



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИДО

С.И. Качин

«___» _____ 2012 г.

ФИЗИКА 2

Методические указания и индивидуальные задания
для студентов ИДО, обучающихся по техническим направлениям

Составители

Н.С. Кравченко, Е.В. Лисичко, А.В. Макиенко

Семестр	3
Кредиты	4
Лекции, часов	8
Лабораторные работы, часов	6
Практические занятия, часов	6
Индивидуальные задания	2
Самостоятельная работа, часов	144
Формы контроля	экзамен

Издательство

Томского политехнического университета

2012



УДК 53

Физика 2: метод. указ. и индивид. задания для студентов ИДО, обучающихся по техническим направлениям / сост. Н.С. Кравченко, Е.В. Лисичко, А.В. Макиенко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – с. 95.

Методические указания и индивидуальные задания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры теоретической и экспериментальной физики ФТИ « ____ » _____ 2012 г., протокол № ____.

Зав. кафедрой ТиЭФ
профессор, д. физ.-мат. наук

_____ В.Ф. Пичугин

Аннотация

Методические указания и индивидуальные задания по дисциплине «Физика 2» предназначены для студентов ИДО, обучающихся по техническим направлениям. Данная дисциплина изучается в одном семестре.

Приводится содержание основных тем дисциплины, темы практических и перечень лабораторных занятий, варианты заданий для индивидуальных домашних заданий и список рекомендуемой литературы. Даны методические указания по выполнению индивидуальных домашних заданий.



ОГЛАВЛЕНИЕ

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ	5
Тема 1. Электростатика.....	5
Тема 2. Электромагнетизм.....	11
Тема 3. Колебания и волны.....	14
3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ	16
3.1. Тематика практических занятий.....	16
3.2. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину по КЗФ.....	16
3.3. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину с применением ДОТ.....	18
4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ	19
4.1. Общие методические указания.....	19
4.1.1. Требования к оформлению индивидуального задания.....	19
4.2. Варианты индивидуального задания № 1.....	20
4.3. Решение типового варианта и образец оформления индивидуального задания № 1.....	43
4.4. Варианты индивидуального задания № 2.....	54
4.5. Решение типового варианта и образец оформления индивидуального задания № 2.....	78
5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ	89
5.1. Вопросы для подготовки к экзамену.....	89
5.2. Образец экзаменационного билета для студентов изучающих дисциплину по КЗФ.....	91
5.3. Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину с применением ДОТ.....	92
6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	94



1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Физика 2» изучается в первом семестре второго курса студентами технических специальностей ИДО.

Дисциплина входит в базовую часть естественнонаучного цикла. Физика является важнейшим источником знаний об окружающем мире, основой научно-технического прогресса и важнейшим компонентом человеческой культуры. Ее значение в современном образовании исключительно высоко, так как изучение физики как науки, отражающей наиболее общие закономерности в природе, формирует у студентов основные представления о естественнонаучной картине мира. Совместно с математикой физика занимает в обучении студентов одно из важных мест: курс является базовым для изучения дальнейших технических дисциплин, определяет физико-математическую подготовку студентов и, естественно, служит основой, на которой строится дальнейшее обучение студентов.

Курс «Электричество и магнетизм», «Колебания и волны» совместно с курсами высшей математики и информатики является базовым и определяет физико-математическую подготовку студентов.

Пререквезитами данной дисциплины являются «Физика 1», «Математика», «Линейная алгебра», «Математический анализ 1».

В результате освоения дисциплины студент **должен знать**: основные физические явления и основные законы электромагнетизма, кинематики и динамики гармонических колебаний, волновых процессов; границы их применимости, применение законов в важнейших практических приложениях (уравнения Максвелла, свойства электрического и магнитного полей в вакууме и в веществе, теорию гармонических колебаний и волн).

В результате освоения дисциплины студент **должен уметь**: применять законы электромагнетизма, кинематики и динамики гармонических колебаний, волновых процессов для объяснения физических явлений в природе и технике, решать качественные и количественные физические задачи; решать типовые задачи по основным разделам курса, используя методы математического анализа; проводить измерения физических величин, объяснение и обработку результатов эксперимента; самостоятельно работать с учебной и справочной литературой; использовать физические законы при анализе и решении проблем профессиональной деятельности.



2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Электростатика

1.1. Электрическое поле в вакууме

Предмет электростатики. Электрический заряд. Закон сохранения заряда. Дискретность заряда. Точечный заряд. Закон Кулона – основной закон электростатики. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции для напряженности. Линейная, поверхностная и объемная плотности заряда. Электрический диполь. Поле диполя. Силовые линии электрического поля. Поток вектора напряженности электрического поля. Закон Гаусса в интегральной форме. Примеры применения закона Гаусса для вычисления электрических полей: поле равномерно заряженной сферы, поле равномерно заряженной бесконечной плоскости, поле двух равномерно заряженных бесконечных плоскостей, поле бесконечной равномерно заряженной нити, поле равномерно заряженного шара. Понятие о дивергенции векторной функции. Закон Гаусса в дифференциальной форме. Работа сил электростатического поля. Консервативность электростатических сил. Циркуляция вектора напряженности электрического поля. Потенциальная энергия заряда в поле другого заряда. Потенциал. Потенциал поля точечного заряда. Потенциальная энергия заряда в поле системы зарядов. Принцип суперпозиции для потенциалов. Разность потенциалов. Эквипотенциальные поверхности. Связь между вектором напряженности и потенциалом.

Рекомендуемая литература: [1, разд. 1], [2, с. 11–54], [3, с. 11–25].

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислить свойства электрического заряда.
2. Записать закон Кулона в векторной форме. Пояснить обозначения.
3. Записать формулу для силы взаимодействия двух заряженных тел, если известна их объемная плотность заряда. Пояснить обозначения.
4. Дать определение вектору напряженности электрического поля? Записать, согласно определению, формулу для вектора напряженности в заданной точке поля.
5. Чему равняется число силовых линий точечного заряда?
6. Что называется силовыми линиями электрического поля?



7. Записать формулу для напряженности электростатического поля на расстоянии r от бесконечной равномерно заряженной плоскости. Пояснить обозначения.
8. Какая связь существует между силовыми линиями электрического поля и вектором напряженности?
9. Дать определение электростатическому потенциалу.
10. Записать формулу для электростатического потенциала точечного заряда. Пояснить обозначения.
11. Чему равняется потенциал в заданной точке однородного электростатического поля? Записать формулу и дать пояснения обозначениям.
12. Записать формулу для напряженности электростатического поля на расстоянии r от бесконечной равномерно заряженной нити. Пояснить обозначения.
13. Записать формулу для напряженности электростатического поля на расстоянии r от центра равномерно заряженной сферы радиуса R при $r < R$ и $r > R$.
14. Дать определение потоку вектора через элементарную площадку. Записать теорему Остроградского – Гаусса для потока вектора через замкнутую поверхность.
15. Записать уравнение для циркуляции вектора напряженности электростатического поля. Дать пояснение обозначениям.
16. Записать формулу для вектора напряженности электрического поля, если известен электростатический потенциал? Пояснить действие оператора градиента на скалярную функцию.
17. Записать уравнение для элементарной работы электростатического поля по перемещению точечного заряда. Пояснить обозначения.
18. Записать формулу для электростатической энергии парного взаимодействия заряженных частиц. Дать пояснения обозначениям.
19. Записать уравнение для циркуляции электростатического поля. Дать пояснения обозначениям.
20. Сформулировать теорему Гаусса для вектора напряженности электростатического поля в вакууме.
21. Дать определение напряженности электростатического поля.
22. Дать определение вектору дипольного момента диполя.
23. Дать определение циркуляции вектора. Записать теорему Стокса для циркуляции.
24. Записать формулу для напряженности электростатического поля точечного заряда в векторной форме. Дать пояснения обозначениям.
25. Какие поверхности в области электростатического поля называются эквипотенциальными. Записать уравнение эквипотенциальных поверхностей.



26. Чему равняется потенциальная энергия диполя в однородном электрическом поле? Записать формулу и дать пояснение обозначениям.

27. Записать уравнение для ротора электростатического поля. Пояснить действие ротора на векторную функцию.

28. Чему равняется момент сил, действующий на диполь в однородном электрическом поле? Записать формулу и дать пояснение обозначениям.

29. Записать потенциал системы точечных зарядов в дипольном приближении. Дать пояснение обозначениям.

30. Записать уравнение Пуассона для вектора напряженности электростатического поля в вакууме. Пояснить действие оператора дивергенции на векторную функцию.

31. Какая формула описывает потенциал электрического поля диполя? Записать формулу и дать пояснения обозначениям.

1.2. Проводники и диэлектрики в электростатическом поле

Проводники и диэлектрики. Полярные и неполярные молекулы. Полярные и неполярные молекулы в электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации. Вектор электростатической индукции. Закон Гаусса для вектора электростатической индукции. Диэлектрическая проницаемость. Вектор электростатической индукции на границе раздела диэлектриков. Поляризация (ориентационная и деформационная). Пьезоэлектрический эффект. Сегнетоэлектрики и их свойства. Электрострикция.

Проводники в электрическом поле. Равновесие зарядов на проводниках. Поле вблизи поверхности заряженного проводника. Электростатическая индукция. Емкость проводников. Взаимная емкость. Конденсаторы. Плоский, цилиндрический и сферический конденсаторы. Соединения конденсаторов. Энергия электрического поля. Объемная плотность энергии электрического поля.

Рекомендуемая литература: [1, разд. 2, разд. 3], [2, с. 60–89], [3, с. 26–35].

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется диэлектрической восприимчивостью диэлектрика?
2. Записать теорему Гаусса для вектора электростатического смещения в диэлектрике.
3. Чему равняется напряженность и потенциал электростатического поля в проводнике и на его поверхности?



4. По какой формуле можно рассчитать емкость последовательно соединенных конденсаторов?
5. Какое явление называется поляризацией диэлектрика? Дать определение.
6. Какие заряды в диэлектрике называются связанными и сторонними?
7. Что называется диэлектрической проницаемостью вещества? Чему она равняется, если известна диэлектрическая восприимчивость?
8. Куда направлен и чему равняется вектор напряженности электростатического поля на поверхности заряженного проводника?
9. Записать формулу для емкости плоского конденсатора. Дать пояснения обозначениям.
10. Что называется вектором поляризованности диэлектрика. По какой формуле, согласно определению, его можно рассчитать?
11. Записать формулу для поверхностной плотности связанных зарядов диэлектрика в электрическом поле. Пояснить обозначения.
12. Какие граничные условия существуют для нормальной составляющей напряженности и индукции электростатического поля в диэлектриках?
13. Дать определение и записать соответствующую формулу для емкости заряженного проводника.
14. Записать формулу для энергии заряженного проводника, если известен заряд и потенциал на поверхности.
15. Как зависит вектор поляризованности от внешнего электрического поля в нормальных диэлектриках.
16. Записать формулу для объемной плотности связанных зарядов диэлектрика в электрическом поле. Пояснить обозначения.
17. Записать граничные условия для тангенциальной составляющей напряженности и смещения электростатического поля на границе двух диэлектриков.
18. Записать формулу для емкости заряженного шара. Пояснить обозначения.
19. Записать формулу для энергии плоского конденсатора, если напряжения между пластинами равно U .
20. Какие молекулы называются полярными?
21. Записать уравнение Пуассона для электростатического поля в диэлектрике.
22. Какое явление в проводниках называется электростатической индукцией?
23. Что называется конденсатором?



24. Записать формулу для плотности энергии электростатического поля в данной точке, если известны вектора \vec{E} и \vec{D} .
25. Какие ведут себя неполярные молекулы в электрическом поле?
26. Записать формулу для вектора электрического смещения в диэлектрике, помещенном в электрическое поле \vec{E} , если известен вектор поляризованности \vec{P} .
27. Какое явление лежит в основе электростатической защиты?
28. Дать определение и записать соответствующую формулу для емкости заряженного конденсатора.
29. Чему равняется плотность энергии диэлектрика в электрическом поле? Записать формулу и дать пояснения обозначениям.

1.3. Электрический ток в проводниках, газах, условия существования тока

Электрический ток. Условие существования тока. Сила тока. Вектор плотности тока. Уравнение непрерывности. Закон Ома для участка цепи. Закон Ома в дифференциальной форме. Сопротивление проводников. Сторонние силы. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Закон Ома для полной цепи. Закон Джоуля – Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Работа и мощность электрического тока. Классическая теория электропроводности металлов и ее затруднения. Электропроводность газов. Несамостоятельный газовый разряд. Теория самостоятельного газового разряда. Самостоятельный газовый разряд. Процессы, способствующие возникновению самостоятельного газового разряда. Типы самостоятельных разрядов: тлеющий, коронный, искровой, дуговой. Понятие о плазме. Электропроводность плазмы. Ток в вакууме. Закон Богуславского – Лэнгмюра. Контактные явления.

Рекомендуемая литература: [1, разд. 4], [2, с. 98–112, с. 131–140], [3, с. 35–45].

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислить основные свойства постоянного тока.
2. Записать формулу для вектора плотности электрического тока с учетом дрейфовой скорости носителей заряда. Дать пояснения обозначениям.
3. Записать уравнение непрерывности для вектора плотности переменного тока в дифференциальной форме. Дать пояснения обозначениям.



4. По какому закону зависит удельное сопротивление металлов от температуры? Нарисовать график этой зависимости.
5. Сформулировать первое правило Кирхгофа для электрических цепей.
6. Что называется электродвижущей силой на участке цепи?
7. Сформулировать закон Ома для неоднородного участка цепи. Записать соответствующее уравнение и дать к нему пояснения.
8. Сформулировать и записать закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме.
9. Записать формулу для мощности постоянного тока в дифференциальной форме.
10. Записать уравнение непрерывности для постоянного тока.
11. Записать формулу для силы тока, протекающего через произвольную поверхность, если известно поле плотности тока. Дать пояснения обозначениям.
12. Записать уравнение непрерывности для плотности постоянного тока.
13. Сформулировать второе правило Кирхгофа для электрических цепей.
14. По какому закону зависит удельное сопротивление полупроводников от температуры? Нарисовать график этой зависимости.
15. Записать закон Ома для дрейфового тока в дифференциальной форме. Дать пояснения обозначениям.
16. Что называется линией тока? Какой вид имеют линии постоянного тока?
17. Согласно элементарной теории записать формулу для удельной электропроводности металла. Дать пояснения обозначениям.
18. Что называется электродвижущей силой на участке цепи?
19. Что называется подвижностью носителей заряда в проводнике?
20. Записать формулу для мощности тока в дифференциальной форме.
21. Какой участок электрической цепи называется неоднородным. Чему равняется напряжение на неоднородном участке электрической цепи?
22. Что называется энергией активации удельной проводимости полупроводника?
23. От каких параметров носителей тока в проводниках зависит подвижность? Чему она равняется?
24. Сформулировать и записать закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме.



25. При каком условии полезная мощность источника постоянного тока является максимальной? Чему она равняется?
26. Как определяется знак ЭДС, действующей на участке цепи?
27. Что называется дрейфовой скоростью носителей заряда?
28. Чему равняется работа по переносу пробного заряда по замкнутой цепи при постоянном токе?

Тема 2. Электромагнетизм

2.1. Магнитное поле в вакууме

Магнитное поле. Вектор магнитной индукции. Силовые линии магнитного поля. Поток вектора магнитной индукции. Закон Гаусса для магнитного потока в интегральной и дифференциальной формах. Закон Био – Савара – Лапласа. Применение закона Био – Савара – Лапласа для вычисления магнитных полей: поле прямого тока, поле в центре кругового тока, поле движущегося заряда.

Закон полного тока в интегральной форме. Применение закона полного тока для вычисления простейших магнитных полей: поле бесконечного прямого тока, поле соленоида, поле тороида. Ротор векторной функции. Закон полного тока в дифференциальной форме. Действие магнитного поля на проводники с током. Закон Ампера. Взаимодействие параллельных токов. Единица силы тока – ампер. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле. Контур с током в магнитном поле. Магнитный момент контура с током.

Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле. Сила Лоренца. Циклотрон. Эффект Холла. Удельный заряд частиц. Масс-спектрометрия.

Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции как следствие закона сохранения энергии.

Явление самоиндукции. Индуктивность. Токи при замыкании и размыкании цепи. Энергия магнитного поля. Объемная плотность энергии магнитного поля.

Рекомендуемая литература: [1, разд. 5], [2, с. 114–150], [3, с. 45–56].

Вопросы для самоконтроля

1. Записать закон Био – Савара – Лапласа для индукции магнитного поля, создаваемого бесконечно малым прямолинейным отрезком тока. Дать пояснения обозначениям.



2. Сформулировать и записать закон полного тока для напряженности постоянного магнитного поля в вакууме.
3. Записать формулу для магнитной составляющей силы Лоренца, действующей на движущийся заряд. Дать пояснения обозначениям.
4. Записать формулу для индукции магнитного поля в центре кругового тока. Дать пояснения обозначениям.
5. Записать уравнение Максвелла для ротора вектора напряженности постоянного магнитного поля в магнетике. Дать пояснения обозначениям.
6. Что называется циклотронной частотой. Дать определение и записать формулу.
7. Какое явление называется эффектом Холла?
8. Записать формулу для индукции магнитного поля прямого тока конечной длины. Дать пояснения обозначениям.
9. Перечислить свойства магнитного поля идеального соленоида.
10. Записать граничные условия для нормальной составляющей вектора индукции и напряженности магнитного поля на границе двух магнетиков.
11. Записать формулу для элементарной работы по перемещению контура с током в магнитном поле. Дать пояснения обозначениям.
12. По какой формуле можно рассчитать вектор индукции магнитного поля движущегося заряда в рассматриваемой точке? Записать уравнение и дать пояснения обозначениям.
13. Записать формулу для силы Лоренца. Пояснить обозначения
14. Записать граничные условия для тангенциальной составляющей вектора индукции и напряженности магнитного поля на границе двух магнетиков.
15. Записать закон для циркуляции вектора индукции постоянного магнитного поля.
16. Чему равен вектор магнитного момента плоского контура с током? Как определить его направление?
17. Как связаны между собой векторы магнитной индукции, напряженности и намагниченности?
18. Записать уравнение Максвелла для дивергенции вектора индукции магнитного поля.
19. Записать формулу для вектора силы Ампера, действующей на бесконечно малый прямолинейный отрезок с током. Дать пояснения обозначениям.
20. По какой формуле можно рассчитать потенциальную энергию плоского контура с током в однородном магнитном поле? Записать формулу и дать пояснения обозначениям.



2.2. Магнитное поле в веществе

Магнитные моменты атомов. Типы магнетиков. Молекулярные токи. Намагниченность. Напряженность магнитного поля. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость. Элементарная теория диа- и парамагнетизма. Ферромагнетики. Опыты Столетова. Кривая намагничивания. Магнитный гистерезис. Точка Кюри. Домены. Спиновая природа ферромагнетизма. Магнитострикция.

Рекомендуемая литература: [1, разд. 6], [2, с. 153–176], [3, с. 73–96].

