известно, что ток через батарею равен  $I=3,24\text{ А}$ .

102. В электрической цепи, на рис.61 известны сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ , сила тока  $I$  через батарею и разность потенциалов  $U_3$  между точками 2 и 1. Найти величину сопротивления  $R_4$ .

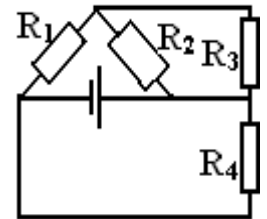


Рис. 61

103. В схеме на рис. 63 ЭДС источников  $\varepsilon_1=1,5\text{ В}$ ,  $\varepsilon_2=2\text{ В}$ ,  $\varepsilon_3=2,5\text{ В}$  и сопротивления  $R_1=10\Omega$ ,  $R_2=20\Omega$ ,  $R_3=30\Omega$ . Внутренние сопротивления источников пренебрежимо малы. Найти ток  $I_1$  через сопротивление  $R_1$  и разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B$  между точками A и B.

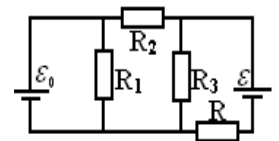


Рис. 63

104. Найти ток через сопротивление  $R$  в схеме на рис.63. Внутренние сопротивления обоих источников пренебрежимо малы.

105. ЭДС батареи  $\varepsilon=80\text{ В}$ , внутреннее сопротивление  $R=5\Omega$ . Внешняя цепь потребляет мощность  $N=100\text{ Вт}$ . Определить силу тока  $I$  в цепи, напряжение  $U$ , под которым находится внешняя цепь, и ее сопротивление.

106. От батареи, ЭДС которой  $\varepsilon=600\text{ В}$ , требуется передать энергия на расстояние  $L=1\text{ км}$ . Потребляемая мощность  $N=5\text{ кВт}$ .

Найти минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных подводящих проводов  $d=0.5$  см. Удельное сопротивление меди  $\rho=1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ .

107. Расстояние между генератором и потребителем  $l=1000$  м. Нагрузка – лампы, находящиеся под напряжением  $220$  В и потребляющие мощность  $N=100$  кВт. Линия двухпроводная, провода медные, сечением  $S=17 \text{ мм}^2$ . Определить напряжение на зажимах генератора. Удельное сопротивление меди  $\rho=1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ .

108. ЭДС батареи  $\mathcal{E}=20$  В сопротивление внешней цепи  $R=5 \Omega$ . Ток в цепи равен  $I=3$  А. С каким КПД работает батарея? При каком внешнем сопротивлении КПД будет равен 80%?

109. Определить коэффициент полезного действия аккумулятора. ЭДС которого равна  $\mathcal{E}=2,15$  В, если он дает во внешнюю цепь ток силой  $I=5$  А. Внутреннее сопротивление аккумулятора равно  $R=0,18 \Omega$ .

110. Аккумулятор с внутренним сопротивлением  $R=0,08 \Omega$  при токе  $I_1=4$  А отдает во внешнюю цепь  $N_1=8$  Вт. Какую мощность  $N_2$  отдает он во внешнюю цепь при токе  $I_2=6$  А ?

111. ЭДС батареи  $\mathcal{E}=12$  В. При силе тока  $I=4$  А КПД батареи  $\eta=0,7$ . Определить внутреннее сопротивление батареи.

112. В медном проводнике длиной  $l=2$  м и площадью поперечного сечения  $S=0,4 \text{ мм}^2$  идет ток. При этом каждую секунду выделяется  $Q=0,35$  Дж теплоты. Сколько электронов проходит за 1 с, через поперечное сечение этого проводника? Удельное сопротивление меди  $\rho=1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ .

113. Какой длины надо взять нихромовый проводник диаметром  $d=0,5$  мм, чтобы изготовить электрический камин, работающий при напряжении  $U=120$  В и дающий  $Q=10^6$  Дж теплоты в час? Удельное сопротивление нихрома  $\rho=11 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ .

114. Трамвайный вагон потребляет ток силой  $I=100$  А при напряжении  $U=600$  В и развивает силу тяги  $F=3$  кН. Определить скорость движения трамвая на горизонтальном участке пути, если КПД электродвигателя трамвая 80%.

115. Электродвигатель должен выпаривать за  $t=5$  мин  $V=1$  л. воды, взятой при  $t=20^\circ\text{C}$ . Определить длину нихромовой проволоки с площадью поперечного сечения  $S=0,5$  мм<sup>2</sup>, если печь работает под напряжением  $U=220$  В и КПД=80%. Удельное сопротивление нихрома  $\rho=11 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ . Удельная теплоемкость воды  $c=4200$  Дж/кг·К; плотность воды  $\rho'=1000$  кг/м<sup>3</sup>.

116. В медных шинах с площадью поперечного сечения  $S=25$  см<sup>2</sup>, течет ток силой  $I=250$  А. Определить количество теплоты, выделяющейся в 1 м<sup>3</sup> за 1 с. Удельное сопротивление меди  $\rho=1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ .

117. Определить плотность электрического тока в железном проводнике, если тепловая энергия, выделяемая в 1 м<sup>3</sup> за 1 с, равна  $Q=9,8 \cdot 10^4$  Дж/(м<sup>3</sup>·с). Удельное сопротивление железа  $\rho=8,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ .

118. Имеется электрическая лампочка, рассчитанная на напряжение  $U=120$  В и мощность  $N=40$  Вт. Какое добавочное сопротивление  $R$  надо включить последовательно с лампочкой, чтобы был нормальный накал при напряжении  $U=220$  В?

119. Найти количество тепла  $Q$ , выделяющегося за  $t=1\text{ с}$  в единице объема медного провода ( $\rho=1,7\cdot 10^{-8}\ \Omega\cdot\text{м}$ ) при плотности тока  $j=30\ \text{А/см}^2$ .

120. ЭДС батареи  $\varepsilon=12\ \text{В}$ . Наибольшая сила тока  $I=6\ \text{А}$ , которую может дать батарея. Определить максимальную мощность  $N_{\text{max}}$ , которая может выделяться во внешней цепи.

121. ЭДС источника равна  $\varepsilon=300\text{В}$ , ток короткого замыкания  $I_k=2\ \text{А}$ . Определить максимальное количество  $Q$  теплоты, которое может отдавать источник ЭДС в течение  $1\text{ с}$  во внешнюю цепь.

122. Определить КПД батареи, при котором мощность, выделяемая батареей во внешнюю цепь, максимальна.

123. ЭДС батареи равна  $\varepsilon=12\ \text{В}$ , внутреннее сопротивление  $R=2\ \Omega$ . Определить максимальную мощность, которую батарея может отдавать во внешнюю цепь.

124. Электрическая плитка имеет две спирали, сопротивление которых  $R_1=20\ \Omega$  и  $R_2=30\ \Omega$ . Определить мощность плитки, если в сеть с напряжением  $U=127\ \text{В}$  включить: 1) каждую обмотку отдельно. 2) обе обмотки вместе, а) параллельно и б) последовательно.

125. Обмотка электрической кастрюли, вмещающей  $V=2\ \text{л}$  воды, состоит из двух секций сопротивлением  $R=25\ \Omega$  каждая. Начальная температура воды  $t=15^\circ\ \text{С}$ , напряжение в сети  $U=120\ \text{В}$ , КПД нагревателя  $\eta=80\%$ . Определить через сколько времени закипит вода, если: 1) включена одна секция, 2) обе секции включены последовательно, 3) обе секции включены параллельно.

126. Электрический чайник имеет две обмотки. При включении одной обмотки вода в чайнике закипит через  $t_1=15\ \text{мин}$ , а при



включение другой – через  $t_2=30$  мин. Через сколько времени закипит вода в чайнике, если включить обе обмотки, 1) последовательно, 2) параллельно?

127. Ток в проводнике сопротивлением  $R=100 \Omega$  за время  $t=30$  с равномерно нарастает от  $I_1=0$  до  $I_2=2$  А. Определить теплоту  $Q$ , выделившуюся за это время в проводнике.

128. В проводнике за время  $t=10$  с при равномерном возрастании тока от  $I_1=0$  до  $I_2=2$  А выделилось  $Q=2$  кДж теплоты. Найти сопротивление проводника.

129. Элемент замыкают сначала на внешнее сопротивление  $R_1=2 \Omega$ , а затем на внешнее сопротивление  $R_2=0,5 \Omega$ . Найти ЭДС  $E$  элемента и его внутреннее сопротивление  $R$ , если известно, что в каждом из этих случаев, мощность, выделяемая во внешней цепи, одинакова и равна  $N=2,54$  Вт.

130. В медном проводнике ( $\rho=1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ ) объемом  $V=6 \text{ см}^3$  при прохождении по нему постоянного тока за время  $t=1$  мин выделилось количество теплоты  $Q=216$  Дж. Определить напряженность электрического поля  $E$  в проводнике.

131. Потребитель находится на расстоянии  $l=1000$  м от генератора. Напряжение на зажимах генератора  $U=300$  В. Какого диаметра медные провода нужно взять для устройства двухпроводной линии передачи, если ток в линии равен  $I=20$  А и чтобы в проводе потери энергии не превышали 5% от мощности источника? Удельное сопротивление меди  $\rho=1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{м}$ .

132. По проводнику сопротивлением  $R=10 \Omega$  течет медленно изменяющийся по синусоидальному закону ток. Максимальное

значение силы тока  $I_{max}=1$  А, период  $T=8$  с, начальная фаза равна нулю. Определить количество теплоты  $Q$ , выделившееся в проводнике в первые  $t=4$  с.

133. Определить ток короткого замыкания для аккумуляторной батареи, если при токе нагрузки  $I_1=5$  А она дает во внешнюю цепь мощность  $N_1=9,5$  Вт, а при токе  $I_2=8$  А нагрузке  $N_2=14,4$  Вт.

134. Два сопротивления по  $R=100$   $\Omega$  подключаются к источнику ЭДС сначала последовательно, потом параллельно. В обоих случаях тепловая мощность, выделяемая на каждом сопротивлении, оказалось одинаковой. Найти ЭДС источника  $\varepsilon$ , если ток, протекающий в цепи при последовательном включение сопротивлений  $I=1$  А.

135. Батарея состоит из  $n=5$  последовательно соединенных элементов с ЭДС  $\varepsilon =1,4$  В и внутренним сопротивлением  $R=0,3\Omega$  каждый. При какой силе тока полезная мощность равна  $N=0,8$  Вт?

136. Электромотор включен в сеть постоянного тока напряжением  $U=220$  В. Сопротивление обмотки мотора  $R=2$   $\Omega$ . Сила потребляемого тока  $I=10$  А. Найти потребляемую мощность  $N$  и КПД мотора.

137. Электромотор питается от сети с напряжением  $U=24$  В. Чему равна мощность на валу мотора при протекании тока  $I_1=8$  А, если известно, что при полном затормаживании якоря в цепи идет ток  $I_2=16$  А?

138. Какую силу тока надо пропустить через железную проволоку длиной  $l=1$  м, массой  $m=1$  г, чтобы нагреть ее за  $t=1$  с до температуры плавления  $t=1600^\circ\text{C}$ ? Передачу тепла другим телам не

учитывать. Удельное сопротивление  $\rho=1,2 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{м}$ , удельная теплоемкость  $c=500 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ , плотность  $\rho=7900 \text{ кг}/\text{м}^3$ , начальная температура  $t_0=0^\circ \text{С}$ .

139. Разветвленная цепь, состоящая из двух параллельно соединенных сопротивлений  $R_1=6 \Omega$  и  $R_2=12 \Omega$ , включена последовательно  $R_3=15 \Omega$ . Эта электрическая схема подключения к зажимам генератора, ЭДС которого  $E=200 \text{ В}$ , а внутреннее сопротивление  $R=1 \Omega$ . Вычислить мощность  $N$ , выделяющуюся на сопротивление  $R_1$ . Сопротивлением подводящих проводов пренебречь.

140. В приемнике применены три радиолампы с напряжением накала  $U=6 \text{ В}$  и токами накала  $I_2=0,2 \text{ А}$ ,  $I_1=0,1 \text{ А}$ ,  $I_3=0,3 \text{ А}$  соответственно. Нарисовать схемы без трансформаторного питания цепи накала от сети с напряжением  $U=120 \text{ В}$ , в случае последовательного и параллельного соединения ламп. Определить величину дополнительных сопротивлений, при которых лампы в обоих случаях будут работать в заданных режимах.

141. Чтобы определить место повреждения изоляции двухпроводной телефонной линии длиной  $l=4 \text{ км}$  к одному ее концу присоединили батарею с ЭДС  $E=15 \text{ В}$ . При этом оказалось, что, если провода у другого конца линии разомкнуты, ток через батарею  $I_1=1 \text{ А}$ , а если замкнуты накоротко, то ток через батарею  $I_2=1,8 \text{ А}$ . Найти место повреждения линии и сопротивление изоляции в месте повреждения. Сопротивление каждого провода линии  $R=5 \Omega$ . Сопротивлением батареи пренебречь.

142. Проволочное медное кольцо радиуса  $R=0,1 \text{ м}$  раскрутили до угловой скорости  $W=10^3 \text{ рад}/\text{с}$ . Определить какой ток пойдет че-

рез кольцо при равномерном замедлении вращения до остановки в течение  $t=10^{-3}$  с. Сечение проволоки  $S=0,5\text{ см}$ , удельная проводимость меди  $L=6\cdot 10^7$   $\Omega/\text{м}$ .

143. Шкала вольтметра (рис.64.) имеет  $N=150$  делений. Вольтметр имеет четыре клеммы, рассчитанные на измерение напряжения до  $U_1=3$  В,  $U_2=15$  В и  $U_3=150$  В. Стрелка прибора отклоняется на  $n=50$  делений при прохождении через него тока  $I=1$  мА. Какое внутреннее сопротивление прибора при включении его на разные диапазоны?

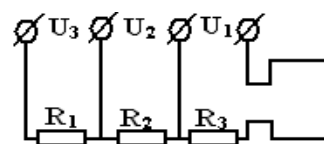


Рис. 64

145. Какой ток будет идти через амперметр в схеме, изображенной на рис.65? ЭДС источника равна  $E$ . Внутренними сопротивлениями амперметра и источника пренебречь. Рассмотреть два случая: а)  $R_1=R_4=r$ ,  $R_2=R_3=2r$ . б)  $R_1=R_2=R_3=r$ ,  $R_4=2r$ .

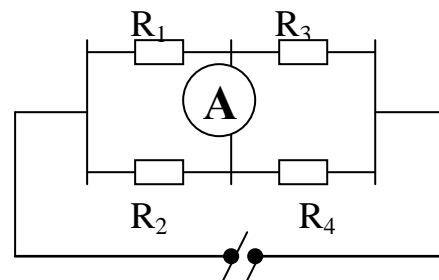


Рис. 65

## ТЕМА 3.4

### ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

#### Контрольные вопросы

1. Что является источником магнитного поля, и как его можно обнаружить? Какая величина вводится для характеристики магнитного поля? Каков физический смысл вектора магнитной индукции? В каких единицах измеряется магнитная индукция?

2. Как графически изображается магнитное поле? Что называется линиями магнитной индукции, как определяется их направление?

3. В чем состоит закон Ампера? Как он записывается в скалярной и векторной формах? Как направлена сила Ампера?

4. Как действует магнитное поле на движущийся заряд? Каковы величина и направление Лоренца?

5. Как взаимодействуют между собой параллельные проводники с током?

6. Проанализируйте, что определяет величину и направление магнитной индукции и напряженности поля, и сформулируйте закон Био–Савара–Лапласа. Примените его к полям разной конфигурации.

7. Чему равна циркуляция вектора магнитной индукции? Какие свойства магнитного поля отражены теорией о циркуляции (законом полного тока)? Запишите эту теорему для векторов  $\vec{B}$  и  $\vec{H}$ . Получите из нее магнитную индукцию поля соленоида и тороида.

8. Каковы величина и направление магнитного момента тока? Как определяется вращающий момент, действующий на контур с

током в магнитном поле? Что происходит с контуром, по которому течет ток, в магнитном поле?

9. Чему равен поток вектора магнитной индукции сквозь поверхность? Сформулируйте теорему Остроградского – Гаусса для вектора  $\mathbf{B}$  и объясните ее смысл.

10. Как определяется работа, совершаемая при перемещении проводника с током или при повороте контура в магнитном поле?

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Задачи данной темы охватывают следующие разделы:

а) нахождение поля по заданной конфигурации токов методом суперпозиции;

б) действие магнитного поля на ток или контур с током;

в) движение зарядов в магнитном поле;

г) работа сил магнитного поля.

За исходное явление следует считать взаимодействие токов и в качестве силовой характеристики: магнитного поля берется его индукция  $\mathbf{B}$ . При нахождении индукции магнитного поля следует пользоваться либо непосредственно законом Био–Савара–Лапласа, либо формула – индукции, выведенными из этого закона; можно пользоваться теоремой о циркуляции векторов  $\mathbf{B}$ .

При рассмотрении сил, действующих на проводник с током в магнитном поле, следует помнить, что переход от дифференциальной формулы Ампера к формуле для конечных проводников возможен только в случае прямолинейного проводника, находящегося в однородном поле. Направление сил ампера и Лоренца можно

определить либо по правилу «левой руки», либо непосредственно по правилу векторного произведения.

Определяя работу сил магнитного поля, каждый раз надо оговаривать медленность движения проводника, чтобы можно было пренебречь давлением электромагнитной индукции.

### ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

$$dH = \frac{I \sin \alpha dl}{4\pi r^2} \text{ - закон Био-Савара-Лапласа;}$$

$$H = \frac{I}{2R} \text{ - напряженность магнитного поля в центре кругового тока;}$$

$$H = \frac{I}{2\pi a} \text{ - напряженность магнитного поля, созданного бесконечно длинным прямолинейным проводником;}$$

$$H = \frac{R^2 I}{2(R^2 + a^2)^{3/2}} \text{ - напряженность магнитного поля на оси кругового тока;}$$

$$H = In \text{ - напряженность магнитного поля внутри тороида и бесконечно длинного соленоида;}$$

$$H = \frac{In}{2} (\cos \beta_1 - \cos \beta_2) \text{ - напряженность магнитного поля на оси соленоида конечной длины;}$$

$$B = \mu \mu_0 H \text{ - связь между векторами магнитной индукции } B \text{ и векторами напряженностью } H \text{ магнитного поля;}$$

$$W_0 = \frac{HB}{2} \text{ - объемная плотность энергии магнитного поля;}$$

$\Phi = BS \cos \varphi$  - магнитный поток (поток магнитной индукции) сквозь контура;

$\Phi = \frac{IN\mu_0\mu}{2\pi r}$  - магнитный поток сквозь тороида;

$\Phi = \frac{IN}{\frac{l_1}{S\mu_0\mu_1} + \frac{l_2}{S\mu_0\mu_2}}$  - магнитный поток сквозь тороида имеющий воздушный зазор.

$F = B I \sin \alpha$  - сила Ампера;

$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}$  - сила взаимодействия двух параллельных бесконечно длинных прямолинейных проводника;

$F = q v B \sin \alpha$  - сила Лоренца;

$P = IS$  - магнитный момент контура с током;

$M = PB \sin \alpha$  - момент силы контура с током;

$dA = I d\Phi$  - работа по перемещению проводника с током в магнитном поле.

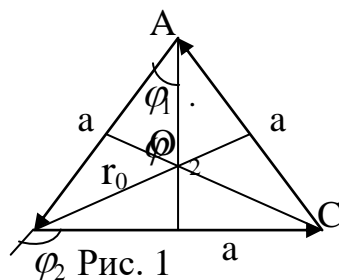
## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### Задача 1.

К контуру в виде равностороннего треугольника идет ток  $I=40$  А. Сторона треугольника  $a=30$  см. Определить магнитную индукцию  $B$  в точке пересечения высот.

### Решение:

Индукция  $B$  в точке  $O$ , согласно принципу суперпозиции, будет равна геометрической сум-





ме индукций магнитных полей, создаваемых всеми сторонами треугольника:

$$B_p = B_1 + B_2 + B_3.$$

В центре треугольника все эти векторы направлены перпендикулярно плоскости чертежа. Из соображений симметрии:

$$B_1 = B_2 = B_3 = B.$$

Следовательно,  $B_p = 3B$ .

Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком проводника, выражается формулой

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R_0} (\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2).$$

Из рисунка 1 видно, что  $\varphi_2 = \pi - \varphi$ ,  $R_0 = \frac{a}{2} \operatorname{tg}\alpha$ ,

поэтому

$$B_p = \frac{3\mu_0 I}{2\pi a} \cdot \frac{\cos\varphi_1 - \cos(\pi - \varphi_1)}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{3\mu_0 I \cos^2\varphi_1}{\pi a \sin\varphi_1},$$

так как  $\varphi_1 = \frac{\pi}{6}$ ;  $\sin\varphi_1 = \frac{1}{2}$ ;  $\cos\varphi_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}$ ;  $B_p = \frac{9\mu_0 I}{2\pi a}$ ,

Произведем вычисления в системе СИ:

$$B_p = \frac{9 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 40}{2\pi \cdot 0.3} = 24 \cdot 10^4 \text{ Тл}.$$

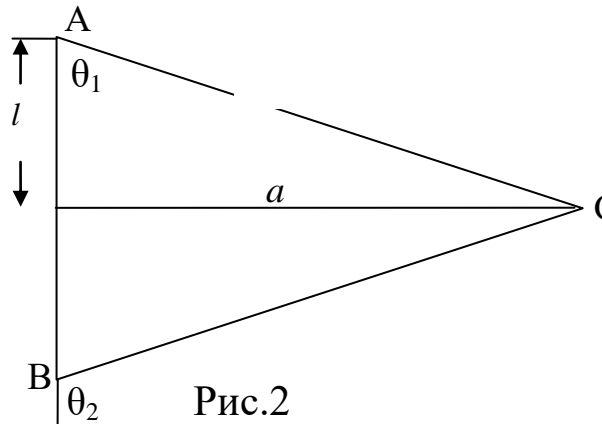
Проверим соответствие единиц

$$[B] = \frac{\text{Н} \cdot \text{А}}{\text{А}^2 \cdot \text{м}} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \text{Тл}$$

**Задача 2.** Найти напряженность  $H$  магнитного поля, создаваемого отрезком  $AB$  прямолинейного проводника с током, в точке  $C$ , расположенной на перпендикуляре к середине этого отрезка на

расстоянии  $a=5$  см от него. По проводнику течет ток  $I=20$  А. Отрезок  $AB$  проводника виден из точки  $C$  под углом  $60^\circ$ .

**Решение:**



$E_2$  Далее,

Напряженность магнитного

поля в точке  $C$  будет равна (рис.2).

$$H = \int_{\theta_2}^{\theta_1} \frac{I \sin \theta dl}{4\pi r^2}.$$

Но  $l = a \operatorname{arctg} \theta$  и  $dl = -\frac{a d\theta}{\sin^2 \theta}$ .

$$r = -\frac{a}{\sin \theta}$$

Следовательно,

$$H = -\frac{I}{4\pi a} \int_{\theta_2}^{\theta_1} \sin \theta d\theta = \frac{I}{4\pi a} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) = 318 \text{ А/м}$$

где  $\theta_2 = 180^\circ - 60^\circ = 120^\circ$ .

**Задача 3.** Длина железного сердечника тороида  $l_1=1$  м, длина воздушного зазора  $l_2=3$  мм. Число витков в обмотке тороида  $N=2000$ . Найти напряженность магнитного поля  $H_2$  в воздушном зазоре при токе  $I_1=1$  А в обмотке тороида.

