



Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Физика»

А. И. Кравченко, П. Д. Петрашенко, П. А. Хило

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по курсу «Физика»**

**для студентов технических специальностей
дневной формы обучения**

В двух частях

Часть 2

Гомель 2011

УДК 537(075.8)
ББК 22.33я73
К78

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 22.02.2011 г.)*

Рецензент: канд. физ.-мат. наук, доц. каф. «Высшая математика»
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. И. Лашкевич*

Кравченко, А. И.
К78 Электричество и магнетизм : лаборатор. практикум по курсу «Физика» для студентов техн. специальностей днев. формы обучения : в 2 ч. Ч. 2 / А. И. Кравченко, П. Д. Петрашенко, П. А. Хило. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 41 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит контрольные вопросы и задачи к лабораторным работам по разделу «Электричество и магнетизм», приложение и список рекомендуемой литературы.

Для студентов технических специальностей дневной формы обучения.

УДК 537(075.8)
ББК 22.33я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2011

Предисловие

Предлагаемый практикум составлен в соответствии с программой курса «Физика» для технических университетов по разделу «Электричество и магнетизм», согласно рабочей программы ГГТУ им. П.О. Сухого.

Сборник предполагает интенсификацию самостоятельной работы при подготовке к лабораторным работам.

Самостоятельная работа студентов при подготовке к лабораторным занятиям может быть разделена на четыре этапа.

- теоретическая подготовка;
- знакомство с конструкцией установки и определение ее погрешности;
- составление плана работы и подготовка таблиц для записи результатов наблюдений;
- составление отчёта о выполнении лабораторной работы.

На первом этапе студенты изучают по рекомендуемой литературе сущность тех явлений, которые будут исследоваться экспериментально, а также теоретические обоснования методов измерений и исследований.

Для закрепления теоретического материала предлагается решить самостоятельно задачи к каждой лабораторной работе.

Решение задач обсуждаются с преподавателем во время консультации или в начале занятия.

На втором этапе в лаборатории изучается конструкция предложенной установки, ее характеристики по прилагаемой технической документации, выявляются факторы, влияющие на точность измерений, приближенно определяется относительная погрешность установки и на этой основе выбирается целесообразная точность измерений отдельных физических величин.

Завершением подготовки является составление плана эксперимента. План представляет собой по существу анализ поставленной экспериментальной задачи, т.е. расчленение ее на ряд отдельных этапов. При составлении плана выясняется, какие величины измеряются прямо и какие - косвенно, вычерчиваются таблицы для записи результатов наблюдений, расчётов и их погрешностей.

На занятиях весь этот материал предьявляется преподавателю, который путем собеседования выявляет степень подготовленности студента к выполнению работы и решает вопрос о допуске к ней.

Получив допуск, студент проводит эксперимент, выполняет необходимые вычисления, строит графики, анализирует их, делает необходимые выводы и предъявляет результаты преподавателю.

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать:

1. название и цель работы;
2. перечень приборов и принадлежностей с указанием их технических характеристик;
3. необходимые расчетные формулы для искомых величин и погрешностей с пояснением обозначений;
4. план эксперимента и предварительная оценка погрешности измерений;
5. ход выполнения работы с расчленением на отдельные упражнения, где приводятся таблицы с результатами наблюдений и вычислений, графики, а также необходимые расчеты;
6. окончательные результаты измерений и выводы;
7. замечания по работе установки и предложения по ее совершенствованию, если они возникли в процессе выполнения работы.

Лабораторная работа №2-1

Изучение основных характеристик электроизмерительных приборов

Контрольные вопросы

1. Виды электроизмерительных приборов. Основные технические требования, предъявляемые к измерительным приборам. Как определить чувствительность прибора, цену деления?
2. Как определяется абсолютная погрешность при измерении электроизмерительными приборами? Что называется приведенной погрешностью прибора?
3. По какому принципу классифицируются электроизмерительные приборы непосредственной оценки?
4. Для каких целей используются многопредельные приборы? Каким образом проводятся измерения с помощью этих приборов?
5. Какие приборы входят в электродинамическую и электромагнитную системы?
6. Устройство и принцип действия электродинамических приборов.
7. Устройство и принцип действия приборов электромагнитной системы.
8. Устройство и принцип действия магнитоэлектрических приборов. Почему приборы магнитоэлектрической системы работоспособны только на постоянном токе?
9. Назначение гальванометров и амперметров и их включение в цепь электрического тока.
10. Назначение вольтметров и их включение в цепь электрического тока.
11. Как расширить пределы измерения электроизмерительных приборов? Шунт. Добавочное сопротивление.
12. Назначение реостатов и их включение в цепь электрического тока.
13. Назначение потенциометров. Каким образом реостат включают в цепь электрического тока при использовании его в качестве потенциометра?
14. Как устроены магазины сопротивления их назначение и включение в цепь электрического тока?

Задачи для самостоятельного решения

1. Во сколько раз увеличится верхний предел шкалы вольтметра с сопротивлением 1кОм , если к нему последовательно присоединить добавочное сопротивление 9кОм ?
2. Амперметр с сопротивлением $r = 0,02\text{ Ом}$ рассчитан на измерение силы тока до $I = 1\text{ А}$. Каким должно быть сопротивление шунта, чтобы этим прибором можно было измерить ток силой до $I_1 = 10\text{ А}$.
3. Какое добавочное сопротивление надо включить последовательно с лампочкой, рассчитанной на напряжение $U = 120\text{ В}$ и мощность $N = 60\text{ Вт}$, чтобы она давала нормальный накал при напряжении $U = 220\text{ В}$? Сколько метров проволоки из нихрома диаметром $d = 0,5\text{ мм}$ понадобится на изготовление такого сопротивления?
4. На школьном демонстрационном гальванометре указано сопротивление прибора $R = 2\text{ Ом}$ и сила тока, вызывающего отклонение стрелки на одно деление, $I = 5\text{ мА}$. Вся шкала имеет 10 делений. Каковы сопротивления приложенных двух шунтов, делающих прибор амперметром с пределами измерения $I = 1\text{ А}$ и $I = 2\text{ А}$?
5. Гальванометр имеет сопротивление $R\text{ г Ом}$, и при силе тока $I\text{ г}$ стрелка отклоняется на всю шкалу. Резистор какого сопротивления надо подключить, чтобы прибор можно было использовать как вольтметр для измерения напряжения до $U\text{ Вольт}$? Шунт с каким сопротивлением надо подключить к этому гальванометру, чтобы его можно было использовать как миллиамперметр для измерения силы тока до $I\text{ Ампер}$?
6. Гальванометр имеет сопротивление $R = 1500\text{ Ом}$, и при силе тока $I = 0,03\text{ мА}$ стрелка отклоняется на всю шкалу. Резистор с каким сопротивлением надо подключить, чтобы прибор можно было использовать как вольтметр для измерения напряжения до $U = 500\text{ В}$? Шунт с каким сопротивлением надо подключить к этому гальванометру, чтобы его можно было использовать как миллиамперметр для измерения силы тока до $I = 150\text{ А}$?
7. Амперметр сопротивлением $0,09\text{ Ом}$ необходимо применить для измерения токов, сила которых в 10 раз превышает предел измерения амперметра. Определить сопротивление шунта, который следует подключить к амперметру.
8. Вольтметр, рассчитанный на измерения напряжение до $U = 10\text{ В}$, имеет внутреннее сопротивление до $r = 400\text{ Ом}$. Какое добавочное со-

противление нужно подключить к вольтметру, чтобы измерить напряжение 100В?

9. Вольтметр, соединенный последовательно с резистором 30кОм, при подключении к источнику тока напряжением 120В показал 20В. Определите сопротивление вольтметра.

10. Замкнутая цепь состоит из реостата. В цепи течет ток 0,5А. Если сопротивление реостата уменьшить в 4 раза, то ток возрастет в 2 раза. Какой ток будет течь в цепи, если сопротивление реостата уменьшить до нуля?