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется вектором намагниченности?
2. Какая физическая величина называется магнитной восприимчивостью вещества?
3. Какая физическая величина называется магнитной проницаемостью вещества?
4. Чем отличаются диамагнетики от парамагнетиков?
5. Какие вещества называются ферромагнетиками?
6. Какие вещества называются диамагнетиками?
7. Какие вещества называются парамагнетиками?

2.3. Уравнения Максвелла

Фарадеевская и максвелловская трактовки явления электромагнитной индукции. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Относительность разделения электромагнитного поля на электрическое и магнитное. Бетатрон.

Рекомендуемая литература: [1, разд. 7], [2, с. 199–221].

Вопросы для самоконтроля

1. Какие величины связывают уравнения Максвелла?
2. Запишите уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Охарактеризуйте их.
3. Что такое ток смещения?
4. Опишите принцип действия бетатрона.



Тема 3. Колебания и волны

3.1. Гармонические колебания

Понятие о колебательном движении. Гармонические колебания. Основные понятия (амплитуда, циклическая частота, фаза, скорость, энергия колебаний). Сложение одинаково направленных гармонических колебаний. Векторные диаграммы. Биения. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний. Фигуры Лиссажу. Комплексная форма представлений гармонических колебаний. Модели гармонических осцилляторов (математический, пружинный и физический маятники). Свободные незатухающие гармонические колебания для различных осцилляторов, их частота и период. Свободные затухающие колебания (дифференциальное уравнение и его решение). Амплитуда, частота, период затухающих колебаний и логарифмический декремент затухания. Аперриодические колебания. Вынужденные гармонические колебания (дифференциальное уравнение и его решение). Амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Явление резонанса. Понятие об ангармонических осцилляторах. Автоколебания.

Рекомендуемая литература: [2, с. 258–270], [3, с. 169–200].

Вопросы для самоконтроля

1. Запишите уравнение гармонических колебаний. Охарактеризуйте его.
2. При каких условиях возникают биения?
3. Что такое фигуры Лиссажу?
4. В чём отличие между математическим и физическим маятниками?
5. Запишите дифференциальное уравнение и его решение свободного затухающего колебания.
6. Запишите дифференциальное уравнение и его решение вынужденного гармонического колебания.
7. При каких условиях возникает явление резонанса?

3.2. Волны

Понятие волны. Продольные и поперечные волны. Групповая и фазовая скорости. Волновое уравнение. Волновой вектор. Связь длины волны со скоростью распространения волны и частотой колебаний. Вектор Умова. Когерентные источники волн. Интерференция волн. Стоячие волны. Понятие об ударных волнах. Эффект Доплера.

Рекомендуемая литература: [2, с. 274–300].



Вопросы для самоконтроля

1. Что такое волна?
2. Какая волна называется продольной?
3. Какая волна называется поперечной?
4. Запишите волновое уравнение. Охарактеризуйте его.
5. Запишите формулу, которая связывает длину волны со скоростью распространения волны и частотой колебаний.
6. Поясните на примере движения поездов эффект Доплера.

3.3. Квазистационарные токи

Колебательный контур. Собственные колебания. Свободные затухающие и вынужденные электромагнитные колебания (дифференциальные уравнения и их решения). Резонанс. Автоколебания. Дифференциальное уравнение для электромагнитной волны и его решение. Плоские электромагнитные волны и их энергетические характеристики. Скорость распространения электромагнитных волн в среде. Вектор Пойнтинга. Излучение диполя. Диаграмма направленности. Сферические и цилиндрические волны. Шкала электромагнитных волн.

Рекомендуемая литература: [2].

Вопросы для самоконтроля

1. Запишите дифференциальное уравнение и его решение затухающих электромагнитных колебаний.
2. Запишите дифференциальное уравнение и его решение вынужденных электромагнитных колебаний
3. Запишите дифференциальное уравнение и его решение для электромагнитной волны.
4. Дайте энергетические характеристики плоских электромагнитных волн.
5. Какие волны называются сферическими?
6. Какие волны называются цилиндрическими?
7. Нарисуйте шкалу электромагнитных волн.



3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Тематика практических занятий

1. Элементы электростатики (2 часа).
2. Магнитное поле, ток. Движение частиц в магнитных полях (2 часа).
3. Кинематика и динамика гармонических колебаний, волновые процессы (2 часа).

3.2. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме

В данном разделе приведен перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме (КЗФ).

Лабораторные работы проходят во время сессии в Томске. Название лабораторных работ, их число и последовательность выполнения определяются маршрутом и календарным планом, составленным преподавателем. На каждую лабораторную работу отводится 2 часа.

Лабораторные работы с индексом «Э» проводятся в электрической лаборатории. Лабораторные работы с индексом «МодЭ» проводятся в компьютерном классе. К выполнению лабораторной работы студент может приступить только после того, как получит допуск у преподавателя. Допуск к выполнению лабораторной работы студент получает по результатам устного ответа на контрольные вопросы, с которыми он должен ознакомиться при изучении методических указаний к соответствующей лабораторной работе. Студент, не получивший положительной аттестации по лабораторным работам, не допускается к сдаче экзамена.

Методические указания к выполнению лабораторных работ приведены по адресу [12].

Тематика лабораторных работ

1. Э-01. Исследование электрического поля.
2. Э-03а. Изучение распределения термоэлектронов по скоростям
3. Э-04. Градуирование амперметра и вольтметра.
4. Э-05. Изучение зависимости сопротивления полупроводников и металлов от температуры
5. Э-05а. Изучение зависимости сопротивления полупроводников и металлов от температуры



6. Э-06. Измерение электроемкости и диэлектрической проницаемости мостовым методом.
7. Э-07а. Определение заряда иона водорода.
8. Э-08. Определение электрохимического эквивалента меди, числа Фарадея и числа Авогадро на основе закона Фарадея.
9. Э-09. Изучение температурной зависимости сопротивления полупроводников и определение энергии активации проводимости.
10. Э-12а. Определение концентрации и подвижности основных носителей заряда в полупроводниках
11. Э-11. Измерение характеристик трехэлектродной лампы.
12. Э-13. Изучение вакуумного диода и определение удельного заряда электрона.
13. Э-14. Термоэлектрический эффект.
14. Э-15а. Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли из затухающих колебаний магнитной стрелки.
15. Э-16. Измерение магнитного поля соленоида.
16. Э-17. Исследование намагничивания ферромагнетика в переменном магнитном поле.
17. Э-18. Изучение электронного осциллографа.
18. Э-20. Исследование распределения магнитного поля, образованного прямым и круговым токами.
19. Э-21. Измерение переменного магнитного поля, образованного переменным электрическим полем.
20. Э-19. Определение больших сопротивлений и электроемкостей методом релаксационных колебаний.
21. Э-22. Затухающие колебания в колебательном контуре.
22. Э-25. Определение скорости звука, модуля Юнга и внутреннего трения резонансным методом.
23. Э-28. Изучение физического маятника
24. Э-29. Определение скорости звука методом акустического резонанса.
25. Э-31. Изучение стоячих волн и определение объемной плотности струны.
26. Э-32. Универсальный маятник.
27. Модэ-1. Движение заряженной частицы во взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях.
28. Модэ-2. Движение заряженной частицы в параллельных электрическом и магнитном полях.
29. Модэ-3. Электростатическое поле.
30. Модэ-4. Движение заряженной частицы в кулоновском поле.



3.3. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину с применением ДОТ

В данном разделе приведен перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину с применением дистанционных образовательных технологий.

Лабораторные работы выполняются в онлайн режиме. Виртуальный лабораторный комплекс по дисциплине размещен по адресу [13].

Перечень лабораторных работ, их количество и последовательность выполнения представлены в календарном плане-графике изучения дисциплины на портале ИДО. Результаты выполненной лабораторной работы отправляются преподавателю по электронной почте. Оформление работы должно соответствовать требованиям, представленным в методических указаниях к лабораторной работе. Преподаватель в течение трех дней предоставляет рецензию на выполненную работу. Все лабораторные работы необходимо выполнить до сессии.

Студент не допускается к экзамену при отсутствии положительных рецензий преподавателя на все лабораторные работы.

Тематика лабораторных работ

1. Э-01. Исследование электрического поля.
2. Э-04. Градуирование амперметра и вольтметра.
3. Э-09. Изучение температурной зависимости сопротивления полупроводников и определение энергии активации проводимости.
4. Э-16. Измерение магнитного поля соленоида.
5. Э-20. Исследование распределения магнитного поля, образованного прямым и круговым токами.

4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ

4.1. Общие методические указания

В соответствии с учебным графиком предусмотрено выполнение двух индивидуальных домашних заданий (ИДЗ). Выполнение этих заданий необходимо для закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков решения типовых задач.

Индивидуальное задание № 1 соответствует теме «Электростатика» (см. разд. 2). Индивидуальное задание № 2 соответствует темам «Электромагнетизм» и «Колебания и волны» (см. разд. 2).

Номер варианта индивидуального задания определяется по последним двум цифрам номера зачетной книжки. Например, если номер зачетной книжки 3-5А11/12, то номер варианта задания равен 12. Если две последние цифры составляют число большее 20, то из этого числа вычитается число 20 столько раз, чтобы остаток стал меньше или равен 20. Например, две последние цифры составляют число 57, тогда $57 - 20 - 20 = 17$, и студент выполняет вариант № 17 индивидуального задания.

4.1.1. Требования к оформлению индивидуального задания

При оформлении индивидуального домашнего задания необходимо соблюдать следующие требования.

1. Индивидуальное задание должно иметь титульный лист, оформленный в соответствии со стандартами ТПУ [14]. На титульном листе указываются номер индивидуального задания, номер варианта, название дисциплины; фамилия, имя, отчество студента; номер группы, шифр. **Образец оформления и шаблон титульного листа** размещен на сайте ИДО (<http://portal.tpu.ru/ido-tpu>) в разделе **СТУДЕНТУ** → **ДОКУМЕНТЫ**.

2. Каждое индивидуальное задание оформляется отдельно. Студенты, изучающие дисциплину **по классической заочной форме**, оформляют индивидуальные задания в отдельных тетрадях. Студенты, изучающие дисциплину **с применением дистанционных технологий**, оформляют индивидуальные задания в отдельных файлах.

3. Текст индивидуального задания набирается в текстовом процессоре Microsoft Word. Шрифт Times New Roman, размер 12–14 pt, формулы набираются в редакторе формул (редактор формул Microsoft Equation или MathType).



4. Решения задач следует располагать в той же последовательности, что и задания.

5. Каждая задача должна начинаться с условия задачи, ниже краткая запись задачи, если необходимо – рисунок, с условными обозначениями, которые в дальнейшем будут использованы при решении задач.

6. Решение должно быть подробным, с включением промежуточных расчётов и указанием использованных формул.

7. Страницы задания должны иметь сквозную нумерацию.

8. В задание включается список использованной литературы.

Если работа не соответствует требованиям, студент получает оценку «не зачтено». В этом случае работа должна быть исправлена и повторно предоставлена преподавателю. При доработке в текст работы необходимо включить дополнительные вопросы, полученные после проверки работы преподавателем, и ответы на эти вопросы.

Студент, не получивший положительной аттестации по индивидуальному заданию, не допускается к сдаче экзамена по данной дисциплине.

4.2. Варианты индивидуального задания № 1

«Электростатика»

ВАРИАНТ 1

1. Тонкая бесконечная нить согнута под углом 90° . Нить равномерно заряжена. На расстоянии 50 см от угла на продолжении одной из сторон расположен точечный заряд величиной 0,1 мкКл, на который со стороны нити действует сила 4,03 мН. Определить линейную плотность заряда нити.

2. Заряженные шарики, находящиеся на расстоянии 2 м друг от друга, отталкиваются с силой 1 Н. Общий заряд шариков равен 50 мкКл. Как распределен этот заряд между шариками?

3. Три одинаковых заряда 1 нКл каждый, расположены в вершинах прямоугольного треугольника катетами 40 см и 30 см. Найти напряженность электрического поля, создаваемого всеми зарядами в точке пересечения гипотенузы с перпендикуляром, опущенным из вершины прямого угла.



4. Отрезок тонкого прямого проводника несет заряд 10 мкКл . Длина отрезка 20 см . Определить напряженность и смещение электрического поля в точке, удаленной от середины проводника по перпендикуляру к нему на $0,5 \text{ см}$.

5. Бесконечная пластина заряжена с поверхностной плотностью 10 нКл/м^2 . С одной стороны пластины воздух, с другой – масло ($\epsilon = 2.2$). Определить напряженность поля в воздухе и масле.

6. Стекланный шар диаметром 20 см заряжен с объемной плотностью 100 нКл/м^3 . Определить напряженность и смещение электрического поля на расстоянии 10 см от центра.

7. Найти энергию уединённой сферы радиусом $R = 4 \text{ см}$, заряженной до потенциала $\varphi = 500 \text{ В}$.

8. Определить плотность тока в медном проводнике длиной 100 м , если проводник находится под напряжением 10 В .

9. Обмотка кипятильника имеет две секции. Если включена только первая секция, то вода закипает через 15 минут, если обе секции включены параллельно, то через 10 минут. Через сколько минут закипит вода, если включить только вторую секцию?

10. По проводнику сопротивлением 3 Ом течёт ток, сила которого равномерно возрастает. За 8 секунд в проводнике выделилось 200 Дж теплоты. Определить количество электричества, протекшее по проводнику за это время, если в начальный момент времени сила тока была равна 0 .

ВАРИАНТ 2

1. Два заряженных шарика подвешены на шелковых нитях длиной 1 м . Вес шариков 50 г и заряд $14,2 \text{ нКл}$. Определить на какое расстояние разошлись шарики при условии, что угол отклонения мал.

2. Тонкая длинная нить равномерно заряжена с линейной плотностью 10 мкКл/м . На расстоянии 20 см от середины нити находится точечный заряд, на который действует сила со стороны нити 9 мН . Найти величину заряда.



3. Два точечных заряда $+10$ нКл и $+40$ нКл закреплены на расстоянии 60 см друг от друга. Определить, в какой точке от второго заряда на прямой, между зарядами, надо поместить третий заряд, чтобы он находился в равновесии. Определить знак заряда для устойчивого равновесия.

4. Электрическое поле создано двумя бесконечными пластинами, равномерно заряженными с плотностью 1 нКл/м². Пластины помещены в масло. Найти напряженность и смещение электрического поля вне пластин.

5. Полый эбонитовый шар ($\epsilon = 3$) заряжен с объемной плотностью 1 мкКл/м³. Внутренний радиус шара 5 см, наружный – 10 см. Найти напряженность и смещение электрического поля в точке, отстоящей от центра сферы на 6 см.

6. Прямой металлический стержень длиной 4 м и диаметром 5 см несет равномерно распределенный по его поверхности заряд 500 нКл. Определить напряженность и смещение электрического поля в точке, находящейся против середины стержня на расстоянии 1 см от его поверхности.

7. Какую работу необходимо совершить, чтобы увеличить расстояние между пластинами плоского вакуумного конденсатора площадью 100 см² от $0,03$ до $0,1$ м? Напряжение между пластинами конденсатора постоянно и равно 220 В.

8. Обмотка электрического кипятильника имеет две секции. Если включена только первая секция, то вода закипает через 15 минут, если только вторая, то через 30 минут. Через сколько минут закипит вода, если обе секции включить последовательно?

9. На концах медного провода длиной 5 м поддерживается напряжением 1 В. Определить плотность тока в проводе.

10. Сила тока в проводнике равномерно возрастает от 0 до 20 А. Определить время нарастания тока, если за это время по проводнику прошёл заряд 100 Кл.



ВАРИАНТ 3

1. В вершинах квадрата со стороной 10 см находятся одинаковые заряды $+0,3$ нКл каждый. Какой отрицательный заряд нужно поместить в центре квадрата, чтобы сила взаимного отталкивания положительных зарядов была уравновешена силой притяжения отрицательного заряда?

2. Тонкий длинный стержень заряжен равномерно. На расстоянии 20 см от стержня вблизи его середины находится заряд величиной 10 нКл. Стержень действует на заряд с силой 9 мН. Определить линейную плотность заряда на стержне.

3. Два точечных заряда $+12$ нКл и -12 нКл расположены на расстоянии 10 см друг от друга. Определить напряженность поля, создаваемого зарядами в точке, находящейся на расстоянии 4 см от положительного заряда на продолжении линии, соединяющей заряды.

4. Лист стекла толщиной 2 см равномерно заряжен с объемной плотностью 1 мкКл/м³. Определить напряженность и смещение электрического поля в середине листа.

5. Очень длинная трубка радиусом 1 см равномерно заряжена. Электрическое поле на расстоянии 0,5 м от оси трубки имеет напряженность 200 В/м. Определить линейную плотность заряда на трубке.

6. Заряд 1 мкКл равноудален от краев круглой площадки на расстоянии 20 см. Радиус площадки 12 см. Определить среднее по модулю значение напряженности поля в пределах площадки.

7. Электрический заряд 20 нКл равномерно распределен по тонкому кольцу радиуса 5 см. Центр кольца совпадает с началом координат, а плоскость кольца совпадает с плоскостью yz . В начале координат помещён заряд -10 нкл. Найти потенциал в точке, расположенной на оси x на расстоянии 15 см от начала координат.

8. К батарее аккумуляторов с ЭДС 24 В и внутренним сопротивлением 1 Ом подсоединен нагреватель, потребляющий мощность 80 Вт. Вычислить силу тока в цепи и КПД нагревателя при 20 А и при 4 А.

9. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от 5 до 20 А за 30 с. Определить заряд, прошедший по проводнику.



10. Определить напряжение на реостате сопротивлением 3 Ом , если он подключен к двум, параллельно соединённым батареям, ЭДС и внутреннее сопротивления которых соответственно равны $\varepsilon_1 = 5 \text{ В}$, $r_1 = 1 \text{ Ом}$, $\varepsilon_2 = 3 \text{ В}$ и $r_2 = 0,5 \text{ Ом}$.

ВАРИАНТ 4

1. Два точечных заряда $+12 \text{ нКл}$ и -12 нКл расположены на расстоянии 10 см друг от друга в воздухе. Определить напряженность электрического поля в точке, отстоящей на расстоянии 10 см от каждого заряда.

2. Найти силу, действующую на точечный заряд в $2/3 \text{ нКл}$, если заряд расположен на расстоянии 2 см от заряженной нити с линейной плотностью 2 Кл/см .

3. Два одинаковых проводящих заряженных шарика находятся на расстоянии 60 см и отталкиваются с силой 70 мкН . После того, как шары привели в соприкосновение и снова удалили на прежнее расстояние, сила отталкивания стала равной 160 мкН . Определить заряды шариков до соприкосновения.

4. Напряженность электрического поля, созданная длинной трубкой радиусом 2 см на расстоянии 3 см от ее оси равно $75,5 \text{ В/м}$. Определить поверхностную плотность заряда на трубке.

5. На металлической сфере радиусом 10 см равномерно распределен заряд. На расстоянии 15 см от центра сферы напряженность электрического поля равна 400 В/м . Найти заряд сферы.