**Решение:**

Имеем

$$B_2 = B_1 = \frac{\Phi}{S} = \frac{IN\mu_0}{\frac{l_1}{\mu_1} + \frac{l_2}{\mu_2}} \quad (1)$$

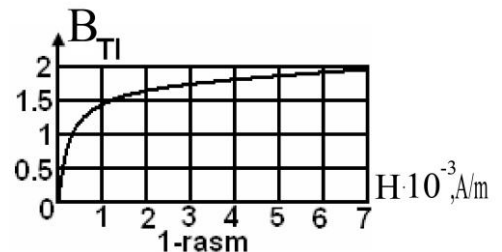
Так как

$$B_1 = \mu_0 \mu_1 H_1$$

то из (1) имеем

$$B_2 \frac{l_2}{\mu_2} + \mu_0 H_1 l_1 = IN \mu_0 \quad (2)$$

Это уравнение прямой линии в координатных осях  $H, B$ . Но величины  $H$  и  $B$  кроме уравнения (2) связаны еще графиком  $B=f(H)$ . Ордината точки пересечения прямой (2) и кривой, соответствующей зависимости  $B=f(H)$ , дает значение магнитной индукции  $B_2=B_1$ . Для построения прямой по уравнению (2) находим



при  $H=0$ ;

$$B = \frac{IN \mu_0 \mu_2}{l_2} = 0,84 Tl$$

при  $B=0$ .

$$H = \frac{IN}{l_1} = 2000 A/m$$

Искомая точка пересечения дает  $B_2=B_1=0,78 Tl$ . Тогда для воздушного зазора

$$H = \frac{B_1}{\mu_0 \mu_1} = 6,2 \cdot 10^4 A/m$$

**Задача 4.** Рамка, площадь которой  $S=16 \text{ см}^2$ , вращается в однородном магнитном поле с частотой  $n=2 \text{ с}^{-1}$ . Ось вращения находится в плоскости рамки и перпендикулярна к направлению магнитного поля. Напряженность магнитного поля  $H=79,6 \text{ кА/м}$ . Найти зависимость магнитного потока  $\Phi$ , пронизывающего рамку, от времени  $t$  и наибольшее значение  $\Phi_{max}$  магнитного потока.

**Решение:**

1) Магнитный поток, пронизывающей рамку рамку равен

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

Где угол  $\alpha$

$$\alpha = \alpha_0 + \omega t = \alpha_0 + 2\pi \nu t$$

Здесь  $\alpha_0$ - угол между направлением магнитного поля и нормалью в начальный момент времени.

Отсюда, с учетом

$$B = \mu \mu_0 H$$

Имеем

$$\Phi = \mu \mu_0 H S \cos(\alpha_0 + 2\pi \nu t)$$

2) Подставляя числовые данные, получим

$$\Phi = 1,6 \cdot 10^{-4} \cos(\alpha_0 + 2\pi \nu t)$$

Очевидно, что максимального значения магнитный поток достигает, когда  $\alpha = 0^0$ , а  $\cos \alpha = 1$ . Следовательно,

$$\Phi = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

**Задача 5.**

Сколько ампер-витков потребуется для того, чтобы внутри соленоида малого диаметра и длиной  $l = 30 \text{ см}$  объемная плотность энергии магнитного поля была равна  $W_0 = 1,75 \text{ Дж/м}^3$ ?

**Решение:**

Объемная плотность энергии

$$W_0 = \frac{HB}{2} \tag{1}$$

Напряженность магнитного поля

$$H = In = \frac{IN}{l} \quad (2)$$

$IN$  искомое число ампер-витков

Поскольку

$$B = \mu\mu_0 H$$

то уравнение (1) можно записать в виде

$$W_0 = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} \quad (3)$$

или с учетом (2)

$$W_0 = \frac{\mu\mu_0 (IN)^2}{2l^2} \quad (4)$$

откуда

$$IN = \sqrt{\frac{2W_0 l^2}{\mu\mu_0}} = 50 \text{ C} \cdot \text{A} \cdot \text{B}$$

### Задача 6.

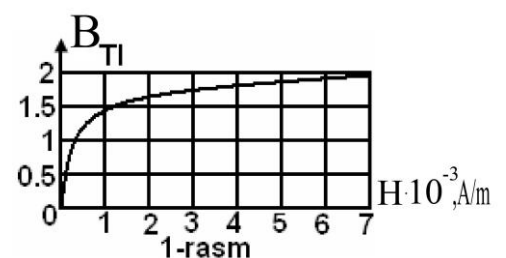
Железный сердечник длиной  $l_1 = 50,2 \text{ см}$  с воздушным зазором длиной  $l_2 = 0,1 \text{ см}$  имеет обмотку из  $N = 20$  витков. Какой ток  $I$  должен протекать по этой обмотке, чтобы в зазоре получить индукцию  $B_2 = 1,2 \text{ Тл}$ ?

### Решение:

Имеем 
$$B = \frac{IN\mu_0\mu_1\mu_2}{l_1\mu_2 + l_1\mu_1} \quad (1)$$

где  $\mu_1$  - магнитная проницаемость воздуха,  $\mu_2$  - магнитная проницаемость материала сердечника.

Зная индукцию  $B$ , по графику



найдем

$$H=400 \text{ A/m}$$

Тогда

$$\mu_2 = \frac{B}{\mu_0 H} = 2387$$

Подставляя числовые данные в (1) получим

$$I = \frac{B(l_1\mu_1 + l_2\mu_2)}{N\mu_0\mu_1\mu_2} = 58 \text{ A}$$

### Задача 7.

В одной плоскости с бесконечно длинным прямым проводом, по которому течет ток силы  $I=5 \text{ A}$ , расположена прямоугольная рамка размером  $a=0,2 \text{ м}$  и  $b=0,1 \text{ м}$ , по которой течет ток  $I_1=0,2 \text{ A}$ . Длинные стороны рамки параллельны прямому току, причем ток в ней сонаправлен току  $I$  в рамке. Определить силы взаимодействия прямого тока с каждой из сторон рамки, если ближайшая от тока сторона рамки находится на расстоянии  $x_0=0,05 \text{ м}$  от нее.

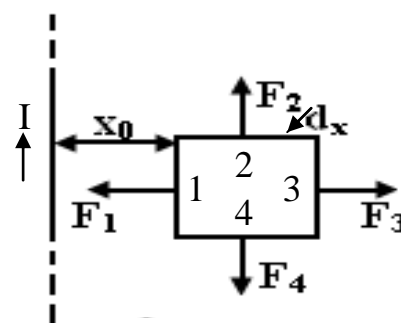


Рис. 2

### Решение:

Стороны 1 и 3 рамки (рис 2) параллельны прямому току и находятся от него на расстояниях соответственно  $R=x_0$  и  $R=x_0+B$ , где  $B$  - короткая сторона рамки.

Сила, с которой действует магнитное поле на каждую из сторон рамки

$$F = \int_l dF = \int_l IB \sin(\vec{dl}, B) = \int_l IB dl \quad (1)$$

так как  $(\vec{dl}, \vec{B})$  в пределах каждой стороны равен  $\frac{\pi}{2}$ , индукция магнитного поля бесконечно длинного тока

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}, \quad (2)$$

где  $R$  – расстояние от прямого тока до рассматриваемой точки.

Подставляя расстояния сторон 1 и 3 от прямого тока в (1) в (2) и интегрируя, получим

$$F_1 = \frac{\mu_0 I_1 I}{2\pi x_0} a, \quad F_2 = \frac{\mu_0 I_1 \cdot I \cdot a}{2\pi(x_0 + b)}.$$

Силы  $F_1$  и  $F_2$  направлены в противоположные стороны и  $F_1 > F_2$ . При интегрировании по второй (или по четвертой) стороне рамки, учитывая, что переменная  $X$  меняется в пределах от  $x_0$  до  $x_0 + b$ , получим

$$F_2 = F_4 = \int_{x_0}^{x_0+b} \frac{\mu_0 I_1 I}{2\pi X} dx = \frac{\mu_0 I_1 I}{2\pi} \ln \frac{x_0 + b}{x_0}.$$

Подставим числовые данные:

$$F_1 = \frac{4\pi \cdot 10^7 \cdot 5 \cdot 0,2}{2\pi \cdot 0,05} \cdot 0,2 = 8,0 \cdot 10^7 \text{ Н};$$

$$F_3 = \frac{4\pi \cdot 10^7 \cdot 5 \cdot 0,2}{2\pi \cdot 0,15} \cdot 0,2 = 2,7 \cdot 10^7 \text{ Н}.$$

$$F_2 = F_4 = \frac{4\pi \cdot 10^7 \cdot 5 \cdot 0,2}{2\pi} \ln \frac{0,15}{0,05} = 2,2 \cdot 10^7 \text{ Н}.$$

Проверим соответствие единиц:

$$[F] = \frac{N}{A^2} \cdot A^2 \cdot \frac{M}{M} = N.$$

### Задача 8.

Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов  $U=400$  В, попал в однородное магнитное поле напряженностью  $H=10^3$  А/м. определить радиус  $R$  кривизны траектории электрона, если вектор его скорости перпендикулярен линиям поля.

### Решение:

На электрон, движущийся в магнитном поле, действует сила Лоренца, вектор которой перпендикулярен скорости и, следовательно, сообщает электрону нормальное ускорение. По второму закону Ньютона

$$F_A = ma_n, \text{ или } |e|vB \sin \alpha = \frac{mv^2}{R}; \quad (1)$$

где  $e$  – заряд электрона,  $m$  – его масса.

По условию  $\mathcal{U} \perp B$  и  $\alpha=90^\circ$ ,  $\sin \alpha=1$ .

Из формулы (1) найдем

$$R = \frac{mv}{eB}, \quad (2)$$

Входящий в равенство (2) импульс может быть выражен через кинетическую энергию  $W_k$  электрона

$$mv = \sqrt{2mW_k}, \quad (3)$$

где

$$W_k = |e|U$$

Подставив это выражение в формулу (3), получим

$$mv = \sqrt{2me|U|}$$

Магнитная индукция  $B$  и напряженность  $H$  связаны соотношением  $B=\mu_0 H$ , где  $\mu_0$  – магнитная постоянная.



Подставим  $B$  и  $mV$  в формулу (2) и получим:

$$R = \sqrt{\frac{2m|e|U}{\mu_0|e|H}} = \sqrt{\frac{2mU}{\mu_0 H}}. \quad (4)$$

Произведем вычисления в системе СИ:

$$R = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{31} \cdot 400}{4,314 \cdot 10^7 \cdot 10}} = 6,37 \cdot 10^2 \text{ м}$$

Проверим соответствие единиц:

$$R = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{Кл} \cdot \text{В}}{(\text{Н}/\text{А}^2) \cdot \frac{\text{А}}{\text{м}} \cdot \text{Кл}}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{Дж} \cdot \text{м} \cdot \text{А}}{\text{Н} \cdot \text{Кл}}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{А} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}} = \text{м}$$

### Задача 9.

Плоский квадратный контур со стороной  $a=10$  см, по которому течет ток  $I=100$  А, установился свободно в однородном магнитном поле с  $B=1$  Тл. Определить работу, совершаемую внешними силами при повороте контура относительно оси, проходящей через середины его противоположных сторон, на угол  $\varphi=90^\circ$ .

### Решение:

На контур с током в магнитном поле действует вращающий момент

$$M = P_m B \sin \varphi.$$

где  $P_m$  – магнитный момент контура,  $B$  – индукция магнитного поля,  $\varphi$  – угол между  $P_m$ , направленным по нормали к контуру и  $B$ .

В начальном положении контур свободно установился в магнитном поле. При этом момент сил равен 0,  $\varphi = 0$ , т.е.  $P_m$  и  $B$  совпадают по направлению. Когда внешние силы выведут контур из положения равновесия, то возникший момент сил будет стремиться вернуть контур в исходное положение. Против этого момента и бу-

дет совершаться работы внешними силами. Так как момент меняется в зависимости от ориентации контура, то для подсчета работы применим формулу

$$A = \int_0^{\varphi} dA, dA = M d\varphi = P_m B \sin\varphi \cdot d\varphi$$

где  $P_m = IS = I a^2$ ,  $S$  – площадь контура  $= a^2$ ,  $I$  – сила тока в контуре.

$$dA = IB a^2 \sin\varphi d\varphi.$$

Тогда  $A = IB \cdot a^2 \int_0^{\varphi} \sin\varphi d\varphi$ ,  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ .

Следовательно,

$$A = IB \cdot a^2 \int_0^{\pi/2} \sin\varphi d\varphi = I \cdot B a^2 \cdot \cos\varphi \Big|_0^{\pi/2} = I \cdot B a^2$$

Подставим численные значения  $A = 100 \cdot 1 \cdot 0.01 \text{ Дж} = 1 \text{ Дж}$

Проверим соответствие единиц:

$$[A] = A \cdot T \cdot m^2 = \frac{A \cdot H \cdot m^2}{m \cdot A} = H m = Дж$$

Задача может быть решена и другим способом.

Работа  $A$ , совершаемая силами Ампера при повороте рамки с током в магнитном поле, равна

$$A = I(\Phi_2 - \Phi_1)$$

где  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  – магнитные потоки сквозь поверхность, ограниченную контуром, в его начальном и конечном положениях. Так как начальное положение рамки, когда она установилась свободно, соответствует положению устойчивого равновесия, то

$$\Phi_1 = B S \cos(Bn) = B S \cos 0 = B a^2; \quad B \uparrow \uparrow n,$$

При повороте рамки

$$\Phi_2 = BS \cos(BN) = BS \cos 90^\circ = 0$$

Работа внешних сил

$$A' = -A = -I(\Phi_2 - \Phi_1) = IB\dot{a}.$$

Данное выражение совпадает с полученным первым способом выражением для искомой работы.

### Задача 10.

Два прямолинейных длинный параллельных проводника находятся на некотором расстоянии друг от друга. По проводникам текут одинаковые токи в одном направлении. Найти токи  $I_1$  и  $I_2$ , текущие по каждому из проводников, если известно, что для того, чтобы раздвинуть эти проводники на вдвое большее расстояние, пришлось совершить работу (на единицу длины проводников)  $A=55$  мкДж/м.

### Решение:

Имеем

$$A = \int_{r_1}^{r_2} F dr = \int_{d_1}^{d_2} \frac{\mu \mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} dr = \frac{\mu \mu_0 I_1 I_2}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

по условию

$$I_1 = I_2 = I \text{ и } r_2 = 2 r_1$$

Тогда

$$A = \frac{\mu \mu_0 I^2}{2\pi} \ln 2$$

Отсюда

$$I = \sqrt{\frac{2\pi A}{\mu \mu_0 \ln 2}} = 20 \text{ А}$$

$$I_1 = I_2 = 20 \text{ А}$$

### Задача 11.

Из проволоки длиной  $l=20$  см сделаны квадратный и круговой контуры. Найти вращающие моменты сил  $M_1$  и  $M_2$ , действующие на каждый контур, помещенный в однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,1$  Тл. По контурам течет ток  $I=2$  А. Плоскость каждого контура составляет угол  $\alpha=45^\circ$  с направлением поля.

#### Решение:

На замкнутый контур с током в магнитном поле действует вращательный момент

$$M = B I S \sin \alpha \quad (1)$$

Площадь квадратного контура

$$S_1 = \left(\frac{l}{4}\right)^2 \quad (2)$$

Площадь кругового контура

$$S_2 = \pi R^2$$

где

$$R = l/2\pi$$

Следовательно

$$S_2 = \frac{l^2}{4\pi} \quad (3)$$

Тогда на (2) действует вращательный момент

$$M_1 = \frac{B I l^2}{16} \sin \alpha = 3,5 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

На (3) действует вращательный момент

$$M_2 = \frac{B I l^2}{4\pi} \sin \alpha = 4,5 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

**Таблица вариантов**

<b>№ Вари- анта</b>	<b>Номер задач</b>				<b>№ Вари- анта</b>	<b>Номер задач</b>			
<b>1</b>	1	51	101	151	<b>26</b>	26	76	126	176
<b>2</b>	2	52	102	152	<b>27</b>	27	77	127	177
<b>3</b>	3	53	103	153	<b>28</b>	28	78	128	178
<b>4</b>	4	54	104	154	<b>29</b>	29	79	129	179
<b>5</b>	5	55	105	155	<b>30</b>	30	80	130	180
<b>6</b>	6	56	106	156	<b>31</b>	31	81	131	181
<b>7</b>	7	57	107	157	<b>32</b>	32	82	132	182
<b>8</b>	8	58	108	158	<b>33</b>	33	83	133	183
<b>9</b>	9	59	109	159	<b>34</b>	34	84	134	184
<b>10</b>	10	60	110	160	<b>35</b>	35	85	135	185
<b>11</b>	11	61	111	161	<b>36</b>	36	86	136	186
<b>12</b>	12	62	112	162	<b>37</b>	37	87	137	187
<b>13</b>	13	63	113	163	<b>38</b>	38	88	138	188
<b>14</b>	14	64	114	164	<b>39</b>	39	89	139	189
<b>15</b>	15	65	115	165	<b>40</b>	40	90	140	190
<b>16</b>	16	66	116	166	<b>41</b>	41	91	141	191
<b>17</b>	17	67	117	167	<b>42</b>	42	92	142	192
<b>18</b>	18	68	118	168	<b>43</b>	43	93	143	194
<b>19</b>	19	69	119	169	<b>44</b>	44	94	144	193
<b>20</b>	20	70	120	170	<b>45</b>	45	95	145	195
<b>21</b>	21	71	121	171	<b>46</b>	46	96	146	175
<b>22</b>	22	72	122	172	<b>47</b>	47	97	147	185
<b>23</b>	23	73	123	173	<b>48</b>	48	98	148	181
<b>24</b>	24	74	124	174	<b>49</b>	49	99	149	189
<b>25</b>	25	75	125	175	<b>50</b>	50	100	150	160

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. По двум параллельным бесконечно  $d=0,1$  м друг от друга, текут токи противоположного направления силой  $I=30$  А. Найти напряженность магнитного поля в точке, расположенной посередине между проводниками.

2. По двум бесконечно длинным параллельным проводникам текут токи одного направления величиной  $I_1=I_2=15$  А. Найти напряженность поля в точке, расположенной на расстоянии  $r_1=0,4$  м от одного проводника и на  $r_2=0,3$  м от другого, если расстояние между ними  $d=0,5$  м. найти также индукцию  $B$  поля в этой точке.

3. Чему равна напряженность и индукция магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии  $r_1=0,15$  м от одного и  $r_2=0,05$  м от другого проводника бесконечной длины, находящейся на расстоянии  $d=0,01$  м друг от друга, если по проводам текут токи противоположного направления  $I=30$  А?

4. По длинному тонкому проводу течет ток силой  $I=20$  А. Определить магнитную индукцию  $B$  поля, создаваемого проводником в точке, удаленной от него на расстоянии  $r=4$  см.

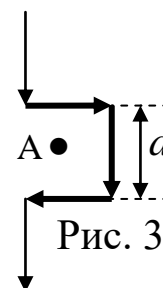
5. Бесконечно длинный прямой проводник согнут под прямым углом. По проводнику течет ток  $I=5$  А. Найти индукцию магнитного поля на биссектрисе угла, если расстояние от вершины угла до исследуемой точки  $r=10$  см.

6. По двум длинным параллельным проводам текут в одинаковом направлении тока силой  $I_1=10$  А и  $I_2=15$  А. Расстояние между проводами  $d=0,1$  м. Определить напряженность  $H$  магнитного

поля в точке, удаленной от первого провода на  $r_1=0,08$  м и от второго на  $r_2=0,06$  м.

7. Найти индукцию магнитного поля в точке, лежащей на прямой, соединяющей центры двух параллельных витков радиусом  $r_0=0,1$  м каждый, расположенных на расстоянии  $a=0,2$  м друг от друга, а также в центре каждого витка. Если по виткам текут токи  $I_1=I_2=3$  А в противоположных направлениях.

8. Найти величину тока  $I$  в бесконечно длинном проводнике, который имеет квадратный изгиб со стороной квадрата  $a=0,4$  м, если напряженность магнитного поля в т. А (рис 3), расположенной в центре квадрата, равна  $H=50$  А/м.



9. По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной  $a=0,1$  м, течет ток силой  $I=100$  А. Найти магнитную индукцию  $B$  в точке пересечения диагоналей квадрата.

10. По тонкому кольцу из проволоки течет ток. Не изменяя силы тока, ему придали форму квадрата. Во сколько раз изменилась индукция в центре контура?

11. По прямому бесконечно длинному проводнику течет ток  $I_1=3,14$  А. Круговой виток расположен так, что плоскость витка параллельна прямому проводнику, а перпендикуляр, опущенный на него из центра витка, является нормально к току. По витку течет ток  $I_2=3$  А, радиус витка  $r=0,3$  м, расстояние до проводника от  $r=0,2$  м. Найти индукцию  $B$  магнитного поля в центре витка.

12. По тонкому проводу, изогнутому в виде прямоугольника со сторонами  $a=30\text{ см}$  и  $b=40\text{ см}$ , течет ток силой  $I=6\text{ А}$ . Найти магнитную индукцию в центре прямоугольника.

13. По обмотке очень тонкой катушки радиусом  $r=0,16\text{ м}$  течет ток силой  $I=5\text{ А}$ . Сколько витков  $N$  проволоки намотано на катушку, если напряженность магнитного поля в ее центре  $H=800\text{ А/м}$ ?

14. Бесконечно длинный проводник согнут под прямым углом. По проводнику течет ток  $I=20\text{ А}$ . Какова магнитная индукция в т.А (рис 4), если  $r=0,05\text{ м}$ .

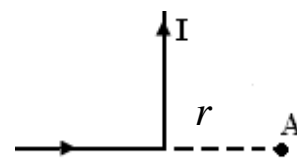


Рис. 4

15. По длинному вертикальному проводу сверху вниз течет ток силой  $I=4\text{ А}$ . Найти точку вблизи середину провода, в которой поле, получающееся от сложения земного поля и поля тока, имеет вертикальное направление. Горизонтальная составляющая земного магнитного поля  $H_0 = 20 \frac{\text{А}}{\text{М}}$ .

16. Бесконечно длинный провод образует круговую петлю радиусом  $R=0,08\text{ м}$ , касательную к проводу (рис 5). Ток в проводе  $I=5\text{ А}$ . Определить индукцию магнитного поля в центре петли, если плоскость петли перпендикулярна проводу.



Рис. 5

17. Из куска изолированной проволоки сделан круглый виток радиуса  $R$  и подключен к источнику тока с постоянной ЭДС. Как изменится напряженность поля в центре круга, если из того же куска проволоки сделать два прилегающих друг к другу витка радиуса  $R/2$ ?



18. Центр кругового витка расположен на расстоянии  $r=20$  см от прямого бесконечного провода, по которому течет ток  $I_1=6$  А. Нормаль плоскости витка лежит в плоскости, проходящей через бесконечный провод, и перпендикулярна ему. Ток в витке равен  $I_2=3$  А, радиус витка  $R=10$  см. Определить индукцию магнитного поля в центре витка.

19. Два витка радиусом  $R=4$  см каждый расположены в параллельных плоскостях на расстоянии  $r = 5$  см друг от друга. Токи в витках одинаковы и равны  $I_1=I_2=1$  А. Определить индукцию магнитного поля в центре одного из витков в случаях:

а) токи в витках текут в одном направлении,

б) токи в витках – противоположны.

20. Сила тока, текущего по проводнику,  $I=30$  А, длина отрезка проводника  $l=60$  см. определить индукцию магнитного поля, создаваемого отрезком бесконечно длинного проводника в точке, равноудаленной от концов отрезка и находящейся на расстоянии  $d=20$  см от его середины.

21. Ток силой  $I=20$  А идет по проводнику, согнутому под углом  $\varphi = 90^\circ$ . Найти индукцию магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла, и отстоящей от вершины угла на расстоянии  $r=0,1$  м. Считать, что оба конца проводника находятся далеко от вершины.

22. Два круговых проводника одинакового радиуса с общим центром расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях. Магнитная индукция результирующего поля  $B=2 \cdot 10^{-4}$  Тл. Магнитная индукция первого проводника с током в этой же точке

$B_1=1.6 \cdot 10^{-4}$  Тл. Определить магнитную индукцию  $B_2$  поля второго проводника в этой точке и силу тока  $I_2$  в нем, если  $I_1=8$  А.

23. Круговой проводник радиусом  $R=0,052$  м и с током  $I_1=13,4$  А находится в одной плоскости с прямолинейным проводником с  $I_2=22$  А на расстоянии от прямолинейного проводника до центра кругового тока  $d=9,3$  см. Найти индукцию магнитного поля в центре кругового тока (рис 6).

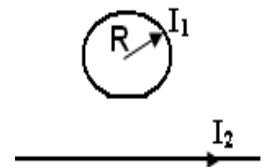


Рис. 6

24. Два параллельных бесконечно длинных провода, по которым текут в одном направлении токи с силой по  $I_1=I_2=60$  А, расположены на расстоянии  $r=10$  см друг от друга. Определить индукцию магнитного поля в точке, отстоящей от одного проводника на расстоянии  $r_1=6$  см и от другого – на расстоянии  $r_2=12$  см.

25. По тонкому проводнику, изогнутому в форме шестиугольника, со стороной  $a=10$  см идет ток  $I=20$  А. найти магнитную индукцию поля в центре шестиугольника.