Лабораторная работа №2-2

Определение диэлектрической проницаемости твёрдого полярного диэлектрика

Контрольные вопросы

1. Полярные и неполярные молекулы. Поляризация диэлектриков.
2. Электрическое поле в диэлектриках. Теорема Гаусса для вектора электрической индукции. Условия на границе раздела двух диэлектрических сред.
3. Расчёт электростатических полей при наличии диэлектриков.
4. Поляризация деформационная и ориентационная.
5. Сегнетоэлектрики и их свойства. Пьезоэлектрики.

Задачи для самостоятельного решения

1. Шарик радиусом $R=5\text{ см}$, имеющий заряд $q_1=210\text{ нКл}$, находится внутри диэлектрика диэлектрической проницаемостью $\epsilon=3$. Определить модуль и знак поляризованного заряда, возникающего в диэлектрике у поверхности заряженного шарика и экранирующего своим полем действие заряда шарика, а также плотность распределения поляризованного заряда.
2. Металлический шарик радиусом 2 см , имеющий заряд 12 нКл , окружен слоем диэлектрика толщиной 7 см диэлектрической проницаемостью $\epsilon=3$. Найти напряженность поля в точках, лежащих на расстояниях 5 и 11 см от центра шарика. Построить график зависимости напряженности поля от расстояния до центра шарика.
3. Между обкладками плоского конденсатора, заряженного до напряжения $U=400\text{ В}$, помещена диэлектрическая пластина толщиной $d=1,2\text{ см}$ и диэлектрической проницаемостью $\epsilon=3$. Найти: 1) поверхностную плотность свободных зарядов на обкладках конденсатора; 2) поверхностную плотность связанных зарядов (зарядов поляризации) на пластине.
4. Заряд $q=0,4\text{ мкКл}$ равномерно распределен по объему шарика радиусом $R=3,0\text{ см}$. Найти напряженность, электростатическую индукцию и потенциал поля на расстояниях $r_1=2,0\text{ см}$ и $r_2=4,0\text{ см}$ от центра шарика. Построить график зависимости напряженности и потенциала поля от расстояния до центра шарика. Диэлектрическая проницаемость материала шарика $\epsilon=3$.

5. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено слюдой ($\epsilon = 7$). Площадь пластин конденсатора составляет 50 см^2 . Определите поверхностную плотность связанных зарядов на слюде, если пластины конденсатора притягивают друг друга с силой 1 мН .
6. Расстояние между пластинами плоского конденсатора составляет $d = 1 \text{ см}$, разность потенциалов $U = 200 \text{ В}$. Определите поверхностную плотность σ связанных зарядов эбонитовой пластинки ($\epsilon = 3$), помещенной на нижнюю пластину конденсатора. Толщина пластины $d_2 = 8 \text{ мм}$.
7. Имеются две бесконечные параллельные плоскости, заряженные с плотностями $+\sigma$ и $-\sigma$. Первоначально они находятся в вакууме. Затем зазор между плоскостями заполняется однородным изотропным диэлектриком с проницаемостью ϵ . Что происходит при этом с: а) напряженностью \vec{E} поля в зазоре; б) смещением \vec{D} ; в) разностью потенциалов U между плоскостями?
8. В однородное электрическое поле с напряженностью $|\vec{E}| = 100 \text{ В/м}$ помещена бесконечная плоскопараллельная пластина из однородного и изотропного диэлектрика с проницаемостью $\epsilon = 3$. Пластина расположена перпендикулярно к \vec{E}_0 . Определить:
- напряженность поля \vec{E} и электрическое смещение \vec{D} внутри пластины;
 - поляризованность диэлектрика \vec{P} ;
 - поверхностную плотность связанных зарядов σ' .
9. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено стеклом ($\epsilon = 7$). Расстояние между пластинами $d = 5 \text{ мм}$, разность потенциалов $U = 1 \text{ кВ}$. Определите: 1) напряженность поля в стекле; 2) поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора; 3) поверхностную плотность связанных зарядов на стекле.
10. Сплошной эбонитовый шар ($\epsilon = 3$) радиусом $R = 5 \text{ см}$ заряжен равномерно с объемной плотностью $\rho = 10 \text{ нКл/м}^3$. Определите энергию электростатического поля, заключенную внутри шара.

Лабораторная работа № 2-3
Изучение электростатического поля методом
электролитических моделей

Контрольные вопросы

1. Электрический заряд. Закон сохранения заряда. Электростатическое поле. Закон Кулона.
2. Напряженность электростатического поля. Принцип суперпозиции электростатических полей. Расчёт поля равномерно заряженного стержня (нити).
3. Линии вектора напряженности. Поток вектора напряженности. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме. Применение теоремы Гаусса к расчёту поля равномерно заряженной плоскости.
4. Циркуляция вектора напряженности электростатического поля.
5. Потенциал электростатического поля. Принцип суперпозиции. Связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля.
6. Расчет потенциала и разности потенциалов в электростатическом поле.

Задачи для самостоятельного решения

1. Два точечных заряда $q_1 = 4 \text{ нКл}$ и $q_2 = -5 \text{ нКл}$ находятся друг от друга на расстоянии 60 см. Определите напряженность поля в точке, лежащей посередине между зарядами. Чему равна напряженность, если второй заряд положительный?
2. В вершинах квадрата со стороной 5 см находятся одинаковые положительные заряды $q = 8 \text{ нКл}$. Определите напряженность электростатического поля: 1) в центре квадрата; 2) в середине одной из сторон квадрата.
3. В вершинах правильного шестиугольника со стороной $a = 10 \text{ см}$ расположены точечные заряды $q, 2q, 3q, 4q, 5q, 6q$ ($q = 8 \text{ нКл}$). Найти силу \vec{F} , действующую на точечный заряд q , лежащий в плоскости шестиугольника и равноудаленный от его вершин.
4. Тонкое полукольцо радиусом $R = 10 \text{ см}$ несёт равномерно распределенный заряд с линейной плотностью $\tau = 1 \text{ нКл/м}$. В центре кривизны полукольца находится заряд $q = 20 \text{ нКл}$. Определить силу \vec{F} взаимодействия точечного заряда и заряженного полукольца.

5. Тонкий стержень длиной $l = 12$ см заряжен с линейной плотностью $\tau = 200$ нКл/м. Найти напряженность \vec{E} электрического поля в точке, находящейся на расстоянии $r = 5$ см от стержня против его середины.
6. Кольцо радиусом $r = 5$ см из тонкой проволоки равномерно заряжено с линейной плотностью $\tau = 1$ нКл/м. Определите напряженность поля на оси, проходящей через центр кольца, в точке, удаленной на расстоянии $a = 10$ см от центра кольца.
7. На некотором расстоянии от бесконечной равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью $\sigma = 14$ нКл/м² расположена круглая пластинка. Плоскость пластинки составляет с линиями напряженности угол 30° . Определите поток Φ_E вектора напряженности через эту пластинку, если ее радиус r равен 15 см.
8. Электростатическое поле создается двумя бесконечными параллельными плоскостями, заряженными равномерно разноименными зарядами с поверхностной плотностью $\sigma_1 = 1$ нКл/м² и $\sigma_2 = 2$ нКл/м². Определите напряженность электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей. Постройте график изменения напряженности поля вдоль линии, перпендикулярной плоскостям.
9. На металлической сфере радиусом 15 см находится заряд $q = 2$ нКл. Определите напряженность \vec{E} электростатического поля: 1) на расстоянии $r_1 = 10$ см от центра сферы; 2) на поверхности сферы; 3) на расстоянии $r_1 = 20$ см от центра сферы. Постройте график зависимости $E(r)$.
10. Внутренний цилиндрический проводник длинного прямолинейного коаксиального провода радиусом $R_1 = 1,5$ мм заряжен с линейной плотностью $\sigma_1 = 0,20$ нКл/м. Внешний цилиндрический проводник этого провода радиусом $R_2 = 3$ мм заряжен с линейной плотностью $\sigma_2 = -0,15$ нКл/м. Пространство между проводниками заполнено резиной ($\epsilon = 3$). Определите напряженность электростатического поля в точках, лежащих от оси провода на расстояниях: 1) $r_1 = 1$ мм; 2) $r_2 = 2$ мм; 3) $r_3 = 5$ мм.