6. Две круглые параллельные пластины радиусом 10 см находятся на малом по сравнению с радиусом расстоянии друг от друга и несут заряды $+33,3 \text{ нКл}$ и $-33,3 \text{ нКл}$. Определить силу притяжения пластин.

7. По тонкому кольцу радиуса 5 см равномерно распределён заряд 10 нКл . Найдите потенциал в точке, расположенной на оси перпендикулярной плоскости кольца на расстоянии 15 см от центра.

8. Обмотка катушки из медной проволоки при температуре 14°C имеет сопротивление 10 Ом . После пропускания тока сопротивление



обмотки стало равно 12,2 Ом. До какой температуры нагрелась обмотка? Температурный коэффициент меди $4,15 \cdot 10^{-3}$ град⁻¹.

9. При силе тока во внешней цепи 3 А выделяется мощность 18 Вт, а при силе тока 1 А – соответственно 10 Вт. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление батареи, подключенной к этой цепи.

10. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от 0 до 10 А в течение 20 секунд. Определить количество электричества, прошедшее за это время.

ВАРИАНТ 5

1. На расстоянии 20 см находятся два точечных заряда -40 нКл и $+60$ нКл. Определить силу, действующую на заряд -10 нКл, удаленный от обоих зарядов на расстояние 25 см.

2. Тонкий длинный стержень заряжен равномерно. На расстоянии 10 см от стержня вблизи его середины находится заряд величиной 20 нКл. Стержень действует на заряд с силой 18 мН. Определить линейную плотность заряда на стержне.

3. Заряженные шарики, находящиеся на расстоянии 1 м друг от друга, притягиваются с силой 1 Н. Общий заряд шариков равен 20 мкКл. Как распределен этот заряд между шариками?

4. Фарфоровый сплошной шар диаметром 5 см несет заряд, равномерно распределенный с объемной плотностью 1 мкКл/м³. Определить напряженность и смещение электрического поля на расстоянии 3 см от центра шара.

5. Электрическое поле создано двумя бесконечными пластинами, несущими равномерно распределенный по площади заряд с поверхностными плотностями 5 нКл/м² и -2 нКл/м². Определить напряженность поля между пластинами.

6. Бесконечно длинная тонкостенная металлическая трубка радиусом 3 см несет равномерно распределенный по поверхности заряд 1 нКл/м². Определить напряженность поля на расстоянии 3 см от оси трубки.



7. Определить потенциал в центре кольца с внешним диаметром $d_2 = 0,8$ м и внутренним диаметром $d_1 = 0,4$ м, если на нём равномерно распределён заряд $q = 6 \cdot 10^{-7}$ Кл.

8. ЭДС элемента равна 6 В. При внешнем сопротивлении 1,1 Ом сила тока в цепи равна 3 А. Найти падение потенциала внутри элемента и его внутреннее сопротивление.

9. На плитке мощностью 0,5 кВт стоит чайник с 1 литром воды при температуре 16° С. Вода в чайнике закипела через 20 минут. Какое количество тепла потеряно на нагревание чайника, на излучение и т.д.?

10. На катушке диаметром 10 см намотан медный провод сечением $0,314 \text{ мм}^2$. Определить сопротивление провода, если число витков равно 500.

ВАРИАНТ 6

1. В центре квадрата, в вершинах которого помещены заряды величиной 2,33 нКл, помещен отрицательный заряд. Найти величину этого заряда, если результирующая сила, действующая на каждый заряд, равна нулю.

2. Расстояние между двумя точечными зарядами $+7,5$ нКл и -15 нКл равно 5 см. Найти напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 3 см от положительного заряда и 4 см от отрицательного заряда.

3. Длинная прямая тонкая проволока несет равномерно распределенный заряд. Вычислить линейную плотность заряда, если напряженность поля на расстоянии 0,5 м от проволоки против ее середины равна 200 В/м.

4. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром 20 см равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью 4 мкКл/м^2 . Определить напряженность поля в точке, отстоящей от поверхности цилиндра на расстоянии 15 см.

5. Две одинаковые круглые пластины площадью 400 см^2 каждая расположены параллельно друг другу. Заряд одной пластины 400 нКл, заряд другой равен -200 нКл. Определить силу взаимного притяжения пластин, если расстояние между ними 3 мм.



6. Эбонитовый сплошной шар радиусом 5 см несет заряд, равномерно распределенный с объемной плотностью 10 нКл/м^3 . Определить напряженность и смещение электрического поля на расстоянии 10 см от центра шара.

7. Найти объемную плотность энергии электростатического поля в точке, находящейся на расстоянии 2 см от бесконечно длинной заряженной нити. Линейная плотность заряда на нити равна $1,67 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/м}$.

8. Определить заряд, прошедший по проводнику с сопротивлением 3 Ом при равномерном нарастании напряжения на концах проводника от 0 до 4 В в течение 20 сек.

9. Напряжение на сопротивлении 10 Ом равномерно возрастает от 0 до 2 В в течение 5 секунд. Определить количество электричества, прошедшего по сопротивлению за это время.

10. Элемент, реостат и амперметр включены последовательно. ЭДС элемента 2 В и внутреннее сопротивление 0,4 Ом. Амперметр показывает силу тока 1 А. С каким КПД работает элемент?

ВАРИАНТ 7

1. В вершинах правильного шестиугольника со стороной 10 см расположены точечные заряды 1, 2, 3, 4, 5 и 6 мкКл соответственно. Найти силу, действующую на точечный заряд величиной 1 мкКл, лежащий в плоскости шестиугольника и равноудаленный от его вершин.

2. Кольцо из проволоки радиусом 10 см заряжено отрицательно и несет заряд -5 нКл . Найти напряженность электрического поля в точке на оси кольца и удаленной на 5 см от центра кольца.

3. Вычислить силу электростатического отталкивания между ядром атома натрия и протоном, считая, что протон подошел к ядру на расстоянии $6 \cdot 10^{-12} \text{ см}$. Заряд ядра натрия в 11 раз больше заряда протона.

4. На металлической сфере радиусом 10 см находится заряд 1 нКл. Определить напряженность поля на расстоянии 8 см от центра сферы и смещение электрического поля.



5. Две длинные коаксиальные трубки радиусами 2 см и 4 см, заряжены с линейной плотностью $+10$ нКл/м и -10 нКл/м. Определить напряженность и смещение электрического поля между трубками на расстоянии 3 см от оси трубок.
6. С какой силой на единицу площади взаимодействуют две бесконечные параллельные плоскости, заряженные с одинаковой поверхностной плотностью 5 мкКл/м².
7. Чему равняется потенциал электрического поля на расстоянии 3 см от центра металлической сферы радиуса 8 см, несущей заряд 5 нКл?
8. ЭДС элемента равна 1,6 В и его внутреннее сопротивление 0,5 Ом. Определить силу тока, если при этой силе тока КПД элемента равен 25%.
9. Если к источнику тока с ЭДС 1,5 В присоединили сопротивление 0,1 Ом, то амперметр показал силу тока в 0,5 А. Когда к источнику тока присоединили последовательно ещё источник тока с такой же ЭДС, то сила тока в сопротивлении стала 0,4 А. Определить внутреннее сопротивление источников тока.
10. Сила тока в проводнике нарастает в течение 2 с по линейному закону от 0 до 6 А. Определить заряд, прошедший по проводнику за это время.

ВАРИАНТ 8

1. Маленький шарик весом 3 мН, подвешенный на тонкой шелковой нити, несет на себе заряд 10 нКл. Под ним на расстоянии 3 см устанавливают заряженный шарик, причем натяжение нити уменьшается в два раза. Определить заряд второго шарика.
2. Тонкая нить длиной 20 см равномерно заряжена с линейной плотностью 10 нКл/м. На расстоянии 10 см от нити, против ее середины, расположен точечный заряд 1 нКл. Определить силу, действующую на заряд со стороны нити.
3. Два точечных заряда величиной $+90$ нКл и -10 нКл находятся на расстоянии 8 см друг от друга. На каком расстоянии от первого заряда находится точка, в которой напряженность поля равна нулю?



4. Параллельно бесконечной пластине, заряженной с поверхностной плотностью 20 нКл/м^2 , расположена тонкая нить с равномерно распределенным по длине зарядом $0,4 \text{ нКл/м}$. Определить силу, действующую на 1 м нити.

5. Полый стеклянный шар несет равномерно распределенный по объему заряд с плотностью 100 нКл/м^3 . Внутренний радиус шара 5 см , наружный – 10 см . Найти напряженность и смещение электрического поля в точках, удаленных на 12 см от центра шара.

6. Две длинные тонкостенные коаксиальные трубки радиусами 2 см и 4 см несут заряды, равномерно распределенные по длине с линейными плотностями 1 нКл/м и $-0,5 \text{ нКл/м}$ соответственно. Определить напряженность на расстоянии 5 см от оси трубок.

7. Найти потенциал в центре полукольца радиуса R , заряженного равномерно с линейной плотностью $\tau = 0,4 \text{ мКл/м}$.

8. Разность потенциалов между двумя клеммами равна 9 В . Имеются два проводника сопротивлением 5 Ом и 3 Ом . Найти количество тепла, выделяющегося в каждом из проводников в 1 сек , если проводники включены последовательно; и параллельно.

9. От генератора с ЭДС 110 В передается энергия на расстояние 250 м . Потребляемая мощность 1 кВт . Найти сечение медных проводов, если потери мощности в сети не должны превышать 1% .

10. ЭДС элемента равна $1,6 \text{ В}$ и внутреннее сопротивление $0,5 \text{ Ом}$. Определить КПД элемента при силе тока $2,4 \text{ А}$.

ВАРИАНТ 9

1. На расстоянии 2 м друг от друга расположены шары, несущие по заряду $1,1 \text{ мКл}$ каждый. С какой силой они будут действовать на заряд, равный 1 нКл , находящийся на расстоянии 2 м от каждого из них?

2. В точке, расположенной на расстоянии 5 см от бесконечно длинной заряженной нити, напряженность электрического поля равна $1,5 \text{ кВ/м}$. Найти линейную плотность заряда.



3. Во сколько раз сила притяжения Ньютона между двумя протонами меньше силы их кулоновского отталкивания? Заряд протона численно равен заряду электрона.

4. Между пластинами плоского конденсатора находится точечный заряд 30 нКл . Поле конденсатора действует на заряд с силой 10 мН . Площадь пластин 100 см^2 . Определить силу взаимного притяжения пластин.

5. В центре сферы радиусом 20 см находится точечный заряд 10 нКл . Определить поток вектора напряженности через часть сферической поверхности площадью 20 см^2 .

6. Длинный парафиновый цилиндр радиусом 2 см равномерно заряжен с объемной плотностью заряда 10 нКл/м^3 . Определить напряженность поля на расстоянии 3 см от оси цилиндра и смещение в этой же точке.

7. Найти потенциал электростатического поля в центре полусферы радиуса 5 см , заряженной равномерно с поверхностной плотностью 12 нКл/м^2 .

8. Найти падение потенциала на медном проводе длиной 500 м и диаметром 2 мм , если сила тока в нем равна 2 А .

9. Две группы из трёх последовательно соединённых элементов соединены параллельно одноимёнными полюсами. ЭДС каждого элемента $1,2 \text{ В}$ и внутреннее сопротивление $0,2 \text{ Ом}$. Полученная батарея замкнута на внешнее сопротивление $1,5 \text{ Ом}$. Найти силу тока во внешней цепи.

10. Определить заряд, прошедший по проводу с сопротивлением 3 Ом при равномерном нарастании напряжения на концах провода от 2 В до 4 В в течение 20 с

ВАРИАНТ 10

1. Тонкий длинный стержень несет равномерно распределенный заряд. На продолжении оси стержня на расстоянии 10 см от ближайшего конца находится точечный заряд 40 нКл , который взаимодействует со стержнем с силой 6 мкН . Определить линейную плотность заряда на стержне.



2. Три точечных заряда величиной 1нКл каждый расположены в вершинах равностороннего треугольника со стороной a . Какой заряд нужно поместить в центре треугольника, чтобы указанная система зарядов находилась в равновесии?

3. Два точечных заряда $+12\text{нКл}$ и -12нКл расположены на расстоянии 10см друг от друга в воздухе. Определить напряженность поля в точке, расположенной между зарядами на расстоянии 6см от положительного заряда.

4. С какой силой электрическое поле заряженной бесконечной плоскости действует на каждый метр заряженной бесконечно длинной нити, помещенной в это поле? Линейная плотность заряда нити 3мкКл/м и поверхностная плотность заряда на плоскости 20мкКл/м^2 .

5. Бесконечно длинная тонкостенная металлическая трубка радиусом 4см несет равномерно распределенный по поверхности заряд плотностью 1нКл/м^2 . Определить напряженность поля на расстоянии 6см от оси трубки.

6. Полый стеклянный шар ($\epsilon = 7$) несет равномерно распределенный по объему заряд с плотностью 100нКл/м^3 . Внутренний радиус шара 5см , наружный – 10см . Найти напряженность и смещение электрического поля в точках, отстоящих на 6см от центра сферы.

7. Бесконечно длинный круговой цилиндр радиуса 5см равномерно заряжен по объему с плотностью заряда 4нКл/м^3 . Найти выражение для потенциала электростатического поля в точке, удаленной на расстоянии 6см от оси цилиндра. Диэлектрическая проницаемость цилиндра $\epsilon = 3$. Потенциал на оси цилиндра равняется нулю.

8. Для нагревания $4,5\text{л}$ воды от 23°C до кипения нагреватель потребляет $0,5\text{кВт}$ – час электрической энергии. Определить КПД нагревателя.

9. Сопротивление вольфрамовой нити электрической лампочки при 20°C равно $35,8\text{Ом}$. Найти температуру нити лампочки, если её включили в сеть напряжением 120В и по нити идет ток $0,33\text{А}$. Температурный коэффициент сопротивления вольфрама – $0,0046\text{град}^{-1}$.



10. Сила тока в проводнике сопротивлением 12 Ом равномерно убывает от 5 А до 0 в течение 10 секунд. Определить количество теплоты, выделившееся в проводнике за это время.

ВАРИАНТ 11

1. Два точечных заряда, находясь в воздухе на расстоянии 20 см друг от друга, взаимодействуют с некоторой силой. На каком расстоянии нужно поместить эти заряды в масле ($\epsilon = 5$), чтобы получить ту же силу взаимодействия?

2. Расстояние между точечными зарядами +100 нКл и -50 нКл равно 10 см. Определить силу, действующую на заряд +1 мкКл, отстоящий от первого заряда на 12 см и от второго на 10 см.

3. Определить напряженность поля, создаваемого зарядом, равномерно распределенным по тонкому стержню длиной 40 см с линейной плотностью 200 нКл/м, в точке, лежащей на продолжении оси стержня на расстоянии 20 см от ближайшего конца.

4. Точечный заряд 1 мкКл находится вблизи большой равномерно заряженной пластины против ее середины. Вычислить поверхностную плотность заряда пластины, если на точечный заряд действует сила 60 мН.

5. Длинный цилиндр диаметром 5 см равномерно заряжен. Напряженность электрического поля на расстоянии 6 см от оси цилиндра равна 3 кВ/м. Найти линейную плотность заряда на поверхности цилиндра.

6. Парафиновый шар заряжен с объемной плотностью 10 нКл/м^3 . Определить напряженность и смещение электрического поля на расстоянии 3 см от поверхности шара, если его диаметр равен 2 см.

7. Заряды $q_1 = 1 \text{ мкКл}$ и $q_2 = -1 \text{ мкКл}$ находятся на расстоянии 10 см. Определить потенциал поля в точке, удаленной на расстояние 10 см от первого заряда и лежащей на линии, проходящей через первый заряд перпендикулярно направлению от q_1 к q_2 .

8. Два цилиндрических проводника, один из меди, а другой из алюминия, имеют одинаковую длину и одинаковые сопротивления. Во сколько раз медный проводник тяжелее алюминиевого?



9. Сколько воды в литрах можно вскипятить, затратив 3 кВт/час электрической энергии? Начальная температура воды 10°C . Потерями тепла пренебречь.

10. Сила тока в проводнике равномерно увеличивается от 0 до некоторого максимального значения в течение 10 секунд. За это время в проводнике выделилось теплоты в 1 кДж. Определить скорость нарастания тока в проводнике, если сопротивление его равно 3 Ом.

ВАРИАНТ 12

1. Определить силу взаимодействия двух точечных зарядов величиной 1 Кл каждый, находящихся в воздухе на расстоянии 1 м друг от друга.

2. Тонкий очень длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью 10 мкКл/м. На перпендикуляре к оси стержня, восстановленного из его конца, находится точечный заряд 10 нКл. Найти силу взаимодействия стержня и заряда, если расстояние от конца стержня до заряда 20 см.

3. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами +40 нКл и -10 нКл, находящимися на расстоянии 10 см друг от друга. Определить напряженность поля в точке, удаленной от первого заряда на 12 см и от второго на 6 см.

4. Эбонитовый шар радиусом 5 см несет равномерно распределенный по объему заряд. Напряженность поля вблизи поверхности шара вне его равна 18,8 В/м. Найти объемную плотность заряда на шаре.

5. Длинная нить заряжена с линейной плотностью 10 нКл/м. Найти силу, действующую на заряд величиной 0,1 мкКл, расположенный на расстоянии 2 см от середины нити.

6. Плоская квадратная пластинка со стороной 10 см находится на расстоянии 10 см от бесконечной равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью 1мкКл/м^2 . Вычислить поток вектора напряженности поля через пластинку.



7. Поле создано двумя точечными зарядами $+2q$ и $-q$, находящимися на расстоянии 12 см друг от друга. Найти радиус окружности на плоскости, в точках которой потенциал равен нулю.

8. Катушка медной проволоки имеет сопротивление 10,8 Ом. Вес медной проволоки равен 3,41 кг. Сколько метров и какого диаметра проволока намотана на катушке?

9. Две электрические лампочки сопротивлением 360 Ом и 240 Ом включены в сеть параллельно. Какая из лампочек поглощает большую мощность и во сколько раз?

10. Сила тока в проводнике сопротивлением 12 Ом равномерно убывает от 5 А до 0 в течение 10 секунд. Определить количество теплоты, выделившееся в проводнике за это время.

ВАРИАНТ 13

1. Тонкий стержень длиной 12 см заряжен с линейной плотностью 200 нКл/м. Найти напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 5 см от стержня против его середины.

2. Два точечных заряда величиной $+20$ нКл и -10 нКл расположены на расстоянии 10 см. Найти расстояние от отрицательного заряда до точки, в которой напряженность электрического поля равна нулю. Точка должна быть расположена на прямой, проходящей через заряды.

3. Каков должен быть заряд частицы массой 2 мг, чтобы она удерживалась в равновесии в электрическом поле с напряженностью 500 В/м, направленном вертикально вниз?

4. Длинный цилиндр радиусом 2 см равномерно заряжен с линейной плотностью 2 мкКл/м. Определить напряженность поля в точке, удаленной на 3 см от поверхности цилиндра.

5. Бесконечная плоскость несет заряд, равномерно распределенный с поверхностной плотностью 1 мкКл/м^2 . Параллельно плоскости на расстоянии 2 см расположен диск радиусом 10 см. Вычислить поток вектора напряженности через диск.