26. Два прямолинейных бесконечно длинных проводника расположены перпендикулярно друг другу и находятся в одной плоскости (рис.7). Найти напряженность магнитного поля в точках  $M_1$  и  $M_2$ , если  $I_1=2$  А,  $I_2=3$  А,  $M_1A=M_2A=1$  см,  $BM_1=CM_2=2$  см.

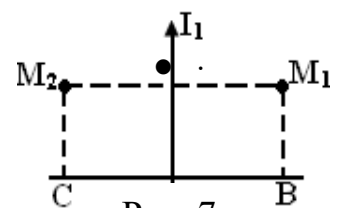


Рис. 7

27. Индукция магнитного поля в центре кругового тока радиусом  $r=8$  см равна  $B=12\pi \cdot 10^6$  Тл. найти индукцию на оси витка в точке, отстоящей на расстоянии  $d=0,06$  м и от центра витка.

28. Два круговых витка расположены в двух взаимно перпендикулярных плоскостях так, что центры этих витков совпадают. Радиус каждого витка  $R=2$  см, токи  $I_1=I_2=5$  А. Найти индукцию магнитного поля в центре этих витков.

29. Прямой бесконечно длинный проводник имеет круговую петлю радиусом  $R=8$  см. (рис.8). Определить величину тока в проводнике, если известно, что индукция магнитного поля в точке  $A$  равна  $B=40 \cdot 10^{-7}$  Тл.



Рис. 8

30. Провод и петля лежат в одной плоскости. Найти индукцию магнитного поля в центре петли радиусом  $R=6$  см, образованной длинным проводником с током  $I=12$  А.

31. Два прямолинейных провода расположены параллельно друг другу на расстоянии  $d=0,1$  м. По проводам текут токи  $I_1=I_2=5$  А в противоположных направлениях. Найти величину и направление индукции магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии  $r_1=r_2=0,1$  м от каждого провода.

32. Напряженность магнитного поля в центре кругового тока силой  $I=11$  А оказалась  $H=120$  А/м. Определить диаметр окружности, по которой течет ток, и индукцию магнитного поля в центре этого тока.

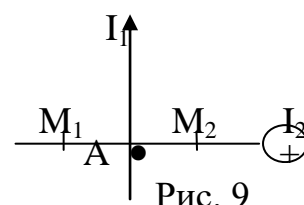
33. Найти напряженность магнитного поля, создаваемого отрезком  $AB$ , если ток в проводнике  $I=30$  А, а отрезок проводника виден на точке  $C$  под углом  $\alpha=90^\circ$ . Точка  $C$  расположена на расстоянии от проводника с током на перпендикуляре, опущенном в его середину.

34. Два круговых витка радиусом  $r=0,04$  м каждый расположен в параллельных плоскостях на расстоянии  $d=0,05$  м друг от друга. По виткам текут токи  $I_1=I_2=4$  А. Найти напряженность магнитного поля в центре одного из витков в двух случаях: а) токи текут в одном направлении; б) токи текут в противоположных направлениях.

35. Два круговых витка радиусом  $r=0,04$  м каждый, расположены в параллельных плоскостях на расстоянии  $d=0,1$  м друг от друга. По виткам текут токи  $I_1=I_2=2$  А. Найти индукцию магнитного поля на оси витков в точке, находящейся на равном расстоянии от них в двух случаях: а) токи текут в одном направлении; б) токи текут в противоположных направлениях.

36. По тонкому проводнику, изогнутому в виде правильного шестиугольника со стороной  $d=0,1$  м, идет ток с силой  $I=20$  А. Определить магнитную индукцию в центре шестиугольника.

37. Два прямолинейных бесконечно длинных проводника расположенных перпендикулярно друг другу и находятся во взаимно перпендикулярных плоскостях (рис 9). Найти индукцию



магнитного поля в точках  $M_1$  и  $M_2$ , если  $M_1A=M_2A=0,01$  м,  $AB=0,02$  м. Токи  $I_1=2$  А,  $I_2=3$  А.

38. По тонкому проволочному кольцу течет ток. Не изменяя силы тока, проводнику придали форму шестиугольника. Как изменилась индукция магнитного поля в центре контура?

39. Ток силой  $I=50$  А течет по проводнику, согнутому под прямым углом. Найти индукцию магнитного поля в точке, лежа-

щей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии  $b=0,2$  м. Считать оба конца проводника находящимися очень далеко от вершины угла.

40. По проводнику, изогнутому в виде окружности, течет ток. Напряженность магнитного поля в центре окружности  $H_1=50$  А/М. Не изменяя силы тока в проводнике, ему придали форму квадрата. Определить напряженность  $H_2$  магнитного поля в точке пересечения диагоналей этого квадрата.

41. Определить ток в тангенс – гальванометре, содержащем  $n=8$  витков проволоки радиусом  $R=0,2$  м, если помещенная в центре магнитная стрелка отклонилась на угол  $\alpha=45^0$ . Плоскость витков тангенс – гальванометра совпадает с плоскостью магнитного меридиана. Горизонтальная составляющая напряженности магнитного поля Земли  $H_0=16$  А/М.

42. Найти индукцию магнитного поля в центре двух концентрических круговых токов силой  $I$  радиусами  $R$  и  $2R$ . Рассмотреть случаи: а) токи расположены в одной плоскости и текут в одном направлении; б) токи лежат в одной плоскости, но текут в противоположных направлениях; в) токи расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях.

43. По проводнику, согнутому в виде квадратной рамки со стороной  $a=0,1$  м, течет ток силой  $I=5$  А. Найти напряженность  $H$  магнитного поля в точке, равноудаленной от вершин квадрата на расстояние, равное его стороне.

44. По трем сторонам квадрата длиной  $a=0,1$  м каждая, течет ток  $I=5$  А. Каковы напряженность и индукция магнитного поля в точке, расположенной на середине четвертой стороны квадрата?

45. Определить индукцию магнитного поля в центре проводочной квадратной рамки со стороной  $a=0,1$  м, если по ней проходит ток  $I=2$  А.

46. Два круговых витка, первый – радиусом  $R_1=2$  м, а второй  $R_2=3$  м, расположены в параллельных плоскостях так, что прямая соединяющая их центры, перпендикулярна этим плоскостям. Расстояние между их центрами  $d=0,08$  м. По второму витку течет ток  $I_2=1$  А. Какой ток должен течь по второму витку?

47. По прямому бесконечно длинному проводнику течет ток  $I=3,14$  А. Круговой ток расположен так, что плоскость витков параллельна прямому проводнику, а перпендикуляр, опущенный на него из центра витка, является нормалью и к плоскости витка. По витку проходит ток  $I=3$  А. Расстояние от центра витка до прямого проводника  $d=0,2$  м, радиус витка  $r=0,3$  м. Найти магнитную индукцию в центре витка.

48. По прямому бесконечно длинному проводу, согнутому под углом  $\alpha=120^\circ$ , течет ток силой  $I=50$  А. Найти магнитную индукцию в точках, лежащих на биссектрисе угла и удаленных от вершины на расстоянии  $d=0,05$  м.

49. По проводнику в виде тонкого кольца радиусом  $R=0,1$  м, течет ток. Чему равна сила этого тока, если магнитная индукция поля в точке А (рис 10)  $B=1$  мкТл? Угол  $\beta = 10^\circ$ .

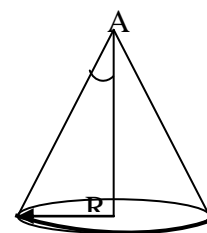
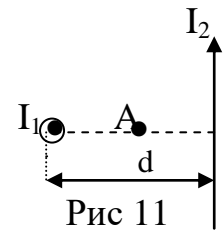


Рис.10

50. Два бесконечно длинных прямых провода скрещены под прямым углом. (рис 11). По проводам текут токи  $I_1=80$  А и  $I_2=60$  А. Расстояние между проводами  $r=0,1$  м. Определить магнитную индукцию в т.А, одинаково удаленной от обоих проводников.



51. Напряженность магнитного поля в центре кругового витка  $H=500$  А/м. Магнитный момент витка  $P_m=6$  А·м<sup>2</sup>. Найти силу тока в витке и радиус витка?

52. Проволочный виток с радиусом  $R=0,05$  м находится в однородном магнитном поле напряженностью  $H=2$  кА/м. Плоскость витка образует угол  $\alpha = 60^\circ$  с направлением поля. По витку течет ток силой  $I=4$  А. Найти вращающий момент соленоида, если его витки плотно прилегают друг к другу.

53. Магнитный поток через сечение соленоида  $\Phi=50$  мкВб. Длина соленоида  $l=0,5$  м. Найти магнитный момент соленоида, если его витки плотно прилегают друг к другу.

54. Какой вращающий момент испытывает рамка с током  $I=10$  А при помещении ее в однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,5$  Тл, если рамка содержит  $N=50$  витков с площадью  $S=20$  см<sup>2</sup>, а ее нормаль образует угол  $\alpha=30^\circ$  с направлением поля?

55. Ось катушки имеющей  $N=10^3$  витков диаметром  $d=0,04$  м, расположена горизонтально в плоскости магнитного меридиана. Ток в катушке  $I=8$  А. Определить магнитный момент катушки и действующий на нее вращающий момент, если вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли равна  $H_0=40$  А/м.

56. Между полюсами электромагнита создается однородное магнитное поле, индукция которого  $B=0,5$  Тл. По проводу длиной  $l=0,7$  м, помещенному перпендикулярно линиям магнитной индукции, течет ток  $I=70$  А. Найти силу, действующую на провод.

57. На расстоянии  $r=0,2$  м от длинного прямолинейного вертикального провода на тонкой нити длиной  $l=0,01$  м и диаметром  $d=10^{-4}$  м висит магнитная стрелка, магнитный момент которой равен  $P_m=0,01$  А·м<sup>2</sup>. Стрелка находится в плоскости, проходящей через провод и нить. На какой угол повернется стрелка, если по проводу пустить ток силой  $I=30$  А? Модуль сдвига материала нити  $G=6 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup>. От магнитного поля Земли система экранирована.

58. Диаметр витков соленоида в  $n=4$  раза больше длины его оси. Густота витков  $n=2 \cdot 10^5$  м<sup>-1</sup>. По виткам идет ток  $I=0,1$  А. Найти напряженность магнитного поля: а) в середине оси соленоида б) в центре одного из его оснований.

59. Кольцо радиусом  $R=10$  см находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,318$  Тл. Плоскость кольца составляет угол  $\alpha=30^\circ$  с линиями индукции. Вычислить магнитный поток, пронизывающий кольцо.

60. Рамка гальванометра, содержащая  $N=200$  витков тонкого провода, подвешена на упругой нити. Площадь рамки  $S=1$  см<sup>2</sup>, она расположена вдоль силовых линий магнитного поля с индукцией  $B=15$  мТл. Когда через рамку пропустили ток  $I=6$  мкА, рамка повернулась на  $\alpha = 15^\circ$ . На какой угол повернется рамка при токе  $I_1=7,5$  мкА?



61. Плоская прямоугольная рамка из  $N=200$  витков со сторонами  $a=10$  см и  $b=5$  см находится целиком в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,05$  Тл. Какой максимальный вращающий момент может подействовать на катушку в этом поле, если по проводам катушки проходит ток  $I=2$  А?

62. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и по проводу текут одинаковые токи  $I_1=I_2=1$  кА. Определить силу, действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном ее длине.

63. В одной плоскости с длинным прямым проводом, по которому течет ток  $I=50$  А, расположена прямоугольная рамка так, что две большие стороны ее длиной  $l=0,65$  м параллельны проводу, а расстояние от провода до ближайшей из этих сторон равно ее ширине. Каков магнитный поток, пронизывающий рамку?

64. В средней части соленоида, содержащего  $n=80$  витков/см, помещен круговой виток диаметром  $d=4$  см. Плоскость витка расположена под углом  $\alpha=60^\circ$  к оси соленоида. Найти магнитный поток, пронизывающий виток, если по обмотке соленоида течет ток  $I=1$  А.

65. Короткая катушка площадью поперечного сечения  $S=1,5 \cdot 10^{-2}$  м<sup>2</sup>, содержащая  $N=200$  витков провода, по которому течет ток  $I=4$  А, помещена в однородное магнитное поле напряженностью  $H=8$  кА/м. Найти магнитный момент катушки, а также вращающий

момент, действующий на нее со стороны поля, если ось катушки составляет угол  $\alpha=60^\circ$  с линиями поля.

66. Проволочный виток радиусом  $R=0,2$  м расположен в плоскости магнитного поля Земли  $B_a=20$  мкТл. В центре витка установлен компас. Каков магнитный момент витка, если магнитная стрелка отклонилась на  $\alpha=9^\circ$  от нормального положения при пропускании тока?

67. Короткий прямой магнит расположен перпендикулярно плоскости магнитного меридиана. На оси магнита на расстоянии  $d=0,5$  см от его середины (которое много больше длины магнита), находится магнитная стрелка. Найти магнитный момент магнита, если стрелка отклонена на  $\alpha=3^\circ$  от плоскости магнитного меридиана. Горизонтальная составляющая магнитной индукции поля Земли  $B_a=20$  мкТл.

68. По кольцу, масса которого  $m=10$  г и радиус  $R=5$  см, расположенному горизонтально, течет ток  $I=5$  А. Кольцо свободно висит в магнитном поле. Определить градиент магнитного поля в месте расположения кольца.

69. На каркас длиной  $l=10$  см и диаметром  $d=5$  см намотано  $N = 150$  витков проволоки. Через середину каркаса в направлении одного из диаметров проходит медный проводник с током  $I=5$  А. Считая магнитное поле внутри средней части соленоида однородным. Определить силу, с которой оно действует на участок проводника внутри каркаса, если ток в соленоиде  $I_1=1$  А.

70. В соленоиде длиной  $l=1$  м и диаметром  $d=0,05$  м требуется получить магнитное поле, напряженность которого  $H=10^3$

А/М. Определить число ампер – витков, необходимых для этого. Какую разность потенциалов надо приложить к концам обмотки, если она сделана из медной проволоки диаметром  $d_1=0,5$  мм?

71. По трем параллельным проводникам текут токи  $I_1, I_2, I_3$ . В проводах направления токов  $I_1$  и  $I_2$  совпадают. Расстояния между токами одинаковы и равны  $a$ . Найти силу, действующую на единицу длины каждого проводника, если  $I_1=I_2=I_3=I$ .

72. По трем параллельным прямым проводам, находящимися на расстоянии  $a=16$  см друг от друга, текут токи одинаковой силы  $I=64$  А. Определить силу  $F$ , действующую на единицу длины каждого провода, если в двух проводах направления токов совпадают.

73. Рамка гальванометра со сторонами  $a=4$  см и  $b=1,5$  см, содержащая  $N=200$  витков тонкой проволоки, находится в магнитном поле с индукцией  $B=0,1$  Тл. Плоскость рамки параллельна линиям индукции. Какой вращающий момент действует на рамку при токе  $I=1$  мА? Каков магнитный момент рамки при этом токе?

74. На двух параллельных шинах, расположенных на расстоянии  $d=10$  см, лежит толстый проводник массой  $m=100$  г. Шины подключены к источнику напряжения и по проводнику идет ток  $I=10$  А. Когда перпендикулярно плоскости шин начинает действовать магнитное поле, то проводник приходит в равномерное движение. Найти напряженность магнитного поля, если коэффициент трения проводника о шины  $\mu=0,2$ .

75. Конденсатор емкостью  $C=50$  мкФ заряжается от батареи до напряжения  $U=80$  В и при помощи особого переключателя пол-

ностью разряжается с частотой  $\nu=100$  раз в секунду через обмотку тангенс – буссоли, расположенной в плоскости магнитного меридиана. На какой угол  $\alpha$  отклонится стрелка, находящаяся в центре тангенс – буссоли, если обмотка имеет  $N=10$  витков радиусом  $R=25$  см? Считать горизонтальную составляющую магнитной индукции Земли  $B_0=20$  мкТл.

76. Рамка радиусом  $R=3$  см, по которой течет ток, создает магнитное поле напряженностью  $H=100$  А/М в точке, расположенной на оси рамки на расстоянии  $d=4$  см. Найти магнитный момент рамки.

77. Конденсатор емкостью  $C=8$  мкФ с помощью специального переключателя периодически заряжается от батареи, ЭДС которой  $E=100$  В, и разряжается через тангенс –гальванометр. Сколько раз за  $t=1$  с переключается конденсатор, если магнитная стрелка, помещенная в центре тангенс –гальванометра, отклонилась на угол  $\alpha=45^\circ$ . Обмотка тангенс –гальванометра имеет  $N=50$  витков радиусом  $R=12,5$  см и расположена в плоскости магнитного меридиана. Горизонтальная составляющая напряженности магнитного поля Земли  $H_0=16$  А/м.

78. Определить степень неоднородности магнитного поля ( $dB/dx$ ), если максимальная сила, действующая на виток с током в этом магнитном поле, равна  $F_m=1$  мН, а его магнитный момент  $P_m=2$  мА·м<sup>2</sup>.

79. Магнитное поле создано бесконечно длинным проводником с током силой  $I=100$  А. На расстоянии  $l=10$  см от проводника находится виток с током, вектор магнитного момента которого ра-

вен  $P_m=1 \text{ мА}\cdot\text{м}^2$  и лежит в одной плоскости с проводником и перпендикулярен ему. Определить силу  $F$ , действующую на виток.

80. По витку радиусом  $R=10 \text{ см}$  течет ток  $I=50 \text{ А}$ . Виток помещен в однородное магнитное поле напряженностью  $H=100 \text{ А/м}$ . Определить вращающий механический момент, действующий на виток, если плоскость витка составляет угол  $\alpha=60^\circ$  с линиями напряженности.

81. Медный провод сечением  $S$ , согнутый в виде трех сторон квадрата, прикреплен своими концами к горизонтальной оси, вокруг которой он может вращаться без трения. По проводу проходит ток силой  $I$ . При наложении магнитного поля, направленного вверх, плоскость рамки отклонилась на угол  $\alpha$ . Чему равна индукция магнитного поля  $B$ ?

82. Рамка, площадь которой равна  $S=16 \text{ см}^2$ , вращается в однородном магнитном поле, делая  $\nu=2 \text{ об/с}$ . Ось вращения находится в плоскости рамки и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Напряженность магнитного поля равна  $H=7,96\cdot 10^4 \text{ А/м}$ . Найти: а) зависимость магнитного потока, пронизывающего рамку, от времени; б) наибольшее значение магнитного потока.

83. Рядом с длинным прямым проводом, по которому течет ток  $I=30 \text{ А}$ , расположена рамка с током  $I_1=2 \text{ А}$ . Рамка и провод лежат в одной плоскости. Проходящая через середины противоположных сторон ось рамки параллельна проводу и отстоит от него на  $b=30 \text{ мм}$ . Сторона рамки  $a=20 \text{ мм}$ . Найти силу, действующую на рамку, работу, которую нужно совершить для поворота рамки на угол  $\alpha=180^\circ$ .

84. Из проволоки длиной  $l$  сделаны три контура: квадратный, круговой и в виде треугольника. Найти вращающие моменты, действующие на каждый контур, помещенный в однородное магнитное поле с индукцией  $B$ , если по проводу течет ток  $I$ . Плоскость каждого контура составляет угол  $\alpha$  с направлением магнитного поля.

85. Магнитный момент  $P_m$  тонкого проводящего кольца  $P_m=5 \text{ А}\cdot\text{м}^2$ . Определить магнитную индукцию в точке, находящейся на оси кольца и удаленной от точек кольца на расстояние  $r=20 \text{ см}$ .

86. Магнитная стрелка, помещенная в центре кругового тока радиусом  $R=10 \text{ см}$ , образует угол  $\alpha=20^\circ$  с вертикальной плоскостью, в которой находится провод. Когда по проводу пустили ток силой  $I=3 \text{ А}$ , то стрелка повернулась в таком направлении, что угол  $\alpha$  увеличился. Определить угол поворота стрелки.

87. Прямоугольная рамка из провода имеет длину  $a=0,25 \text{ м}$  и ширину  $b=0,12 \text{ м}$ . Определить силу тока в рамке, если ее магнитный момент равен  $P_m=0,45 \text{ А}\cdot\text{м}^2$ . Какая максимальная пара сил действует на рамку в магнитном поле с индукцией  $B=0,2 \text{ Тл}$ ? Каков при этом угол между векторами  $\mathbf{P}_m$  и  $\mathbf{B}$ ?

88. Маленький шарик зарядом  $q$ , подвешенный на нити длиной  $l$ , движется равномерно по окружности так, что нить описывает коническую поверхность, образуя угол  $\alpha$  с вертикалью. Определить магнитную индукцию  $B$  в центре окружности, обусловленную движением шарика, и его магнитный момент.

89. Максимальный вращающий момент, действующий на соленоид, имеющий  $N=800$  витков по  $d=2 \text{ см}$  диаметром, при токе

$I=2$  А равен  $M=0,6$  Н·м. Определить магнитный момент соленоида и индукцию магнитного поля  $B$ .

90. На проволочный виток с током радиусом  $R=0,1$  м, помещенный между полюсами магнита, действует максимальный момент  $M=65 \cdot 10^{-7}$  Н·м. Виток закрепил неподвижно в таком положении, что плоскость витка параллельна линиям магнитной индукции. Помещенная в центр витка магнитная стрелка установилась под углом  $\alpha=5^\circ$  к плоскости витка. Определить напряженность поля между магнитами. Действием магнитного поля Земли пренебречь.

91. По витку радиусом  $R=10$  см течет ток силой  $I=50$  А. Виток помещен в однородное магнитное поле индукцией  $B=0,2$  Тл. Определить момент силы  $\alpha=60^\circ$ , действующей на виток, если плоскость витка составляет угол с линиями индукции.

92. Рамка гальванометра, содержащая  $N=200$  витков тонкого провода, повернулась на угол  $\alpha=30^\circ$  при пропускании по ней тока  $I=2$  мкА. Первоначально рамка располагалась так, что нормаль к плоскости рамки была перпендикулярна линиям магнитной индукции поля  $B=5$  мТл. Найти постоянную кручения упругой нити, если площадь рамки  $S=10^{-4}$  м<sup>2</sup>.

93. На оси контура с током, магнитный момент которого  $P_m=10$  мА·м<sup>2</sup> находится другой такой же контур. Вектор магнитного момента второго контура перпендикулярен оси. Вычислить механический момент, действующий на второй контур, если размеры контуров малы по сравнению с расстоянием между ними, равны  $d=0,5$  м.

94. По проволочному кольцу радиуса  $R=5$  см, подвешенному на двух гибких проводниках, течет ток  $I=1$  А. Кольцо находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B=20$  мкТл. Линии магнитной индукции горизонтальны. С какой силой будет растянуто кольцо?

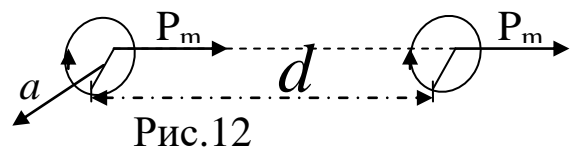
95. Определить циркуляцию вектора магнитной индукции по окружности при условии, что через центр окружности проходит перпендикулярно ее плоскости бесконечно длинный прямой провод, по которому течет ток  $I=2$  А.

96. Определить циркуляцию магнитной индукции по контуру квадрата, расположенного в вакууме, если через его центр перпендикулярно плоскости, в которой он лежит, проходит бесконечно длинный прямой провод, по которому течет ток  $I=1$  А.

97. Пользуясь теоремой о циркуляции вектора магнитной индукции, найти магнитную индукцию  $B$ : 1) в произвольной точке цилиндра; 2) в точке, находящейся на расстоянии  $r=0,1$  м вне его.

98. Определить напряженность поля, создаваемого в воздухе соленоидом с магнитным моментом  $P_m=10$  мА·м<sup>2</sup> на расстоянии  $d=0,5$  м, которое значительно больше размеров соленоида.

99. Найти силу взаимодействия между двумя рамками с током, расстояние между центрами



которых много больше линейных размеров рамок. (рис.12).

100. Две небольшие одинаковые катушки с током имеют следующими параметрами: радиус витка  $R=20$  мм, число витков



$N=10^3$ , сила тока  $I=0,5$  А. Расстояние между катушками  $d=300$  мм. С какой силой взаимодействуют катушки?

101. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,2$  Тл под углом  $\alpha=30^\circ$  к направлению линий индукции. Определить силу Лоренца  $F$ , если скорость частицы  $V=10^5$  м/с.

102. Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле напряженностью  $H=25000$  А/м. Определить период обращения электрона.

103. Электрон, ускоренный разностью потенциалов  $\Delta\varphi=300$  В, движется параллельно прямолинейному проводнику на расстоянии  $d=4$  мм от него. Какая будет сила действовать на электрон, если по проводнику пустить ток  $I=5$  А?

104. Электрон, обладавший кинетической энергией  $W_0$ , влетел в однородное магнитное поле с индукцией  $B$ . Скорость электрона направлена перпендикулярно полю. Найти силу, действующую на частицу, и радиус кривизны траектории.

105. Протон влетает в однородное магнитное поле под углом  $\alpha=30^\circ$  к направлению поля и движется по спирали диаметром  $d=3$  см. Индукция магнитного поля  $B=0,1$  Тл. Найти кинетическую энергию протона.

106. Электрон движется вокруг ядра в атоме водорода по орбите радиусом  $R=53$  нм. Вычислить магнитный момент эквивалентного кругового тока и механический момент, действующий на круговой ток, если атом помещен в магнитное поле с индукцией  $B=0,1$  Тл, направленной параллельно плоскости орбиты электрона.

107. Определить наименьшее значение радиуса дуантов циклотрона, предназначенного для ускорения протонов с энергией  $W=0,8 \text{ нДж}$ , если индукция магнитного поля  $B=0,5 \text{ Тл}$  (зависимость  $m$  от  $V$  не учитывать).

108. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B=10 \text{ мТл}$  по винтовой линии, радиус которой  $R=1,5 \text{ мм}$  и шаг  $h=10 \text{ см}$ . Найти период и скорость обращения электрона.

109. Найти магнитную индукцию и шаг спирали, по которой в магнитном поле движется электрон, влетающий в магнитное поле под углом  $\alpha=60^\circ$ , к линиям магнитной индукции, если радиус ее  $R=5 \text{ см}$  и период обращения  $T=6 \cdot 10^{-5} \text{ с}$ .

110. Определить частоту вращения электрона по круговой орбите в магнитном поле, индукция которого  $B=0,2 \text{ Тл}$ .

111. Протон движется по окружности в однородном магнитном поле напряженностью  $H=10 \text{ кА/м}$ . Найти период обращения протона  $T$ .

112. Два иона, имеющие одинаковый заряд, но разные массы, влетели в однородное магнитное поле. Первый ион начал двигаться по окружности радиусом  $R_1=0,05 \text{ м}$ , а второй по окружности  $R_2=0,025 \text{ м}$ . Найти отношение масс ионов, если они прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов.

113. Два однозарядных иона, пройдя одинаковую разность потенциалов, влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Один ион, масса которого  $m_1=7,2 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ , описал дугу окружности радиусом  $R_1=0,05 \text{ м}$ . Определить массу  $m_2$  другого иона, если он описал дугу окружности  $R_2=0,06 \text{ м}$ .

114.  $\alpha$ -частица, момент импульса которой  $L=1,33 \cdot 10^{-22} \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}$ , влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное скорости движения. Индукция магнитного поля  $B=2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$ . Найти кинетическую энергию  $\alpha$ -частицы.

115. Электрон в магнитном поле движется по винтовой линии радиусом  $R=5 \text{ см}$  и шагом  $h=20 \text{ см}$ . Определить скорость электрона, если магнитная индукция  $B=0,1 \text{ Тл}$ .

116. Заряженная частица с кинетической энергией  $W=2 \text{ кэВ}$  движется в однородном магнитном поле по окружности радиуса  $R=4 \text{ мм}$ . Определить силу Лоренца, действующую на частицу со стороны поля.

117. Ион, несущий один элементарный заряд, движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,015 \text{ Тл}$  по окружности  $R=0,1 \text{ м}$ . Определить импульс иона.

118.  $\alpha$  - частица, кинетическая энергия которой  $W_k=500 \text{ эВ}$ , влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное скорости ее движения. Индукция магнитного поля  $B=0,1 \text{ Тл}$ . Найти силу, действующую на частицу, период ее обращения и радиус окружности, по которой она движется.

119. Протон влетает в однородное магнитное поле под углом  $\alpha=30^\circ$  к направлению линий магнитной индукции и движется по спирали, радиус которой  $r=1,5 \text{ см}$ . Напряженность магнитного поля  $H=8 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ . Найти кинетическую энергию протона.

120. Электрон, ускоренный разностью потенциалов  $\Delta\phi=3 \text{ кВ}$ , влетает в однородное магнитное поле соленоида под углом  $\alpha=30^\circ$  к его оси. Число ампер-витков соленоида  $I \cdot N=5000 \text{ А}$ , длина  $l=0,25$

м. Найти шаг винтовой линии электрона в магнитном поле соленоида.

121. Через сечение  $S=ab$  алюминиевой пластинки пропускается ток  $I=5$  А. Пластика помещена в однородное магнитное поле, перпендикулярное ребру  $b$  и направлению тока. Определить возникшую при этом поперечную разность потенциалов, если индукция магнитного поля  $B=0,5$  Тл и толщина пластинки  $a=0,1$  мм. Концентрацию электронов проводимости считать равной концентрации атомов.

122. Через сечение  $S=ab$  медной пластинки толщиной  $a=0,5$  мм и высотой  $b=1$  мм идет ток  $I=20$  А. При помещении пластинки в магнитное поле, перпендикулярное ребру  $b$  и направлению тока, возникает поперечная разность потенциалов  $\Delta\varphi=3\cdot 10^{-4}$  В. Индукция магнитного поля  $B=1$  Тл. Определить концентрацию электронов меди и их среднюю скорость при этих условиях.

123. Однозарядные ионы изотопов калия с относительными атомными массами  $m_1=39$  и  $m_2=41$  ускоряются разностью потенциалов  $\Delta\varphi=300$  В, затем они попадают в однородное магнитное поле, перпендикулярное направлению их движения. Индукция магнитного поля  $B=0,08$  Тл. Найти радиусы кривизны траектории этих ионов.

124. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью  $v=10^4$  м/с. Индукция магнитного поля  $B=0,3$  Тл, радиус окружности  $R=4$  см. Найти заряд частицы, если она обладает энергией  $W=12$  кэВ.

125. Протон и  $\alpha$  – частица влетают в однородное магнитное поле. Скорость частиц направлена перпендикулярно линиям магнитной индукции. Во сколько раз отличаются периоды обращения обеих частиц в магнитном поле?

126. Найти отношение  $Q/m$  для заряженной частицы, если она, влетая со скоростью  $v=10^6$  м/с в однородное магнитное поле с индукцией  $B=2 \cdot 10^{-5}$  Тл, движется по дуге окружности радиусом  $R=8,3$  см. Направление скорости движения частицы перпендикулярно направлению магнитного поля.

127. Магнитное поле напряженностью  $H=8 \cdot 10^3$  А/м и электрическое поле напряженностью  $E=1000$  В/м направлены одинаково. Электрон влетает в такое поле со скоростью  $v_0=10^4$  м/с. Найти нормальное  $a_n$ , тангенциальное  $a_r$  и полное  $a$  ускорение электрона, если скорость электрона направлена: 1) параллельно силовым линиям, 2) перпендикулярно силовым линиям.

128. Электрон разгоняется в вакууме из состояния покоя под действием электрического поля и влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно к линиям магнитной индукции. Определить ускоряющую разность потенциалов и индукцию магнитного поля, если электрон описывает окружность радиусом  $R=7,58$  мм за время  $T=5,96 \cdot 10^{-10}$  с.

129. Однородное магнитное поле напряженностью  $E=10^5$  В/м перпендикулярно к однородному магнитному полю с индукцией  $B=0,02$  Тл. Электрон влетает в эти поля перпендикулярно векторам  $B$  и  $E$ . При такой скорости  $v$  электрон будет двигаться прямоли-

нейно? При какой скорости прямолинейно будут двигаться протоны?

130. Электрон движется в вакууме в однородном магнитном поле с напряженностью  $H=75 \text{ A/m}$  так, что вектор его скорости составляет угол  $\alpha=30^\circ$  с направлением поля. Определить радиус  $R$  витков траектории электрона и расстояние, пройденное им вдоль линий магнитной индукции за  $N=3$  витка, если скорость электрона  $v=2,2 \text{ мм/с}$ ?

131. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,8 \text{ Тл}$  помещена тонкая медная пластинка с током  $I=5 \text{ А}$ . Магнитное поле перпендикулярно к плоскости пластинки. Толщина пластинки  $d=10^{-5} \text{ м}$ . Найти концентрацию свободных электронов в меди, если вдоль ширины пластинки возникает разность потенциалов  $\Delta\varphi=2 \text{ мкВ}$ .

132. Тонкая медная лента толщиной  $d=10^{-4} \text{ м}$  помещена в однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,3 \text{ Тл}$  так, что плоскость ленты перпендикулярна к линиям индукции поля. По ленте течет ток  $I=10 \text{ А}$ . Определить разность потенциалов, возникающую вдоль ширины ленты, считая, что в меди имеется по одному свободному электрону на каждый атом.

133. Электрон влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции поля. Скорость электрона  $v=4 \cdot 10^7 \text{ м/с}$ . Индукция магнитного  $B=10^{-4} \text{ Тл}$ . Чему равны тангенциальное  $a_r$  и нормальное  $a_n$  ускорения электрона в магнитном поле?

134. Однозарядные ионы аргона разгоняются из состояния покоя в электрическом поле с напряжением  $U=800 \text{ В}$ , а затем попа-

дают в однородное магнитное поле перпендикулярно к линиям магнитной индукции и разделяются на два пучка, движущихся в вакууме по дугам с радиусами  $R_1=7,63$  см и  $R_2=8,05$  см. Индукция магнитного поля  $B=0,32$  Тл. Определить массовые числа изотопов аргона.

135. Электрон в невозбужденном атоме водорода движется вокруг ядра по окружности радиуса  $R=0,53 \cdot 10^{-8}$  см. Вычислить магнитный момент  $P_m$  эквивалентного кругового тока и механический момент  $M$ , действующий на круговой ток, если атом помещен в магнитное поле с индукцией  $B=0,4$  Тл, направленной параллельно плоскости орбиты электрона.

136. Два иона с одинаковыми зарядами, пройдя одну и ту же ускоряющую разность потенциалов, влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Один ион, масса которого  $m_1=12$  а.е.м., описал дугу окружности радиусом  $R_1=2$  см. Определить массу  $m_2$  (в а.е.м.) кругового иона, который описал дугу окружности радиусом  $R_2=2,31$  см.

137. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,01$  Тл. Определить момент импульса  $L$ , которым обладала частица при движении в магнитном поле, если радиус траектории частицы равен  $R=0,5$  мм.

138. Протон движется по окружности в однородном магнитном поле с индукцией  $B=2$  Тл. Определить силу  $I$  эквивалентного кругового тока создаваемого движением протона.

139. Электрон в однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции. Определить силы  $F?$  действующую на элек-

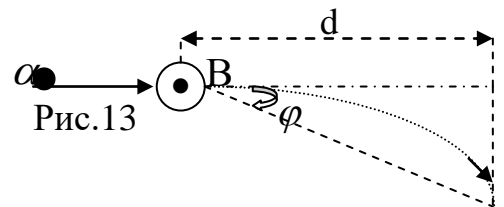
трон со стороны поля, если индукция поля  $B=0,2 \text{ Тл}$ , а радиус кривизны траектории  $R=0,2 \text{ см}$ .

140. Электрон в однородном магнитном поле движется по винтовой линии радиусом  $R=5 \text{ см}$  и шагом  $h=20 \text{ см}$ . Определить скорость электрона, если магнитная индукция  $B=0,1 \text{ Тл}$ .

141. Электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по круговой орбите некоторого радиуса. Найти отношение магнитного момента эквивалентного тока к моменту импульса орбитального движения электрона  $P_m/L$ . Заряд электрона и его массу считать известными. Указать на чертеже направление векторов  $P_m$  и  $L$ .

142. Покоящийся в начальный момент электрон ускоряется электрическим полем, напряженность которого  $E=\text{const}$ . Через  $\Delta t=0,01 \text{ с}$  он влетает в магнитное поле, которое перпендикулярное электрическому, магнитная индукция которого  $B=10^{-5} \text{ Тл}$ . Во сколько раз нормальное ускорение электрона в этот момент больше его тангенциального ускорения?

143.  $\alpha$ -частица, ускоренная разностью потенциалов  $\Delta U=250 \text{ кВ}$ , пролетает поперечное однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,51 \text{ Тл}$ . Толщина области с полем (рис 13)  $d=0,1 \text{ м}$ . Определить угол  $\varphi$  отклонения  $\alpha$ -частицы от первоначального направления движения.



144. Положительно заряженная частица влетает в одинаковое направленные перпендикулярно ее скорости однородные магнитное и электрическое поля. Под каким углом к полям будет направлено ускорение частицы в этот момент, если индукция магнитного поля



$B=0,05$  Тл, напряженность электрического поля  $E=35$  В/м, скорость движения частицы  $v=10^3$  м/с.

145. Циклотрон предназначен для ускорения протона до энергии  $W=5$  МэВ. Каким должен быть радиус дуантов циклотрона  $R$ , если индукция магнитного поля  $B=1$  Тл?

146. Однозарядные ионы неона с массовыми числами  $m_1=20$  и  $m_2=22$  и кинетической энергией  $W=6,2 \cdot 10^{-16}$  Дж влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно к

его линиям индукции и, описав полуокружность, вылетают из поля двумя пучками (рис.14). Определить расстояние  $a$  между пучками, если магнитное поле находится в вакууме и его индукция  $B=0,24$  Тл.

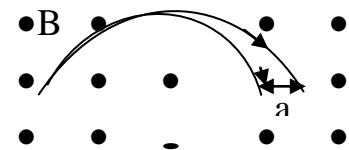


Рис 14

147. По представлениям Бора электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по круговой орбите, радиус которой  $R=53$  нм. Какова магнитная индукция создаваемого им в центре круговой орбиты магнитного поля?

148. Протон, ускоренный разностью потенциалов  $U=300$  В, попадает в магнитное поле, перпендикулярное направлению его движения. Индукция магнитного поля  $B=8 \cdot 10^{-2}$  Тл. Определить радиус кривизны траектории протона и период его обращения в магнитном поле.

149. Определить силу, действующую на электрон в момент, когда он пересекает ось длинного соленоида под прямым углом в непосредственной близости от его конца. Сила тока в соленоиде

$I=2$  А, число витков на единицу длины  $n=3000$  м<sup>-1</sup>. Скорость электрона  $v=3 \cdot 10^{-7}$  м/с.

150. Спираль, по которой движется электрон в однородном магнитном поле, имеет диаметр  $d=80$  мм, шаг  $h=20$  см. Определить его скорость, если индукция поля  $B=5$  мТл.

151. Плоский контур, площадь которого  $S=300$  см<sup>2</sup>, находится в однородном магнитном поле, индукция которого  $B=0,01$  Тл. Плоскость контура перпендикулярна линиям поля. Ток в контуре  $I=10$  А. Определить работу внешних сил по перемещению контура в область пространства, где магнитное поле отсутствует.

152. По проводнику, согнутому в виде квадрата со стороной  $a=0,1$  м, течет ток  $I=20$  А. Плоскость квадрата перпендикулярна магнитным линиям индукции поля. Определить работу  $A$ , которую необходимо совершить для того, чтобы удалить проводник за пределы поля. Индукция поля  $B=0,1$  Тл. Поле считать однородным.

153. Прямой провод длиной  $l=20$  см, по которому течет ток силой  $I=50$  А, движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B=2$  Тл. Какую работу совершат силы, переместив его на  $x=20$  см, если направление перемещения перпендикулярно направлениям магнитной индукции и длине провода?

154. Определить работу, совершаемую при перемещении проводника длиной  $l=0,2$  м, по которому течет ток  $I=5$  А, в перпендикулярном магнитном поле напряженностью  $H=80$  кА/м, если перемещение проводника  $x=0,5$  м.

155. Чему равна механическая мощность, развиваемая при перемещении прямолинейного проводника длиной  $l=30$  см со ско-

ростью  $v=5$  м/с в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,2$  Тл, если угол между направлением движения проводника и линиями магнитной индукции поля  $\alpha=60^\circ$ , а ток  $I=50$  А?

156. Чему равна мощность магнитной силы, развиваемая при перемещении прямолинейного проводника длиной  $l=20$  см со скоростью  $v=5$  м/с в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,1$  Тл, если угол между направлением магнитных силовых линий  $\alpha=90^\circ$ , а сила тока в проводнике  $I=50$  А?

157. При изменении формы контура с квадрата на окружность в магнитном поле с индукцией  $B=0,5$  Тл, совершена работа  $A=0,025$  Дж. Сторона квадрата  $a=0,2$  м, контур находится под углом  $\alpha=30^\circ$  к линиям индукции. Каков ток в контуре?

158. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции расположен плоский виток площадью  $S=200$  см<sup>2</sup>. При постоянной силе тока  $I=50$  А его переместили из поля в область пространства, где поле отсутствует, и при этом совершил работу  $A=0,8$  Дж. Какова индукция магнитного поля  $B$ ?

159. На какой угол повернули контур, поддерживая ток в контуре неизменным, если контур с током силой  $I=1$  А находится в магнитном поле с индукцией  $B=0,01$  Тл? Площадь контура  $S=10^{-2}$  м<sup>2</sup>, работа при его повороте  $A=3$  мДж.

160. Виток радиусом  $R=0,1$  м, по которому течет ток  $I=20$  А, свободно устанавливается в однородном магнитном поле напряженностью  $H=10^3$  А/м. Виток повернули относительно диаметра на угол  $\alpha=60^\circ$ . Определить совершенную работу  $A$ .

161. Плоский квадратный контур со стороной  $a=10$  см, по которому течет ток силой  $I=100$  А, свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией  $B=1$  Тл. Определить работу, совершаемую внешними силами, при повороте контура относительно оси, проходящей через середину его противоположных сторон, на угол: 1)  $\alpha_1=90^\circ$ , 2)  $\alpha_2=30^\circ$ . При повороте контура сила тока в нем поддерживается неизменной.

162. Ось катушки, имеющей  $N=10^3$  витков диаметром  $d=10$  см, расположена горизонтально в плоскости магнитного меридиана. По катушке течет ток  $I=3$  А. При повороте катушки на  $\alpha=180^\circ$  была совершена работа  $A=8,46 \cdot 10^{-4}$  Дж. Определить магнитный момент катушки с током и горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли.

163. Какова сила тока, текущего по витку, если при повороте его относительно диаметра на угол  $\alpha=90^\circ$  из свободного состояния в магнитном поле с индукцией  $B=16 \cdot 10^{-4}$  Тл совершена работа  $A=5,02$  Дж? Радиус витка  $R=5$  см.

164. Виток, нормаль к которому образует угол  $\alpha=60^\circ$  с направлением линий магнитной индукции, помещен в магнитном поле с индукцией  $B=1$  Тл. Ток в витке  $I=25$  А. диаметр витка  $d=0,2$  м. Найти работу  $A$ , которую надо совершить, чтобы удалить виток из поля.

165. Форму витка из квадрата, потянув за противоположные вершины, изменили и придали ему форму линии при неизменной силе тока  $I=10$  А в магнитном поле с индукцией  $B=0,1$  Тл. Сторона квадрата  $a=0,1$  м. Какова совершенная при этом работа  $A$ ?

166. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,06$  Тл находится прямоугольная рамка длиной  $l=8$  см и  $d=5$  см шириной, состоящая из  $N=200$  витков. Рамка может вращаться вокруг оси, перпендикулярной к линиям магнитной индукции. Когда по виткам течет ток  $I=0,5$  А, рамка располагается перпендикулярно линиям магнитной индукции. Какую работу надо произвести, чтобы повернуть рамку из этого положения на четверть оборота?

167. Рамка длиной  $a=4$  см и шириной  $b=4,5$  см, содержащая  $N=200$  витков тонкой проволоки, находится в магнитном поле с индукцией  $B=0,1$  Тл. Плоскость рамки параллельна линиям индукции. Найти вращающий момент, действующей на рамку при токе  $I=1$  мА. Чему равна работа  $A$  при повороте рамки на угол  $\alpha=60^\circ$ ?

168. Прямоугольный контур со сторонами  $a$  и  $b$  находятся в магнитном поле и может вращаться около оси  $OO$ . По контуру течет постоянный ток  $I$ . найти работу, совершенную магнитным полем, при повороте контура на угол  $\alpha$ , если вначале плоскость контура была расположена перпендикулярно магнитному полю и расположена на так, как показано на рис. 15.

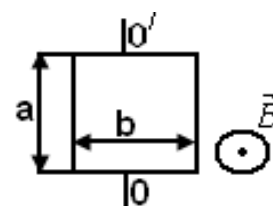


Рис. 15

169. Плоский квадратный контур со сторонами  $a=b=10$  см, по которому течет ток  $I=10$  А свободно в однородном магнитном поле с индукцией  $B=10$  Тл. Определить работу, совершаемую внешними силами при повороте контура относительно оси, проходящей через середину его противоположных сторон, на угол  $\alpha=90^\circ$ . При повороте контура сила тока в нем поддерживается неизменной.

170. Квадратный контур со стороной  $a=10$  см, в котором течет ток  $I=6$  А, находится в магнитном поле с индукцией  $B=0,8$  Тл под углом  $\alpha=50^\circ$  к линиям индукции. Какую работу нужно совершить, чтобы при неизменной силе тока в контуре изменить его форму с квадрата на окружность?

171. В однородном магнитном поле свободно установился виток, по которому течет ток  $I=60$  А. При повороте его на угол  $\alpha=\pi/3$  относительно оси, совпадающей с диаметром, была совершена работа  $A=25 \cdot 10^{-2}$  Дж. Какова индукция магнитного поля  $B$ ? Диаметр витка  $d=10$  см.

172. Какая работа совершаемая магнитным полем с индукцией  $B=0,5$  Тл при перемещении проводника длиной  $l=0,5$  м с током  $I=20$  А на расстояние  $d=2$  м? проводник расположен под углом  $\alpha=30^\circ$  к линиям магнитной индукции и перемещается перпендикулярно к направлению тока и вектора магнитной индукции.

173. Магнитный момент витка  $P_m=0,1$  Ам<sup>2</sup>. Он свободно установился в магнитном поле с индукцией  $B=0,05$  Тл. Какую работу надо совершить, чтобы повернуть виток на угол  $\varphi$  относительно оси, совпадающей с диаметром?

174. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,25$  Тл находится плоская катушка радиусом  $R=25$  см из  $N=75$  витков. Плоскость катушки составляет угол  $\alpha=60^\circ$  с направлением линий магнитной индукции. Определить вращающий момент, действующий на катушку в магнитном поле, если по ее виткам течет ток  $I=8$  А. Чему равна работа, которую надо совершить, чтобы удалить катушку из поля?

175. В центре подлинного соленоида расположена маленькая плоская рамка, состоящая из  $N=20$  витков площадью  $S=1 \text{ см}^2$  каждый. Плотность намотки соленоида  $N/d=5000 \text{ м}^{-1}$ , ток в соленоиде  $I=5 \text{ А}$ . Какую работу против сил магнитного поля надо совершить, чтобы рамку переместить в середину основания соленоида? Ток в рамке  $I_1=1 \text{ А}$  того же направления, что и в соленоиде. Плоскость рамки перпендикулярна оси соленоида.

176. Рядом с длинным прямым проводом, по которому течет ток  $I$ , расположена рамка с током  $I_1$ . Провод и рамка лежат в одной плоскости (рис 16). Какую работу  $A$  надо совершить, чтобы повернуть рамку вокруг ее оси на угол  $\alpha=90^\circ$ ?

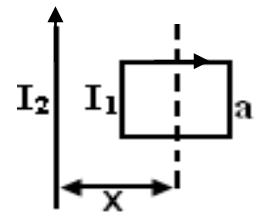


Рис. 16

177. Рамка из провода, содержащая  $N=25$  витков, расположена в магнитном поле так, что через нее проходит внешний магнитный поток  $\Phi_1=0,012 \text{ Вб}$ . Когда по виткам пустили ток  $I=8,4 \text{ А}$ , рамка повернулась и через нее стал проходить внешний магнитный поток  $\Phi_2=0,077 \text{ Вб}$ . Найти работу, произведенную при повороте рамки. Ток в цепи неизменный.