Лабораторная работа №2-4 Изучение законов постоянного тока

Контрольные вопросы

1. Электрический ток, сила и плотность тока.
2. Закон Ома. Удельное сопротивление Вывод закона Ома в дифференциальной форме.
3. Соединение проводников.
4. Закон Джоуля – Ленца. Вывод закона в дифференциальной форме.
5. Работа и мощность тока.
6. Вывод законов Ома и Джоуля – Ленца из классических электронных предположений.
7. Сторонние силы. Электродвижущая сила, разность потенциалов и напряжение. Источники тока. Закон Ома для неоднородного участка цепи в интегральной и дифференциальной форме.
8. Правила Кирхгофа для разветвлённых цепей.

Задачи для самостоятельного решения

1. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от $I_0 = 0$ до $I = 2$ А в течение времени $\tau = 5$ с. Определите заряд, прошедший по проводнику.
2. Определить заряд q , прошедший по проводу с сопротивлением $R = 5$ Ом, при равномерном нарастании напряжения на концах провода от $U_0 = 3$ В до $U = 7$ В в течение 15 с.
3. По медному проводнику сечением $0,8$ мм² течет ток 80 мА. Найдите среднюю скорость упорядоченного движения электронов вдоль проводника, предполагая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон. Плотность меди $\rho = 8,9$ г/см³.
4. Реостат из железной проволоки, миллиамперметр и генератор тока включены последовательно. Сопротивление реостата при 0°C равно 120 Ом, сопротивление миллиамперметра 20 Ом. Миллиамперметр показывает 22 мА. Что будет показывать миллиамперметр, если реостат нагреется на 50°C ? Температурный коэффициент сопротивления железа $6 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Сопротивлением генератора пренебречь.

5. Определите ток короткого замыкания источника ЭДС, если при внешнем сопротивлении $R_1 = 50 \text{ Ом}$ ток в цепи $I_1 = 0,2 \text{ А}$, а при $R_2 = 110 \text{ Ом}$ $I_2 = 0,1 \text{ А}$.
6. Сила тока в проводнике равномерно увеличивается от $I_0 = 4 \text{ А}$ до некоторого максимального значения в течение времени $t = 5 \text{ с}$. За это время в проводнике выделилось количество теплоты $Q = 0,6 \text{ кДж}$. Определить скорость нарастания тока в проводнике, если сопротивление R его равно 3 Ом .
7. В проводнике за время $t = 15 \text{ с}$ при равномерном возрастании силы тока от $I_1 = 4 \text{ А}$ до $I_2 = 12 \text{ А}$ выделилось количество теплоты $Q = 8 \text{ кДж}$. Найти сопротивление R проводника.
8. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление r источника тока, если во внешней цепи при силе тока 4 А развивается мощность 10 Вт , а при силе тока 2 А мощность 8 Вт .
9. Найти внутреннее сопротивление генератора, если известно, что мощность, выделяемая во внешней цепи, одинакова при двух значениях внешнего сопротивления $R_1 = 5 \text{ Ом}$ и $R_2 = 0,2 \text{ Ом}$. Найти КПД генератора в каждом из этих случаев.
10. От генератора, ЭДС которого равна 110 В , требуется передать энергию на расстояние 250 м . Потребляемая мощность 1 кВт . Найти минимальное сечение медных проводящих проводов, если потери мощности в сети не должны превышать 1% .

Лабораторная работа №2-5

Исследование зависимости сопротивления металлов и полупроводников от температуры

Контрольные вопросы

1. Природа носителей заряда в металлах.
2. Классическая теория электропроводности металлов. Вывод законов Ома и Джоуля – Ленца из электронных представлений.
3. Основные положения квантовой теории металлов.
4. Квантование энергии свободных электронов в металлах. Зоны разрешённых и запрещённых значений энергии. Принцип Паули. Уровень и энергия Ферми.
5. Работа выхода.
6. Термоэлектронная эмиссия. Закон трёх – вторых. Формула Дэшмана.
7. Контактная разность потенциалов.
8. Термоэлектрические явления (явления Зеебека и Пельтье).
9. Как зависит от температуры подвижность носителей заряда в металлах и полупроводниках?
10. Почему сопротивление металлов возрастает с увеличением температуры? Что называется температурным коэффициентом сопротивления?
11. Как зависит сопротивление полупроводников от температуры?
12. Как по зависимости сопротивления полупроводника от температуры определить его энергию активации?

Задачи для самостоятельного решения

1. Оценить среднюю скорость направленного движения электронов в медном проводнике площадью поперечного сечения 1 мм^2 при силе тока 1 А .
2. Определите работу выхода электронов из металла, если плотность тока насыщения двухэлектродной лампы при температуре T_1 равна j_1 , а при температуре T_2 равна j_2 .
3. В медном проводнике площадью $S = 0,4 \text{ см}^2$ сила тока $1,5 \text{ А}$. Найти среднюю скорость дрейфа электронов, если концентрация носителей заряда $n = 8,4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

4. В серебре объемом 1 м^3 находится приблизительно $5,8 \cdot 10^{28}$ электронов проводимости. Найти среднюю скорость дрейфа электронов при наложении вдоль проводника электрического поля напряженностью $|\vec{E}| = 1 \text{ В/см}$.
5. Считая, что каждый атом меди в твердом состоянии отдает в зону проводимости один валентный электрон, найти время релаксации электрона. Удельное сопротивление меди $\rho = 17,2 \text{ нОм} \cdot \text{м}$.
6. Концентрация свободных электронов проводимости в металлах $n = 5 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$. Найти среднее значение энергии свободных электронов при абсолютном нуле.
7. Найти максимальную скорость электронов в металле при абсолютном нуле, если энергия уровня Ферми $W_F = 5 \text{ эВ}$.
8. Какова вероятность того, что электрон при температуре 27°C займет состояние, лежащее на $0,1 \text{ эВ}$ выше уровня Ферми?
9. Определите температуру, соответствующую средней кинетической энергии поступательного движения электронов, равной работе выхода из вольфрама, если поверхностный скачок потенциала для вольфрама $4,5 \text{ В}$.
10. Термопара железо - константан, постоянная которой $a = 5,3 \cdot 10^{-5} \text{ В/К}$ и последовательно включённое сопротивление $R = 15 \text{ Ом}$, замкнуты на гальванометр. Один спай термопары находится в сосуде с тающим льдом, а второй помещен в среду, температура которой не известна. Определите эту температуру, если ток, протекающий через гальванометр, $I = 2 \text{ мА}$, а внутреннее сопротивление гальванометра $r = 150 \text{ Ом}$.

Лабораторная работа №2-6
Изучение вольт - амперной характеристики
полупроводникового диода

Контрольные вопросы

1. Собственная проводимость полупроводников. Энергия активации и эффективная масса.
2. Примесные полупроводники. Примесная электронная и дырочная электропроводимость полупроводников.
3. Контакт электронного и дырочного полупроводников. Полупроводниковые диоды и триоды.
4. Объяснить ход вольтамперной характеристики диода.
5. Каковы основные преимущества и недостатки полупроводниковых диодов по сравнению с вакуумными?

Задачи для самостоятельного решения

1. В чистый кремний введена небольшая примесь бора. Пользуясь периодической системой Д. И. Менделеева, определить и объяснить тип проводимости примесного кремния.
2. Найти удельное сопротивление германиевого полупроводника р-типа при плотности дырок $\rho = 3 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$ и сравнить его с сопротивлением полупроводника n-типа при той же концентрации электронов. Подвижность дырок в германии $b_d = 0,18 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, электронов $b_{эл} = 0,38 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.
3. Какова концентрация носителей заряда чистого германия при температуре 27°C , если удельное сопротивление его $0,47 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, а подвижности электронов $b_{эл} = 0,38 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и дырок $b_d = 0,18 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$?
4. Во сколько раз изменится электропроводность чистого германия при повышении температуры от -23°C до $+27^\circ\text{C}$? Ширина запрещенной зоны для германия равна $\Delta E = 0,74 \text{ эВ}$.
5. Удельное сопротивление германия при 27°C $\rho = 0,47 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Найти концентрацию носителей заряда в германии. Принять для германия подвижности электронов и дырок $b_{эл} = 0,38 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и $b_d = 0,18 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

6. Во сколько раз концентрация носителей тока в чистом сплаве *InSb* при температуре $T_2 = 400$ К больше концентрации при $T_1 = 300$ К? Ширина запрещенной зоны для *InSb* $\Delta E = 0,18$ эВ.
7. Найти электропроводность германия, если известно, что в нем содержится индия в концентрации 10^{22} м⁻³ и сурьмы.
8. Концентрация электронов проводимости в германии при комнатной температуре составляет $n_{\text{эл}} = 3 \cdot 10^{19}$ м⁻³, плотность германия $\rho = 5,4 \cdot 10^3$ кг/м³, его молярная масса $M = 0,073$ кг/моль. Какую часть составляет число электронов проводимости $N_{\text{эл}}$ от общего числа атомов германия $N_{\text{ат}}$ в некотором объеме этого вещества? Число Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.
9. Определите ширину запрещенной зоны собственного полупроводника, если при температуре T_1 и T_2 ($T_2 > T_1$) его сопротивление соответственно равно R_1 и R_2 .
10. Германиевый образец нагревают от 0 до 17°C. Принимая ширину запрещенной зоны германия 0,72 эВ, определить, во сколько раз возрастет его удельная проводимость.