6. Полый стеклянный шар с внутренним радиусом 5 см и наружным радиусом 10 см равномерно заряжен с объемной плотностью 100 нКл/м^3 . Найти напряженность и смещение электрического поля на расстоянии 3 см от центра шара.

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

8. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление элемента, который обеспечивает максимальную мощность во внешней цепи 9 Вт при силе тока 3 А.

9. Найти сопротивление железного стержня диаметром 1 см, если вес его 1 кг.

10. Две группы из трёх последовательно соединённых элементов соединены параллельно одноимёнными полюсами. ЭДС каждого элемента 1,2 В и внутреннее сопротивление 0,2 Ом. Полученная батарея замкнута на внешнее сопротивление 1,5 Ом. Найти силу тока во внешней цепи.

ВАРИАНТ 14

1. Два одинаковых точечных заряда взаимодействуют в воздухе на расстоянии 10 см с такой же силой, как в скипидаре на расстоянии 7,1 см. Определить диэлектрическую проницаемость скипидара.

2. Тонкий стержень длиной 10 см заряжен с линейной плотностью 400 нКл/м. Найти напряженность электрического поля в точке, расположенной на перпендикуляре к стержню, проведенному через один из его концов, на расстоянии 8 см от этого конца.

3. Расстояние между двумя точечными зарядами величиной 9 мкКл и 1 мкКл равно 8 см. На каком расстоянии от первого заряда находится точка, в которой напряженность электрического поля равна нулю?

4. Две круглые пластины радиусом 10 см находятся на малом, по сравнению с радиусом, расстоянии друг от друга и заряжены одинаково-



выми разноименными зарядами. Определить заряд пластин, если они притягиваются с силой 2 мН.

5. Эбонитовый шар ($\epsilon = 3$) радиусом 6 см несет заряд, равномерно распределенный с объемной плотностью 5 нКл/м³. Определить напряженность поля на расстоянии 2 см от центра шара.

6. В точке, расположенной на расстоянии 5 см от бесконечно длинной заряженной нити, напряженность поля равна 1,5 кВ/м. Найти линейную плотность заряда на нити.

7. Тонкие стержни образуют квадрат со стороной длиной 5 см. стержни заряжены с линейной плотностью $\tau = 1,33$ нКл/м. Найти потенциал в центре квадрата.

8. Сколько витков нихромовой проволоки надо намотать на фарфоровый цилиндр радиусом 2,5 см, чтобы получить печь сопротивлением 40 Ом. Диаметр проволоки 1 мм.

9. Два элемента с одинаковой ЭДС, равной 2 В и внутренним сопротивлением 1 Ом и 1,5 Ом соединены параллельно одноименными полюсами и включены на внешнее сопротивление 1,4 Ом. Найти силу тока в элементах и сопротивлении.

10. Найти внутреннее сопротивление генератора, если мощность, выделяемая во внешней цепи одинакова при двух значениях внешнего сопротивления 5 Ом и 0,2 Ом. Определить КПД генератора в каждом из этих случаев.

ВАРИАНТ 15

1. Сколько электронов помещается на каждом из двух одинаковых маленьких шариков, находящихся на расстоянии 3 см друг от друга в воздухе, если они отталкиваются один от другого с силой 10^{-19} Н?

2. Тонкое кольцо радиусом 8 см несет заряд, равномерно распределенный с линейной плотностью 10 нКл/м. Определить напряженность электрического поля в точке, равноудаленной от всех точек кольца на расстояние 10 см.

3. В воздухе на расстоянии 0,5 м друг от друга находятся точечные заряды +0,5 мкКл и -0,4 мкКл. Определить напряженность электриче-



ского поля в точке, удаленной на 0,4 м от первого заряда и на 0,3 м от второго заряда.

4. Две бесконечно большие параллельные пластины равномерно заряжены с поверхностной плотностью 10 нКл/м^2 и -30 нКл/м^2 . Определить силу взаимодействия между пластинами, приходящуюся на площадь, равную 1 м^2 .

5. На металлической сфере радиусом 10 см находится заряд 1 нКл . Найти напряженность поля на поверхности сферы.

6. Длинный стеклянный цилиндр радиусом 5 см равномерно заряжен с объемной плотностью 10 нКл/м^3 . Определить напряженность поля вблизи поверхности цилиндра вне его.

7. Электрическое поле создано тонким стержнем длиной $l = 10 \text{ см}$, несущим равномерно распределённый заряд $q = 1 \text{ нКл}$. Определить потенциал поля в точке, удалённой от концов стержня на расстояние, равное длине стержня.

8. Сила тока в проводнике меняется по уравнению $I = 4 + 2t$. Какое количество электричества протечёт через проводник за время от 2 секунд до 6 секунд?

9. Определить общую мощность, полезную мощность и КПД батареи, ЭДС. которой равна 240 В, если внешнее сопротивление 23 Ом и внутреннее 1 Ом.

10. Определить плотность тока в медном проводнике длиной 100 м, если проводник находится под напряжением 10 В

ВАРИАНТ 16

1. Расстояние между двумя точечными зарядами 1 мкКл и -1 мкКл равно 10 см. Определить силу, действующую на заряд величиной $0,1 \text{ мкКл}$, удаленный на расстояние 6 см от первого заряда и на расстояние 8 см от второго.

2. На отрезке тонкого прямого проводника длиной 10 см равномерно распределен заряд с линейной плотностью 3 мкКл/м . Вычислить напряженность поля, создаваемого этим зарядом, в точке, расположенной на оси проводника и удаленной на 10 см от ближайшего конца отрезка.



3. Два шарика массой 1 г каждый заряжены одинаковыми зарядами величиной 79 нКл. Шарiki подвешены на нитях длиной 10 см каждая. Верхние концы нитей соединены вместе. Определить на какой угол разойдутся нити.

4. Две концентрические металлические сферы радиусами 6 см и 10 см несут соответственно заряды +1 нКл и $-0,5$ нКл. Найти напряженность поля в точке на расстоянии 9 см от центра сфер.

5. Длинный эбонитовый цилиндр ($\epsilon = 3$) радиусом 2 см равномерно заряжен с объемной плотностью 10 нКл/м³. Определить напряженность поля в точке, удаленной на 3 см от оси цилиндра.

6. Электрическое поле создано двумя бесконечно большими параллельными пластинами, заряженными с поверхностными плотностями 2 нКл/м² и -5 нКл/м². Найти напряженность поля вне пластин.

7. Вычислить потенциал, создаваемый тонким равномерно заряженным стержнем с линейной плотностью заряда $\tau = 10$ нКл/м в точке расположенной на оси стержня и удаленной от ближайшего конца стержня на расстояние, равное длине стержня.

8. Сила тока в проводнике равномерно возрастает от 0 до 50 А. Определить время нарастания тока, если за это время по проводнику прошёл заряд 1000 Кл.

9. ЭДС батареи равна 20 В. Сопротивление внешней цепи 2 Ом, сила тока 4 А. Найти КПД батареи.

10. Определить число электронов, проходящих в секунду через единицу площади поперечного сечения железной проволоки длиной 20 м при напряжении на её концах 16 В.

ВАРИАНТ 17

1. Два шарика массой 1г каждый подвешены на нитях, верхние концы которых соединены вместе. Длина каждой нити 10 см. Какие одинаковые заряды надо сообщить шарикам, чтобы нити разошлись на угол 60°?



2. Прямой металлический стержень длиной 10 см равномерно заряжен. На продолжении оси стержня, на расстоянии 20 см от его ближайшего конца находится точечный заряд величиной 100 нКл. Определить линейную плотность заряда стержня, если сила взаимодействия стержня и заряда равна 4 мН.

3. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами 10 нКл и -20 нКл. Расстояние между зарядами 20 см. Определить напряженность поля в точке, удаленной от первого заряда на 30 см и от второго на 50 см.

4. Две концентрические металлические сферы радиусами 6 см и 10 см несут соответственно заряды +1 нКл и $-0,5$ нКл. Найти напряженность поля в точке на расстоянии 9 см от центра сфер.

5. Длинный парафиновый цилиндр ($\epsilon = 2$) радиусом 2 см равномерно заряжен с объемной плотностью 10 нКл/м³. Определить напряженность поля в точке, находящейся на расстоянии 1 см от оси цилиндра.

6. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, заряженными с поверхностными плотностями 2 нКл/м² и -5 нКл/м². Найти напряженность поля между пластинами.

7. Определить потенциал в точке, лежащей на оси кольца, на расстоянии 10 см от центра. Радиус кольца $R = 20$ см. Заряд равномерно распределён по кольцу с линейной плотностью $\tau = 10$ нКл/м.

8. Обмотка электрического кипятильника имеет две секции. Если включена одна секция, вода закипает через 10 минут, если другая, то через 20 минут. Через сколько минут закипит вода, если обе секции включить последовательно? Напряжение и КПД постоянны.

9. Определить плотность тока в железном проводнике длиной 10 м, если проводник находится под напряжением 6 В.

10. Два одинаковых источника с ЭДС 1,2 В и внутренним сопротивлением 0,4 Ом соединены последовательно разноимёнными полюсами. Определить силу тока в цепи.



ВАРИАНТ 18

1. Два одинаковых заряженных шарика подвешены в одной точке на нитях одинаковой длины. При этом нити разошлись на угол α . Шары погружают в масло плотностью 800 кг/м^3 . Определить диэлектрическую проницаемость масла, если угол расхождения нитей не изменился. Плотность шариков 1600 кг/м^3 .

2. Тонкий длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью $1,5 \text{ нКл/м}$. На продолжении оси стержня на расстоянии 12 см от его конца находится точечный заряд $0,2 \text{ мкКл}$. Определить силу взаимодействия стержня и заряда.

3. Найти напряженность электрического поля на расстоянии $0,2 \text{ нм}$ от одновалентного иона. Заряд считать точечным.

4. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими равномерно распределенный по площади заряд с поверхностными плотностями 1 нКл/м^2 и 3 нКл/м^2 . Определить напряженность поля между пластинами и вне их. Построить график изменения напряженности вдоль линии, перпендикулярной пластинам.

5. Большая плоская пластина толщиной 1 см несет заряд, равномерно распределенный по объему с объемной плотностью 100 нКл/м^3 . Найти напряженность поля вблизи центральной части пластины вне ее, на малом расстоянии от поверхности.

6. На металлической сфере радиусом 10 см находится заряд 1 нКл . Определить напряженность поля на расстоянии 15 см от центра сферы.

7. Определить потенциал в центре кольца радиусом $R = 10 \text{ см}$, по которому равномерно распределён заряд линейной плотностью $\tau = 10 \text{ нКл/м}$.

8. К батарее аккумуляторов с ЭДС 24 В и внутренним сопротивлением 1 Ом подсоединен нагреватель, потребляющий мощность 80 Вт . Вычислить силу тока в цепи и КПД нагревателя при 20 А и при 4 А .

9. Какую долю ЭДС элемента составляет разность потенциалов на его концах, если сопротивления элемента в n раз меньше внешнего. Задачу решить для $n = 1$; $n = 10$.



10. Определить общую мощность, полезную мощность и КПД батареи, ЭДС которой равна 240 В, если внешнее сопротивление равно 230 Ом, внутреннее сопротивление батареи – 10 Ом.

ВАРИАНТ 19

1. Какой заряд надо сообщить каждому шарик, чтобы сила взаимного отталкивания двух шариков уравновесила силу взаимного притяжения их по закону тяготения Ньютона? Массы шариков 1 г.

2. Прямая проволока длиной 10 м несет заряд, равномерно распределенный по всей ее длине. Вычислить линейную плотность заряда, если напряженность поля на расстоянии 0,5 м от проволоки против ее середины равна 200 В/м.

3. Расстояние между двумя точечными зарядами +8 нКл и –5,3 нКл равно 40 см. Вычислить напряженность поля в точке, лежащей посредине между зарядами.

4. Лист стекла толщиной 2 см равномерно заряжен с объемной плотностью 1 мкКл/м³. Определить напряженность поля на поверхности стекла. Диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 7$.

5. Бесконечно длинная нить заряжена с линейной плотностью 1667 мкКл/м. Определить напряженность поля на расстоянии 5 см от нити.

6. С какой силой (на единицу площади) отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно протяженные плоскости с одинаковой поверхностной плотностью заряда в 300 мкКл/м²?

7. Конденсатору, электроёмкость которого равна 10 пФ, сообщён заряд $Q = 1$ пКл. Определить энергию конденсатора.

8. Определить заряд, прошедший по проводу с сопротивлением 3 Ом при равномерном нарастании напряжения на концах провода от 2 В до 4 В в течение 20 секунд.

9. Две батареи аккумуляторов с ЭДС 10 В и 8 В, имеющие внутреннее сопротивление соответственно 1 Ом и 2 Ом, соединены парал-



тельно одноименными полюсами и подключены к реостату сопротивлением 6 Ом. Найти силу тока в батареях и реостате.

10. ЭДС. батареи аккумуляторов 12 В, сила тока короткого замыкания равна 5 А. Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи, соединённой с такой батареей?

ВАРИАНТ 20

1. Два шарика массой 0,1 г каждый подвешены в одной точке на нитях длиной 20 см каждая. Получив одинаковый заряд, шарики разошлись так, что нити образовали между собой угол 60° . Найти заряд каждого шарика.

2. Тонкий длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью 10 мкКл/м. На продолжении оси стержня на расстоянии 20 см от его конца находится точечный заряд, равный 10 нКл. Определить силу взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда.

3. Определить напряженность электрического поля, создаваемого точечным зарядом 10 нКл на расстоянии 10 см от него. Диэлектрик – масло ($\epsilon = 2.2$).

4. Бесконечно длинная тонкостенная металлическая труба радиусом 2 см равномерно заряжена с поверхностной плотностью 1 нКл/м². Определить напряженность поля в точках, отстоящих от оси трубы на расстояниях 1 см и 3 см.

5. Электрическое поле создано двумя бесконечно большими параллельными пластинами, несущими одинаковый равномерно распределенный по площади заряд плотностью 1 нКл/м². Определить напряженность поля между пластинами и вне пластин и построить график изменения напряженности вдоль линии, перпендикулярной пластинам.

6. Эбонитовый шар радиусом 5 см несет заряд, равномерно распределенный с объемной плотностью 10 нКл/м³. Определить напряженность поля на расстоянии 3 см от центра шара. Диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 3$. Результат округлить до сотых.

7. Две концентрические сферические поверхности, находящиеся в вакууме, заряжены одинаковым количеством электричества $q = 3 \cdot 10^{-6}$ Кл.

Радиусы этих поверхностей $R_1 = 1$ м и $R_2 = 2$ м. Найти энергию электрического поля, заключённого между этими сферами.

8. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от 0 до 3 А в течение 10 с. Определить заряд, прошедший в проводнике за это время.

9. Три батареи аккумуляторов с ЭДС 12 В, 5 В и 10 В и одинаковыми внутренними сопротивлениями в 1 Ом, соединены между собой одноименными полюсами. Сопротивление соединительных проводов ничтожно мало. Определить силы токов, идущих через каждую батарею.

10. Лампочка и реостат, соединенные последовательно, присоединены к источнику тока. Напряжение на зажимах лампочки 40 В, сопротивление реостата 10 Ом. Внешняя цепь потребляет мощность 120 Вт. Найти силу тока в цепи.

4.3. Решение типового варианта и образец оформления индивидуального задания № 1

Задача № 1

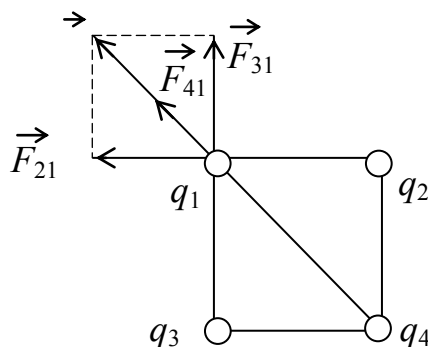
Найти силу, действующую на каждый из зарядов, помещенных в вершинах квадрата со стороной $a = 0,04$ м. Заряды одноименны, одинаковы по величине и равны $q = 7 \cdot 10^{-7}$ Кл. Заряды находятся в вакууме.

Дано:

$$a = 0,04 \text{ м}$$

$$q = 7 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$$

Найти: $F = ?$



Решение

На рисунке показаны силы, действующие на заряд q_1 со стороны q_2 , q_3 , q_4 (число сил, действующих на заряд, всегда на единицу меньше числа зарядов).



Поскольку заряды равны по величине и два из них (q_2 и q_3) находятся на одинаковом расстоянии от заряда q_1 , то модули сил F_{21} и F_{31} также равны:

$$F_{21} = F_{31} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 a^2}.$$

Расстояние между зарядами q_1 и q_4 равно $a\sqrt{2}$. Модуль силы F_{41} :

$$F_{41} = \frac{q_1 q_4}{4\pi\epsilon\epsilon_0 2a^2}.$$

Чтобы найти результирующую всех сил, надо сложить векторы:

$$\vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{41} = \vec{F}_1$$

Обозначим: $\vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} = \vec{F}'$

Модуль силы \vec{F}' равен: $F' = \sqrt{(F_{21})^2 + (F_{31})^2} = \sqrt{2}F_{21}$,

$$F' = \frac{\sqrt{2} \cdot q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 a^2}.$$

Силы \vec{F}' и \vec{F}_{41} действуют на одной прямой и направлены в одну сторону, поэтому модуль $F_{1\text{рез}}$ найдем:

$$F_{1\text{рез}} = F' + F_{41},$$

$$F_1 = \frac{\sqrt{2}q_2q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 a^2} + \frac{q_1q_4}{4\pi\epsilon\epsilon_0 2a^2} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 a^2} \left(\sqrt{2} + \frac{1}{2} \right),$$

$$F_1 = \frac{q^2}{8\pi\epsilon\epsilon_0 a^2} (2\sqrt{2} + 1).$$

Результирующая сила $F_{1\text{рез}}$ направлена по диагонали квадрата.

Проверим размерность.

$$[F_1] = \frac{\text{Кл}^2 \times \text{Н} \times \text{м}^2}{\text{Кл}^2 \times \text{м}^2} = \text{Н}.$$

$$F_1 = \frac{49 \cdot 10^{-14} (2\sqrt{2} + 1)}{8 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 16 \cdot 10^{-4}} \cong 5,27 \text{ Н}.$$

Аналогично можно определить силы, действующие на каждый из зарядов q_2 , q_3 , q_4 . Нетрудно показать, что результирующие силы \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 , \vec{F}_4 равны по величине.

Ответ: $F_1 \cong 5,27 \text{ Н}$.