178. По кольцу, сделанному из тонкого гибкого провода, радиусом  $R=0,1 \text{ м}$  течет ток силой  $I=100 \text{ А}$ . Перпендикулярно плоскости кольца возбуждено магнитное поле с индукцией  $B=0,1 \text{ Тл}$ , по направлению совпадающей с индукцией  $B_1$  собственного магнитного поля кольца. Определить работу внешних сил, которые, действуя на провод, деформировали его и придали ему форму квадрата при неизменной силе тока в кольце.

179. В одной плоскости с длинным прямым проводом, по которому течет ток силой  $I=50$  А, расположена прямоугольная рамка так, что две большие стороны ее длиной  $a=0,65$  м параллельны проводу, а расстояние от провода до ближайшей из этих сторон равно ее ширине. Найти магнитный поток через рамку.

180. Определить, во сколько раз отличаются магнитные потоки, пронизывающие квадратную рамку при двух ее положениях относительно прямого проводника с током (рис 17).

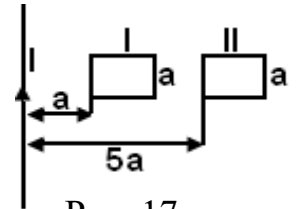


Рис. 17

181. Медный диск, радиус которого  $R=1,2$  м, поставлен нормально к линиям магнитной индукции однородного магнитного поля, индукция которого  $B=5 \cdot 10^{-4}$  Тл. Диск может вращаться около оси, проходящей через его центр и параллельный полю. При замыкании цепи с помощью скользящих контактов в точках на оси и на ободе диска вдоль его радиуса течет ток  $I=0,2$  А. Найти работу, которую совершают силы поля при одном обороте диска.

182. Виток радиусом  $R=0,1$  м, по которому течет ток силой  $I=20$  А, свободно установился в однородном магнитном поле напряженностью  $H=10^3$  А/м. Виток повернули относительно диаметра на угол  $\alpha=60^\circ$ . Определить совершенную работу.

183. Какова индукция магнитного поля, если при повороте вокруг оси, совпадающей с диаметром, совершена работа  $A=50 \cdot 10^{-4}$  Дж? Контур круговой, диаметр его  $d=4$  см, плоскость контура в начальном состоянии перпендикулярна линиям поля. Поворот совершается на  $\alpha=90^\circ$  при силе тока  $I=2$  А.



184. Плоский контур, расположенный в магнитном поле, изменил свою форму круга на треугольник при неизменной силе тока. Чему равна работа внешних сил? Радиус круга  $R=10$  см, ток  $I=100$  А. Магнитное поле с индукцией  $B=0,1$  Тл направлено перпендикулярно плоскости контура.

185. Два прямолинейных длинных параллельных проводников находятся на расстоянии  $r_1=10$  см друг от друга. По проводникам течет ток в одном направлении  $I_1=I_2=10$  А. Какую работу надо совершить (на единицу длины), чтобы раздвинуть эти проводники до расстояния  $r_2=20$  см?

186. Определить индукцию магнитного поля, если при изменении формы гибкого проводника с кольца на квадрат при неизменной силе тока совершена работа  $A=67,5$  Дж. Собственное поле кольца и внешнее поле совпадают. Ток в контуре  $I=100$  А, радиус кольца  $R=0,1$  м. Работой против упругих сил пренебречь.

187. Найти магнитный поток  $\Phi$ , создаваемый соленоидом сечением  $S=20$  см<sup>2</sup>, если он имеет  $n=10$  витков на каждый сантиметр его длины при силе тока  $I=20$  А.

188. Плоский контур, площадь которого  $S=25$  см<sup>2</sup>, находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,04$  Тл. Определить магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий контур, если плоскость его составляет угол  $\alpha=30^\circ$  с линиями индукции.

189. При двукратном обводе магнитного полюса вокруг проводника с током силой  $I=100$  А была совершена работа  $A=1$  мДж. Найти магнитный поток  $\Phi$ , создаваемый полюсом.

190. В однородном магнитном поле, индукция которого  $B=0,5 \text{ Тл}$ , движется равномерно проводник длиной  $l=0,1 \text{ м}$ . По проводнику течет ток  $I=2 \text{ А}$ . Скорость движения проводника  $v=0,2 \text{ м/с}$ , и направлена перпендикулярно направлению магнитного поля. Найти работу перемещения проводника за  $\Delta t=10 \text{ с}$  движения и мощность, затрачиваемую на это движение.

191. Тороид квадратного сечения содержит  $N=1000$  витков. Наружный диаметр тороида  $D=0,4 \text{ м}$ , внутренний  $d=0,2 \text{ м}$ . Найти магнитный поток в тороиде, если сила тока, протекающего по обмотке, равна  $I=10 \text{ А}$ . Поле тороида неоднородно.

192. Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на некотором расстоянии друг от друга. По проводникам текут токи, равные по величине и по направлению. Найти силу тока, текущего по каждому из проводников, если известно, что для раздвижения этих проводников на вдвое большее расстояние, пришлось совершить работу (на единицу длины проводников)  $A=5,5 \cdot 10^{-6} \text{ Дж/м}$ .

193. Рядом с длинным прямым током  $I=2 \text{ А}$  расположена квадратная рамка со стороной  $a=4 \text{ см}$ , обтекаемая током  $I=5 \text{ А}$ . Рамка лежит в одной плоскости с проводом и ближайшая к проводу сторона рамки находится от него на расстоянии  $d=2 \text{ см}$ . Определить работу по удалению рамки из поля, если считать токи не изменяющимися при движении рамки.

194. В центре длинного тонкого соленоида расположена маленькая плоская рамка, состоящая из  $N=20$  витков площадью  $S=1 \text{ см}^2$  каждый. По рамке течет ток  $I=1 \text{ А}$  того же направления, что и

в соленоиде. Плотность намотки соленоида  $n=5000 \text{ м}^{-1}$ , при перемещении рамки в середину основания соленоида совершается работа  $A=5 \text{ Дж}$ . Какой ток  $I_1$  течет в соленоиде? Плоскость рамки перпендикулярна оси соленоида.

195. По контуру, изображенному на рис 18, идет ток силой  $I=10 \text{ А}$ . Определить индукцию магнитного поля в точке  $O$ , если радиус дуги  $R=10 \text{ см}$  и  $\varphi=60^\circ$ .

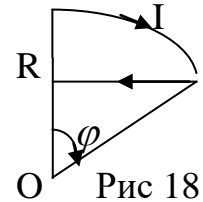


Рис 18

## ТЕМА 3.5

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ И ЕЕ ПРОЯВЛЕНИЯ. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВЕЩЕСТВЕ. ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.

### Контрольные вопросы

1. Какова идея опытов Фарадея по обнаружению явления электромагнитной индукции? В чём сущность явления электромагнитной индукции? От чего зависит величина ЭДС индукции?
2. Какой физический смысл имеет знак «минус» в законе Фарадея–Максвелла? Как определяется направление индукционного тока?
3. Какова причина появления индукции в проводнике, движущемся в постоянном магнитном поле, и в замкнутом контуре, находящемся в изменяющемся магнитном поле? Каковы свойства индукционного электромагнитного поля?
4. В чём заключается явление самоиндукции? От чего зависит ЭДС самоиндукции?
5. Что характеризует индуктивность и от чего она зависит? В каких единицах измеряется? Как вычисляется индуктивность соленоида?
6. Как измеряется ток при замыкании и размыкании цепи? От чего зависит быстрота изменения тока?
7. В чём заключается явление взаимной индукции?
8. Как определяется собственная энергия тока и почему можно считать, что она равна энергии его магнитного поля? Что определяет объёмную плотность энергии магнитного поля?

9. Как описывается магнитное поле в магнитах? Что характеризует вектор намагничивания (намагниченность)? Чем различаются диа-, пара- и ферромагнетики? В чём особенность ферромагнетиков?

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

При решении задач в тех случаях, когда рассматривается контур, находящийся в магнитном поле, следует найти магнитный поток, пронизывающий контур, как функцию времени, а производная полученного выражения даст ЭДС индукции.

Знак ЭДС индукции, так же как и направление индукционного тока, можно определить непосредственно из приведённой формулы либо с помощью правила Ленца. В первом случае следует выбрать какое-либо направление нормали. Это определит знак магнитного потока и знак его производной.

В ходе решения следует анализировать всю совокупность явлений, связанных с электромагнитной индукцией. Возникновение индукционного тока неизбежно приводит к изменению условий и характера движения проводника. Если же по условиям задачи они остаются неизменными, то это всегда означает действие внешних сил.

При определении коэффициентов само- и взаимной индукции надо помнить, что они зависят от геометрии проводников и не зависят от силы тока только при отсутствии ферромагнетика.

Задачи на расчёт полей при наличии ферромагнетиков решают только при помощи графика зависимости.

## ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} \text{ - Э.Д.С. индукции;}$$

$$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt} \text{ - Э.Д.С. самоиндукции;}$$

$$L = \mu_0 \mu n^2 l S \text{ - индуктивность соленоида;}$$

$$\varepsilon = L_{12} \frac{dI}{dt} \text{ - Э.Д.С. явление взаимной индукции;}$$

$$L_{12} = \mu_0 \mu n_1 n_2 S l \text{ - взаимная индуктивность двух соленоидов;}$$

$$I = I_0 e^{-\frac{Rt}{L}} \text{ - ток самоиндукции в цепи при выключении Э.Д.С.;}$$

$$I = I_0 (1 - e^{-\frac{Rt}{L}}) \text{ - ток самоиндукции в цепи при включении Э.Д.С.;}$$

$$W = \frac{1}{2} L I^2 \text{ - магнитная энергия контура с током;}$$

$$dq = \frac{1}{R} d\Phi \text{ - количество заряда, прошедшего через поперечное се-}$$

чение проводника при возникновении в нем индукционного тока.

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### Задача 1.

В однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,1 \text{ Тл}$  равномерно с частота  $\nu=10 \text{ об/с}$  вращается рамка, содержащая  $N=1000$  витков, плотно прилежащих друг к другу. Площадь рамки

$S=150 \text{ см}^2$ . Определить мгновенное значение ЭДС индукции  $E_i$ , соответствующее углу поворота рамки на  $\alpha=30^\circ$ .

**Решение:**

Мгновенное значение ЭДС индукции  $E_i$  определяется основным уравнением электромагнитной индукции Фарадея-Максвелла:

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

где  $\Psi$  – потокосцепление.

Потокосцепление  $\Psi$  связано с магнитным потоком  $\Phi$  и числом  $N$  витков, плотно прилегающих друг к другу, соотношением

$$\Psi = N\Phi$$

Подставляя выражение  $\Psi$  в формулу (1), получим

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

При вращении рамки магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий её в момент времени  $t$ , определяется соотношением

$$\Phi = BS \cos \omega t,$$

где  $B$  – магнитная индукция,  $S$  – площадь рамки,  $\omega$  – круговая частота.

Подставив в формулу (2) выражение  $\Phi$  и продифференцировав по времени, найдём мгновенное значение ЭДС индукции

$$E_i = N \cdot B \cdot S \cdot \sin \omega t \quad (3)$$

Круговая частота  $\omega$  связана с частотой  $\nu$  соотношением  $\omega = 2\pi\nu$ . Подставив  $\omega$  в формулу (3), получим:

$$E_i = 2\pi \cdot \nu \cdot N \cdot B \cdot S \cdot \sin \omega t$$

Произведём вычисления в системе СИ:

$$E_i = 2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5 \text{ В} = 47,1 \text{ В}.$$

Проверим соответствие единиц

$$[E] = c^{-1} \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{с} \cdot \text{м} \cdot \text{А}} = \frac{\text{Джс}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{А} \cdot \text{В} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \text{В}.$$

### Задача 2.

Горизонтальный стержень длиной  $l=1$  м вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через один из его концов. Ось вращения параллельна магнитному полю, индукция которого  $B=50$  мкТл. При какой частоте вращения  $n$  стержня разность потенциалов на концах этого стержня  $U=1$  мВ?

### Решение:

Согласно закону Фарадея

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

где изменение магнитного потока

$$\Delta\Phi = B\Delta S \quad (2)$$

где площадь, покрываемая сечением стержня за один оборот, равна

$$\Delta S = \pi l^2 \quad (3)$$

Подставив (3) в (2), (2) в (1), получим

$$\mathcal{E}_i = \frac{B\pi l^2}{\Delta t} \quad (4)$$

Здесь  $\Delta t$ - время одного оборота. Отсюда

$$n = \frac{1}{\Delta t} = \frac{\mathcal{E}}{B\pi l^2} \quad (5)$$

Подставляя числовые данные, получим

$$n = 6,4 \text{ с}^{-1}$$

### Задача 3.

Скорость самолета с реактивным двигателем  $v=950$  км/ч.



Найти э. д. с. индукции  $\mathcal{E}$ , возникающую на концах Крыльев такого самолета, если вертикальная составляющая напряженности земного магнитного поля  $H_6=39,8 \text{ A/м}$  и размах крыльев самолета  $l=12,5 \text{ м}$ .

**Решение:**

Согласно закону Фарадея

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

где изменение магнитного потока

$$\Delta\Phi = B \Delta S \sin \alpha$$

или поскольку  $\alpha=90^0$ ,

$$\Delta\Phi = B \Delta S \quad (2)$$

Так как магнитная индукция

$$B = \mu \mu_0 H \quad (3)$$

а площадь, перекрываемая крыльями самолета за время  $\Delta t$ , равна

$$\Delta S = v \Delta t l \quad (4)$$

то из (2) получим

$$\Delta\Phi = \mu \mu_0 H v \Delta t l$$

Тогда из (1)

$$\mathcal{E}_i = \mu \mu_0 H v l \quad (5)$$

Подставляя числовые данные, получим

$$\mathcal{E}_i = 0,165 \text{ В}$$

**Задача 4.**

В магнитном поле с индукцией  $B=0,1 \text{ Тл}$  помещена квадратная рамка из медной проволоки с площадью поперечного сечения  $S_{np}=1 \text{ мм}^2$ . площадь рамки  $S=25 \text{ см}^2$ . Нормаль к плоскости рамки направ-

лена по линиям индукции поля. Какое количество электричества  $q$  пройдёт по контуру рамки при исчезновении магнитного поля.

**Решение:**

Количество электричества  $q$ , индуцируемое в рамке, можно определить следующим образом. При выключении магнитного поля в рамке индуцируется ЭДС равная

$$E_{in} = \frac{d\Psi}{dt}.$$

Тогда по закону Ома по рамке потечёт ток

$$I = -\frac{E_{in}}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\Psi}{dt}$$

По определению силы тока  $I = \frac{dq}{dt}$ . Объединяя все эти выражения, получим

$$dq = -\frac{d\Phi}{R}$$

Полный заряд, протекающий по рамке, равен

$$q = -\frac{1}{R} \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi = -\frac{1}{R} (\Phi_2 - \Phi_1).$$

У нас  $\Phi_2 = 0$ , а сопротивление  $R$  можно определить

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{4a}{S_c}$$

где  $a$ —сторона рамки,  $S_{np}$ —площадь поперечного сечения проволоки,  $\rho$ — удельное сопротивление материала проволоки.

Так как,  $a = \sqrt{S}$  где  $S$ —площадь рамки, то

$$R = 4\rho \frac{\sqrt{S}}{S_c}.$$

Учитывая, что  $\Phi_1 = B \cdot S$ ,  $B_2 = 0$ , окончательно получим

$$q = \frac{B \cdot S_s}{4\rho} = \frac{B S S_s}{4\rho}$$

Произведём вычисления в системе СИ:

$$q = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 25 \cdot 10^4}{4 \cdot 1,72 \cdot 10^2} \text{ Кл} = 0,074 \text{ Кл}$$

Проверим соответствие единиц:

$$[q] = \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}^2 \cdot \sqrt{\text{м}^2}}{\text{Ом} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{Ом} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{Ом}} = \text{Кл}$$

### Задача 5.

По обмотки тороида с не намагниченным сердечником пустили ток силой  $I = 0,6$  А. Витки провода диаметром  $d = 0,4$  мм с очень тонкой изоляцией плотно прилегают друг к другу. Определить индуктивность тороида при этих условиях, если площадь его сечения  $S = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ , а диаметр средней линии  $D = 0,3$  м.

### Решение:

Индуктивность тороида можно рассчитать по формуле

$$L = \mu_0 \mu n^2 V$$

так как диаметр средней линии значительно больше диаметра витков, и тороид можно рассматривать как длинный, согнутый в кольцо соленоид.

$$\text{Так как } n = \frac{1}{d}, \quad V = \pi \cdot D \cdot S, \quad L = \mu_0 \mu \frac{1}{d^2} \pi \cdot D \cdot S.$$

Чтобы найти  $\mu_0 \mu = B/H$ , найдём обе эти величины, характеризующие поле в сердечнике. Напряжённость поля

$$H = \frac{N}{l} I = nI = \frac{1}{d} I.$$

Используя кривую намагничивания  $B=f(H)$  (рис. 1), найдём магнитную индукцию  $B$  в сердечнике.

$$B=1,36 \text{ Тл.}$$

Теперь, зная  $B$  и  $H$ , подставляем их частное вместо  $\mu_0\mu$ ,

$$L = \frac{\pi \cdot D \cdot S \cdot B}{d^2 H} = \frac{3.14 \cdot 0.3 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 1.6}{0.16 \cdot 10^{-6} \cdot 1.5 \cdot 10^3} = 2.4 \text{ Гн} .$$

Проверим соответствие единиц:

$$[L] = \frac{\text{м} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Тл}}{\text{м}^2 \cdot \text{А}} = \frac{\text{Нм}^2}{\text{м} \cdot \text{А} \cdot \text{А}} = \frac{\text{Джс}}{\text{А}^2} = \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}} = \text{Гн}$$

### Задача 6.

На стержень из не магнитного материала длиной  $l=50 \text{ см}$  и сечением  $S=2 \text{ см}^2$  намотан в один слой провод так, что на каждый сантиметр длины стержня приходится  $N=20$  витков.

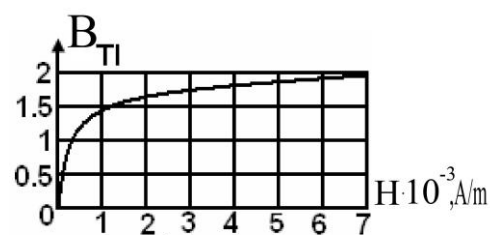


Рис. 1

Определить энергию магнитного поля внутри соленоида, если сила тока в обмотке  $I=0,5 \text{ А}$ .

### Решение:

Энергия магнитного поля соленоида с индуктивностью  $L$ , по обмотке которого течёт ток  $I$ , выражается формулой:

$$W = \frac{LI^2}{2} .$$

Индуктивность соленоида в случае не магнитного материала сердечника зависит только от числа витков на единицу длины  $n$  и от объёма сердечника  $V$ .

$$L = \mu_0 n^2 V = \mu_0 \left( \frac{N}{l} \right)^2 V$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

Подставив в формулу для энергии выражение для индуктивности, получим

$$W = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 \cdot I^2 \cdot l \cdot S = \frac{1}{2} \mu_0 \left( \frac{N}{l} \right)^2 I^2 \cdot l \cdot S$$

Учитывая, что  $V = Sl$ , окончательно получим:

$$W = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 V \cdot I^2 = \frac{1}{2} \mu_0 \left( \frac{N}{l} \right)^2 \cdot V \cdot I^2$$

Произведём вычисления в системе СИ:

$$W = \frac{1,256 \cdot 10^{-7} (2 \cdot 10^3)^2 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \cdot 0,25}{2} \text{ Дж} = 1,26 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$$

Проверим соответствие единиц:

$$[W] = \frac{\text{Гн} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{А}^2}{\text{м} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{В} \cdot \text{с} \cdot \text{А}^2}{\text{А}} = \text{Дж}$$

### Задача 7.

На соленоид длиной  $l = 144$  см и диаметром  $D = 5$  см надет проволочный виток. Обмотка соленоида имеет  $N = 2000$  витков, и по ней течет ток  $I = 2$  А. Соленоид имеет железный сердечник. Какая средняя э.д.с. индуцируется в надетом на соленоид витке, когда ток в соленоиде выключается в течение времени  $t = 2$  мс?

### Решение:

Изменение магнитного потока в витке достигается изменением тока в соленоиде. При этом индуцируемая э.д.с.

$$\varepsilon = -L_{12} \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (1)$$

где

$$L_{12} = \mu\mu_0 n_1 n_2 S l \quad (2)$$

взаимная индуктивность витка и соленоида. Для соленоида

$$n_1 = \frac{N}{l} \quad (3)$$

число витков на единицу длины,

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4)$$

площадь поперечного сечения, тогда

$$L_{12} = \mu\mu_0 N \frac{\pi D^2}{4} \quad (5)$$

т.к. для витка  $n_2=1$ . Считая начальное время и конечный ток равными нулю, получаем  $\Delta t=-t$  и  $\Delta I=I$ , тогда, с учетом (5), уравнение (1) можно переписать в виде

$$\varepsilon_{or} = \mu\mu_0 N \frac{\pi D^2}{4} \frac{I}{t} \quad (6)$$

Напряженность магнитного поля соленоида

$$H = In_1 = \frac{IN}{l} = 2,77 \cdot 10^4 \text{ А/м},$$

По графику находим значение магнитной индукции  $B=1,6 \text{ Тл}$ . Поскольку

$$B = \mu\mu_0 H,$$

то

$$\mu_0 = B/H = 0,575 \text{ мГн/м}.$$

Подставляя найденное значение в уравнение (3), получим

$$\varepsilon = 1,61 \text{ В}.$$

### Задача 8.

Катушка длиной  $l=20$  см имеет  $N=400$  витков. Площадь поперечного сечения катушки  $S=9$  см<sup>2</sup>. Найти индуктивность  $L_1$  катушки. Какова будет индуктивность  $L_2$  катушки, если внутрь катушки введен железный сердечник? Магнитная проницаемость материала сердечника  $\mu_2=400$ .

**Решение:**

Индуктивность катушки определяется выражением

$$L = \mu \mu_0 N^2 \frac{S}{l}$$

Учитывая, что магнитная проницаемость воздуха  $\mu_1=1$ , получим

$$L_1 = \mu_0 N^2 \frac{S}{l} = 0,9 \cdot 10^3 \text{ Гн}$$

$$L_2 = \mu_2 \mu_0 N^2 \frac{l}{S} = 0,36 \text{ Гн}$$

**Задача 9.** Обмотка соленоида состоит из  $N$  витков медной проволоки, поперечное сечение которой  $S=8$  мм<sup>2</sup>. Длина соленоида  $l=25$  см; его сопротивление  $R=0,2$  Ом. Найти индуктивность  $L$  соленоида.

**Решение:**

Имеем

$$L = \mu \mu_0 \frac{N^2 S'}{l} \tag{1}$$

$$S' = \pi r^2 \tag{2}$$

площадь поперечного сечения соленоида. Число витков  $N$

найдем из соотношения

$$N = l/d \tag{3}$$

Диаметр проволоки  $d$  можно найти, зная, что площадь поперечного сечения проволоки

$$S = \pi d^2 / 4,$$

откуда

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad (4)$$

Тогда

$$N = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{\pi}{S}} = 222$$

Сопротивление  $R$  проволоки определяется по формуле:  $R = \rho l / S$ ,

откуда длина проволоки

$$l' = SR / \rho = 11,8 \text{ м.}$$

Разделив длину всей проволоки на количество витков, мы получим длину окружности одного витка, т.е.  $l' / N$  и  $2\pi r$

$$l' / N = 2\pi r,$$

откуда,

$$r = l' / 2\pi N \quad (5)$$

Подставляя это выражение в (2), получим

$$S' = \frac{(l')^2}{4\pi N^2} = 2,2 \cdot 10^4 \text{ м}^2.$$

Подставляя числовые данные в (1), получим

$$L = 4,5 \cdot 10^6 \text{ Гн}$$

### Задача 10.

Катушка длиной  $l = 20$  см и диаметром  $D = 3$  см имеет  $M = 400$  витков. По катушке идет ток  $I = 2$  А. Найти индуктивность  $L$  катушки и магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий площадь ее



поперечного сечения.