Лабораторная работа №2-7
Измерение ёмкости конденсатора с помощью баллистического гальванометра

Контрольные вопросы

1. Распределение зарядов в проводнике.
2. Явление электростатической индукции. Электроёмкость проводников.
3. Взаимная электроёмкость. Конденсатор.
4. Соединение конденсаторов .
5. Собственная энергия проводника и конденсатора.
6. Энергия электрического поля.
7. Баллистический гальванометр, устройство и принцип действия.
8. Методика измерения ёмкости конденсатора с помощью баллистического гальванометра.

Задачи для самостоятельного решения

1. Определить электроёмкость C плоского слюдяного конденсатора, площадь S пластин которого равна 100 см^2 , а расстояние между ними равно $0,1 \text{ мм}$.
2. Конденсатор электроёмкостью $C_1 = 10 \text{ мкФ}$ был заряжен до разности потенциалов $\Delta\varphi_1 = 150 \text{ В}$. К нему подсоединили параллельно незаряженный конденсатор ёмкостью $C_2 = 300 \text{ мкФ}$. Какая разность потенциалов установится после их соединения?
3. На пластинах плоского конденсатора равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью $\sigma = 0,2 \text{ мкКл/м}^2$. Расстояние d между пластинами равно 1 мм . Насколько изменится разность потенциалов на его обкладках при увеличении расстояния d между пластинами до 3 мм ?
4. В плоский конденсатор вдвинули плитку парафина толщиной $d = 1 \text{ см}$, которая вплотную прилегает к его пластинам. На сколько нужно увеличить расстояние между пластинами, чтобы получить прежнюю ёмкость?
5. Между пластинами плоского конденсатора находится плотно прилегающая стеклянная пластинка. Конденсатор заряжен до разности потенциалов $U_1 = 100 \text{ В}$. Какова будет разность потенциалов U_2 , если вытащить стеклянную пластинку из конденсатора?

6. Конденсатор электроемкостью $C_1 = 0,2 \text{ мкФ}$ был заряжен до разности потенциалов $U_1 = 320 \text{ В}$. После того как его соединили параллельно со вторым конденсатором, заряженным до разности потенциалов $U_2 = 450 \text{ В}$, напряжение U на нем изменилось до 400 В . Вычислить емкость C_2 второго конденсатора.

7. После зарядки до разности потенциалов $\Delta\varphi = 1,5 \text{ В}$ плоский воздушный конденсатор с расстоянием между пластинами $d = 2,0 \text{ см}$ и площадью пластин $S = 0,2 \text{ м}^2$ каждая, отключают от источника тока и увеличивают расстояние между пластинами вдвое. Определить работу, совершаемую против сил поля по раздвижению пластин, и плотность энергии электрического поля конденсатора до и после раздвижения пластин.

8. Плоский конденсатор с площадью пластин 20 см^2 каждая и расстоянием между ними 3 мм , заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 3$. Найти емкость конденсатора; заряд который необходимо сообщить, чтобы зарядить конденсатор до напряжения 250 В ; изменение разности потенциалов между обкладками конденсатора, если в заряженном состоянии (он отключен) из него вынуть диэлектрик; энергию поля конденсатора при наличии диэлектрика и без него.

9. Конденсатор электроемкостью $C_1 = 650 \text{ пФ}$ зарядили до разности потенциалов $U = 2 \text{ кВ}$ и отключили от источника тока. Затем к конденсатору присоединили параллельно второй, незаряженный конденсатор электроемкостью $C_2 = 400 \text{ пФ}$. Определить энергию, израсходованную на образование искры, проскочившей при соединении конденсаторов.

10. К пластинкам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов $U = 500 \text{ В}$. Площадь пластин $S = 200 \text{ см}^2$, расстояние между ними $d_1 = 1,5 \text{ мм}$. Пластины раздвинули до расстояния $d_2 = 15 \text{ мм}$. Найдите энергию W_1 и W_2 конденсатора до и после раздвижения пластин, если источник напряжения перед раздвижением: 1) отключался; 2) не отключался.

Лабораторная работа № 2-8

Измерение ёмкости конденсатора методом резонанса

Контрольные вопросы

1. Колебательный контур. Связь величин характеризующих механические и электрические колебания.
2. Свободные электромагнитные колебания в колебательном контуре. Дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний заряда в контуре. Закон изменения заряда, силы тока, напряжения на конденсаторе, энергии электрического и магнитного полей.
3. Свободные электромагнитные затухающие колебания. Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний заряда в контуре. Закон изменения заряда, силы тока, напряжения на конденсаторе, энергии электрического и магнитного полей. Логарифмический декремент затухания.
4. Вынужденные электромагнитные колебания. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний заряда в контуре. Закон изменения заряда, силы тока, напряжения на конденсаторе, энергии электрического и магнитного полей.
5. Резонанс. Амплитуда и фаза вынужденных колебаний.

Задачи для самостоятельного решения

1. Какое сопротивление может содержать колебательный контур, состоящий из катушки индуктивностью 10 мГн и конденсатора ёмкостью $4,0 \text{ мкФ}$, чтобы в нем могли еще возникнуть электромагнитные колебания?
2. Определить частоту собственных колебаний колебательного контура, который состоит из конденсатора ёмкостью $C = 2,0 \text{ мкФ}$ и катушки длиной $L = 0,10 \text{ м}$ и радиусом $R = 1,0 \text{ см}$, содержащей $N = 500$ витков, если магнитная проницаемость среды, заполняющей катушку, равна $\mu = 5$, а сопротивлением катушки можно пренебречь.
3. Колебательный контур имеет индуктивность $L = 0,5 \text{ мГн}$, электроёмкость $C = 0,1 \text{ мкФ}$ и максимальное напряжение U_{max} на зажимах, равное 300 В . Определить максимальную силу в контуре. Активное сопротивление контура ничтожно мало.

4. Катушка (без сердечника) длиной $L = 50$ см площадью S_1 сечения, равной 3 см^2 , имеет $N = 1000$ витков и соединена параллельно с конденсатором. Конденсатор состоит из двух пластин площадью $S_2 = 75 \text{ см}^2$ каждая. Расстояние d между пластинами равно 5 мм. Диэлектрик – воздух. Определить период T колебаний контура.
5. Конденсатор ёмкостью $C = 500$ пФ соединен параллельно с катушкой длиной $l = 40$ см и площадью S сечения, равной 5 см^2 . Катушка содержит $N = 1000$ витков. Сердечник немагнитный. Найти частоту собственных колебаний контура.
6. В колебательном контуре, состоящем из конденсатора и катушки индуктивностью $5,0$ мГн, происходят электромагнитные колебания, при которых максимальная сила тока 10 мА. Определить ёмкость конденсатора, если максимальная разность потенциалов на его обкладках достигает 50 В, а активным сопротивлением катушки можно пренебречь.
7. Собственные колебания в колебательном контуре протекают согласно уравнению $i = 2 \sin 100\pi t$ мА. Найти индуктивность L катушки, если ёмкость конденсатора $C = 10$ мкФ.
8. В колебательном контуре индуктивность катушки $L = 0,2$ Гн, а амплитуда силы тока $I_m = 40$ мА. Найти энергию электрического поля конденсатора $W_{\text{эл}}$ и магнитного поля катушки $W_{\text{магн}}$, в тот момент, когда мгновенное значение силы тока i будет меньше амплитудного значения силы тока I_m вдвое.
9. Определить частоту собственных колебаний колебательного контура, содержащего конденсатор ёмкостью $C = 0,50$ мкФ, если максимальная разность потенциалов на его обкладках достигает $U_m = 100$ В, а максимальная сила тока в катушке равна $I_m = 50$ мА. Активным сопротивлением катушки пренебречь.
10. Заряженный конденсатор ёмкостью $0,50$ мкФ подключили к катушке индуктивностью $5,0$ мГн. Через какое время от момента подключения катушки энергия электрического поля конденсатора станет равной энергии магнитного поля катушки? Активным сопротивлением катушки пренебречь.