Задача № 2

Два одинаковых заряженных шарика подвешены в одной точке на нитях одинаковой длины. При этом нити разошлись на угол α . Шарика погружаются в масло, плотностью $\rho_m = 8 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$. Какова диэлектрическая проницаемость масла ϵ_m , если угол расхождения нитей при погружении шариков в масло остается неизменным? Плотность материала шариков $\rho_{ш} = 1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Дано:

$$\rho_m = 8 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$$

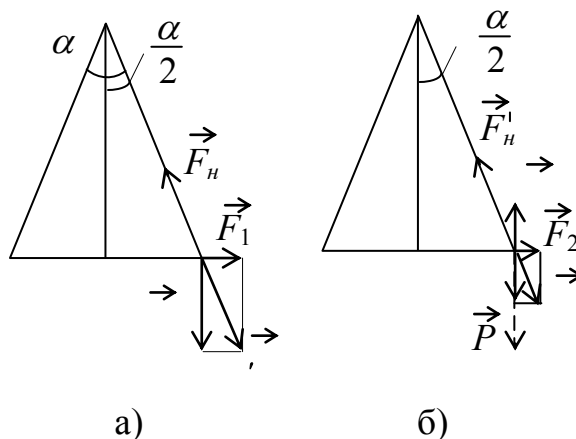
$$\rho_{ш} = 1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

Найти: $\epsilon_m = ?$ **Решение:**

а) на каждый шарик, находящийся в воздухе (рис. а), действуют сила тяжести \vec{P}_1 , кулоновская сила отталкивания \vec{F}_1 , сила натяжения нитей \vec{F}_H . Шарика будут находиться в равновесии при условии равенства равнодействующей всех сил нулю. А это возможно, если численное значение силы \vec{F}' ($\vec{F}' = \vec{P}_1 + \vec{F}_1$) будет равно численному значению силы натяжения нити \vec{F}_H , т.е., когда $|\vec{F}'| = |\vec{F}_H|$.

Из рисунка видно, что $\text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{F_1}{P_1}$; модуль силы $F_1 = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$, $\epsilon = 1$,

r – расстояние между центрами шаров.



Модуль силы тяжести $P = m_{\text{ш}}g = \rho_{\text{ш}} \frac{4}{3} \pi R^3 g$ (с учетом того, что масса шарика $m_{\text{ш}} = \rho_{\text{ш}} V = \rho_{\text{ш}} \frac{4}{3} \pi R^3$).

Таким образом, для $\text{tg} \frac{\alpha}{2}$ получим:

$$\text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2 \rho_{\text{ш}} \frac{4}{3} \pi R^3 g}$$

б) При погружении шариков в масло кроме сил, указанных выше, на каждый шарик действует сила Архимеда \vec{F}_A (рис. б), численно равная весу жидкости, вытесненной шариком, т.е.

$$\vec{F}_A = m_{\text{м}}g = \rho_{\text{м}} \frac{4}{3} \pi R^3 g, \text{ где } m_{\text{м}} = \rho_{\text{м}} \frac{4}{3} \pi R^3.$$

В этом случае $\text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{F_2}{P_2}$.

Модуль силы Кулона $F_2 = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$.

Модуль силы P_2 : $P_2 = P_1 - \vec{F}_A = \rho_{\text{ш}} \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot g - \rho_{\text{м}} \frac{4}{3} \pi R^3 g$.

Таким образом:

1) шарики в воздухе:

$$\text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2 \rho_{\text{ш}} \frac{4}{3} \pi R^3 g}$$

2) шарики погружены в масло:

$$\text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_{\text{м}}\epsilon_0 r^2 \frac{4}{3} \pi R^3 g (\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{м}})}$$

По условию задачи угол расхождения нитей остается неизменным, следовательно:

$$\frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2 \rho_{\text{ш}} \frac{4}{3} \pi R^3 g} = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_{\text{м}}\epsilon_0 r^2 \frac{4}{3} \pi R^3 g (\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{м}})},$$

$$\rho_{\text{ш}} = \varepsilon_{\text{м}}(\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{м}}),$$

$$\varepsilon_{\text{м}} = \frac{\rho_{\text{ш}}}{\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{м}}}.$$

Подставив числовые данные, получим:

$$\varepsilon_{\text{м}} = \frac{16 \cdot 10^2}{16 \cdot 10^2 - 8 \cdot 10^2} = 2.$$

Ответ: $\varepsilon_{\text{м}} = 2.$

Задача № 3

Два отрицательных заряда по 9 нКл находятся в воде на расстоянии 8 см друг от друга. Определить напряженность и потенциал поля в точке, расположенной на расстоянии 5 см от каждого заряда (рис. 1).

Дано:

$$q_1 = q_2 = 9 \text{ нКл (СИ: } 9 \cdot 10^{-9} \text{ Кл)}$$

$$r_0 = 8 \text{ см (СИ: } 8 \cdot 10^{-2} \text{ м)}$$

$$r_1 = r_2 = 5 \text{ см (СИ: } 5 \cdot 10^{-2} \text{ м)}$$

Найти: $E = ?$

Решение

Напряженность поля, создаваемого в точке A зарядами q_1 и q_2 по принципу суперпозиции полей, равна векторной сумме напряженностей, создаваемых каждым из зарядов $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. По теореме косинусов

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos 2\alpha}.$$

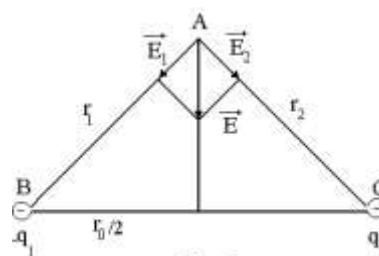


Рис. 1.

Напряженность поля, создаваемая точечным зарядом q_1 (или q_2),

$$E_1 = E_2 = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r_1^2} = \frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r_2^2},$$

где $r_1 = r_2$ – расстояние от заряда до точки A ;
 ε – диэлектрическая проницаемость среды.

$$E = \sqrt{2E_1^2(1 + \cos 2\alpha)} = 2E_1^2 \cos \alpha,$$

$$\text{Т.к. } E_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_1^2}, \text{ то } E = \frac{q_1}{2\pi\epsilon_0\epsilon r_1^3} \sqrt{r_1^2 - r_0^2} / 4.$$

Подставляя числовые значения, получаем $E = 480$ В/м.

Потенциал φ , создаваемый системой точечных зарядов в данной точке поля, равен алгебраической сумме потенциалов создаваемых, каждым зарядом $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$. Потенциал φ_1 поля, созданного зарядом q_1 , равен $\varphi_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_1}$, $\varphi_1 = \varphi_2$, следовательно $\varphi = \frac{2q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_1}$, подставляя числовые значения, получим $\varphi = -40$ В.

Ответ: $E = 480$ В/м; $\varphi = -40$ В.

Задача № 4

Тонкий стержень длиной $l_0 = 20$ см несет равномерно распределенный заряд. На продолжении оси стержня на расстоянии $a = 10$ см от ближайшего конца находится точечный заряд $q_0 = 40$ нКл, который взаимодействует со стержнем силой $F = 6$ мкН. Определить линейную плотность заряда на стержне.

Дано:

$$l_0 = 20 \text{ см (СИ: } 20 \cdot 10^{-2} \text{ м)}$$

$$a = 10 \text{ см (СИ: } 10 \cdot 10^{-2} \text{ м)}$$

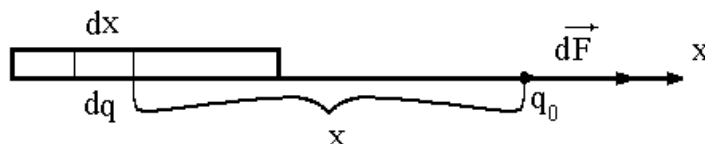
$$q_0 = 40 \text{ нКл (СИ: } 40 \cdot 10^{-9} \text{ м)}$$

$$F = 6 \text{ мкН (СИ: } 6 \cdot 10^{-6} \text{ Н)}$$

Найти: $\tau = ?$

Решение

Сила взаимодействия F заряженного стержня с точечным зарядом q_0 зависит от линейной плотности заряда на стержне. При вычислении силы F следует помнить, что заряд на стержне не является точечным, поэтому закон Кулона непосредственно применить нельзя.





В этом случае можно поступить следующим образом. Выделить на стержне бесконечно малый участок длиной dx с зарядом $dq = \tau \cdot dx$. Этот заряд можно рассматривать как точечный.

Тогда согласно закону Кулона

$$dF = \frac{q_0 \tau dx}{4\pi\epsilon_0 x^2}.$$

Интегрируя выражение от a до $a + l_0$, получим

$$F = \frac{q_0 \tau}{4\pi\epsilon_0} \int_a^{a+l_0} \frac{dx}{x} = \frac{q_0 \tau}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a+l_0} \right) = \frac{q_0 \tau l_0}{4\pi\epsilon_0 a(a+l_0)}.$$

Отсюда

$$\tau = \frac{4\pi\epsilon_0 a(a+l_0)F}{q_0 l_0}.$$

Подставляя числовые значения в единицах СИ, получим $\tau = 2,5 \text{ мКл/м}$.

Ответ: $\tau = 2,5 \text{ мКл/м}$.

Задача № 5

Заряд 1 нКл переносится в воздухе из точки, находящейся на расстоянии 1 м от бесконечно длинной равномерно заряженной нити, в точку на расстоянии 10 см от нее. Определить работу, совершаемую против сил поля, если линейная плотность заряда нити 1 мкКл/м. Какая работа совершается на последних 10 см пути?

Дано:

$$q = 1 \text{ нКл (СИ: } 1 \cdot 10^{-9} \text{ Кл)}$$

$$\tau = 1 \text{ мкКл/м (СИ: } 1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м)}$$

$$r = 1 \text{ м}$$

Найти: $A_1 = ?$, $A_2 = ?$

Решение

Работа внешней силы по перемещению заряда q из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2 равна

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (1)$$

Бесконечная равномерно заряженная нить с линейной плотностью заряда τ создает аксиально-симметричное поле напряженностью

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r}.$$

Напряженность и потенциал поля связаны соотношением $E = -\frac{d\phi}{dr}$, откуда $d\phi = -E dr$. Разность потенциалов точек поля на расстоянии r_1 и r_2 от нити

$$\phi_2 - \phi_1 = -\int_{r_1}^{r_2} E dr = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

или

$$\phi_1 - \phi_2 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (2)$$

Подставляем в формулу (1) выражение (2). Получим

$$A_1 = q \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1} = -4,1 \cdot 10^{-5} \text{ Дж} \quad (r_1 = 1 \text{ м}; r_2 = 0,1 \text{ м}).$$

Работа отрицательна, т.к. совершена внешними силами по перемещению заряда.

Работа по перемещению заряда на последних 10 см пути равна

$$A_2 = q \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_3} \quad (r_2 = 0,1 \text{ м}; r_3 = 0,2 \text{ м}).$$

Подставляя числовое значение, получим $A_2 = -1,25 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$.

Ответ: $A_1 = -4,1 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$; $A_2 = -1,25 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$.

Задача № 6

Сила тока в проводнике сопротивлением $R = 20 \text{ Ом}$ нарастает в течение времени $\Delta t = 2 \text{ с}$ по линейному закону от $I_0 = 0$ до $I = 6 \text{ А}$. Определить количество теплоты, выделившейся в проводнике за первую Q_1 и за вторую Q_2 секунды. Найти отношение Q_2/Q_1 .

Дано:

$$R = 20 \text{ Ом}$$

$$\Delta t = 2 \text{ с}$$

$$I_0 = 0$$

$$I = 6 \text{ А}$$

Найти: $Q_2/Q_1 = ?$

Решение

Закон Джоуля – Ленца в виде $Q = I^2 R t$ справедлив только в случае постоянного тока (I_{const}). Если же сила тока в проводнике изменяется, то закон справедлив только для бесконечно малого промежутка времени и может быть записан в виде

$$\Delta Q = I^2 R dt . \quad (1)$$

Сила тока I является некоторой функцией времени, т.е.

$$I = kt , \quad (2)$$

где k – коэффициент пропорциональности, численно равный

$$k = \frac{\Delta I}{\Delta t} , \quad k = 3 \text{ А/с.}$$

Подставим (2) в (1), получим

$$\Delta Q = t^2 k^2 R dt . \quad (3)$$

Для определения теплоты, выделившейся за конечный промежуток (t_1 - t_2) времени, проинтегрируем выражение (3):

$$Q = k^2 R \int t^2 dt = \frac{1}{3} k^2 R (t_2^3 - t_1^3) .$$

Количество теплоты Q_1 ($t_1 = 0$; $t_2 = 1$) , выделившейся за первую секунду, равно $Q_1 = 60$ Дж.

Количество теплоты Q_2 ($t_1 = 1$; $t_2 = 2$) , выделившейся за вторую секунду, равно $Q_2 = 420$ Дж.

Отношение $Q_2/Q_1 = 420/60 = 7$, т.е. за вторую секунду выделится теплоты в 7 раз больше, чем за первую.

Ответ: $Q_1 = 60$ Дж, $Q_2 = 420$ Дж, $Q_2/Q_1 = 7$.

Задача № 7

Лампа накаливания потребляет ток, равный 0,6 А. Температура вольфрамовой нити диаметром 0,1 мм равна 2200°C. Ток подводится медным проводом сечением 6 мм². Определите напряженность электрического поля:

1) в вольфраме (удельное сопротивление при 0°C $\rho_{\text{в}} = 55$ нОм·м, температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 0,0045^\circ\text{C}^{-1}$);

2) в меди ($\rho_{\text{м}} = 17$ нОм·м).



Дано:

$$I = 0,6 \text{ А}$$

$$d = 0,1 \text{ мм (СИ: } 10^{-4} \text{ м)}$$

$$t = 2200^\circ \text{ С}$$

$$s = 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$t_0 = 0^\circ \text{ С}$$

$$\rho_{в0} = 55 \text{ нОм} \cdot \text{м (СИ: } 55 \cdot 10^{-9} \text{ Ом} \cdot \text{м)}$$

$$\alpha = 0,0045^\circ \text{ С}^{-1}$$

$$\rho_{м0} = 17 \text{ нОм} \cdot \text{м (СИ: } 17 \cdot 10^{-9} \text{ Ом} \cdot \text{м)}$$

Найти: $E = ?$

Решение

Напряженность поля в проводниках можно найти из закона Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \gamma \vec{E},$$

здесь \vec{E} – напряженность электрического поля, \vec{j} – вектор плотности тока, γ – удельная электропроводность проводника, $\gamma = 1/\rho$, где ρ – удельное сопротивление проводника.

Для вольфрама удельное сопротивление указано в условии задачи при температуре 0°С . но поскольку температура равна 2200°С , то его удельное сопротивление находится из соотношения:

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t).$$

Таким образом, для вольфрама $E_{в} = j_{в} \rho_{в}$, для меди $E_{м} = j_{м} \rho_{м}$.

Плотность тока найдем по известной силе тока (одинаковой для меди и вольфрама) и площади поперечного сечения проводников:

$$j = I/S.$$

Для вольфрама $j_{в} = 4I / \pi d_{в}^2$, для меди $j_{м} = I/S_{м}$.

Окончательно получим:

$$E_{в} = \frac{4I}{\pi d_{в}^2} \cdot \rho_{в0} (1 + \alpha t).$$

$$E_{в} = \frac{4 \cdot 0,6}{3,14 \cdot 10^{-8}} \cdot 55 \cdot 10^{-9} (1 + 0,0045 \cdot 2200) = 45,8 \text{ (В/м)} - \text{ для вольфрама.}$$

$$E_{м} = \frac{I}{S_{м}} \cdot \rho_{м};$$

$$E_M = \frac{0,6}{6 \cdot 10^{-6}} \cdot 17 \cdot 10^{-9} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ (В/м)} = 1,7 \text{ (мВ/м)} - \text{ для меди.}$$

Ответ: $E_B = 45,8 \text{ В/м}$, $E_M = 1,7 \text{ мВ/м}$

Задача № 8

Сопротивление электрической линии передачи 150 Ом. Какое напряжение U_1 должен иметь генератор, чтобы при передаче потребителю мощности $P_1 = 50 \text{ кВт}$ по этой линии потери в ней не превышали $\delta = 3\%$ передаваемой мощности?

Дано:

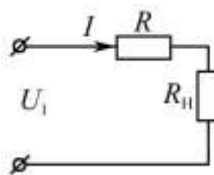
$$R = 150 \text{ Ом}$$

$$P_1 = 50 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

$$\delta = \Delta P / P_1 = 0,03$$

Найти: $U_1 - ?$

Решение



Потери мощности в линии передачи составляют

$$\Delta P = P_1 \cdot \delta,$$

$$\Delta P = 50 \cdot 10^3 \cdot 0,03 = 1,5 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Мощность, передаваемая потребителю, $P_1 = I \cdot U_1$, откуда $U_1 = P_1 / I$.

Используя заданное сопротивление линии передачи, $\Delta P = I^2 \cdot R$.

Откуда

$$I = \sqrt{\frac{\Delta P}{R}},$$

тогда

$$U_1 = \frac{P_1}{I} = \frac{P_1 \sqrt{R}}{\sqrt{\Delta P}} = \frac{P_1 \sqrt{R}}{\sqrt{P_1 \cdot \delta}} = \sqrt{\frac{P_1 R}{\delta}}$$



$$U_1 = \sqrt{\frac{50 \cdot 10^3 \cdot 150}{0,03}} = 15,8 \cdot 10^3 \text{ В} \approx 15,8 \text{ кВ.}$$

4.4. Варианты индивидуального задания № 2

ВАРИАНТ 1

1. Два длинных параллельных провода находятся на расстоянии $r = 5$ см один от другого. По проводам текут в противоположных направлениях одинаковые токи силой $I = 10$ А каждый. Найти индукцию магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии $r_1 = 2$ см от одного и $r_2 = 3$ см от другого провода.

2. По обмотке очень короткой катушке радиусом $r = 16$ см течёт ток силой $I = 5$ А. Сколько витков N проволоки намотано на катушку, если индукция B магнитного поля в её центре равна 1 мТл?

3. Найти кинетическую энергию протона, движущегося по дуге окружности радиусом 60 см в магнитном поле с индукцией 1 Тл.

4. Плоский квадратный контур со стороной 10 см, по которому течет ток силой 100 А, свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией 1 Тл. Определить работу, совершаемую внешними силами при повороте контура относительно оси, проходящей через середину его противоположных сторон на угол 90° .

5. Прямой провод, по которому течет ток 20 А, расположен в однородном магнитном поле так, что направление тока составляет угол 30° с линиями индукции. Определить индукцию поля, если на провод действует сила 10 мН.

6. Проволочный виток надет на соленоид длиной 20 см и сечением 30 см^2 . По соленоиду идет ток 3 А и соленоид имеет 320 витков. Определить ЭДС в витке при выключении тока в соленоиде в течение 0,001 с.

7. Соленоид поперечным сечением 10 см^2 и длиной 1 м имеет сердечник с магнитной проницаемостью 1400. Магнитный поток в нем равен 1,4 мВб при индуктивности 0,44 Гн. Определить силу тока, текущего в обмотке соленоида.



8. Точка одновременно совершает два гармонических колебания, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями $x = A_1 \sin \omega t$ и $y = A_2 \cos \omega t$, где $A_1 = 3$ см, $A_2 = 2$ см. Найти уравнение траектории точки и построить ее, указав направление движения.

9. На стержне длиной 30 см укреплены два груза: один – в середине стержня с массой $m = 50$ г, другой с массой $2m$ – на одном из его концов. Стержень с грузиком колеблется около горизонтальной оси, проходящей через свободный конец стержня. Определить приведенную длину и период колебаний такой системы. Массой стержня пренебречь.