**Решение:**

Имеем 
$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l} ,$$

где площадь поперечного сечения катушки

$$S = \pi d^2 / 4.$$

Откуда

$$L = \mu\mu_0 \frac{\pi N^2 D^2}{4l} = 0,71 \cdot 10^3 \text{ Гн}$$

Магнитный поток, пронизывающий всю катушку, равен  $N\Phi = LI$ , тогда магнитный поток, пронизывающий плоскость поперечного сечения, равен

$$\Phi = \frac{LI}{N} = 3,55 \cdot 10^6 \text{ Вб}$$

**Таблица вариантов**

<b>№ Вари- анта</b>	<b>Номер задач</b>				<b>№ Вари- анта</b>	<b>Номер задач</b>			
<b>1</b>	1	51	101	151	<b>26</b>	26	60	126	176
<b>2</b>	2	52	102	152	<b>27</b>	27	61	127	177
<b>3</b>	3	53	103	153	<b>28</b>	28	62	128	152
<b>4</b>	4	54	104	154	<b>29</b>	29	63	129	179
<b>5</b>	5	55	105	155	<b>30</b>	30	64	130	180
<b>6</b>	6	56	106	156	<b>31</b>	31	65	131	181
<b>7</b>	7	57	107	157	<b>32</b>	32	76	132	182
<b>8</b>	8	66	108	158	<b>33</b>	33	77	133	183
<b>9</b>	9	67	109	159	<b>34</b>	34	78	134	184
<b>10</b>	10	68	110	160	<b>35</b>	35	79	135	153
<b>11</b>	11	69	111	161	<b>36</b>	36	80	136	186
<b>12</b>	12	70	112	162	<b>37</b>	37	81	137	187
<b>13</b>	13	71	113	163	<b>38</b>	38	88	138	188
<b>14</b>	14	72	114	164	<b>39</b>	39	89	139	189
<b>15</b>	15	73	115	165	<b>40</b>	40	74	140	190
<b>16</b>	16	82	116	166	<b>41</b>	41	75	141	154
<b>17</b>	17	83	117	167	<b>42</b>	42	92	142	155
<b>18</b>	18	85	118	168	<b>43</b>	43	84	143	193
<b>19</b>	19	86	119	169	<b>44</b>	44	94	144	194
<b>20</b>	20	89	120	170	<b>45</b>	45	95	145	156
<b>21</b>	21	91	121	171	<b>46</b>	46	96	146	196
<b>22</b>	22	93	122	172	<b>47</b>	47	97	147	157
<b>23</b>	23	99	123	173	<b>48</b>	48	98	148	179
<b>24</b>	24	58	124	174	<b>49</b>	49	99	149	193
<b>25</b>	25	59	125	175	<b>50</b>	50	87	100	196

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Автомобиль «Волга» едет со скоростью  $v=120$  км/ч. Определить разность потенциалов на концах перед ней оси машины, если длина оси  $l=180$  см, а вертикальная составляющая напряжённости магнитного поля Земли  $H_0=40$  А/м.

2. Какой ток идёт через гальванометр, присоединённый к железнодорожным рельсам, когда к нему со скоростью  $v=60$  км/ч приближается поезд? Вертикальная составляющая магнитного поля Земли  $H_0=40$  А/м. Сопротивление гальванометра  $R=100$  Ом. Расстояние между рельсами  $l=1,2$  м. Рельсы считать изолированными друг от друга и от земли.

3. Соленоид содержит  $N=4000$  витков провода, по которому течёт ток  $I=20$  А. Определить магнитный поток  $\Phi$  и потокосцепление  $\Psi$ , если индуктивность  $L=0,4$  Гн.

4. Рамка площадью  $S=50$  см<sup>2</sup>, содержащая  $N=100$  витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле ( $B=40$  мТл). Определить минимальную ЭДС индукции, если ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции, а рамка вращается с частотой  $n=960$  об/мин.

5. Проводник длиной  $l=1$  м движется со скоростью  $v=5$  м/с перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Определить магнитную индукцию  $B$ , если на концах проводника возникает разность потенциалов  $\Delta\varphi = 0,02$  В.

6. Определить разность потенциалов, возникающую на концах вертикальной автомобильной антенны длиной  $l=1,2$  м при движе-

ние автомобиля с востока на запад в магнитном поле Земли со скоростью  $v = 20 \text{ м/с}$ . Горизонтальная составляющая напряжённости магнитного поля Земли  $H_0 = 17 \text{ А/м}$ .

7. Соленоид состоящий из  $N = 800$  витков и имеющий диаметр  $\alpha = 8 \text{ см}$ , находится в однородном магнитном поле, индукция которого  $B = 6,03 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$ . Соленоид поворачивается на  $\alpha = 180^\circ$  в течение  $\Delta t = 0,2 \text{ с}$ . Найти среднее значение ЭДС, возникающей в соленоиде, если его ось до и после поворота направлена вдоль поля.

8. Круговой проволочный виток площадью  $S = 100 \text{ см}^2$  находится в однородном магнитном поле, индукция которого  $B = 1 \text{ Тл}$ . Плоскость витка перпендикулярна направлению магнитного поля. Чему будет равно среднее значение ЭДС индукции, возникающей в витке при выключении поля в течение  $\Delta t = 0,1 \text{ с}$ .

9. На соленоид длиной  $l = 20 \text{ см}$  и площадью поперечного сечения  $S = 30 \text{ см}^2$  надет проволочный виток. Соленоид имеет  $N = 320$  витков и по нему течёт ток  $I = 3 \text{ А}$ . Какая средняя ЭДС индуцируется в надетом на соленоид витке, когда ток в соленоиде выключается в течение  $\Delta t = 0,001 \text{ с}$ ?

10. Квадратная рамка со стороной  $a = 20 \text{ см}$  расположена в магнитном поле так, что нормаль к рамке образует угол  $\alpha = 60^\circ$  с направлением поля. Магнитное поле с течением времени меняется по закону  $B = B_0 \cos \omega t$ , где  $B_0 = 0,2 \text{ Тл}$  и  $\omega = 314 \text{ мин}^{-1}$ . Определить ЭДС в рамке в момент времени  $t = 4 \text{ с}$ .

11. В проволочное кольцо, присоединенное к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. При этом по цепи прошёл

заряд  $q=50 \text{ мкКл}$ . Определить изменение магнитного потока  $\Phi$  через кольцо, если сопротивление цепи гальванометра  $R=10 \text{ Ом}$ .

12. Сколько витков провода нужно намотать на стальной сердечник сечением  $S=25 \text{ см}^2$ , чтобы в этой обмотке при равномерном изменении индукции от  $B_1=0$  до  $B_2=1 \text{ Тл}$  в течение  $\Delta t=0,005 \text{ с}$  индуцировалась ЭДС  $\varepsilon_i=50 \text{ В}$ ?

13. Квадратная рамка со стороной  $a=1 \text{ м}$  движется с некоторой скоростью  $v=\text{const}$  в направлении, перпендикулярном к бесконечно длинному проводнику, лежащему в плоскости рамки параллельно одной из её сторон. По проводнику проходит ток  $I=10 \text{ А}$ . В некоторый момент времени расстояние от проводника до ближайшей стороны рамки  $x=1 \text{ м}$ . Какой должна быть скорость  $v$ , чтобы в этот момент в рамке индуцировалась ЭДС  $E_i=10^{-4} \text{ В}$ ?

14. в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,5 \text{ Тл}$  вращается с частотой  $\nu=10 \text{ об/с}$  стержень длиной  $l=20 \text{ см}$ . Ось вращения параллельна линиям и проходит через один из концов стержня перпендикулярно его оси. Определить разность потенциалов  $U$  на концах стержня.

15. Рамка, содержащая  $N=10$  витков, площадью  $S=5 \text{ см}^2$ , присоединена к баллистическому гальванометру с внутренним сопротивлением  $R=58 \text{ Ом}$  и помещена между полюсами электромагнита так, что линии магнитной индукции перпендикулярны к плоскости рамки. Определить индукцию поля  $B$ , создаваемую электромагнитом, если при повороте рамки на  $\alpha=180^\circ$  в цепи гальванометра протекает количество электричества  $q=30 \text{ мкКл}$ . Сопротивление рамки  $R=2$

Ом. Чему равна индукция магнитного поля  $B$  между полюсами электромагнита?

16. По длинному прямому проводнику течёт ток. Вблизи проводника расположена квадратная рамка из тонкого провода сопротивлением  $R=0,02$  Ом. Проводник лежит в плоскости рамки и параллелен двум её сторонам, расстояние до которых от провода соответственно равны  $a_1=10$  см и  $a_2=20$  см. Найти силу тока в проводнике, если при его выключении через рамку протекло количество электричества  $q=693$  мкКл.

17. Металлический диск, радиус которого  $R=15$  см и плоскость которого перпендикулярна однородному магнитному полю, вращается, делая  $\nu=10$  об/с. Ось вращения диска параллельна магнитному полю и проходит через его центр. Индукция магнитного поля  $B=3$  Тл. Определить разность потенциалов, которая возникает между центром и краем диска.

18. Прямоугольная рамка со сторонами  $a=0,2$  м и  $b=0,5$  м равномерно вращается с угловой скоростью  $\omega=31,4$  с<sup>-1</sup> в однородном магнитном поле, изменяющемся синусоидально с круговой частотой  $\omega'=\omega$  и перпендикулярном оси вращения рамки. В начальный момент  $B=B_0=10^{-2}$  Тл, а плоскость рамки перпендикулярна магнитному полю. Определить амплитудное значение ЭДС, возникающей в рамке, и её круговую частоту.

19. Замкнутый тонкий алюминиевый провод массой  $m=12$  г, образующий плоский круговой виток, расположен перпендикулярно однородному магнитному полю напряжённостью  $H=36$  А/м. Какое количество электричества индуцируется в витке, если его повер-

нуть на  $\alpha=90^\circ$  так, что плоскость витка стала параллельной магнитному полю? Удельное сопротивление алюминия  $\rho=3,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , а его плотность  $\rho'=2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

20. Алюминиевый диск радиусом  $R=40 \text{ см}$  вращается вокруг вертикальной оси с частотой  $\nu=40 \text{ об/с}$ . Какова разность потенциалов между центром и краем диска, если вертикальная составляющая земного магнитного поля  $H_0=40 \text{ А/м}$ .

21. Проволочный виток радиуса  $r=0,04 \text{ см}$  и сопротивлением  $R=0,02 \text{ Ом}$  находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,3 \text{ Тл}$ . Плоскость витка составляет угол  $\alpha=40^\circ$  с линиями индукции. Какой заряд  $q$  протечёт по витку при выключении магнитного поля?

22. Рамка из провода сопротивлением  $R=0,04 \text{ Ом}$  равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,6 \text{ Тл}$ . Ось вращения лежит в плоскости рамки, перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки  $S=200 \text{ см}^2$ . Определить заряд  $q$ , который протечёт через рамку при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции от  $\alpha_1=45^\circ$  до  $\alpha_2=90^\circ$ .

23. Тонкий медный провод массой  $m=5 \text{ г}$  согнут в виде квадрата и концы его замкнуты. Квадрат помещён в однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,2 \text{ Тл}$  так, что его плоскость перпендикулярна линиям поля. Определить заряд  $q$ , который протечёт по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию.

24. Соленоид, состоящий из  $N=80$  витков и имеющий диаметр  $d=8 \text{ см}$ , находится в однородном магнитном поле, индукция которого

$B=60$  мТл. Соленоид поворачивается на  $\alpha=90^\circ$  в течение  $\Delta t=0,2$  с. Найти среднее значение ЭДС, возникающей в соленоиде, если его ось до поворота была направлена перпендикулярна полю.

25. В центре плоской круглой рамки, состоящей из  $N_1=50$  витков, радиусом  $R=20$  см каждый, расположена маленькая рамка, состоящая из  $N_2=100$  витков, площадью  $S=1$  см<sup>2</sup> каждый. Эта рамка вращается вокруг одного из диаметров первой рамки с постоянной угловой скоростью  $\omega=300$  рад/с. Найти максимальное значение возникающей ЭДС, если в обмотке первой рамки идёт ток  $I=10$  А.

26. Магнитное поле направлено вдоль оси  $y$ , а градиент его – вдоль оси  $x$ . Замкнутый контур в виде прямоугольника расположен в плоскости  $xz$  так, что одна его сторона  $a=0,5$  м параллельна оси  $z$ , а другая  $b=0,02$  м – параллельна оси  $x$ . С какой скоростью должно происходить перемещение контура вдоль оси  $x$ , чтобы в контуре индуцировалась ЭДС  $E_i=0,2$  В при градиенте магнитного поля  $dB/dx=2$  Тл/м?

27. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,1$  Тл равномерно вращается рамка, содержащая  $N=1000$  витком. Площадь рамки  $S=150$  см<sup>2</sup>. Рамка делает  $\nu=10$  об/с. Определить мгновенное значение ЭДС, соответствующее углу поворота рамки  $\alpha=30^\circ$ .

28. Рамка, имеющая форму равностороннего треугольника, помещена в однородное магнитное поле с напряжённостью  $H=6,4 \cdot 10^4$  А/м. Перпендикуляр к плоскости рамки составляет с направлением магнитного поля угол  $\alpha=30^\circ$ . Определить длину стороны рамки, если известно, что среднее значение ЭДС индукции,

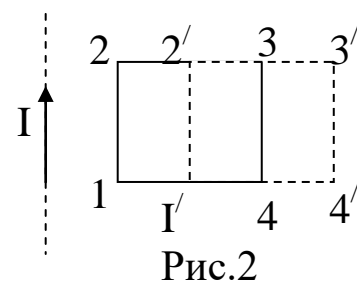


возникающий в рамке при выключении поля в течение времени  $\Delta t=0,03$  с, равно  $\varepsilon=10$  мВ.

29. Рамка, имеющая  $N=1000$  витков, площадью  $S=5$  см<sup>2</sup>, замкнута на гальванометр с сопротивлением  $R=10$  кОм. Рамка находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,01$  Тл, причём, линии поля перпендикулярны к её плоскости. Какой заряд протечёт по цепи гальванометра, если направление поля изменилось на противоположное? Считать, что индукция магнитного поля с течением времени изменялась равномерно.

30. В однородном магнитном поле, индукция которого  $B=0,1$  Тл, вращается катушка, состоящая из  $N=200$  витков. Ось вращения катушки перпендикулярна её оси и направлению магнитного поля. Период обращения катушки  $T=0,2$  с, площадь поперечного сечения катушки  $S=4$  см<sup>2</sup>. Найти максимальную ЭДС индукции во вращающейся катушке.

31. Проволочная рамка в виде квадрата, со стороной  $a$  находится в магнитном поле прямолинейного длинного проводника, по которому течёт ток с силой  $I$ . Рамка движется вправо, оставаясь в той же плоскости, что и проводник, со скоростью  $v$  (рис.2). Найти ЭДС индукции, индуцируемую в рамке, как функцию расстояния от проводника.



32. Проводник длиной  $l=0,2$  м перемещают в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,1$  Тл так, что его ось составляет угол  $\alpha=90^\circ$  с направлением поля. Как надо двигать проводник, чтобы

разность потенциалов на его концах возрастала равномерно на  $\Delta\varphi=1\text{ В}$  за  $\Delta t=1\text{ с}$ ?

33.Кусок провода длиной  $l=2\text{ м}$  складывается вдвое и его концы замыкаются. Затем провод растягивается в квадрат так, что плоскость квадрата перпендикулярна горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли, равной  $B_0=2\cdot 10^{-5}\text{ Тл}$ . Какое количество электричества пройдёт через контур, если его сопротивление  $R=1\text{ Ом}$ ?

34.В проволочное кольцо, присоединённое к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. При этом по цепи прошёл заряд  $q=50\text{ мкКл}$ . Определить изменение магнитного потока  $\Delta\Phi$  через кольцо, если сопротивление цепи гальванометра  $R=10\text{ Ом}$ ?

35.На деревянный цилиндр, длина которого  $l=0,2\text{ м}$  значительно, больше его диаметра, навиты две медные обмотки с сечением  $S=2\cdot 10^{-6}\text{ м}^2$ . Одна из обмоток замкнута накоротко. Какое количество электричества индуцируется в ней, если другую обмотку присоединить к источнику ЭДС  $\varepsilon=2\text{ В}$  с очень малым внутренним сопротивлением?

36.Катушка диаметром  $d=10\text{ см}$ , имеющая  $N=500$  витков, находится в магнитном поле. Чему равно среднее значение ЭДС индукции в этой катушке, если индукция магнитного поля увеличивается в течение  $\Delta t=0,1\text{ с}$  с  $B_1=0$  до  $B_2=2\text{ Тл}$ ?

37.Проволочная рамка расположена перпендикулярна магнитному полю, индукция которого изменяется по закону  $B=B_0(1+l^{-kt})$ , где  $B_0=0,65\text{ Тл}$ ,  $k=1\text{ с}^{-1}$ . Определить величину ЭДС, индуцируемой в контуре в момент времени  $t=2,3\text{ с}$ . Площадь рамки  $S=4\cdot 10^{-2}\text{ м}^2$ .

38. Постоянный магнит, магнитный момент которого  $P_m=0,02 \text{ A}\cdot\text{м}^2$ , длиной  $l=0,2 \text{ м}$ , движется в катушку, диаметр основания которой  $d=0,05 \text{ м}$ , имеющей обмотку из медной проволоки сечением  $S=0,5 \text{ м}^2$ . Какое количество электричества проходит по обмотке катушки при вдвигании магнита в катушку?

39. Медный обруч, имеющий массу  $m=5 \text{ кг}$ , расположен в плоскости магнитного меридиана. Какое количество электричества индуцируется в нём, если повернуть его около вертикальной оси на  $\alpha=90^\circ$ ? Горизонтальная составляющая напряжённости земного магнитного поля  $H_0=17 \text{ А/м}$ .

40. На соленоид длиной  $l$  и площадью сечения  $S$  надет проводочный виток. Соленоид имеет  $N$  витков и по нему течёт ток  $I$ . Найти среднюю ЭДС, индуцируемую в витке при выключении тока в течение малого промежутка времени  $\Delta t$ .

41. На расстоянии  $a=1 \text{ м}$  от длинного прямого проводника с током  $I=10^3 \text{ А}$  расположено кольцо радиуса  $r=1 \text{ см}$ . Кольцо расположено так, что поток, пронизывающий кольцо, максимален. Чему равно количество электричества  $q$ , которое протечёт по кольцу, если ток в проводнике будет выключен? Сопротивление кольца  $R=10 \text{ Ом}$ .

42. Замкнутый тонкий стальной провод массой  $m=39 \text{ г}$ , образующий круговой виток, расположен перпендикулярно однородному магнитному полю напряжённостью  $H=44 \text{ А/м}$ . Какое количество электричества индуцируется в витке, если его повернуть на  $\alpha=90^\circ$ , так чтобы плоскость витка стала параллельной магнитному полю? Удельное сопротивление стали  $\rho=2\cdot 10^{-5} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , а её плотность  $\rho'=7,8\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

43. К баллистическому гальванометру с внутренним сопротивлением  $r=31 \text{ Ом}$  присоединено кольцо с сопротивлением  $R=0,17 \text{ Ом}$ . На какое расстояние отклонится зайчик на шкале, если кольцо, лежащее на горизонтальной поверхности стола повернуть с одной стороны на другую? Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли  $B_0=50 \text{ мкТл}$ . Баллистическая постоянная гальванометра  $C_0=10 \text{ нКл/мм}$ .

44. Индукция магнитного поля между полюсами двухполюсного генератора  $B=0,8 \text{ Тл}$ . Ротор имеет  $N=100$  витков площадью  $S=400 \text{ см}^2$ . сколько оборотов в минуту делает якорь, если максимальное значение ЭДС индукции  $E_{im}=200 \text{ В}$ ?

45. Длина подвижного проводника  $AB$  равна  $l$ . Его сопротивление  $R$  (рис.3). Сопротивление неподвижного проводника, по которому скользит проводник  $AB$ , пренебрежимо мало. Перпендикулярно плоскости проводников приложено магнитное поле  $B$ . Какую силу нужно приложить к проводника  $AB$  для того, чтобы он двигался с постоянной скоростью  $v$ ? Система проводников находится в горизонтальной плоскости.

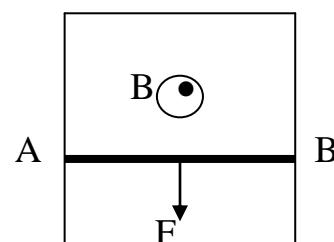


Рис 3.

46. Кусок провода длиной  $l=2 \text{ м}$  складывается вдвое и его концы замыкаются. Зачем провод растягивается в круг так, что плоскость круга перпендикулярна горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли  $B_0=2 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$ . Какое количество электричества пройдет через контур, если его сопротивление  $R=1 \text{ Ом}$ ?

47. Замкнутый тонкий медный провод массой  $m=0,016$  кг, образующий круговой виток, расположен перпендикулярно однородному магнитному полю напряжённостью  $H=45$  А/м. Какое количество электричества индуцируется в витке, если его поверхность на  $\alpha=\pi/2$  так, чтобы плоскость витка стала параллельна магнитному полю? Удельное сопротивление меди  $\rho=1,8 \cdot 10^{-9}$  Ом·м, а плотность её  $\rho'=8,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

48. Катушка из  $N=1000$  витков с площадью поперечного сечения  $S=10^{-2}$  м<sup>2</sup>, расположенная перпендикулярно магнитному полю Земли, поворачивается на  $\alpha=\pi/2$  за  $\Delta t=1$  с. В катушке при этом находится ЭДС со средним значением  $\varepsilon=0,6$  мВ. Найти величину индукции магнитного поля Земли.

49. В однородное магнитное горизонтальное поле с индукцией  $B=40$  мТл помещена H-образная конструкция из толстых медных стержней, белые стороны направлены вертикально. Плоскость конструкции перпендикулярна вектору  $B$ . По стержням свободно и без нарушения контакта скользит сверху вниз тонкая медная перемычка ( $\rho=1,75 \cdot 10^{-8}$  Ом·м,  $\rho'=8,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) (рис 4). Какой максимальной скорости она достигнет? Сопротивлением всех частей, кроме перемычки, пренебречь. Трением пренебречь.

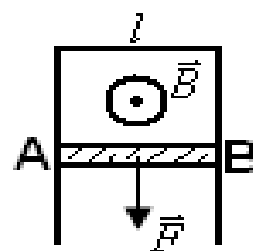


Рис. 4

50. Два металлических стержня расположены вертикально и замкнуты сверху проводником. По этим стержням без трения и нарушения контакта скользит перемычка длиной  $l=0,5$  см и массой  $m=1$  г. Вся система находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,01$  Тл, перпендикулярной плоскости рамки. Устано-

вившаяся скорость  $v = 1 \text{ м/с}$ . Найти сопротивление перемычки. Сопротивлением стержней и провода пренебречь (рис. 4).

51. Катушка длиной  $l = 0,2 \text{ м}$  и диаметром  $D = 0,03 \text{ м}$  имеет  $N = 400$  витков. По катушке идёт ток  $I = 2 \text{ А}$ . Найти: 1) индуктивность катушки, 2) магнитный поток, пронизывающий площадь её поперечного сечения.

52. Сколько витков имеет катушка, индуктивность которой  $L = 1 \text{ мГн}$ , если при силе тока  $I = 1 \text{ А}$  магнитный поток сквозь катушки  $\Phi = 2 \text{ мкВб}$ ?

53. Индуктивность  $L$  соленоида, намотанного в один слой на немагнитный каркас, равна  $L_1 = 0,5 \text{ Гн}$ . Длина соленоида  $l = 0,6 \text{ м}$ , диаметр  $D = 2 \text{ см}$ . Определить число витков  $n$ , приходящихся на единицу длины соленоида.

54. Катушка, намотанная на немагнитный каркас, имеет  $N = 250$  витков и индуктивность  $L_1 = 36 \text{ мГн}$ . Чтобы увеличить индуктивность катушки до  $L_2 = 100 \text{ мГн}$ , обмотку катушки сняли и заменили обмоткой из более тонкой проволоки с таким расчётом, чтобы длина катушки осталась прежней. Сколько витков оказалось в катушке после перемотки?

55. На один сердечник намотаны две катушки. Индуктивности катушек в отдельности соответственно равны  $L_1 = 0,5 \text{ Гн}$  и  $L_2 = 0,7 \text{ Гн}$ . Чему равна взаимная индуктивность  $L_{1,2}$ ? Рассеяния магнитного поля нет.

56. По однослойной катушке с индуктивностью  $L = 50 \text{ мГн}$  течёт ток  $I = 5 \text{ А}$ . Какое количество электричества индуцируется в катушке

при выключении тока, если длина её  $l=1$  м, а диаметр медной проволоки обмотки  $d=0,6$  мм?