Лабораторная работа № 2-9

Измерение индуктивности катушки в цепи переменного тока

Контрольные вопросы

1. Переменный электрический ток и его характеристики.
2. Закон Ома для участка цепи переменного тока с активным сопротивлением.
3. Закон Ома для участка цепи переменного тока с ёмкостным сопротивлением.
4. Закон Ома для участка цепи переменного тока с индуктивным сопротивлением.
5. Цепь переменного тока, содержащая последовательно включенные резистор, конденсатор и индуктивность.
6. Резонанс токов, резонанс напряжений.
7. Мощность, выделяемая в цепи переменного тока.

Задачи для самостоятельного решения

1. Определить эффективное значение синусоидального тока, если его среднее значение за полпериода $2,0 \text{ А}$.
2. Определить ёмкость конденсатора, который в цепи переменного тока с частотой 50 Гц оказывает такое же сопротивление, как и резистор с сопротивлением 100 Ом .
3. В сеть напряжением 220 В включены последовательно катушка индуктивностью $0,16 \text{ Гн}$ и проводник сопротивлением $2,0 \text{ Ом}$, а также конденсатор емкостью 64 мкФ . Определить силу тока в цепи, если частота его 200 Гц . При какой частоте наступит резонанс напряжений и каковы будут при этом сила тока и напряжение на зажимах катушки и конденсатора?
4. Дуга Петрова питается током промышленной частоты с эффективным напряжением 127 В . Определить индуктивность дросселя с активным сопротивлением $1,0 \text{ Ом}$, который нужно включить последовательно с дугой, чтобы получить силу тока 20 А при сопротивлении горячей дуги $2,0 \text{ Ом}$.
5. Катушка индуктивности, активным сопротивлением которой можно пренебречь, включена в цепь переменного тока стандартной частоты ($\nu = 50 \text{ Гц}$). При напряжении $U = 220 \text{ В}$ сила тока в ней $I = 2 \text{ А}$. Найти индуктивность катушки L .

6. Ртутно-кварцевая лампа ПРК-2 подключается к источнику переменного напряжения частотой 50 Гц через дроссель, рабочее напряжение на котором 180 В, а эффективная сила тока 4,0 А. Определить активное сопротивление дросселя, если его индуктивность 0,10 Гн.
7. Конденсатор ёмкостью 5 мкФ и проводник сопротивлением 150 Ом включены последовательно в цепь переменного тока с напряжением 120 В и частотой 50 Гц. Определить максимальное и эффективное значение силы тока, сдвиг фаз между током и напряжением, а также эффективную мощность.
8. Определить эффективное значение силы тока, эффективную мощность и сдвиг фаз между током и напряжением, если проводник сопротивлением 150 Ом и конденсатор емкостью 5,0 мкФ включены параллельно в цепь переменного тока напряжением 120 В и частотой 50 Гц.
9. В цепь переменного тока с эффективным напряжением 220 В подключены последовательно катушка индуктивностью 0,50 Гн и активным сопротивлением 10 Ом и конденсатор емкостью 0,50 мкФ. Определить эффективную силу тока и эффективную мощность.
10. Для определения индуктивности дросселя его сначала включают в цепь постоянного тока, а затем в цепь переменного тока частотой 50 Гц. Параллельно к дросселю подключен электродинамический вольтметр. Определить индуктивность дросселя, если при прохождении через него постоянного тока $I_1 = 3,0$ А показание вольтметра $U_1 = 16$ В, а при переменном токе $I_2 = 2,0$ А соответствующее показание $U_2 = 120$ В.

Лабораторная работа №2-10
Определение величины гиромангнитного отношения электрона

Контрольные вопросы

1. Движение частиц в электростатическом поле.
2. Отклоняющее и фокусирующее действие электрических полей. Электростатические линзы.
3. Магнитное поле движущегося заряда.
4. Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле. Магнитные линзы.
5. Отклонение движущихся заряженных частиц в совместных электрическом и магнитном полях.
6. Методы определения удельного заряда электрона: метод Томсона; метод Буша; метод Милликена.
7. Ускорители заряженных частиц.

Задачи для самостоятельного решения.

1. Электрон влетел в плоский конденсатор, имея скорость $|\vec{v}| = 15 \text{ Мм/с}$, направленную параллельно пластинам. В момент вылета из конденсатора направление скорости электрона составляло угол $\alpha = 40^\circ$ с первоначальным направлением скорости. Определить разность потенциалов $\Delta\phi$ между пластинами, если длина l пластин равна 8 см и расстояние d между ними равно 4 см.
2. Положительно заряженная частица, заряд которой равен элементарному заряду e , прошла ускоряющую разность потенциалов $U = 60 \text{ кВ}$ и летит на ядро атома лития, заряд которого равен трем элементарным зарядам. На какое наименьшее расстояние r_{\min} частица может приблизиться к ядру? Начальное расстояние частицы от ядра можно считать практически бесконечно большим, а массу частицы — пренебрежимо малой по сравнению с массой ядра.
3. Электрон, влетев в однородное магнитное поле с магнитной индукцией $|\vec{B}| = 2 \text{ мТл}$, движется по круговой орбите радиусом $R = 15 \text{ см}$. Определите магнитный момент \vec{p}_m эквивалентного кругового тока.
4. Электрон, обладая скоростью $|\vec{v}| = 1 \text{ Мм/с}$, влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 60^\circ$ к направлению поля и начинает

двигаться по спирали. Напряженность магнитного поля $|\vec{H}| = 1,5$ кА/м.

Определите: 1) шаг спирали; 2) радиус витка спирали.

5. Электрон движется в однородном магнитном поле с магнитной индукцией $|\vec{B}| = 0,2$ мТл по винтовой линии. Определите величину скорости электрона, если радиус винтовой линии $R = 3$ см, а шаг $h = 9$ см.

6. Определите, при какой скорости пучок заряженных частиц, двигаясь перпендикулярно скрещенным под прямым углом однородным электрическому ($|\vec{E}| = 100$ кВ/м) и магнитному ($|\vec{B}| = 50$ мТл) полям, не отклоняется.

7. В однородное магнитное поле с магнитной индукцией 0,2 Тл перпендикулярно линиям магнитной индукции с постоянной скоростью влетает заряженная частица. В течение 5 мкс включается электрическое поле напряженностью 0,5 кВ/м в направлении, параллельном магнитному полю. Определите шаг винтовой траектории заряженной частицы.

8. Заряженная частица прошла ускоряющую разность потенциалов 110 В и влетела в скрещенные под прямым углом электрическое ($|\vec{E}| = 12$ кВ/м) и магнитное ($|\vec{B}| = 0,11$ Тл) поля. Найти отношение заряда частицы к ее массе, если двигаясь перпендикулярно обоим полям, частица не испытывает отклонений от прямолинейной траектории.

9. Протон влетел в скрещенные под углом $\alpha = 120^\circ$ электрическое ($|\vec{E}| = 20$ кВ/м) и магнитное ($|\vec{B}| = 50$ мТл) поля. Определить ускорение протона, если его скорость ($|\vec{v}| = 0,4$ Мм/с) перпендикулярна \vec{E} и \vec{B} .