10. Определить период затухающих колебаний, если период собственных колебаний 2 с, а логарифмический декремент затухания $0,314$.

ВАРИАНТ 2

1. По контуру в виде квадрата идёт ток с силой $I = 50$ А. Длина стороны квадрата равна 20 см. Определить магнитную индукцию в точке пересечения диагоналей.

2. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 300 В, движется параллельно прямолинейному длинному проводу на расстоянии 4 мм от него. Какая сила подействует на электрон, если по проводу потечет ток 5 А?

3. Найти вращающий момент, действующий на катушку гальванометра, помещенной в магнитное поле с индукцией 0,1 Тл так, что ее плоскость составляет угол 60° с направлением силовых линий магнитного поля. Катушка имеет размеры прямоугольника 2×3 см и по ней течет ток 0,1 мкА.

4. На прямой провод длиной 1 м, расположенный в однородном магнитном поле с индукцией 1 Тл перпендикулярно линиям индукции, действует сила 2 кН. Определить силу тока в проводе.

5. Стержень длиной 1 м вращается в однородном магнитном поле с индукцией 50 мкТл. Ось вращения параллельна силовым линиям индукции и проходит через конец стержня. Определить число оборотов в секунду, если разность потенциалов на концах стержня равна 1 В.



6. Определить магнитную проницаемость материала сердечника соленоида, если площадь поперечного сечения его равна 10 см^2 и магнитный поток в сердечнике равен $1,4 \text{ мВб}$.

7. Электрическая лампочка сопротивлением 10 Ом подключается через дроссель сопротивлением 1 Ом и индуктивностью 2 Гн к источнику тока напряжением 12 В . Через сколько времени после включения лампочка загорится, если она начинает светиться при напряжении 6 В .

8. Полная энергия тела, совершающего, гармоническое колебательное движение, 30 мкДж ; максимальная сила, действующая на тело, $1,5 \text{ мН}$. Написать уравнение движения этого тела, если период колебания 4 с и начальная фаза 60° .

9. Математический маятник совершает затухающие колебания с логарифмическим декрементом затухания $0,3$. Во сколько раз полное ускорение маятника уменьшится за одно полное колебание?

10. За время 18 с амплитуда колебаний уменьшается в 8 раз. Найти коэффициент затухания.

ВАРИАНТ 3

1. По контуру в виде равностороннего треугольника идёт ток силой $I = 40 \text{ А}$. Длина стороны треугольника равна 30 см . Определить магнитную индукцию B в точке пересечения высот.

2. В однородном магнитном поле по окружности радиусом 1 мм движется заряженная частица с кинетической энергией 1 кэВ . Определить силу, действующую на частицу со стороны поля.

3. Прямоугольная катушка гальванометра размерами $3 \times 2 \text{ см}$ имеет 400 витков тонкой проволоки. Катушка подвешена в магнитном поле с индукцией $0,1 \text{ Тл}$ так, что ее плоскость параллельна силовым линиям поля. Найти вращающий момент катушки, если по ней течет ток $0,1 \text{ мкА}$.

4. Два прямолинейных длинных проводника находятся на расстоянии 10 см друг от друга. По проводникам текут токи в одном направлении 20 А и 30 А . Определить работу (на единицу длины проводника), которую надо совершить, чтобы раздвинуть эти проводники до расстояния 20 см .



5. Рамка площадью 150 см^2 вращается с угловой скоростью 15 рад/с в магнитном поле индукцией $0,8 \text{ Тл}$. Ось вращения находится в плоскости рамки и составляет угол 30° с направлением силовых линий магнитного поля. Найти максимальное значение ЭДС.

6. Определить число витков соленоида при силе тока в нем 1 А , если магнитный поток через соленоид равен 2 мкВб и индуктивность его равна $0,001 \text{ Гн}$.

7. Две катушки имеют взаимную индуктивность 5 мГн . В первой катушке сила тока меняется по закону $I = I_0 \sin \omega t$, где $I_0 = 10 \text{ А}$, $\omega = 2\pi/T$ и $T = 0,02 \text{ с}$. Найти зависимость от времени ЭДС, индуцируемой во второй катушке и максимальное значение этой ЭДС.

8. Амплитуда гармонического колебания 10 см , период 2 с . Найти максимальную скорость колеблющейся точки и ее максимальное ускорение.

9. Тело массой 1 кг находится в вязкой среде с коэффициентом $r = 0,05 \text{ кг/с}$. Тело укреплено на пружине с коэффициентом упругости $k = 10 \text{ Н/м}$. Определить коэффициент затухания и через сколько времени амплитуда уменьшится в 8 раз.

10. Тело совершает вынужденные колебания в среде с сопротивлением $r = 0,2 \text{ г/с}$. Определить амплитудное значение вынуждающей силы, если резонансная амплитуда 2 см , а собственная частота 10 Гц .

ВАРИАНТ 4

1. Магнитная индукция в центре кругового витка радиусом $R = 100 \text{ мм}$ равна $6,3 \text{ мкТл}$. Найти магнитную индукцию на оси витка на расстоянии $b = 100 \text{ мм}$ от его центра.

2. Заряженная частица, прошедшая ускоряющую разность потенциалов 2 кВ , движется в магнитном поле с индукцией $15,1 \text{ мТл}$ по окружности радиусом 1 см . Определить ее скорость и отношение заряда к массе.

3. Круговой контур из проволоки длиной 20 см , по которому течет ток 2 А , расположен в однородном магнитном поле с индукцией $0,1 \text{ Тл}$ так, что его плоскость составляет угол 45° с направлением силовых ли-



ний магнитного поля. Определить вращающий момент сил, действующих на контур.

4. По проводу длиной 70 см, находящемуся в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл и расположенному перпендикулярно силовым линиям, течет ток силой 70 А. Определить силу, действующую на провод.

5. Катушка площадью поперечного сечения 100 см^2 , состоящая из 100 витков проволоки вращается в магнитном поле индукцией 0,1 Тл со скоростью 5 об/с. Найти максимальную ЭДС.

6. Определить силу тока, при которой в соленоиде длиной 50 см и площадью поперечного сечения 2 см^2 объемная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида равна 1 мДж/м^3 , если индуктивность его равна 20 мкГн.

7. Найти ЭДС и энергию магнитного поля в момент времени $t = 6 \text{ мс}$, если через катушку индуктивностью 0,021 Гн течет ток, изменяющийся со временем по закону $I = I_0 \sin \omega t$, где $I_0 = 5 \text{ А}$, $\omega = 2\pi/T$ и $T = 0,02 \text{ с}$.

8. Тело массы m , прикрепленное к пружине, свободно колеблется. Смещение тела зависит от времени по закону $x = A \cos \omega t$. Как меняются со временем скорость и ускорение? Как зависит сила, действующая на тело, от его смещения и от времени? Чему равна жесткость пружины?

9. Найти число полных колебаний системы, в течение которых энергия системы уменьшается в 8 раз. Логарифмический декремент затухания 0,05.

10. Математический маятник колеблется в среде, для которой логарифмический декремент затухания равен 1,5. Каков будет декремент затухания, если сопротивление среды увеличить в 2 раза. Во сколько нужно увеличить сопротивление среды, чтобы колебания стали невозможны?



ВАРИАНТ 5

1. По бесконечно длинному проводу, согнутому под углом $\alpha = 120^\circ$, течёт ток силой $I = 50$ А. Найти магнитную индукцию B в точках, лежащих на биссектрисе угла и удалённых от его вершины на расстояние $a = 5$ см.

2. Магнитная индукция внутри катушки длиной 30 см составляет 8,35 мТл. Ток, проходящий по катушке равен 2 А. Найти число витков катушки.

3. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 600 В, влетел в однородное магнитное поле с индукцией 0,3 Тл и начал двигаться по окружности. Найти радиус этой окружности.

4. Из проволоки длиной 20 см сделан квадратный контур. Контур помещен в магнитное поле с индукцией 0,1 Тл так, что плоскость контура составляет угол 45° с направлением силовых линий магнитного поля. По контуру течет ток 2 А. Найти вращающий момент сил, действующих на контур.

5. В однородном магнитном поле с индукцией 0,01 Тл находится прямой проводник длиной 20 см, по которому течет ток силой 5 А. Определить угол между направлением тока и силовыми линиями магнитного поля, если на проводник действует сила 5 мН.

6. В однородном магнитном поле с индукцией 1 Тл находится проволочный виток площадью 100см^2 . Определить среднее значение ЭДС, возникающее в витке при выключении поля в течение 0,01 с.

7. Для контура сопротивлением 2 Ом и индуктивностью 0,2 Гн найти время, в течение которого после подачи напряжения сила тока возрастает до 60% от максимального значения.

8. Амплитуда гармонического колебания 15 см, период 4 с. Найти максимальную скорость колеблющейся точки и ее максимальное ускорение.

9. Определить период затухающих колебаний, если период собственных колебаний системы 5с и логарифмический декремент затухания 0,314.



10. Определить амплитуду вынужденных колебаний груза массой 123 г, подвешенного к пружине жесткостью 9 Н/м, если действует вынуждающая сила с амплитудой 9 Н и частотой в 2 раза больше собственной частоты системы. Коэффициент затухания равен 1 с. Ответ округлить до тысячных.

ВАРИАНТ 6

1. Тонкий провод изогнут в виде правильного шестиугольника. Длина стороны шестиугольника равна 10 см. Определить магнитную индукцию B в центре шестиугольника, если по проводу течёт ток силой $I = 25$ А.

2. К концам соленоида, выполненного из медной проволоки диаметром 0,5 мм, приложена разность потенциалов 2,7 В. Длина соленоида 20 см, диаметр 5 см. Найти величину магнитной индукции внутри соленоида. Считать поле соленоида однородным.

3. Определить кинетическую энергию электрона, двигающегося в магнитном поле с индукцией 0,02 Тл по окружности радиусом 1 см.

4. Тонкое кольцо радиусом 10 см несет заряд 10 нКл и вращается относительно оси, проходящей через центр кольца и перпендикулярной его плоскости, с частотой 10 об/с. Определить магнитный момент кругового тока, создаваемого кольцом.

5. Стержень длиной 1 м вращается с постоянной угловой скоростью 20 рад/с в магнитном поле с индукцией 0,05 Тл. Определить ЭДС на концах стержня, если ось вращения проходит через конец стержня и параллельна силовым линиям поля.

6. На катушку диаметром 4 см намотана проволока диаметром 0,6 мм в один слой так, что витки плотно прилегают друг к другу. Определить число витков, если индуктивность ее 0,001 Гн.

7. Определить время, через которое в катушке устанавливается ток, равный половине стационарного после отключения катушки от источника тока, если она имеет сопротивление 10 Ом и индуктивность 0,144 Гн.



8. Два одинаково направленных гармонических колебания одного периода с амплитудами $A_1 = 5\text{ см}$ и $A_2 = 3\text{ см}$ складываются в одно колебание с амплитудой $A = 7\text{ см}$. Найти разность фаз складываемых колебаний.

9. Тело массой 20 г совершает затухающие колебания в среде с коэффициентом сопротивления $2 \cdot 10^{-4}\text{ кг/с}$. Через какой промежуток времени тело потеряет 50% своей энергии?

10. Амплитуда вынужденных гармонических колебаний при частотах $\omega_1 = 400\text{ рад/с}$ и $\omega_2 = 600\text{ рад/с}$ равны между собой. Найти частоту, при которой амплитуда максимальна.

ВАРИАНТ 7

1. Два бесконечно длинных провода скрещены под прямым углом. По проводам текут токи силой $I_1 = 80\text{ А}$ и $I_2 = 60\text{ А}$. Расстояние между проводниками равно 10 см . Определить магнитную индукцию B в точке a , одинаково удалённой от обоих проводников.

2. Индукция магнитного поля внутри длинной катушки $B = 1,57 \cdot 10^{-3}\text{ Тл}$. Обмотка катушки сделана из проволоки диаметром $0,8\text{ мм}$. Витки плотно прилегают друг к другу. Определить величину тока, протекающего через обмотку катушки.

3. Однозарядный ион движется в магнитном поле с индукцией $0,015\text{ Тл}$ по окружности радиусом 10 см . Определить импульс иона.

4. По тонкому стержню длиной 20 см равномерно распределен заряд 240 нКл . Стержень вращается с постоянной угловой скоростью 10 рад/с относительно оси проходящей через его середину. Определить магнитный момент, обусловленный вращением заряженного стержня.

5. Найти разность потенциалов на концах крыльев самолета, летящего со скоростью 950 км/ч , если размах крыльев $12,5\text{ м}$. Вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли равна $1,88\text{ А/м}$.

6. Катушка диаметром 3 см и длиной 20 см имеет 400 витков. Найти индуктивность катушки и пронизывающий ее магнитный поток при токе в ней силой 2 А .



7. Катушка индуктивностью $0,2$ Гн и сопротивлением $1,64$ Ом подключена к источнику тока. Найти во сколько раз уменьшится сила тока в катушке через $0,05$ с после ее отключения от источника тока и замыкания накоротко.

8. Точка совершает колебания по закону $x = A \sin \omega t$. В некоторый момент времени смещение точки оказалось равным 5 см. Когда фаза колебаний увеличилась вдвое, смещение стало равным 8 см. Найти амплитуду колебаний.

9. Амплитуда колебаний камертона за 87 с уменьшилась в 263 раза. Найти коэффициент затухания.

10. В колебательной системе совершаются вынужденные колебания с частотой 13 Гц. При увеличении частоты вынуждающей силы в 9 раз, амплитуда колебаний не изменилась. Найти собственную частоту колебаний системы, пренебрегая коэффициентом затухания.

ВАРИАНТ 8

1. Бесконечно длинный прямой провод согнут под прямым углом. По проводу течёт ток силой $I = 100$ А. Вычислить магнитную индукцию B в точках, лежащих на биссектрисе угла и удалённых от его вершины на $a = 100$ см.

2. Обмотка катушки сделана из проволоки диаметром $0,8$ мм. Витки плотно прилегают друг к другу. Считая катушку достаточно длинной, найти индукцию магнитного поля внутри катушки при силе тока 1 А.

3. Найти отношение магнитного момента эквивалентного кругового тока при движении электрона по круговой орбите в атоме водорода к моменту импульса орбитального движения электрона. Заряд и масса электрона известны.

4. По трем параллельным длинным проводам, находящимся на одинаковом расстоянии друг от друга, равном 20 см, текут одинаковые токи силой 400 А. В двух проводах направление токов совпадает. Определить силу, действующую на единицу длины каждого провода.



5. Чему будет равно среднее значение ЭДС в катушке диаметром 10 см и числом витков 500, если индукция магнитного поля увеличится за 0,1 с от 0 до 2 Вб?
6. Найти индуктивность катушки с железным сердечником и без него, имеющей 400 витков проволоки. Длина катушки 20 см и сечение 9 см^2 . Магнитная проницаемость сердечника 400.
7. В однородном магнитном поле с индукцией $0,2 \text{ Вб/м}^2$ помещен контур радиусом 2 см и сопротивлением 1 Ом. Плоскость контура перпендикулярна силовым линиям поля. Определить количество электричества, которое протечет по контуру при повороте его на 90° .
8. Два камертона звучат одновременно. Частоты их колебаний равны 440 Гц и 440,5 Гц. Определить период биений.
9. Гиря, подвешенная к пружине, колеблется по вертикали с амплитудой 4 см. Определить полную энергию колебаний гири, если жесткость пружины равна 1 кН/м.
10. Математический маятник длиной 45 см совершает затухающие колебания. Через сколько времени энергия колебаний уменьшится в 17 раз. Логарифмический декремент затухания равен 0,302.

ВАРИАНТ 9

1. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам текут токи силой $I_1 = 50 \text{ А}$ и $I_2 = 100 \text{ А}$ в противоположных направлениях. Расстояние d между проводами равно 20 см. Определить магнитную индукцию B в точке удаленной на $r_1 = 25 \text{ см}$ от первого и на $r_2 = 40 \text{ см}$ от второго провода.
2. Протон со скоростью 2 Мм/с летит в магнитном поле с индукцией 15 мТл. Определить радиус дуги окружности, которую он описывает.
3. Вычислить механический момент, действующий на эквивалентный круговой ток движущегося электрона по орбите радиусом 53 пм. Плоскость орбиты параллельна силовым линиям магнитного поля с индукцией 0,1 Тл.



4. В однородном магнитном поле с индукцией $0,01$ Тл помещен проводник длиной 20 см. Определить силу, действующую на проводник, если по нему течет ток силой 5 А, а угол между направлением тока и вектором магнитной индукции равен 30° .

5. Проводник длиной 10 см движется со скоростью 15 м/с перпендикулярно силовым линиям магнитного поля с индукцией $0,1$ Тл. Определить ЭДС индукции в проводнике.

6. Обмотка соленоида длиной 25 см и сопротивлением $0,2$ Ом намотана медной проволокой сечением 1 мм². Определить его индуктивность.

7. В магнитном поле с индукцией $0,05$ Тл находится катушка, состоящая из 200 витков тонкого провода. Сопротивление катушки 40 Ом, поперечное сечение 12 см². Плоскость катушки расположена под углом 30° к линиям магнитного поля. Определить количество электричества, которое протечет по катушке при исчезновении магнитного поля.

8. Написать уравнение движения, получающегося в результате сложения двух одинаково направленных гармонических колебаний с одинаковым периодом 4 с и одинаковой амплитудой $0,02$ м. Разность фаз между этими колебаниями равна 45° . Начальная фаза одного из этих колебаний равна нулю.

9. Определить логарифмический декремент затухания математического маятника длиной 1 м, если за 5 минут амплитуда его уменьшилась в 8 раз.

10. Амплитуда затухающих колебаний математического маятника за 54 с уменьшается в 7 раз. Длина маятника равна 19 см. Сколько полных колебаний сделает маятник, пока амплитуда уменьшится в 11 раз.



ВАРИАНТ 10

1. По тонкому проволочному кольцу течёт ток. Не изменяя силы тока в проводнике, ему придали форму квадрата. Во сколько раз изменилась магнитная индукция в центре контура.

2. Электрон влетел в однородное магнитное поле под углом 30° к линиям индукции. Определить силу, действующую на электрон, если скорость его 4 Мм/с и индукция $0,2 \text{ Тл}$.

3. Вычислить магнитный момент эквивалентного кругового тока движущегося электрона в невозбужденном атоме водорода по орбите радиусом 53 пм . Атом находится в магнитном поле с индукцией $0,1 \text{ Тл}$, причем линии индукции параллельны плоскости орбиты электрона.

4. В однородном магнитном поле с индукцией $0,04 \text{ Тл}$ вращается катушка с угловой скоростью 5 рад/с относительно оси, совпадающей с диаметром катушки и перпендикулярной линиям магнитной индукции.

5. Определить мгновенное значение ЭДС индукции в момент времени, когда плоскость катушки составляет угол 60° с линиями индукции, если в катушке 1000 витков и площадь поперечного сечения 100 см^2 .