57. Через катушку радиусом  $R=2$  см, содержащую  $N=500$  витков, проходит постоянный ток  $I=5$  А. Определить индуктивность катушки, если напряжённость магнитного поля в её центре  $H=10$  кА/м.

58. Обмотка соленоида с железным сердечником содержит  $N=600$  витков. Длина сердечника  $l=40$  см. Как и во сколько раз измениться индуктивность соленоида, если сила тока, протекающего по обмотке, возрастает от  $I_1=0,2$  А до  $I_2=1$  А?

59. Соленоид имеет стальной плоскостью, размагниченный сердечник объёмом  $V=500$  см<sup>3</sup>. Напряжённость магнитного поля соленоида при силе тока  $I=0,6$  А равна  $H=1000$  А/м. Определить индуктивность  $L$  соленоида.

60. Определить магнитную индукцию  $B$  в замкнутом железном сердечнике тороида длиной  $l=20,9$  см, если число ампер-витков обмотки тороида  $IN=1500$ . Найти магнитную проницаемость материала сердечника при этих условиях.

61. Железный образец помещён в магнитное поле, напряжённость которого  $H=800$  А/м. Найти магнитную проницаемость железа при этих условиях.

62. Сколько ампер-витков потребуется для создания магнитного поля  $\Phi=4,2 \cdot 10^{-4}$  Вб в соленоиде с железным сердечником длиной  $l=120$  см и площадью поперечного сечения  $S=3$  см<sup>2</sup>?

63. Длина железного сердечника тороида равна  $l=2,5$  м, длина воздушного зазора  $l_1=1$  см. Число витков в обмотке тороида  $N=1000$ . При силе тока  $I=20$  А индукция магнитного поля в воздуш-

ном зазоре равна  $B=1,6$  Тл. Определить магнитную проницаемость железного сердечника при этих условиях.

64. На стальной сердечник сечением  $S=4$  см<sup>2</sup> намотан соленоид, содержащий  $N=1000$  витков, по которым проходит ток  $I=0,5$  А. Определить индуктивность соленоида при этих условиях, если напряжённость магнитного поля внутри соленоида  $H=2$  кА/м.

65. На каркас, диаметром  $D=0,1$  м намотан соленоид, содержащий  $N=500$  витков. При подключении соленоида к аккумулятору с ЭДС  $\varepsilon=12$  В через  $t=0,01$  с ток в цепи достигает значение  $I=2$  А. Определить длину соленоида, если его сопротивление  $R=3$  Ом, а сопротивление аккумулятора и подводящих проводов можно пренебречь.

66. Соленоид, сечение  $S=10$  см<sup>2</sup>, содержит  $N=1000$  витков. Индукция  $B$  магнитного поля внутри соленоида при силе тока  $I=5$  А равна  $B=0,1$  Тл. Определить индуктивность соленоида.

67. Длинный прямой соленоид, намотанный на немагнитный каркас, имеет  $N=1000$  витков. Индуктивность соленоида  $L=3$  мГн. Какой магнитный поток  $\Phi$  создаёт соленоид при токе  $I=1$  А?

68. Из какого числа витков проволоки состоит однослойная обмотка катушки, индуктивность которой  $L=0,01$  Гн? Диаметр катушки  $D=0,04$  м, диаметр проволоки  $d=0,6$  мм. Витки плотно прилегают друг к другу.

69. Катушка, намотанная на немагнитный цилиндрический каркас, имеет  $N_1=250$  витков и индуктивность  $L_1=36$  мГн. Чтобы увеличить индуктивность катушки до  $L_2=100$  мГн, обмотку катушки сняли и заменили обмоткой из более тонкой проволоки с таким



расчётом, чтобы длина катушки оставалась прежней. Сколько витков оказалось в катушке после перемотки?

70. Две катушки намотаны на общий сердечник. Индуктивность первой катушки  $L_1=0,2 \text{ Гн}$ , второй  $L_2=0,8 \text{ Гн}$ . Сопротивление второй катушки  $R_2=600 \text{ Ом}$ . Какой ток потечёт во второй катушке, если ток  $I=0,3 \text{ А}$ , текущий в первой катушке, выключить в течение  $\Delta t=0,001 \text{ с}$ ?

71. Две длинные катушки намотаны на один сердечник. Индуктивности этих катушек  $L_1=0,69 \text{ Гн}$  и  $L_2=0,1 \text{ Гн}$ . Определить во сколько раз число витков первой катушки больше, чем второй.

72. На круглом деревянном цилиндре имеется обмотка из медной проволоки, массой  $m=0,05 \text{ кг}$ . Расстояние между крайними витками  $l=0,6 \text{ м}$  много больше диаметра. Сопротивление обмотки  $R=30 \text{ Ом}$ . Какова её индуктивность?

73. Две катушки с индуктивностями  $L_1=5 \text{ мГн}$  и  $L_2=3 \text{ мГн}$  включены последовательно и расположены так, что их магнитные поля взаимно усиливают друг друга. Индуктивность этой системы оказалась  $L_{1,2}=11 \text{ мГн}$ . Чему равна взаимная индуктивность катушки?

74. Определить индуктивность катушки с замкнутой цепью (кольцевой соленоид) при числе витков  $N=1000$ , площадь сечения магнитного провода  $S=2,5 \text{ см}^2$ , если средний диаметр кольца  $d=0,2 \text{ м}$ , сила тока  $I=1 \text{ А}$ .

75. Зная, что напряжённость однородного магнитного поля в вольфраме  $H=10 \text{ А/м}$ , определить магнитную индукцию поля, обусловленную намагничиванием.

76. По круговому контуру проходит ток величиной  $I=2$  А. Радиус контура  $R=1$  м. Виток погружён в жидкий кислород. Найти вектор намагничивания в центре витка.

77. Соленоид имеет длину  $l=0,2$  м, площадь поперечного сечения  $S=10^{-3}$  м<sup>2</sup>, число витков  $N=400$ . Соленоид находится в диамагнитной среде. Индуктивность его  $L=1$  мГн. Найти магнитную индукцию и вектор намагничивания внутри соленоида, если по нему течёт ток  $I=2$  А.

78. Индукция магнитного поля в железном стержне  $B=1,7$  Тл. Определить значение вектора намагничивания в нём, если магнитные свойства выражаются графиком  $B=f(H)$ .

79. В соленоид длиной  $l=0,1$  м, имеющий  $N=300$  витков, введён магнитный сердечник. По соленоиду проходит ток  $I=1$  А. Найти вектор намагничивания железа внутри соленоида.

80. Длина железного сердечника тороида  $l=1$  м, длина воздушного зазора  $l_1=3$  мм. Число витков в обмотке тороида  $N=2000$ . Найти напряжённость магнитного поля  $H_1$  в воздушном зазоре при силе тока  $I=1$  А в обмотке тороида.

81. Определить индуктивность соленоида, полученного при намотке провода длиной  $l=10$  м на цилиндрический стержень длиной  $l_1=0,1$  м. Относительная магнитная проницаемость железа  $\mu=400$ .

82. На общий каркас намотаны две катушки. Определить коэффициент взаимной индукции катушки, если постоянный ток  $I=5$  А в первой катушке создаёт во второй магнитный поток сцепления  $\Psi=40$  мВб.

83. На каркас диаметром  $D=0,1$  м намотан соленоид, содержащий  $N=500$  витков. При подключении соленоида к аккумулятору с ЭДС  $\varepsilon=12$  В через  $t=0,001$  с ток в цепи достигает значения  $I=2$  А. Определить длину соленоида, если его сопротивление  $R=3$  Ом, а сопротивление аккумулятора и подводных проводов пренебрежимо малы.

84. Обмотка соленоида состоит из медной проволоки с площадью сечения  $S$ . Длина соленоида  $l$ , а его сопротивление  $R$ . Найти индуктивность соленоида в двух случаях: а) сердечник отсутствует, б) сердечник – ферромагнитный с  $\mu=500$ .

85. Катушка сопротивлением  $R$  и индуктивностью  $L$  находится в переменном магнитном поле. Когда созданный этим полем поток увеличился на  $\Delta\Phi$ , ток в катушки возрос на  $\Delta I$ . Какой заряд  $q$  прошёл при этом по катушке?

86. На общий каркас намотаны две катушки. Определить коэффициент взаимной индукции катушки, если постоянный ток  $I=5$  А в первой катушке создаёт во второй магнитный поток сцепления  $\Phi=40$  мВб?

87. Соленоид содержит  $N=1000$  витков. Площадь  $S$  сечения сердечника равна  $S=10$  см<sup>2</sup>. По обмотке течёт ток, создающий поле с индукцией  $B=1,5$  Тл. Найти среднюю ЭДС индукции  $\varepsilon_i$ , возникающую в соленоиде, если ток уменьшится до нуля за время  $\Delta t=500$  мкс.

88. Обмотка соленоида с железным сердечником содержит  $N=500$  витков. Длина сердечника  $l=50$  см. Как и во сколько раз измениться

индуктивность  $L$  соленоида, если сила тока, протекающего по обмотке, возрастает то  $I_1=0,1 \text{ A}$  до  $I_2=1 \text{ A}$ ?

89. Две катушки расположены на небольшом расстоянии одна от другой. Когда сила тока в первой катушке изменяется с быстротой  $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 5 \frac{\text{A}}{\text{с}}$ , во второй катушке возникает ЭДС индукции  $\varepsilon_i = 0,1 \text{ В}$ .

Определить коэффициент взаимной индукции катушки.

90. Обмотка тороида с немагнитным сердечником имеет  $N=251$  витков. Средний диаметр  $D$  тороида равен  $D=8 \text{ см}$ , диаметр витков  $d=2 \text{ см}$ . На тороид намотана вторичная обмотка, имеющая  $N_1=100$  витков. При включении первичной обмотки в неё в течение  $\Delta t = 1 \text{ мс}$  устанавливается ток силой  $I=3 \text{ A}$ . Найти среднюю ЭДС индукции  $E_i$ , возникающую во вторичной обмотке.

91. Два соленоида с индуктивностями  $L=2,5 \text{ Гн}$  и  $L=5 \text{ Гн}$  соединены параллельно. Чему равна ЭДС самоиндукции, возникающая при изменении тока  $\Delta I=1 \text{ A/с}$ ?

92. Замкнутый железный сердечник длиной  $l=50 \text{ см}$  имеет обмотку с  $N=1000$  витков. По обмотке течёт ток силой  $I=1 \text{ A}$ . Какой ток надо пустить через обмотку, чтобы при удалении сердечника индукция осталась прежней?

93. Из какого числа витков проволоки состоит однослойная обмотка катушки, индуктивность которой  $L=1 \text{ мГн}$ ? Диаметр катушки  $D=0,04 \text{ м}$ , диаметр проволоки  $d=0,6 \text{ мм}$ . Витки плотно прилегают друг к другу.

94. Найти индуктивность катушки, имеющей  $N=400$  витков на длине  $l=0,2 \text{ м}$ . Площадь поперечного сечения катушки  $S=9 \text{ см}^2$ . Чему будет равна индуктивность катушки, если в неё ввести желез-

ный сердечник, магнитная проницаемость которого в условиях работы  $\mu=400$ ?

95. В соленоид длиной  $l=50$  см вставлен сердечник из такого сорта железа, для которого зависимость  $B=f(H)$  неизвестна. Число витков на единицу длины соленоида  $N/l=400$  м<sup>-1</sup>, площадь поперечного сечения соленоида  $S=10$  см<sup>2</sup>. Найти: 1) магнитную проницаемость сердечника при силе тока через обмотку соленоида  $I=5$  А. Известно, что при этих условиях магнитный поток, пронизывающий площадь поперечного сечения соленоида с сердечником,  $\Phi=1,6$  мВб. 2) Найти индуктивность соленоида при этих условиях.

96. Катушка с железным сердечником имеет площадь поперечного сечения  $S=20$  см<sup>2</sup>, число витков  $N=500$ . Индуктивность катушки с сердечником  $L=0,23$  Гн при силе тока через обмотку  $I=5$  А. Найти магнитную проницаемость железного сердечника в этих условиях.

97. Площадь поперечного сечения соленоида с железным сердечником  $S=10$  см<sup>2</sup>. 1) Найти магнитную проницаемость материала сердечника при таких условиях, когда магнитный поток, пронизывающий площадь поперечного сечения соленоида, соответствует этот магнитный поток, если известно, что индуктивность соленоида при этих условиях  $L=0,44$  Гн. Длина соленоида  $l=1$  м.

98. Имеется соленоид с железным сердечником длиной  $l=50$  см, площадью поперечного сечения  $S=10$  см<sup>2</sup> и числом витков  $N=1000$ . Найти индуктивность этого соленоида, если по обмотке соленоида течёт ток: 1)  $I_1=0,1$  А, 2)  $I_2=0,2$  А, 3)  $I_3=2$  А.

99. Две катушки индуктивностью  $L_1=3$  мГн и  $L_2=5$  мГн соединены последовательно так, что их магнитные поля направлены в одну

сторону. Индуктивность всей системы при этом  $L_{1,2}=11 \text{ мГн}$ . На сколько изменится индуктивность системы, если катушки переключить так, чтобы магнитные поля их были направлены навстречу друг другу?

100. Железный сердечник длиной  $l=50,2 \text{ см}$  с воздушным зазором длиной  $d_l=0,1 \text{ см}$  имеет обмотку из  $N=20$  витков. Какой ток должен протекать по этой обмотке, чтобы получить индукцию в зазоре, равную  $B=1,2 \text{ Тл}$ ?

101. Индуктивность катушки  $L=2 \text{ мГн}$ . Ток частотой  $\nu=50 \text{ Гц}$ , протекающий по катушке, изменяется по синусоидальному закону. Определить среднюю ЭДС самоиндукции  $\varepsilon_i$ . Возникающий за интервал  $\Delta t$ , в течение которого ток в катушке изменяется от минимального до максимального значения, если амплитудное значение тока  $I=10 \text{ А}$ .

102. Сила тока в катушке равномерно увеличивают при помощи реостата на  $\Delta I=0,6 \text{ А}$  в секунду. Какова индуктивность цепи  $L$ , если среднее значение возникающей в цепи ЭДС самоиндукции  $\varepsilon_i = 3 \text{ В}$ ?

103. Соленоид содержит  $N=800$  витков. Сечение сердечника (из немагнитного материала)  $S=10 \text{ см}^2$ . По обмотке течёт ток, создающий поле с индукцией  $B=8 \text{ мТл}$ . Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, которая возникает на зажимах соленоида, если ток уменьшается практически до нуля за время  $t=0,8 \text{ мс}$ .

104. По катушки индуктивностью  $L=8 \text{ мкГн}$  течёт ток силой  $I=6 \text{ А}$ . При выключении тока он изменяется практически до нуля за время  $t=0,5 \text{ мс}$ . Определить среднее значение ЭДС самоиндукции возникающей в контуре.

105. В электрической цепи, содержащей сопротивление  $R=20 \text{ Ом}$  и индуктивность  $L=0,06 \text{ Гн}$ , течёт ток силой  $I=20 \text{ А}$ . Определить силу тока в цепи через  $\Delta t=0,2 \text{ мс}$  после её размыкания.

106. По замкнутой цепи с сопротивлением  $R=20 \text{ Ом}$  течёт ток. Через  $t=8 \text{ мс}$  после размыкания цепи сила тока в ней уменьшилась в  $n=20$  раз. Определить индуктивность цепи.

107. Определить силу тока в цепи через  $t=0,01 \text{ с}$  после её размыкания. Сопротивление цепи  $R=20 \text{ Ом}$  и индуктивность  $L=0,1 \text{ Гн}$ . Сила тока до размыкания цепи  $I_0=50 \text{ А}$ .

108. Какова индуктивность цепи с сопротивлением  $R=23 \text{ Ом}$ , если через  $t=10 \text{ мс}$  после включения источника ЭДС сила тока в цепи увеличилась в  $n=10$  раз?

109. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением  $R=20 \text{ Ом}$ . По истечении времени  $t=0,1 \text{ с}$  сила тока  $I$  замыкания достигла  $0,95$  предельного значения. Определить индуктивность катушки.

110. Цепь состоит из катушки индуктивностью  $L=0,1 \text{ Гн}$  и источника тока. Источник тока отключили, не разрывая цепи. Время, по истечении которого сила тока уменьшилась до  $0,001$  первоначального значения, равно  $t=0,07 \text{ с}$ . Определить сопротивление катушки.

111. Источник тока замкнули на катушку с сопротивлением  $R=10 \text{ Ом}$  и индуктивностью  $L=1 \text{ Гн}$ . Через сколько времени сила тока замыкания достигает  $0,9$  предельного значения?

112. Сила тока в катушке равномерно увеличивает при помощи реостата на  $\Delta I=0,5 \text{ А}$  в секунду. Найти среднее значение ЭДС самоиндукции, если индуктивность катушки  $L=2 \text{ мГн}$ .

113. Катушку с ничтожно малым сопротивлением и индуктивностью  $L=3 \text{ Гн}$  подключают к источнику постоянного напряжения с ЭДС  $\varepsilon_i = 1,5 \text{ В}$ . Через сколько времени ток в катушке достигнет значения  $I=50 \text{ А}$ ? Сопротивлением источника пренебречь.

114. В электрической цепи, содержащей сопротивление  $R=10 \text{ Ом}$  и индуктивностью  $L=5 \text{ мГн}$ , течёт ток  $I=6 \text{ А}$ . Определить силу тока в этой цепи через  $t=0,6 \text{ с}$  после отключения источника тока.

115. Катушка имеет сопротивление  $R=10 \text{ Ом}$  и индуктивностью  $L=0,144 \text{ Гн}$ . Через сколько времени после выключения в катушке установится ток, равный половине установившегося?

116. ЭДС самоиндукции, возникающая в цепи с индуктивностью  $L=2 \text{ Гн}$ , изменяется с течением времени по закону  $\varepsilon = 10+4t$ . По какому закону изменяется ток в цепи?

117. В цепи рис.5  $R_1=5 \text{ Ом}$ ,  $R_2=95 \text{ Ом}$ ,  $L=0,34 \text{ Гн}$ ,  $\varepsilon=38 \text{ В}$ . Внутреннее сопротивление источника мало. Определит силу тока  $I_1$  в резисторе сопротивлением  $R_1$  в трёх случаях: а) до размыкания, б) в момент размыкания при  $t_1=0$ . в) через  $t_2=0,01 \text{ с}$  после размыкания.

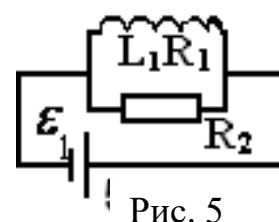


Рис. 5

118. Для измерения самоиндукции через него пропустили ток  $I=2 \text{ А}$ , а затем через баллистический гальванометр пропустили экстраток размыкания. Отклонения гальванометра было такое же как и при разрядке через него конденсатора ёмкостью  $C=1 \text{ мкФ}$ , заряженного до разно-

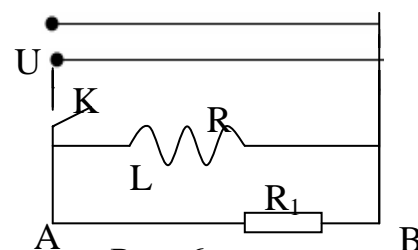


Рис. 6



сти потенциалов  $U=10$  В. Определит коэффициент самоиндукции соленоида. Сопротивление контура гальванометра  $R=10$  Ом.

119. Катушка с индуктивностью  $L=6$  Гн и омическим сопротивлением  $R=200$  Ом, безиндуктивным сопротивлением  $R_I=1000$  Ом присоединены параллельно магистрали, в которой поддерживается напряжение  $U=120$  В (рис.6). Какое напряжение  $U_I$  будет между точками А и В схемы через  $t=0,001$  с после размыкания ключа?

120. На катушку, сопротивление с индуктивностью которой равны  $R=10$  Ом и  $L=58$  мГн, подаётся напряжение. Через сколько времени ток в катушке достигнет 75% от установившегося значения?

121. Катушка с индуктивностью  $L=2$  мкГн сопротивлением  $R=1$  Ом подключена к источнику постоянного тока с ЭДС  $\varepsilon=3$  В. Параллельно катушке включено сопротивление  $R_I=2$  Ом. После того, как ток в катушке принимает установившееся значение, источник тока отключается. Найти количество теплоты, выделившееся на сопротивление  $R$  после разрыва цепи.

122. Катушка с индуктивностью  $L=250$  мГн и сопротивлением  $R=0,3$  Ом подключается к источнику постоянного напряжения. Какую часть от установившегося значения составляет сила тока через  $t_I=0,58$  с? через время  $t_I=1,16$  с?

123. Через какое время сила тока цепи с катушкой и резистором станет равна 0,3 от установившегося значения? Индуктивность катушки  $L=0,2$  мГн, сопротивление резистора  $R=3$  Ом.

124. К аккумулятору подключают лампочку с сопротивлением  $R=1,2$  Ом последовательно с дросселем. Оценить индуктивность

дросселя, если лампочка загорелась через  $t=2,5$  с после замыкания цепи.

125. ЭДС самоиндукции, возникающая в цепи с индуктивностью  $L=25$  мкГн, изменяется с течением времени по закону  $\varepsilon = \varepsilon_0 - kt$ , где  $\varepsilon_0 = 10$  В,  $k = 2$  В/с. По какому закону изменяется ток в контуре?

126. Через соленоид проходит ток, после чего экстрактор размыкания пропускают через баллистический гальванометр. Подвижная часть гальванометра отклонилась на  $n_1 = 5$  делений. Омическое сопротивление соленоида  $R_1 = 50$  Ом. Затем такой же силой ток пропустили через второй соленоид, имеющий омическое сопротивление  $R_2 = 60$  Ом. Экстрактор в этом случае вызвал отклонение подвижной системы гальванометра на  $n_2 = 8$  делений. Определить, во сколько раз коэффициент самоиндукции второго соленоида больше коэффициента самоиндукции первого соленоида. Сопротивлением гальванометра пренебречь.

127. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением  $R = 10$  Ом и индуктивностью  $L = 0,2$  Гн. Через сколько времени сила тока в цепи достигнет 50% максимального значения?

128. Через катушку, индуктивность которой  $L = 0,021$  Гн, течёт ток, изменяющийся по закону  $I = I_0 \sin \omega t$ , где  $I_0 = 5$  А,  $T = 0,02$  с. Найти зависимость от времени ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке.

129. Две катушки имеют взаимную индуктивность  $L = 5$  мГн. В первой катушке сила тока изменяется по закону  $I = I_0 \sin \omega t$ , где  $I_0 = 10$  А,  $T = 0,02$  с. Найти: 1) Зависимость от времени ЭДС индуцируемой во второй катушке, 2) наибольшее значение этой ЭДС.

130. Квадратная рамка из медной проволоки сечением  $S=1 \text{ мм}^2$  помещена в магнитное поле, индукция которого меняется по закону  $B=B_0 \sin \alpha t$ ,  $B_0=0,01 \text{ Тл}$ ,  $T=0,02 \text{ с}$ . Площадь рамки  $S=25 \text{ см}^2$ . Плоскость рамки перпендикулярна к направлению магнитного поля. Найти зависимость от времени и наибольшее значение: 1) магнитного потока, пронизывающего рамку, 2) ЭДС индукции, возникающей в рамке, 3) сила тока, текущего в рамке.

131. Контур имеет сопротивление  $R=2 \text{ Ом}$  и индуктивностью  $L=0,2 \text{ Гн}$ . Построить график зависимости нарастания силы тока в контуре от времени, прошедшего с момента включения в цепь ЭДС. По оси ординат откладывать отношение силы нарастающего тока к силе конечного тока  $I_0$ . График построить для интервала  $0 \leq t \leq 0,5 \text{ с}$  с через каждую  $0,1 \text{ с}$ .

132. Электрическая лампочка, сопротивление которой в горячем состоянии равно  $R=10 \text{ Ом}$ , подключается через дроссель к аккумулятору с ЭДС  $\varepsilon=12 \text{ В}$ . Индуктивность дросселя  $L=2 \text{ Гн}$ , сопротивление  $R=1 \text{ Ом}$ . Через сколько времени после включения лампочка загорится, если она начинает заметно светить при напряжении на ней в  $6 \text{ В}$ ?

133. Имеется катушка длиной  $l=20 \text{ см}$  и диаметром  $D=2 \text{ см}$ . Обмотка катушки состоит из  $N=200$  витков медной проволоки, площадь поперечного сечения которой  $S_l=1 \text{ мм}^2$ . Катушка включена в цепь с некоторой ЭДС. При помощи переключателя ЭДС выключается, и катушка замыкается накоротко. Через сколько времени после выключения ЭДС сила тока в цепи уменьшится в два раза?