10. Протоны ускоряются в циклотроне в однородном магнитном поле с индукцией $|\vec{B}| = 1,2$ Тл. Максимальный радиус кривизны траектории протонов составляет $R = 40$ см. Определите: 1) кинетическую энергию протонов в конце ускорения; 2) минимальную частоту ускоряющего напряжения, при которой протоны ускоряются до энергий $T = 20$ МэВ.

Лабораторная работа №2-11
Изучение свойств ферромагнитного материала с помощью осциллографа

Контрольные вопросы

1. Магнитное поле в веществе. Намагниченность. Магнитная восприимчивость и относительная магнитная проницаемость вещества.
2. Закон полного тока для магнитного поля в веществе. Напряженность магнитного поля. Теорема о циркуляции вектора \vec{H} . Условия на границе раздела двух магнетиков.
3. Магнитные моменты электронов и атомов. Гиромагнитное отношение. Опыты Эйнштейна, де Гааза и Барнетта.
4. Диамагнетики. Атомный диамагнетизм.
5. Парамагнетики. Парамагнетизм свободных электронов.
6. Ферромагнетики и их свойства. Природа ферромагнетизма.

Задачи для самостоятельного решения

1. Докажите, что отношение числового значения орбитального магнитного момента $|\vec{p}_m|$ электрона к числовому значению его орбитального механического момента $|\vec{L}_e|$ (гиромагнитное отношение орбитальных моментов) одинаково для любой орбиты, по которой движется электрон.
2. Принимая, что электрон в невозбужденном атоме водорода движется по круговой орбите радиусом $r = 52,8$ пм, определите: 1) магнитный момент $|\vec{p}_m|$ эквивалентного кругового тока; 2) орбитальный механический момент $|\vec{L}_e|$ электрона; 3) исходя из полученных числовых значений, гиромагнитное отношение орбитальных моментов, доказав, что оно совпадает со значением, определяемым универсальными постоянными.
3. В однородное магнитное поле вносится длинный вольфрамовый стержень. Определите, какая доля суммарного магнитного поля в этом стержне определяется молекулярными токами.
4. Напряженность однородного магнитного поля в платине равна 5 А/м. Определите магнитную индукцию поля, создаваемого молекулярными токами, если магнитная восприимчивость платины равна $3,6 \cdot 10^4$.

5. По круговому контуру радиусом $r = 40$ см, погруженному в жидкий кислород, течет ток $I = 1$ А. Определите намагниченность в центре этого контура.
6. Соленоид, находящийся в диамагнитной среде, имеет длину 30 см. Площадь поперечного сечения $S = 15$ см² и число витков $N = 500$. Индуктивность соленоида $L = 1,5$ мГн, а сила тока, протекающего по нему, $I = 1$ А. Определите: 1) магнитную индукцию внутри соленоида; 2) намагниченность внутри соленоида.
7. Напряженность однородного магнитного поля в меди равна 10 А/м. Определите магнитную индукцию поля, создаваемого молекулярными токами, если диамагнитная восприимчивость меди $|\chi| = 8,8$.
8. По обмотке соленоида индуктивностью 1 мГн, находящегося в диамагнитной среде, течет ток 2 А. Соленоид имеет длину 20 см, площадь поперечного сечения 10 см² и 400 витков. Определите внутри соленоида: 1) магнитную индукцию; 2) намагниченность.
9. На железном сердечнике в виде тора со средним диаметром $d = 70$ мм намотана обмотка с общим числом витков $N = 600$. В сердечнике сделана узкая поперечная прорезь шириной 1,5 мм. Магнитная проницаемость железа для данных условий равна 500. Определите при силе тока через обмотку $I = 4$ А: 1) напряженность $|\vec{H}|$ магнитного поля в железе; 2) напряженность $|\vec{H}_0|$ магнитного поля в прорези.
10. Алюминиевый шарик радиусом 0,5 см помещен в однородное магнитное поле ($|\vec{B}_0| = 1$ Тл). Определите магнитный момент, приобретенный шариком, если магнитная восприимчивость алюминия $2,1 \cdot 10^{-5}$.

Лабораторная работа №2-12

Изучение процессов заряда и разряда конденсатора

Контрольные вопросы

1. Взаимная ёмкость. Конденсаторы. Соединение конденсаторов.
2. Процесс заряда конденсатора. Вывод выражения, для определения напряжения и тока в процессе заряда конденсатора.
3. Процесс разряда конденсатора. Вывод выражения, для определения напряжения и тока в процессе разряда конденсатора.
4. Время релаксации электрической цепи.

Задачи для самостоятельного решения

1. Напряженность поля заряженного плоского конденсатора с расстоянием между пластинами 6см равна 150В/см. Параллельно пластинам в конденсатор вносится незаряженная металлическая пластина толщиной 1,5см. Найти разность потенциалов между пластинами конденсатора до и после внесения металлической пластины.
2. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора ёмкостью $C_{1,2} = 100$ пФ каждый соединены в батарею последовательно. Определить насколько изменится ёмкость C батареи, если пространство между пластинами одного из конденсаторов заполнить стеклом.
3. Конденсатор состоит из двух концентрических сфер. Радиус R_1 внутренней сферы равен 10см, а внешней $R_2 = 10,3$ см. Промежуток между сферами заполнен парафином. Внутренней сфере сообщен заряд $q = 5$ мкКл. Определить разность потенциалов U между сферами.
4. Вычислить ёмкость цилиндрического конденсатора, если его длина 50см, радиус внутреннего цилиндра 4см, а внешнего 20см. Пещность между цилиндрами по всей длине конденсатора заполнена трансформаторным маслом.
5. Плоский конденсатор с площадью пластин 20 см^2 каждая и расстоянием между ними 3мм, заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 3$. Найти ёмкость конденсатора; заряд который необходимо сообщить, чтобы зарядить конденсатор до напряжения 250В; изменение разности потенциалов между обкладками конденсатора, если в заряженном состоянии (он отключен) из него вынуть диэлектрик; энергию поля конденсатора при наличии диэлектрика и без него.

6. Расстояние d между пластинами плоского конденсатора равно 1,3 см, площадь S пластин равна 20 см^2 . В пространстве между пластинами конденсатора находятся два слоя диэлектриков: слюды толщиной $d_1 = 2 \text{ мм}$ и эбонита толщиной $d_2 = 0,2 \text{ мм}$. Определить ёмкость C конденсатора.
7. Определите напряженность электростатического поля на расстоянии $d = 2 \text{ см}$ от центра воздушного сферического конденсатора, образованного двумя шарами (внутренний радиус $r_1 = 1 \text{ см}$, внешний $r_2 = 3 \text{ см}$), между которыми приложена разность потенциалов $U = 1 \text{ кВ}$.
8. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора $U = 100 \text{ В}$. Площадь каждой пластины $S = 200 \text{ см}^2$, расстояние между пластинами $d = 0,5 \text{ мм}$, пространство между ними заполнено парафином ($\epsilon = 2$). Определите силу притяжения пластин друг к другу.
9. Ёмкость C плоского конденсатора равна $1,5 \text{ мкФ}$. Расстояние d между пластинами равно 5 мм . Какова будет ёмкость C конденсатора, если на нижнюю пластину положить лист эбонита толщиной $d_1 = 3 \text{ мм}$?
10. Плоский воздушный конденсатор ёмкостью $C = 100 \text{ нФ}$ заряжен до разности потенциалов $U = 300 \text{ В}$. После отключения от источника тока расстояние между пластинами конденсатора было увеличено в пять раз. Определить: 1) разность потенциалов U на обкладках конденсатора после их раздвижения; 2) работу A внешних сил по раздвижению пластин.

Лабораторная работа № 2-13 Изучение релаксационных колебаний

Контрольные вопросы

1. Ионизация газов. Самостоятельная и несамостоятельная проводимость.
2. Несамостоятельный газовый разряд.
3. Самостоятельный газовый разряд и его типы. Газоразрядная плазма и её свойства.
4. Поясните процесс перехода от несамостоятельного газового разряда к самостоятельному газовому разряду.
5. В чем состоит физический смысл «ударной ионизации», а также «воспроизведения электронных лавин»? Почему для осуществления ударной ионизации газа ионы должны иметь значительно большую кинетическую энергию, чем электроны?
6. Объясните вольтамперную характеристику газоразрядной лампы.
7. Как работает генератор релаксационных колебаний? Период релаксационных колебаний.