6. Определить индуктивность соленоида, если его сечение равно 5 см^2 , число витков 1000 и индукция $0,01 \text{ Тл}$ при токе 2 А .

7. Найти время, в течение которого сила тока в катушке будет равно 99% от максимального при включении ее в цепь питания, если сопротивление катушки 8 Ом , индуктивность $0,5 \text{ Гн}$ и внутреннее сопротивление цепи питания 2 Ом .

8. Найти отношение длин двух математических маятников, если отношение периодов их колебаний равно $1,5$.

9. Определить число полных колебаний, которое должен совершить маятник, чтобы амплитуда его уменьшилась в 3 раза. Логарифмический декремент затухания $0,06$.

10. К вертикальной пружине подвешен стальной шарик радиусом 10 см . Частота колебаний шарика в воздухе $\nu_0 = 5 \text{ с}^{-1}$, а в некоторой



жидкости $v = 4,6 \text{ с}^{-1}$. Начальное смещение равно амплитуде колебаний в жидкости $A = 5 \text{ см}$. Определить коэффициент вязкости жидкости, уравнение смещения шарика.

ВАРИАНТ 11

1. Бесконечно длинный провод образует круговую петлю касательную к проводу. По проводу течёт ток силой 5 А . Найти радиус петли, если известно, что индукция магнитного поля в центре петли равна $51,2 \text{ мкТл}$.

2. Прямой провод длиной 20 см , по которому течет ток 30 А , находится в однородном магнитном поле с индукцией $0,01 \text{ Тл}$. Найти силу, действующую на провод, если угол между направлением тока и вектором индукции равен 45° .

3. По кольцу радиусом R течет ток. На оси кольца на расстоянии 1 м от его плоскости магнитная индукция равна 10 нТл . Определить магнитный момент кольца с током, если радиус много меньше расстояния 1 м .

4. Определить кинетическую энергию электрона, движущегося в магнитном поле с индукцией $0,1 \text{ Тл}$ по окружности радиусом 2 см с учетом изменения массы со скоростью.

5. Индукция магнитного поля между полюсами двухполюсного генератора равна $0,8 \text{ Тл}$. Ротор содержит 100 витков площадью 400 см^2 . Определить частоту вращения ротора, если максимальное значение ЭДС индукции равно 200 В .

6. Индуктивность катушки без сердечника равна $0,02 \text{ Гн}$. Определить потокосцепление при токе в катушке силой 5 А .

7. Источник тока замкнули на катушку с сопротивлением 10 Ом и индуктивностью 1 Гн . Найти время, через которое сила тока замыкания достигнет $0,9$ предельного значения.

8. К пружине подвешен груз массой 20 кг . Зная, что пружина под влиянием силы $9,8 \text{ Н}$ растягивается на $1,5 \text{ см}$, найти период вертикальных колебаний груза.



9. Математический маятник длиной 24,7 м, совершает затухающие колебания. Через какое время энергия колебаний маятника уменьшится в 10 раз, если логарифмический декремент затухания 0,8?

10. Определить амплитуду вынужденных колебаний груза массой 19 г, подвешенного на пружине жесткостью 19 н/м, если действует вынуждающая сила с амплитудой 1 Н и частотой в 2 раза большей собственной частоты, а коэффициент затухания равен 9 с^{-1} . Ответ дать в мм и округлить до сотых.

ВАРИАНТ 12

1. В соленоиде длиной 20 см и диаметром 5 см индукция магнитного поля $1,25 \cdot 10^{-3}$ Тл. Найти: 1) число ампервитков, необходимое для этого соленоида; 2) разность потенциалов, которую нужно приложить к концам обмотки из медной проволоки диаметром 0,5 мм. Считать поле соленоида однородным.

2. Три параллельных прямых провода расположены на одинаковом расстоянии 10 см друг от друга. Определить силу, действующую на отрезок длиной 1 м каждого провода, если по ним текут одинаковые токи 100 А, причем направления токов в двух проводах совпадают.

3. Напряженность магнитного поля в центре кругового тока равна 200 А/м. Магнитный момент витка равен $1 \text{ А} \cdot \text{м}^2$. Вычислить силу тока в витке и радиус витка.

4. Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле со скоростью 0,8с ($c = 300 \text{ Мм/с}$). Индукция магнитного поля равна 0,01 Тл. Определить радиус окружности, учитывая увеличение массы электрона со скоростью и без учета этого эффекта.

5. Рамка, содержащая 1000 витков площадью 100 см^2 , равномерно вращается с частотой 10 об/с в магнитном поле напряженностью 10 кА/м. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям напряженности. Определить максимальную ЭДС индукции, возникающую в рамке.

6. Соленоид содержит 1200 витков площадью 5 см^2 . Определить индуктивность соленоида, если при токе силой 2 А индукция магнитного поля в соленоиде равна 0,01 Тл.



7. В цепи сопротивлением 20 Ом и индуктивностью $0,01 \text{ Гн}$ шел ток силой 50 А . Определить силу тока в цепи через $0,01 \text{ с}$ после отключения ее от источника тока.

8. Написать уравнение гармонического, колебательного движения с амплитудой 6 см , если за время 2 мин совершается 150 колебаний и начальная фаза колебаний 45° . Начертить график этого движения.

9. На концах тонкого стержня длиной 30 см укреплены одинаковые грузики по одному на каждом конце. Стержень с грузиками колеблется около горизонтальной оси, проходящей через точку, удаленную на 10 см от одного из концов стержня. Определить приведенную длину и период колебаний такой системы. Массой стержня пренебречь.

10. За время 10 минут амплитуда колебаний математического маятника длиной $0,9 \text{ м}$ уменьшилась в 2 раза. Определить логарифмический декремент затухания.

ВАРИАНТ 13

1. По тонкому проводящему кольцу радиусом $R = 10 \text{ см}$ течёт ток силой $I = 80 \text{ А}$. Найти магнитную индукцию B в точке, равноудаленной от всех точек кольца на расстоянии $r = 20 \text{ см}$.

2. Катушка длиной 30 см состоит из 1000 витков. Найти индукцию магнитного поля внутри катушки, если ток, проходящий по катушке, равен 2 А . Диаметр катушки считать малым по сравнению с её длиной.

3. Два параллельных провода взаимодействуют с силой 1 мН . Найти силу тока в проводах, если длина их 1 м и расстояние между ними 1 см .

4. Короткая катушка имеет квадратное сечение со стороной 10 см и имеет 1000 витков тонкого провода. Найти магнитный момент, если по катушке течет ток силой 1 А .

5. Какое число оборотов должен сделать протон в магнитном поле циклотрона, чтобы его энергия была равна 10 МэВ , если разность потенциалов между дуантами 30 кВ .



6. Рамка площадью 50 см^2 , содержащая 100 витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией 40 мТл. Определить максимальное значение ЭДС индукции, если рамка вращается с частотой 96 об/с и ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции.

7. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением 10 Ом и индуктивностью 0,2 Гн. Через сколько времени сила тока в цепи достигнет 50% максимального значения.

8. Точка совершает колебания по закону $x = A \sin \omega t$. В некоторый момент времени смещение точки оказалось равным 10 см. Когда фаза колебания увеличилась вдвое, смещение стало равным 16 см. Найти амплитуду колебаний.

9. На стержне длиной 30 см укреплены два одинаковых груза: один в середине стержня, другой – на одном из его концов. Стержень с грузиком колеблется около горизонтальной оси, проходящей через свободный конец стержня. Определить приведенную длину и период колебаний такой системы. Массой стержня пренебречь.

10. Амплитуда затухающих колебаний за время 5 минут уменьшилась в 3 раза. Определить коэффициент затухания.

ВАРИАНТ 14

1. По двум длинным прямолинейным проводам, находящимся на расстоянии $r = 5 \text{ см}$ друг от друга в воздухе, текут токи силой $I = 10 \text{ А}$ каждый. Определить магнитную индукцию B , поля, создаваемого токами в точке, лежащей посередине между проводами для случаев: 1) провода параллельны, токи текут в одном направлении; 2) провода параллельны, токи текут в противоположных направлениях; 3) провода перпендикулярны.

2. Определить силу отталкивания двух параллельных проводов, находящихся на расстоянии 20 см друг от друга, если их длина 2 м и по ним текут токи 10 кА.

3. По витку радиусом 5 см течет ток 10 А. Определить магнитный момент кругового тока.



4. В циклотроне ускоряются двухзарядные ионы гелия. Какова индукция магнитного поля, если частота переменной разности потенциалов, приложенной к дуантам, равна 10 МГц (период обращения ионов должен совпадать с периодом изменения разности потенциалов).

5. Проводник длиной 1 м движется со скоростью 5 м/с перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Определить индукцию магнитного поля, если на концах проводника возникает разность потенциалов 0,02 В.

6. На картонный каркас длиной 50 см и площадью сечения 4 см^2 намотан в один слой провод диаметром 0,2 мм так, что витки плотно прилегают друг к другу. Определить индуктивность соленоида.

7. Определить силу ока в цепи через 0,01 с после ее размыкания. Сопротивление цепи 20 Ом, индуктивность 0,1 Гн. Сила тока до размыкания цепи равна 50 А.

8. Материальная точка массой 0,1 г колеблется согласно уравнению $x = A \sin \omega t$, где $A = 5 \text{ см}$, $\nu = 20 \text{ Гц}$. Определить максимальные значения возвращающей силы и кинетической энергии точки.

9. Однородный диск радиусом 30 см колеблется около горизонтальной оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно плоскости диска. Определить частоту колебаний такого физического маятника.

10. Амплитуда затухающих колебаний маятника за 2 минуты уменьшилась в 5 раз. За какое время, амплитуда уменьшится в 6 раз. Определить коэффициент затухания.

ВАРИАНТ 15

1. Длинный прямой соленоид из проволоки диаметром $d = 0,5 \text{ мм}$ намотан так, что витки плотно прилегают друг к другу. Какова индукция магнитного поля внутри соленоида при силе тока $I = 4 \text{ А}$? Толщиной изоляции пренебречь.

2. По тонкому проводу в виде кольца радиусом 20 см течет ток 200 А. Перпендикулярно плоскости кольца возбуждено магнитное поле с индукцией 20 мТл. Определить силу, растягивающую кольцо.



3. Рамка гальванометра площадью 1 см^2 , содержащая 200 витков тонкого провода, подвешена на упругой нити в магнитном поле с индукцией 5 мТл, так, что нормаль к плоскости рамки перпендикулярна линиям магнитной индукции. Найти постоянную кручения нити, если при пропускании по рамке тока 2 мкА рамка поворачивается на угол 30° .

4. Какова частота ускоряющего поля между дуантами циклотрона при ускорении в нем дейтонов, если индукция магнитного поля равна 1 Тл.

5. Стержень длиной 10 см вращается относительно оси, проходящей через один из его концов, в однородном магнитном поле с индукцией 0,4 Тл. Плоскость вращения перпендикулярна силовым линиям поля. Определить разность потенциалов на концах стержня при частоте вращения 16 об/с.

6. Катушка имеет сопротивление 10 Ом и индуктивность 144 мГн. Через сколько времени после выключения в катушке установится ток, равный половине установившегося при включении?

7. Катушка длиной 20 см и диаметром 3 см имеет 400 витков. По катушке течет ток силой 2 А. Найти индуктивность катушки.

8. Материальная точка совершает колебания по закону синуса. Наибольшее смещение точки 20 см, наибольшая скорость 40 см/с. Написать уравнение колебаний и найти максимальное ускорение точки.

9. Пружинный маятник (жёсткость пружины 10 Н/м, масса груза 100 г) совершает затухающие колебания в вязкой среде с коэффициентом сопротивления 0,02 кг/с. Определить коэффициент затухания и через сколько времени амплитуда колебаний уменьшится в e раз.

10. Маятник длиной 62 см с грузом 240 г совершает колебания под воздействием вынуждающей силы, амплитуда которых 0,07 м и силы сопротивления пропорциональной скорости $F = -0,275v$. Определить добротность системы. Округлить до сотых.

ВАРИАНТ 16

1. Два прямолинейных длинных проводника расположены параллельно на расстоянии 10 см друг от друга. По проводникам текут токи $I_1 = I_2 = 5$ А в противоположных направлениях. Найти индукцию маг-



нитного поля в точке находящейся на расстоянии 10 см от каждого проводника.

2. Напряжённость магнитного поля в центре кругового витка радиусом 11 см равна 64 А/м. Найти индукцию магнитного поля на оси витка на расстоянии 10 см от его плоскости.

3. Определить силу взаимодействия шин генератора, находящихся на расстоянии 4 мм друг от друга, если по ним течет ток 50 А и их длина равна 1 м.

4. Виток диаметром 20 см может вращаться около вертикальной оси, совпадающей с одним из диаметров витка. Виток установили в плоскости магнитного меридиана и пустили по нему ток 10 А. Найти момент сил, действующий на виток, если горизонтальная составляющая магнитной индукции поля Земли равна 20 мкТл.

5. Вычислить скорость и энергию α частиц, вылетающих из циклотрона, если перед выходом они движутся по окружности радиусом 50 см. Индукция магнитного поля 1,7 Тл.

6. По двум параллельным стержням, расположенным горизонтально и находящимся на расстоянии 20 см друг от друга, скользит перемычка со скоростью 1 м/с, так как стержни находятся в вертикальном магнитном поле с индукцией 1,5 Тл и к стержням приложена ЭДС, равная 0,5 В. Сопротивление перемычки 0,02 Ом. Определить ЭДС индукции, возникающей в перемычке.

7. Определить время, через которое в катушке установится ток, равный половине максимального, если катушка имеет сопротивление 10 Ом и индуктивность 0,144 Гн после включения катушки в цепи питания.

8. Уравнение движения точки дано в виде $x = 2\sin 300t$. Найти моменты времени t , в которые достигаются максимальная скорость и максимальное ускорение.

9. Физический маятник в виде тонкого прямого стержня длиной $l = 120$ см колеблется около горизонтальной оси, проходящей перпендикулярно стержню через точку, удаленную на некоторое расстояние a от центра масс стержня. При каком значении a период колебаний T имеет наименьшее значение?



10. За время, за которое система совершает 100 колебаний, амплитуда уменьшилась в 5 раз. Найти добротность системы.

ВАРИАНТ 17

1. Ток 20 А идёт по длинному проводнику, согнутому под прямым углом. Найти индукцию магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии 10 см.

2. На длинный соленоид виток к витку намотан провод, диаметром $d = 1$ мм. По проводнику течёт ток силой $I = 5$ А. Найти индукцию магнитного поля в центре соленоида и на его концах.

3. Определить силу, действующую на тонкий провод в виде дуги, составляющей треть кольца радиусом 15 см, если по проводу течет ток 30 А и провод находится в магнитном поле индукцией 20 мТл. Плоскость, в которой лежит дуга, перпендикулярна линиям магнитной индукции.

4. Проволочный виток радиусом 5 см находится в однородном магнитном поле напряженностью 2 кА/м. Плоскость витка образует угол 60° с направлением поля. По витку течет ток 4 А. Найти механический момент, действующий на виток.

5. Определить скорость и энергию протона, сделавшего 40 оборотов в циклотроне, если максимальное значение разности потенциалов между дуантами равно 60 кВ.

6. Определить мощность, которую необходимо затратить для движения прямого провода длиной 10 см в магнитном поле с индукцией 1 Тл со скоростью 20 м/с перпендикулярно силовым линиям. Сопротивление всей цепи равно 0,4 Ом.

7. В однородном магнитном поле с индукцией 0,04 Тл находится проволочное кольцо радиусом 4 см, имеющее сопротивление 0,01 Ом. Плоскость кольца составляет угол 30° с линиями индукции. Какое количество электричества протечет по кольцу при изменении поля до нуля.

8. Определить максимальную скорость и максимальное ускорение точки, колеблющейся по закону $x = 2\cos 1800(t+1)$ (смещение дано в сантиметрах).



9. За 16,1 с амплитуда колебаний уменьшается в 10 раз. За какое время амплитуда колебаний уменьшится в 100 раз.

10. За 100 с система успевает совершать 100 колебаний. За это же время амплитуда уменьшается в 2,718 раз. Найти коэффициент затухания, логарифмический декремент затухания, добротность контура и относительную убыль энергии за период колебаний.

ВАРИАНТ 18

1. По тонкому проводу, изогнутому в виде прямоугольника, течёт ток силой $I = 60$ А. Длины сторон прямоугольника равны $a = 30$ см и $b = 40$ см. Определить магнитную индукцию B в точке пересечения диагоналей.

2. По тонкому проводящему кольцу радиусом $R = 10$ см течёт ток. Чему равна сила тока в кольце, если магнитная индукция в точке, равноудаленной от всех точек кольца на расстоянии $r = 20$ см равна $62,8$ мкТл.

3. Обмотка катушки сделана из проволоки диаметром $0,8$ мм. Витки плотно прилегают друг к другу. Считая катушку достаточно длинной, найти напряжённость магнитного поля внутри катушки при силе тока 7 А.

4. Прямой длинный провод расположен в одной плоскости с квадратной рамкой так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и проводу течет ток 1 кА. Определить силу, действующую на рамку, если ближайшая сторона рамки находится от провода на расстоянии, равном ее длине.

5. Короткая катушка содержит 200 витков провода, по которому течет ток 4 А. Площадь поперечного сечения катушки 150 см². Катушка помещена в однородно магнитное поле напряженностью 8 кА/м так, что ее ось составляет угол 60° с линиями индукции. Определить магнитный момент катушки.

6. Электрон влетает в магнитное поле напряженностью 16 кА/м со скоростью 8 Мм/с под углом 60° к направлению линий индукции. Определить радиус и шаг винтовой линии, по которой будет двигаться электрон.



7. Прямой провод длиной 20 см перемещается перпендикулярно силовым линиям магнитного поля с индукцией 1 Тл со скоростью 2,5 м/с. Сопротивление всей цепи равно 0,1 Ом. Найти силу, действующую на провод.

8. Через какое время от начала движения точка, совершающая колебательное движение по уравнению $x = 7\sin 450t$, проходит путь от положения равновесия до максимального смещения?

9. Во сколько раз уменьшилась полная энергия колебаний маятника за 5 минут, если период колебаний 1 с, логарифмический декремент затухания 0,031?

10. За 1 с амплитуда свободных колебаний уменьшилась в 2 раза. В течение какого времени амплитуда уменьшится в 10 раз?

ВАРИАНТ 19

1. Два круговых витка радиусом 4 см каждый расположены в параллельных плоскостях на расстояние 0,1 м друг от друга. Магнитная индукция на оси витков в точке, находящейся на равном расстоянии от них $B = 15,3$ мкТл. Найти точки в витках при условии, что они равны и текут в одном направлении.

2. Найти угол между направлениями вектора индукции и тока, если на провод действует сила 10 мН. Длина провода 10 см, ток 20 А и индукция магнитного поля 0,01 Тл.

3. Найти механический момент, действующий на рамку с током, помещенную в магнитное поле с индукцией 0,1 Тл, если по рамке течет ток 1 мА, и рамка содержит 200 витков тонкого провода и имеет длину 4 см и ширину 1,5 см.