134. Имеется катушка, индуктивность которой равна  $L=0,2 \text{ Гн}$  и сопротивлением  $R=1,64 \text{ Ом}$ . Найти во сколько раз уменьшится сила

тока в катушке через  $t=0,05$  с после того, как ЭДС выключена и катушка замкнута накоротко.

135. Тонкое металлическое кольцо массой  $m$  и плотностью  $\rho$  вращается с частотой  $\nu$  в однородном магнитном поле с индукцией  $B$ . Ось вращения  $OO'$  и направление поля взаимно перпендикулярны (рис.7). Найти амплитудное значение

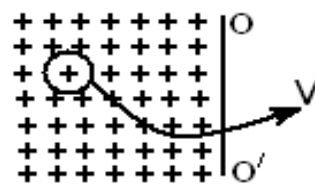


Рис. 7

значение тока в контуре, если частота вращения  $\nu = \nu_0 \sin kt$ ?

136. Плоский контур с индуктивностью  $L$  и сопротивлением  $R$  вращается с угловой скоростью  $\omega$  в однородном магнитном поле с индукцией  $B$ . Площадь контура  $S$ . Найти силу тока в контуре и мощность, необходимую для его вращения.

137. По соседству расположены два витка проволоки. По первому витку течёт ток  $I=10$  А. В цепь второго включён баллистический гальванометр. Полное сопротивление второй цепи  $R=5$  Ом. Чему равна взаимная индуктивность  $L$  витков, если при выключении тока  $I$  через гальванометр проходит заряд  $q=10$  нКл?

138. Определить мгновенное значение ЭДС самоиндукции, возникающей в цепи с индуктивностью  $L=25$  мГн, при изменении тока в ней по закону  $I=(3+4t) \cdot 10^{-1}$  А.

139. Определить индуктивность цепи, если при изменении силы тока по закону  $I=(1-0,2t)$  А в ней возникает ЭДС самоиндукции  $\varepsilon=0,02$  В.

140. В однородном магнитном поле находится катушка из сверхпроводника. Поток вектора магнитной индукции через катушку

$\Phi=0,2 \text{ мВб}$ . После выключения магнитного поля в катушке возникает ток силой  $I=20 \text{ А}$ . Чему равна индуктивность катушки?

141. На картонный цилиндр длиной  $l=60 \text{ см}$  и диаметром  $D=5 \text{ см}$  навито  $N=1200$  витков медного провода. По ней течёт ток  $I=500 \text{ мА}$ . При выключении он падает до нуля за  $t=10^{-4} \text{ с}$ . Предполагается, что сила тока убывает линейно. Найти ЭДС самоиндукции.

142. К аккумулятору подключают лампочку сопротивлением  $R=1,2 \text{ Ом}$  последовательно с дросселем. Оценить его индуктивность, если лампочка ярко загорается через  $t=2,5 \text{ с}$  при замыкании цепи.

143. Соленоид намотан на картонный каркас диаметром  $D=0,1 \text{ м}$ , длиной  $l=0,57 \text{ м}$  и содержит  $N=500$  витков. Сопротивление его  $R=3 \text{ Ом}$ . Через сколько времени при подключении его к источнику ЭДС  $\varepsilon=12 \text{ В}$  ток в цепи достигнет значения  $I=2 \text{ А}$ ?

144. Дроссель с индуктивностью  $L=8 \text{ Гн}$  и омическим сопротивлением  $R=40 \text{ Ом}$  и лампа с сопротивлением  $R_l=200 \text{ Ом}$  соединены параллельно и подключены к источнику ЭДС  $\varepsilon=120 \text{ В}$  через ключ. Определить разность потенциалов на зажимах дросселя при  $t=0,01 \text{ с}$  после размыкания цепи.

145. На соленоид длиной  $l=144 \text{ см}$  и диаметром  $D=5 \text{ см}$  надет проволочный виток. Соленоид имеет  $N=320$  витков, и по нему идёт ток  $I=3 \text{ А}$ . Какая средняя ЭДС индуцируется в надетом на соленоид витке, когда ток в соленоиде выключается в течение  $\Delta t=0,001 \text{ с}$ ?

146. К источнику тока с внутренним сопротивлением  $R=2 \text{ Ом}$  подключают катушку индуктивностью  $L=0,5 \text{ Гн}$  и сопротивлением  $R=8 \text{ Ом}$ . Найти время, в течение которого ток в катушке, нарастая, достигнет значения отличного от максимального на 1%.

147. По замкнутой цепи с сопротивлением  $R=20 \text{ Ом}$ , течёт ток. Через  $t=8 \text{ мс}$  после размыкания сила тока в ней уменьшается в  $n=20$  раз. Чему равна индуктивность цепи?

148. Катушку с ничтожно малым сопротивлением и индуктивностью  $L=2 \text{ Гн}$  присоединяют к источнику тока с ЭДС  $E=15 \text{ В}$  и ничтожно малым внутренним сопротивлением. Через какое время сила тока в катушке достигнет  $I=50 \text{ А}$ ?

149. Соленоид диаметром  $D=10 \text{ см}$  и длиной  $l=60 \text{ см}$  имеет  $N=1000$  витков. Сила тока в нём равномерно возрастает на  $\Delta I=0,2 \text{ А}$  за  $\Delta t=1 \text{ с}$ . На соленоид надето кольцо из медной проволоки, имеющей площадь поперечного сечения  $S=2 \text{ мм}^2$ . Найти силу индукционного тока, возникшего в кольце.

150. В катушке без сердечника за  $\Delta t=0,01 \text{ с}$  ток возрос от  $I_1=1 \text{ А}$  до  $I_2=2 \text{ А}$ . При этом в катушке возникла ЭДС самоиндукции  $\varepsilon=20 \text{ В}$ . Определить величину потока магнитной индукции в конце процесса равномерного нарастания тока и изменение энергии магнитного поля катушки.

151. Энергия магнитного поля железного кольца, на которое намотано на один слой  $N=200$  витков, равна  $W=0,15 \text{ Дж}$ . При какой силе тока магнитный поток в железе равен  $\Phi=6 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$ ?

152. На стержень из немагнитного материала длиной  $l=50 \text{ см}$  и сечением  $S=2 \text{ см}^2$  намотан в один слой провод так, что на каждый сантиметр длины стержня приходится  $n=20$  витков. Определить энергию  $W$  магнитного поля внутри соленоида, если сила тока в обмотке  $I=0,5 \text{ А}$ .

153. Соленоид с сердечником из немагнитного сердечника  $N=1200$  витков провода, плотно прилегающих друг к другу. При силе тока  $I=4$  А магнитный поток равен  $\Phi=6$  мкВб. Определить энергию магнитного поля соленоида.

154. Определить объёмную плотность энергии магнитного поля соленоида, по которому течёт ток  $I=2$  А. Обмотка соленоида содержит  $N=20$  витков на каждый сантиметр длины. Сердечник выполнен из немагнитного материала.

155. Магнитное поле в катушки с индуктивностью  $L=95$  мГн обладает энергией  $W=0,192$  Дж. Чему равна сила тока в катушке?

156. Обмотка замкнутого кольцевого соленоида, намотанного на немагнитный каркас, содержит  $n=10$  витков на каждый сантиметр длины. Определить плотность энергии поля при силе тока  $I=12$  А.

157. Определить энергию магнитного поля в соленоиде длиной  $l=0,5$  м, сечением  $S=20$  см<sup>2</sup>, содержащем  $N=500$  витков при силе тока  $I=3$  А. Сердечник немагнитный.

158. Индуктивность  $L$  соленоида длиной  $l=0,6$  м и площадью поперечного сечения  $S=4$  см<sup>2</sup> равна  $L=4$  мкГн. При какой силе тока объёмная энергия магнитного поля внутри соленоида  $\omega=2$  мДж/м<sup>3</sup>?

159. Железный сердечник, имеющий форму кольца с квадратным сечением, несёт на себе обмотку из  $N=1000$  витков. Внутренний радиус кольца  $r=0,2$  м, внешний  $R=0,25$  м. Определить энергию  $W$ , запасённую в сердечнике в том случае, когда по обмотке течёт ток  $I=1,26$  А. Определение произвести приближенно, полагая напряжённость поля по всему сечению сердечника одинаковой и равной значению  $H$  в центре сечения.

160. Определить энергию магнитного поля, если по петле из двух проводов идёт ток силой  $I=8$  А. Диаметр проводов  $d=1$  мм, расстояние между осями проводов  $a=2$  см. Длина петли  $l=1500$  м.

161. Определить ЭДС самоиндукции в неподвижной катушке, в которой за  $t=0,2$  с энергия магнитного поля равномерно уменьшилась в 4 раза. Индуктивность катушки  $L=0,16$  Гн, а первоначальный ток катушки  $I=8$  А.

162. Обмотка тороида содержит  $n=10$  витков на каждый сантиметр длины. Сердечник немагнитный. При какой силе тока  $I$  плотность энергии магнитного поля  $\omega=1$  Дж/м<sup>3</sup>?

163. Индуктивность катушки (без сердечника)  $L=0,1$  Гн. При какой силе тока  $I$  энергия магнитного поля  $W=10^{-4}$  Дж?

164. Найти плотность энергии магнитного поля в железном сердечнике соленоида, если напряжённость намагничивающего поля  $H=1600$  А/м.

165. На железное кольцо намотано в один слой  $N=200$  витков. Чему равна энергия магнитного поля, если при токе  $I=2,5$  А магнитный поток в железе  $\Phi=0,6$  мВб?

166. Обмотка электромагнита имеет сопротивление  $R=10$  Ом и индуктивность  $L=0,2$  Гн и находится под постоянным напряжением. В течение какого промежутка времени  $t$  в обмотке выделится количество теплоты, равное энергии магнитного поля в сердечнике?

167. Определить энергию магнитного поля в железном сердечнике объёмом  $V=400$  см<sup>3</sup>, если индукция магнитного поля  $B=1,2$  Тл.

168. Поток магнитной индукции через контур равномерно возрастает в течение  $t_1=2$  с от нуля до  $\Phi_2=2 \cdot 10^{-2}$  Вб, а затем равномерно



убывает до нуля в течение  $t_2=4$  с. Найти увеличение внутренней энергии проводника за это время, не принимая теплообмен с окружающей средой. Сопротивление контура  $R=0,01$  Ом.

169. Определить плотность энергии магнитного поля в центре кольцевого проводника, имеющего радиус  $R=25$  см и содержит  $N=100$  витков. Сила тока в проводнике  $I=2$  А.

170. При некоторой силе тока плотность энергии магнитного поля соленоида (без сердечника)  $w=0,2$  Дж/м<sup>3</sup>. Во сколько раз увеличиться плотность энергии поля при той же силе тока, если соленоид будет иметь железный сердечник?

171. Напряжённость магнитного поля тороида со стальным сердечником возросла от  $H_1=200$  А/м до  $H_2=800$  А/м. Определить, во сколько раз изменилась объёмная плотность энергии магнитного поля?

172. Железный сердечник, имеющий форму тора с квадратным сечением, несёт на себе обмотку из  $N=1000$  витков. Внутренний радиус тора  $r=20$  см, а внешний  $R=25$  см. Определить энергию, запасённую в сердечнике в том случае, когда по обмотке течёт ток  $I=1,26$  А. Напряжённость поля считать одинаковой по всему сечению тороида и равной её значению в центре сечения.

173. На катушки с сопротивлением  $R=8,2$  Ом и индуктивностью  $L=25$  мГн поддерживается постоянное напряжение  $U=55$  В. Сколько энергии выделится при размыкании цепи катушки? Какая средняя ЭДС самоиндукции появится при этом в катушке, если энергия выделяется в течение  $t=12$  мс?

174. Индукция магнитного поля тороида со стальным сердечником возросла от  $B_1=0,5 \text{ Тл}$  до  $B_2=1 \text{ Тл}$ . Найти во сколько раз изменилось объёмная плотность энергии магнитного поля.

175. Диаметр тороида по средней линии  $d=50 \text{ см}$ . Тороид содержит  $N=2000$  витков и имеет площадь сечения  $S=20 \text{ см}^2$ . Вычислить энергию магнитного поля тороида при силе тока  $I=5 \text{ А}$ . Считать магнитное поле тороида однородным. Сердечник выполнен из немагнитного материала.

176. По проводнику, изогнутому в виде кольца радиусом  $R=20 \text{ см}$ , содержащему  $N=500$  витков, течёт ток силой  $I=1 \text{ А}$ . Определить объёмную плотность энергии магнитного поля в центре кольца.

177. При какой силе тока в прямолинейном бесконечно длинном проводнике плотность энергии магнитного поля на расстоянии  $r=1 \text{ см}$  от проводника равна  $w=0,1 \text{ Дж/м}^3$ ?

178. Определить объёмную плотность энергии магнитного поля в стальном сердечнике, если индукция магнитного поля  $B=0,5 \text{ Тл}$ .

179. Катушка с индуктивностью  $L=5 \text{ мкГн}$  и сопротивлением  $R=2 \text{ Ом}$  подключена к источнику постоянного тока с ЭДС  $\mathcal{E}=5 \text{ В}$ . Параллельно катушке включено сопротивление  $R=4 \text{ Ом}$ . После того, как ток в катушке достигает установившегося значения, источник тока отключается выключателем. Найти количество теплоты  $Q$ , выделившееся в сопротивлении  $R$  после разрыва цепи. Сопротивлением источника тока и соединительных проводов пренебречь.

180. Тороидальная катушка без сердечника состоит из двух обмоток, навитых одна поверх другой, по тысяче витков каждая. Обмотки соединены последовательно, магнитные поля их направлены в

одну сторону. Найти магнитную энергию такой катушки, если ток в обмотке  $I=5$  А, средняя длина тороида  $l=25$  см, поперечное сечение  $S=1$  см<sup>2</sup>.

181. В соленоиде без сердечника, содержащем  $N=400$  витков, намотанных на картонный каркас в виде цилиндра радиусом  $R=2$  см и длиной  $l=0,4$  м, ток изменяется по закону  $I=0,2t$  [А]. Определить энергию магнитного поля в конце десятой секунды и ЭДС самоиндукции в катушке.

182. Через катушку, индуктивность которой  $L=0,021$  Гн, течёт ток изменяющийся со временем по закону  $I=I_0 \sin \alpha t$ , где  $I_0=5$  А,  $T=0,02$  с. Найти зависимость от времени энергии магнитного поля катушки.

183. На полый картонный цилиндр длиной  $l=50$  см, диаметром  $D=3$  см навита в два ряда медная проволока диаметром  $d=1$  мм. Полученная таким образом катушка подключена к гальванометру элементу  $\varepsilon=1,4$  В. Чему равна начальная магнитная энергия катушки?

184. Энергия магнитного поля тороидальной катушки без сердечника, состоящей из двух обмоток по тысяче витков каждая, навитых одна на другой, равна  $W=25$  мДж. Обмотки соединены последовательно. Чему равна сила тока, текущего по обмотке, если средняя длина тороида  $l=25$  см и поперечное сечение  $S=1$  см<sup>2</sup>?

185. По соленоиду течёт ток  $I=5$  А. Длина соленоида  $l=1$  м, число витков  $N=500$ , площадь поперечного сечения  $S=50$  см<sup>2</sup>. В соленоид вставлен железный сердечник. Найти энергию магнитного поля соленоида.

186. Из провода диаметром  $d=4$  мм сделана прямоугольная рамка, стороны которой  $a=3$  см и  $b=3$  м. Чему равна индуктивность рамки и

энергии магнитного поля? Магнитную проницаемость считать  $\mu=1$ . Поле внутри провода пренебречь.

187. В соленоиде при токе  $I$  энергия магнитного поля  $W$ . Сопротивление обмотки  $R$ . Какой заряд пройдёт по обмотке при равномерном уменьшении тока в  $n=3$  раза? На сколько изменится энергия магнитного поля?

188. Определить индуктивность соленоида, в котором при равномерном увеличении тока на  $\Delta I=2\text{ А}$  энергия магнитного поля увеличивается на  $\Delta W=10^{-2}\text{ Дж}$ . Средняя сила тока в цепи  $I=5\text{ А}$ .

189. По обмотке электромагнита, сопротивление которой  $R=10\text{ Ом}$  и индуктивностью  $L=2\text{ Гн}$ , течёт ток с силой  $I=2\text{ А}$ . Через какое время после отключения источника, энергия магнитного поля будет равна  $W=10\text{ мДж}$ ?

190. Энергия магнитного поля тороидальной катушки (без сердечника), состоящей из двух одинаковых обмоток, равна  $W=25\text{ мДж}$ . Обмотки соединены последовательно. Магнитные поля их направлены в одну сторону. Ток в обмотке  $I=5\text{ А}$ . Длина тороида (по средней линии)  $l=25\text{ см}$ , поперечное сечение  $S=1\text{ см}^2$ . Сколько витков имеет каждая катушка?

191. Во сколько раз изменится плотность энергии магнитного поля соленоида при внесении в него железного сердечника, если величина тока не меняется, а плотность энергии поля при отсутствии сердечника  $w=0,5\text{ Дж/м}^3$ ?

192. Тороид с железным сердечником длиной  $l=20\text{ см}$  имеет воздушный зазор длиной  $l=0,01\text{ м}$ . По обмотке тороида, содержащей  $N=500$  витков, течёт ток  $I=3\text{ А}$ . Определить плотность энергии маг-

нитного поля в сердечнике, если его относительная магнитная проницаемость  $\mu=580$ .

193. Сколько ампер-витков потребуется для того, чтобы внутри соленоида малого диаметра и длиной  $l=0,3$  м объёмная плотность энергии магнитного поля была  $w=1,75$  Дж/м<sup>3</sup>?

194. Ток в катушки уменьшился с  $I_1=12$  А до  $I_2=8$  А. При этом энергия магнитного поля катушки уменьшилась на  $\Delta W=2$  Дж. Какова индуктивность катушки и энергия её магнитного поля в обоих случаях?

195. На длинный железный сердечник радиусом  $R=1$  см намотан однослойный соленоид, содержащий  $N=10$  витков на каждый сантиметр длины. Обмотка выполнена из медного провода сечением  $S=1$  мм<sup>2</sup>. Через сколько времени в обмотке соленоида выделиться количество теплоты, равное энергии магнитного поля в сердечнике, если она подключена к источнику постоянного напряжения? Относительную магнитную проницаемость сердечника принять равной  $\mu=400$ .

196. Размеры катушки изменили так, что её индуктивность увеличилась в  $n=2$  раза. Ток в катушки уменьшили в два раза. Как изменилась энергия магнитного поля катушки?

197. По соленоиду течёт ток  $I=5$  А. Длина соленоида  $l=1$  м, число витков  $N=500$ , площадь поперечного сечения  $S=50$  см<sup>2</sup>. В соленоид вставлен железный сердечник. Найти энергию магнитного поля соленоида.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида. Ўзбекистон Республикаси Президентининг ПФ-4947- сон фармони. Тошкент, 2017 йил 7 феврал.
2. И. В.Савельев, Курс физики. М.: КноРус, 2009, т. 2
3. П.А.Типлер, Р.А.Ллуэллин, Современная физика (Лучший зарубежный учебник в двух томах).М.: Мир, 2007, С.496 (1 том)
4. П.А.Типлер, Р.А.Ллуэллин, Современная физика (Лучший зарубежный учебник в двух томах). М.: Мир, 2007, С.416 (2 том).
5. Т.И.Трофимова, Курс физики, М.:Высшая школа, 1999, С.543.
6. Т.И.Трофимова, Физика в таблицах и формулах, М.: Высшая школа 2002, С.424
7. В.М.,Гладской.,П.И.Самойленко. Сборник задач по физике М.: Дрофа, 2004.
8. К.П. Абдурахманов, О.Э. Тигай, В.С.Хамидов, Курс мультимедийных лекций по физике, 2012, С.650
9. Волькенштейн В.С., Сборник задач по общему курсу физики, Москва, 2006 г., С.318
10. В.Т.Ветрова, Физика, сборник задач, Минск, 2015 г., С.443

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Некоторые основные физические величины

Скорость света в вакууме	$c=2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Ускорение свободного падения	$g=9,81 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	$G=6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$
Электрическая постоянная	$\varepsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	$\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 1,2566 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$
Элементарный электрический заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса покоя протона	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1836 m_e$
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1839 m_e$
Атомная единица массы	$a.e.m. = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

### Удельное электрическое сопротивление проводников, $\rho$ (при $20^\circ\text{C}$ )

Проводники	$\rho, \text{ Ом} \cdot \text{м}$	Проводники	$\rho, \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Алюминий	$2,7 \cdot 10^{-8}$	Никель	$8,7 \cdot 10^{-8}$
Вольфрам	$5,5 \cdot 10^{-8}$	Олово	$1,2 \cdot 10^{-7}$
Железо	$1,0 \cdot 10^{-7}$	Платина	$1,07 \cdot 10^{-7}$
Золото	$2,2 \cdot 10^{-8}$	Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Магний	$4,4 \cdot 10^{-8}$	Свинец	$2,08 \cdot 10^{-7}$
Медь	$1,72 \cdot 10^{-8}$	Цинк	$5,9 \cdot 10^{-8}$
Молибден	$5,4 \cdot 10^{-8}$	Ртуть	$9,6 \cdot 10^{-7}$

### Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$ (относительная)

Вода	81	Парафин	2
Глицерин	39.1	Слюда	7
Керосин	2	Стекло	7
Ацетон	21.4	Эбонит	3
Воздух	1	Фарфор	5.5

### Плотность некоторых веществ

Твердые тела		Жидкости (при 20 <sup>0</sup> С)		Газы(при нормальных условиях)	
Вещество	$\rho$ , 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	Вещество	$\rho$ , 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	Вещество	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Алюминий	2,7	Бензин	0,7	Водород	0,09
Лед	0,9	Вода	1,0	Гелий	0,18
Медь	8,9	Керосин	0,80	Азот	1,25
Нихром	8,4	Нефть	0,80	Кислород	1,47
Олово	7,3	Ртуть	13,6	Воздух	1,29
Свинец	11,3	Спирт	0,79	Водяной пар(100 <sup>0</sup> С)	0,88
Серебро	10,5	Ацетон	0,8	Двуокись углерода	1,98
Сталь	7,8	Бензол	0,88	Окись углерода	1,25
Хром	7,2	Глицерин	1,26	Пропан	2,2
Вольфрам	19,1	Дизельное топливо	1,0	Хлор	3,22
Железо	7,8	Морская вода	1,02	Аммиак	0,77
Латунь	8,6	Молоко	1,03		
Цинк	7,1	Эфир	0,72		
Магний	1,74				



## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
<b>ЭЛЕКТРОСТАТИКА</b>	
<b>Тема 3.1</b>	
Напряженность электростатического поля .....	6
Таблица вариантов .....	21
<b>Тема 3.2</b>	
Диэлектрики и проводники в электрическом поле. Энергия электрического поля.....	56
Таблица вариантов .....	70
<b>Тема 3.3</b>	
Постоянный электрический ток .....	100
Таблица вариантов .....	107
<b>МАГНЕТИЗМ</b>	
<b>Тема 3.4</b>	
Законы электромагнетизма.....	133
Таблица вариантов .....	149
<b>Тема 3.5</b>	
Электромагнитная индукция и ее проявления. Магнитное поле в веществе. Энергия магнитного поля.....	188
Таблица вариантов .....	202
<b>Литература</b> .....	238
<b>Приложение</b> .....	239

Методические пособие к практическим занятиям по физике.

«Электромагнетизм». Часть 3.

Предназначена для студентов  
Ташкентского университета  
информационных технологий имени  
Мухаммада ал-Хоразмий

Рассмотрено и рекомендовано к  
публикации на заседании кафедры  
«Физика», (протокол № 35 от 17.04.2019  
года).

Рассмотрено и рекомендовано к публика-  
ции на заседании факультета ТТ  
(протокол № 8 от 23.04.2019 года).

Рассмотрено и рекомендовано к публика-  
ции на заседании Совета ТАТУ имени  
Мухаммада ал-Хоразмий,  
(протокол №11(123) от 23.05.2019 года).

**Составители:**

к.ф.-м.н, доц. А.С.Ганиев  
к.х.н, доц. Х.Н.Бахронов  
асс. И.О.Джуманиязов

**Рецензенты:**

проф. С.А.Ражапов  
доц. Б.Ибрагимов

**Ответственный редактор:**

доц. Х.М.Холмедов