Задачи для самостоятельного решения

1. Какой относительной скоростью должны обладать молекулы неона, чтобы при соударении произошла однократная ионизация одной из них?
2. В ионизационной камере, расстояние d между плоскими электродами которой равно 5 см, проходит ток насыщения плотностью $j = 16$ мкА/м. Определить число однозарядных ионов, образующихся в каждом кубическом сантиметре пространства камеры в 1 секунду.
3. Найти концентрацию ионов между пластинами плоского конденсатора ёмкостью 6,6 пФ, если воздух ионизируется внешним ионизатором и при напряжении 450,0В сила тока 7,0 мкА. Насыщение не имеет места.
4. Аргон, находящийся между пластинами конденсатора площадью 300 см^2 каждая с расстоянием между ними 5 см, ионизируется внешним ионизатором. Найти число пар ионов, которые образуются за 1 с в аргоне объемом 1 см^3 , если сила тока насыщения между пластинами 4 пА.

5. Какой скоростью должен обладать электрон, чтобы ионизовать атом аргона при ударе?
6. Между пластинами плоского конденсатора, находящимися на расстоянии 5,0 см друг от друга, за 1с в воздухе объемом 1 см^3 образуется $6,6 \cdot 10^6$ пар ионов под действием внешнего ионизатора. Найти площадь пластины конденсатора, если сила тока насыщения 3,0 пА.
7. Найти число пар ионов, образующихся в атмосфере в объеме 1 см^3 при нормальных условиях за 1с между пластинами плоского конденсатора площадью 250 см^2 каждая, если при расстоянии между пластинами 5 см сила тока насыщения 1 фА.
8. Согласно опытным данным, искровой разряд в воздухе при нормальных условиях наступает при напряженности поля 30 кВ/см. Найти длину свободного пробега электрона, обладающего энергией 15 аДж при данных условиях.
9. При какой разности потенциалов между электродами зажигается неоновая лампа, если энергия ионизации неона $E_{\text{и}} = 21,5 \text{ эВ}$, а среднее расстояние между двумя последовательными столкновениями электрона с атомами газа равно 0,4 нм? Электроды имеют вид больших пластин, расположенных на расстоянии $d = 3,0 \text{ мм}$ друг от друга.
10. Неоновая лампа, которая зажигается и гаснет при напряжении 84 В, включена в цепь переменного тока промышленной частоты с эффективным напряжением 120В. Определить время между вспышками лампы и продолжительность вспышки.

Лабораторная работа №2-14
Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли

Контрольные вопросы

1. Магнитное поле и его характеристики.
2. Электромагнитное взаимодействие движущихся электрических зарядов.
3. Закон магнитного взаимодействия элементов тока.
4. Закон Био-Савара-Лапласа. Применение закона Био-Савара-Лапласа к расчету магнитных полей: поля прямолинейного конечного и бесконечного тока; поля кругового тока.
5. Закон Ампера. Применение закона Ампера к расчёту силы действующей на проводник с током в магнитном поле и силы взаимодействия двух проводников с током.
6. Циркуляция вектора магнитной индукции. Вихревой характер магнитного поля.
7. Применение теоремы о циркуляции вектора магнитной индукции к расчёту магнитных полей соленоида и тороида.
8. Теорема Гаусса для поля вектора магнитной индукции.

Задачи для самостоятельного решения.

1. Определите магнитную индукцию B поля, создаваемого отрезком бесконечно длинного провода, в точке, равноудаленной от концов отрезка и находящейся на расстоянии $R = 4$ см от его середины. Длина отрезка провода $l = 20$ см, а сила тока в проводе $I = 10$ А.
2. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам, находящимся на расстоянии $R = 10$ см друг от друга в вакууме, текут токи $I_1 = 20$ А и $I_2 = 30$ А одинакового направления. Определите вектор магнитной индукции поля, создаваемого токами в точках, лежащих на прямой, соединяющей оба провода, если: 1) точка С лежит на расстоянии $r_1 = 2$ см левее левого провода; 2) точка D лежит на расстоянии $r_2 = 3$ см правее правого провода; 3) точка G лежит на расстоянии $r_3 = 4$ см правее левого провода.
3. Определите индукцию магнитного поля в центре проволочной квадратной рамки со стороной $a = 15$ см, если по рамке течет ток $I = 5$ А.

4. Определите магнитную индукцию на оси тонкого проволочного кольца радиусом $R = 5$ см, по которому течет ток $I = 10$ А, в точке А, расположенной на расстоянии $d = 10$ см от центра кольца
5. Круговой виток радиусом $R = 15$ см расположен относительно бесконечно длинного провода так, что его плоскость параллельна проводу. Перпендикуляр, восставленный на провод из центра витка, является нормалью к плоскости витка. Сила тока в проводе $I_1 = 1$ А, сила тока в витке $I_2 = 5$ А. Расстояние от центра витка до провода $d = 20$ см. Определите магнитную индукцию в центре витка
6. Два круговых витка радиусом 4см каждый расположены в параллельных плоскостях на расстоянии 5см друг от друга. По виткам текут одинаковые токи силой 6 А. Найти индукцию магнитного поля в центре одного из витков. Токи в витках текут в противоположных направлениях.
7. По прямому горизонтально расположенному проводу пропускают ток 10А. Под ним на расстоянии 1,5см находится параллельный ему алюминиевый провод, по которому пропускают ток 1,5 А. Определить, какова должна быть площадь поперечного сечения алюминиевого провода, чтобы он удерживался незакрепленным. Плотность алюминия $2,7 \cdot 10^3$ кг/м³.
8. По тонкому проволочному полукольцу радиусом $R = 50$ см течет ток $I = 1$ А. Перпендикулярно плоскости полукольца возбуждено однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,01$ Тл. Найдите силу, растягивающую полукольцо. Действие на полукольцо магнитного поля подводных проводов и взаимодействие отдельных элементов полукольца не учитывать.
9. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии 10см друг от друга, текут одинаковые токи силой 100А. В двух проводах направления токов совпадают. Вычислить силу, действующую на отрезок длиной 1м третьего провода. Оси проводников лежат в вершинах правильного треугольника.
10. В однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,1$ Тл помещена квадратная рамка площадью $S = 25$ см². Нормаль к плоскости рамки составляет с направлением магнитного поля угол 60° . Определите вращающий момент, действующий на рамку, если по ней течет ток $I = 1$ А.

Лабораторная работа № 2-15

Изучение затухающих колебаний в колебательном контуре

Контрольные вопросы

1. Реальный колебательный контур.
2. Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний заряда в контуре и его решение.
3. Амплитуда, коэффициент затухания, время релаксации, циклическая частота и период затухающих колебаний.
4. Закон изменения заряда, силы тока, напряжения на конденсаторе, энергии электрического и магнитного полей.
5. Логарифмический декремент затухающих колебаний.
6. Добротность колебательного контура.
7. Аперидический колебательный процесс.

Задачи для самостоятельного решения

1. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 10$ мГн, конденсатора емкостью $C = 0,1$ мкФ и резистора сопротивлением $R = 20$ Ом. Определите, через сколько полных колебаний амплитуда тока в контуре уменьшится в e раз.
2. Колебательный контур содержит катушку индуктивностью $L = 25$ мГн, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ и резистор сопротивлением $R = 1$ Ом. Конденсатор заряжен количеством электричества $q_m = 1$ мКл. Определите: 1) период колебаний контура; 2) логарифмический декремент затухания колебаний; 3) уравнение зависимости изменения напряжения на обкладках конденсатора от времени.
3. Определите логарифмический декремент, при котором энергия колебательного контура за $N = 5$ полных колебаний уменьшается в $n = 8$ раз.
4. Частота ν затухающих колебаний в колебательном контуре с добротностью $Q = 2500$ равна 550 кГц. Определите время, за которое амплитуда силы тока в этом контуре уменьшится в 4 раза.
5. Определите резонансную частоту колебательной системы, если собственная частота колебаний $\nu_n = 300$ Гц, а логарифмический декремент $\theta = 0,2$.

6. Собственная частота ν_0 колебаний некоторой системы составляет 500 Гц. Определите частоту ν затухающих колебаний этой системы, если резонансная частота $\nu_{рез} = 499$ Гц.
7. Период затухающих колебаний системы составляет 0,2 с, а отношение амплитуд первого и шестого колебаний равно 13. Определите резонансную частоту данной колебательной системы.
8. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 405$ нФ, катушки с индуктивностью $L = 10$ мГн и сопротивления $R = 2$ Ом. Во сколько раз уменьшится разность потенциалов на обкладках конденсатора за один период колебаний?
9. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 2,22$ нФ и катушки длиной $L = 20$ см из медной проволоки диаметром $d = 0,5$ мм. Найти логарифмический декремент затухания и колебаний.
10. Колебательный контур имеет емкость $C = 1,1$ нФ и индуктивность $L = 5$ мГн. Логарифмический декремент затухания $x = 0,005$. За какое время вследствие затухания потеряется 99% энергии контура?

Лабораторная работа №2-16

Изучение явления электромагнитной индукции

Контрольные вопросы

1. Явление электромагнитной индукции (опыты Фарадея).
2. Закон Фарадея и его вывод из закона сохранения энергии.
3. Вихревые токи.
4. Взаимная индукция. ЭДС взаимной индукции.
5. Самоиндукция. Индуктивность контура. ЭДС самоиндукции.
6. Установление и исчезновение тока в цепи с индуктивностью.
7. Энергия магнитного поля. Плотность энергии.
8. Трансформаторы.

Задачи для самостоятельного решения

1. Рамка из провода сопротивлением $R = 0,04 \text{ Ом}$ равномерно вращается в магнитном поле с индукцией $0,6 \text{ Тл}$. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Площадь рамки 200 см^2 . Определить заряд, который потечет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции от 0 до 45° .
2. Проводник длиной $l = 1 \text{ м}$ движется со скоростью $v = 5 \text{ м/с}$ перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Определить магнитную индукцию, если на концах проводника возникает разность потенциалов $U = 0,02 \text{ В}$.
3. Рамка площадью $S = 50 \text{ см}^2$, содержащая $N = 100$ витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле ($B = 40 \text{ мТл}$). Определить максимальную ЭДС индукции, если ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции, а рамка вращается с частотой $n = 960 \text{ об/мин}$.
4. Соленоид сечением $S = 10 \text{ см}^2$ одержит $N = 10^3$ витков. При силе тока $I = 5 \text{ А}$ магнитная индукция поля внутри соленоида равна $0,05 \text{ Тл}$. Определить индуктивность соленоида.
5. По катушке индуктивностью $L = 8 \text{ мкГн}$ течет ток $I = 6 \text{ А}$. Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в контуре, если сила тока изменится практически до нуля за время $\Delta t = 5 \text{ мс}$.

6. Кольцо из алюминиевого провода помещено в магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Диаметр кольца 20 см, диаметр провода 1 мм. Определить скорость изменения магнитного поля, если сила тока в кольце 0,5 А.
7. Соленоид диаметром $d = 4$ см, имеющий $N = 500$ витков, помещен в магнитное поле, индукция которого изменяется со скоростью 1 мТл/с. Ось соленоида составляет с вектором магнитной индукции угол $\alpha = 45^\circ$. Определите ЭДС индукции, возникающую в соленоиде.
8. В магнитное поле, изменяющееся по закону $B = B_0 \cos(\alpha t)$ ($B_0 = 0,1$ Тл, $\alpha = 4 \text{ с}^{-1}$), помещена квадратная рамка со стороной $a = 50$ см, причем нормаль к рамке образует с направлением поля угол $\alpha = 45^\circ$. Определите ЭДС индукции, возникающую в рамке в момент времени $t = 5$ с.
9. Кольцо из алюминиевого провода ($\rho = 26 \text{ нОм} \cdot \text{м}$) помещено в магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Диаметр кольца $D = 30$ см, диаметр провода $d = 2$ мм. Определите скорость изменения магнитного поля, если ток в кольце $I = 1$ А.
10. Плоскость проволочного витка площадью $S = 100 \text{ см}^2$ и сопротивлением $R = 5 \text{ Ом}$, находящегося в однородном магнитном поле напряженностью 10 кА/м, перпендикулярна линиям магнитной индукции. При повороте витка в магнитном поле отсчет гальванометра, замкнутого на виток, составляет 12,6 мкКл. Определите угол поворота витка.

Приложение

1. Основные физические постоянные:

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

магнетон Бора – $\mu_B = 9627 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл;

масса протона – $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг;

масса электрона – $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг;

удельный заряд электрона – $\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг;

электрическая постоянная – $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

магнитная постоянная – $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

скорость света в вакууме – $c = 3,00 \cdot 10^8$ м/с.

2. Диэлектрическая проницаемость ϵ

Вода – 81;

Парафин – 2,0;

Слюда – 6,0;

Стекло – 7,0;

Фарфор – 5,0;

Масло трансформаторное – 2,2;

Эбонит – 6,0.

3. Удельное сопротивление ρ и температурный коэффициент проводников (при 20°C)

Проводник	Удельное сопротивление, нОм·м	Температурный коэффициент, К ⁻¹
Алюминий	28	0,0038
Вольфрам	55	0,0051
Железо	98	0,0062
Константан	480	0,00002
Медь	17,2	0,0043
Никель	400	0,000017
Нихром	980	0,00026

4. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка		
Наименование	Обозначение	Множитель
гига	Г	10 ⁹
мега	М	10 ⁶
кило	к	10 ³
гекто	г	10 ²
милли	м	10 ⁻³
микро	мк	10 ⁻⁶
нано	н	10 ⁻⁹
пико	п	10 ⁻¹²

Литература

1. Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. - Москва : Высшая школа, 1985.
2. Савельев, И. В. Курс общей физики / И. В. Савельев. Москва : Наука, 1978- 1989.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики/ Д.В. Сивухин – Москва: Наука, 1979.
4. Зайдель, А.Н. Погрешности измерений физических величин / А. Н. Зайдель. Ленинград : Наука, 1985.
5. Калашников С.Г. Электричество. – М., 1985.
6. Практикум по физике. Электричество и магнетизм /Под ред. Ф.А. Николаева. – М., 1991.

Содержание

Предисловие.....	3
1. Лабораторная работа №2-1 «Изучение основных характеристик электроизмерительных приборов.....	5
2. Лабораторная работа №2-2 «Определение диэлектрической проницаемости твердого полярного диэлектрика».....	8
3. Лабораторная работа №2-3 «Изучение электростатического поля методом электролитических моделей».....	10
4. Лабораторная работа №2-4 «Изучение законов постоянного тока».....	12
5. Лабораторная работа №2-5 «Исследование зависимости сопротивления металлов и полупроводников от температуры».....	14
6. Лабораторная работа №2-6 «Изучение вольт – амперной характеристики полупроводникового диода».....	16
7. Лабораторная работа №2-7 «Измерение емкости конденсатора с помощью баллистического гальванометра».....	18
8. Лабораторная работа №2-8 «Измерение емкости конденсатора методом резонанса».....	20
9. Лабораторная работа №2-9 «Измерение индуктивности катушки в цепи переменного тока».....	22
10. Лабораторная работа №2-10 «Определение величины гиромагнитного отношения электрона».....	24
11. Лабораторная работа №2-11 «Изучение свойств ферромагнитного материала с помощью осциллографа».....	26
12. Лабораторная работа №2-12 «Изучение процессов заряда и разряда конденсатора».....	28
13. Лабораторная работа №2-13 «Изучение релаксационных колебаний».....	30
14. Лабораторная работа №2-14 «Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли».....	32
15.Лабораторная работа №2-15 «Изучение затухающих колебаний в колебательном контуре».....	34
16.Лабораторная работа №2-16 «Изучение явления электромагнитной индукции».....	6
Приложение.....	38
Литература.....	40

**Кравченко Александр Ильич
Петрашенко Петр Дмитриевич
Хило Петр Анатольевич**

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

**Лабораторный практикум
по курсу «Физика»
для студентов технических специальностей
дневной формы обучения
В двух частях
Часть 2**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 04.07.11.

Рег. № 22 Е.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>