4. В однородном магнитном поле с индукцией 2 Тл движется протон по винтовой линии радиусом 10 см и шагом 60 см. Определить кинетическую энергию протона.

5. Определить индукцию магнитного поля, если при движении прямого провода длиной 40 см перпендикулярно силовым линиям поля со скоростью 5 м/с между его концами возникает разность потенциалов 0,6 В.



6. Индуктивность соленоида длиной 1 м, намотанного на немагнитный каркас, равна 1,6 мГн. Определить число витков на каждом сантиметре длины, если сечение соленоида равно 20 см^2 .

7. Контур состоит из индуктивности 0,34 Гн и сопротивления 100 Ом. Контур был подключен к источнику напряжения величиной 38 В. Определить силу тока в контуре через 0,01 с после отключения от источника тока.

8. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями $x = A_1 \cos \omega t$ и $y = -A_2 \cos 2\omega t$, где $A_1 = 4 \text{ см}$ и $A_2 = 2 \text{ см}$. Найти уравнение траектории и построить ее.

9. Найти частоту колебаний груза массой 0,2 кг, подвешенного к пружине и помещенного в масло, если коэффициент трения в масле 0,5 кг/с, а коэффициент упругости пружины 50 Н/м.

10. За 50 с система совершила 100 колебаний. За это время амплитуда уменьшилась в 3 раза. Определить убыль энергии системы $\Delta E/E$ за это время.

ВАРИАНТ 20

1. Ток 20 А идёт по длинному проводнику, согнутому под прямым углом. Найти магнитную индукцию поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии 10 см.

2. В соленоиде длиной 20 см и диаметром 5 см индукция магнитного поля $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$. Обмотка соленоида изготовлена из медной проволоки диаметром 0,5 мм. Найти ток, проходящий через обмотку и разность потенциалов, прикладываемую к концам обмотки. Считать поле соленоида однородным.

3. Рамка гальванометра длиной 4 см и шириной 1,5 см содержит 200 витков тонкого провода. Рамка помещена в магнитное поле с индукцией 0,1 Тл так, что плоскость рамки параллельна линиям индукции. Найти магнитный момент рамки, если по рамке течет ток 1 мА.



4. Определить период вращения и скорость электрона при его движении по винтовой линии в однородном магнитном поле с индукцией 9 мТл. Радиус винтовой линии 1 см и ее шаг 7,8 см.

5. Определить среднее значение ЭДС индукции в контуре, если магнитный поток, пронизывающий контур, изменяется от 0 до 40 мВб за время 2 мс.

6. На картонный каркас длиной 50 см и площадью поперечного сечения 8 см намотан тонкий провод в один слой так, что витки плотно прилегают друг к другу. Индуктивность соленоида равна 12,56 мГн. Каков диаметр провода?

7. Контур, состоящий из сопротивления 10 Ом и индуктивности 1 Гн, отключили от источника тока. Определить время, через которое сила тока уменьшится до 0,1% первоначального значения.

8. Начальная фаза гармонического колебания $\varphi_0 = 0$. При смещении точки от положения равновесия на 2,4 см скорость точки равна 3 см/с, а при смещении на 2,8 см ее скорость равна 2 см/с. Найти амплитуду и период этого колебания.

9. Период затухающих колебаний 4 с, логарифмический декремент затухания 1,6, начальная фаза $\varphi_0 = 0$, при $t = T/4$ смещение точки 4,5 см. Написать уравнение движения точки. Определить полную энергию колеблющейся точки.

10. Во сколько раз уменьшится полная энергия маятника, с периодом колебания 1 с, за 3 минуты, если логарифмический декремент затухания 0,0062? Ответ округлить до сотых.

4.5. Решение типового варианта и образец оформления индивидуального задания № 2

Задача № 1

По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной 10 см, течет ток 10 А. Найти величину магнитной индукции в точке пересечения диагоналей квадрата.

Дано:

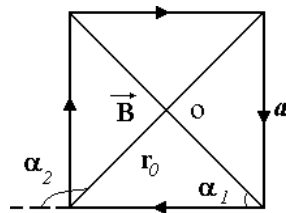
$$a = 10 \text{ см (СИ: } 10 \cdot 10^{-2} \text{ м)}$$

$$I = 10 \text{ А}$$

Найти: $B = ?$

Решение

По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной 10 см, течет ток 10 А. Найти величину магнитной индукции в точке пересечения диагоналей квадрата.



Согласно принципу суперпозиции полей магнитная индукция \vec{B} поля квадратного витка равна геометрической сумме магнитных индукций полей, создаваемой каждой стороной квадрата в отдельности:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4.$$

Так как в точке O все векторы $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3, \vec{B}_4$ направлены перпендикулярно чертежу (от нас), то $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4 = 4\vec{B}_1$.

Магнитная индукция \vec{B}_1 поля, создаваемого отрезком прямолинейного проводника с током, определяется формулой

$$\vec{B}_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

то, учитывая, что $\alpha_2 = \pi - \alpha_1$ и $\cos \alpha_2 = -\cos \alpha_1$,

$$\vec{B}_1 = \frac{2\mu_0 I}{4\pi r_0} \cos \alpha_1 \text{ или } \vec{B} = 4 \frac{2\mu_0 I}{4\pi r_0} \cos \alpha_1 = \frac{2\mu_0 I}{\pi r_0} \cos \alpha_1.$$

Из рисунка 4 следует, что $r = a/2$, $\cos \alpha_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}$, т.к. $\alpha_1 = \frac{\pi}{4}$.

$$\text{Тогда } \vec{B} = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 I}{\pi a}.$$

Подставляя числовые значения, получим $B = 1,13$ мТл.

Ответ: $\vec{B} = 1,13$ мТл.

Задача № 2

Тонкая лента шириной l свернута в трубку радиусом R (см. рис.). По ленте течет равномерно распределенный по ее ширине ток I . Определить модуль вектора магнитной индукции в произвольной точке на оси трубки.

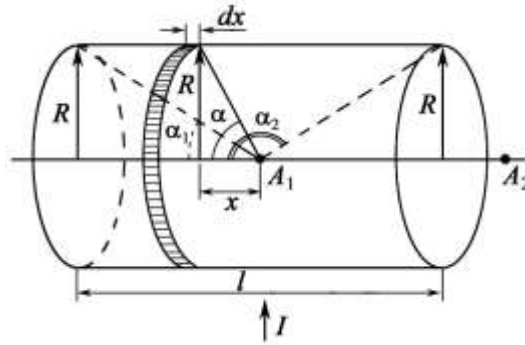
Дано:

l
 R
 I

Найти: $B = ?$

Решение:

Проводник нельзя считать ни тонким, ни элементом тока, поэтому непосредственное применение закона Био – Савара – Лапласа запрещено. Трудно здесь использовать теорему о циркуляции, т.к. магнитное поле лишено симметрии. Для решения разделим трубку на столь узкие кольца, чтобы каждое из них можно было считать за тонкий круговой проводник. Рассмотрим одно такое узкое кольцо шириной dx , находящееся на расстоянии x от произвольной точки A_1 .



Элементарный ток этого узкого кольца $dl = \frac{dx}{l} I$ создает в точке A_1 элементарную магнитную индукцию $dB = \frac{\mu_0 I R^2 dx}{2l(R^2 + x^2)^{3/2}}$ (магнитное поле кругового тока).

Удобнее выбрать за переменную интегрирования угол α , под которым радиус каждого узкого кольца виден из точки A_1 . Т.к.

$$x = R \operatorname{ctg} \alpha, \quad dx = -\frac{R d\alpha}{\sin^2 \alpha}, \quad R^2 + x^2 = \frac{R^2}{\sin^2 \alpha},$$

то

$$dB = \frac{\mu_0 I \sin \alpha d\alpha}{2l}.$$

Отсюда после интегрирования получаем

$$B = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\mu_0 I \sin \alpha d\alpha}{2l} = \frac{\mu_0 I}{2l} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2). \quad (1)$$

Если ввести ток на единичную длину трубки

$$I_0 = I / l, \quad (2)$$

то (1) примет вид

$$B = \frac{\mu_0 I_0}{2} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2). \quad (3)$$

Формула (3) справедлива и для соленоида, если учесть соотношение

$$I_0 = n I_1,$$

где n – число витков на единичную длину соленоида; I_1 – сила тока в соленоиде. Итак, для конечного соленоида

$$B = \frac{\mu_0 n I_1}{2} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2). \quad (4)$$

Полученные формулы (1), (3) и (4) справедливы и для точки A_2 , находящейся на оси трубки вне ее. Заметим, что для точки A_1 угол α_2

всегда тупой, а для точки A_2 – всегда острый (исключая точки на торцах трубки). Полезно исследовать различные частные случаи: точка A_1 расположена в середине трубки, на ее концах и т.д., а также случай бесконечной трубки или соленоида ($l \rightarrow \infty$).

Ответ:
$$B = \frac{\mu_0 n I_1}{2} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

Задача № 3

Электрон влетает в однородное магнитное поле, индукция которого 2 мТл, со скоростью 7,6 Мм/с под углом 60° к вектору индукции. Определить радиус витка и шаг спирали, по которой будет двигаться электрон.

Дано:

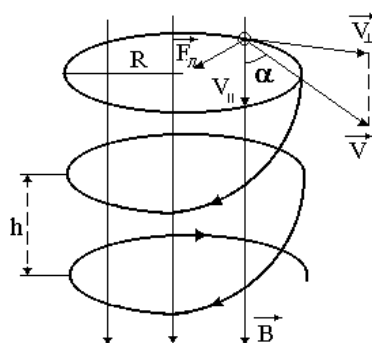
$B = 2 \text{ мТл}$ (СИ: $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$)

$V = 7,6 \text{ Мм/с}$ (СИ: $7,6 \cdot 10^6 \text{ м/с}$)

$\alpha = 60^\circ$

Найти: $R = ?$

$h = ?$



Решение

Если скорость электрона направлена под углом α к вектору \vec{B} , то его движение можно представить как совокупность двух движений: равномерного прямолинейного движения вдоль вектора \vec{B} со скоростью $V_{\parallel} = V \cos \alpha$ и равномерного движения по окружности со скоростью $V_{\perp} = V \sin \alpha$. В результате сложения движений возникает движение по спирали. Сила Лоренца действует на электрон в плоскости, перпендику-



лярной \vec{B} , сообщая ему нормальное ускорение. Согласно закону Ньютона $eV_{\perp}B = \frac{mV_{\perp}^2}{R}$ или $eVB \sin \alpha = \frac{mV^2 \sin^2 \alpha}{R}$. Отсюда

$$R = \frac{mV \sin \alpha}{eB}. \quad (1)$$

Шаг спирали равен расстоянию h , на которое смещается электрон вдоль \vec{B} , за один оборот $h = V_{\parallel}T = VT \cos \alpha$. Т.к. $TV_{\perp} = 2\pi R$, то $T = \frac{2\pi R}{V \sin \alpha}$.

Тогда

$$h = \frac{2\pi R V \cos \alpha}{V \sin \alpha} = \frac{V 2\pi m \cos \alpha}{eB}. \quad (2)$$

Подставив числовые значения в (1) и (2), получим $R = 18,7$ мм, $h = 6,79$ см.

Ответ: $R = 18,7$ мм; $h = 6,79$ см.

Задача 4

Квадратная проволочная рамка со стороной a и прямой проводник с током I лежат в одной плоскости. Вычислить магнитный поток Φ через поверхность рамки. $I = 6$ А, $a = 20$ см, $b = 40$ см.

Дано:

$$I = 6 \text{ А}$$

$$a = 20 \text{ см (СИ: } 20 \cdot 10^{-2} \text{ м)}$$

$$b = 40 \text{ см (СИ: } 40 \cdot 10^{-2} \text{ м)}$$

Найти: $R=?$

$h=?$

Решение

Магнитный поток Φ определяется по формуле $\Phi = \int B dS$, причем $B = B(x)$.

Выделим полоску шириной dx и длиной a . Поле B можно считать однородным по всей поверхности полоски $dS = a \cdot dx$.

Площадь полоски равна $dS = a \cdot dx$.

Магнитное поле проводника с током I равно $B = \frac{\mu_0}{2\pi x} I$, следовательно, $d\Phi = \frac{\mu_0}{2\pi x} I \cdot a dx \cdot \cos \theta$, т.к. $n \uparrow \uparrow B$.

$$\text{Интегрирование дает } \Phi = \frac{\mu_0 I a}{2\pi} \int_{b-a}^b \frac{dx}{x} = \frac{\mu_0 I a}{2\pi} \ln \frac{b}{b-a}.$$

$$\text{Вычисляем } \Phi = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6 \cdot 0,2}{2\pi} \ln 2 \cong 52 \cdot 10^{-8} \text{ Вб.}$$

Ответ: 0,52 мкВб.

Задача № 5

Квадратная проволочная рамка со стороной 5 см и сопротивлением 10 мОм находится в однородном магнитном поле с индукцией 40 мТл. Нормаль к плоскости рамки составляет угол 30° с линиями магнитной индукции. Найдите заряд q , который протечет по рамке при выключении магнитного поля.

Дано:

$$x = 5 \text{ см (СИ: } 5 \cdot 10^{-2} \text{ м)}$$

$$R = 10 \text{ мОм (СИ: } 10^{-2} \text{ Ом)}$$

$$B = 40 \text{ мТл (СИ: } 4 \cdot 10^{-2} \text{ Тл)}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

Найти: $q = ?$

Решение

При выключении магнитного поля происходит изменение магнитного потока. В рамке возникает ЭДС индукции

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad (1)$$

приводящая к появлению в рамке индукционного тока. Мгновенное значение этого тока можно определить из закона Ома:

$$I = \frac{\varepsilon_i}{R}. \quad (2)$$

Подставив (2) в (1), получим

$$IR = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (3)$$

Мгновенное значение силы индукционного тока

$$I = \frac{dq}{dt}. \quad (4)$$

Тогда выражение (3) примет вид

$$R \frac{dq}{dt} = -\frac{d\Phi}{dt} \quad \text{или} \quad dq = -\frac{d\Phi}{R}. \quad (5)$$

Проинтегрировав полученное выражение, найдем

$$q = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R}. \quad (6)$$

При выключенном поле $\Phi_2 = 0$, поэтому формула (6) запишется как

$$q = \frac{\Phi_1}{R} \quad (7)$$

По определению магнитного потока $\Phi_1 = Bs \cdot \cos\alpha$, где $s = x^2$ – площадь рамки. Тогда

$$\Phi_1 = Bx^2 \cdot \cos\alpha. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (7), получим

$$q = \frac{B \cdot x^2}{R} \cos\alpha = \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot 25 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{3}}{10^{-2} \cdot 2} = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ (Кл)}.$$

Ответ: $8,5 \cdot 10^{-3}$ Кл.

Задача №6

В однородное магнитное поле с напряженностью 150 кА/м перпендикулярно линиям поля помещен плоский круговой проволочный контур. По контуру течет ток 2 А. Радиус контура 0,02 м. Найти работу, которую необходимо совершить для поворота контура на угол 90° вокруг оси, совпадающей с его диаметром.



Дано:

$$H = 150 \text{ кА/м (СИ: } 150 \cdot 10^3 \text{ А/м)}$$

$$I = 2 \text{ А}$$

$$R = 0,02 \text{ м}$$

$$\varphi_1 = 0$$

$$\varphi_2 = 90^\circ$$

Найти: $A = ?$

Решение

Работа по перемещению контура с током в однородном магнитном поле равна

$$A = I \cdot \Delta \Phi = I \cdot (\Phi_2 - \Phi_1),$$

где $\Phi_2 = B \cdot S \cdot \cos \varphi_2 = 0$; $\Phi_1 = B \cdot S \cdot \cos \varphi_1 = B \cdot S$.

Площадь контура $S = \pi R^2$. Окончательно получаем

$$A = I \cdot B \cdot \pi \cdot R^2 = I \cdot \mu_0 \cdot H \cdot \pi \cdot R^2 = 0,5 \text{ мДж.}$$

Ответ: 0,5 мДж.

Задача №7

Материальная точка массой 5 г совершает гармонические колебания с частотой $0,5 \text{ с}^{-1}$. Амплитуда колебаний 3 см. Определить скорость точки в момент времени, когда смещение ее равно 1,5 см и положительно, максимальную силу, действующую на точку, полную энергию колеблющейся точки.

Дано:

$$M = 5 \text{ г (СИ: } 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг)}$$

$$\nu = 0,5 \text{ с}^{-1}$$

$$A = 3 \text{ см (СИ: } 3 \cdot 10^{-2} \text{ м)}$$

$$x = 1,5 \text{ см (СИ: } 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м)}$$

Найти: $F_{\max} = ?$

$$E = ?$$

$$v = ?$$



Решение

Пусть уравнение гармонических колебаний имеет вид

$$x = A \sin(\omega t + \phi), \quad (1)$$

где x – смещение колеблющейся точки от положения равновесия, $(\omega t + \phi)$ – фаза колебаний, ϕ – начальная фаза, ω – угловая частота, t – время.

Скорость колеблющейся точки

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \phi). \quad (2)$$

Решим совместно уравнения (1) и (2), исключая t :

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{A^2\omega^2} = 1.$$

Т.к. $\omega = 2\pi\nu$, то $\frac{x^2}{A^2} + \frac{v^2}{4\pi^2\nu^2 A^2} = 1.$

Тогда

$$v = \pm 2\pi\nu \sqrt{A^2 - x^2}. \quad (3)$$

Знак «плюс» соответствует случаю, когда точка удаляется от положения равновесия (направление смещения и скорости совпадают). Знак «минус» соответствует движению точки к положению равновесия (направление движения и скорости противоположны).

Силу, действующую на точку, найдем по второму закону Ньютона $F = ma$, где a – ускорение колеблющейся точки:

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi) = -4\pi^2\nu^2 A \sin(\omega t + \phi).$$

Тогда

$$F = -m4\pi^2\nu^2 A \sin(\omega t + \phi).$$

Максимальное значение силы

$$F_{\max} = m4\pi^2\nu^2 A. \quad (4)$$

Полная энергия колеблющейся точки есть сумма кинетической и потенциальной энергии, вычисленных для любого момента времени



$E = E_{кин} + E_{пот}$. Проще всего вычислить полную энергию в момент времени, когда кинетическая энергия максимальна, а потенциальная энергия равна нулю, тогда $E = E_{k\max} = \frac{m v_{\max}^2}{2}$.

Максимальную скорость можно определить по формуле (2), если $\cos(\omega t + \phi) = 1$, $v_{\max} = 2\pi v A$, тогда

$$E = mA^2 2\pi^2 v^2. \quad (5)$$

Подставляя числовые значения в формулы (3),(4) и (5), получим:

$$v = \pm 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ м/с};$$

$$F_{\max} = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ Н};$$

$$E = 2,21 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}.$$

Ответ: $v = \pm 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}; F_{\max} = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ Н}; E = 2,21 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}.$

Задача №8

В колебательном контуре максимальная сила тока 0,2 А, максимальное напряжение на обкладках конденсатора 40 В. Найдите энергию колебательного контура, если период колебаний равен $15,7 \cdot 10^{-6} \text{ с}$.

Дано:

$$I_m = 0,2 \text{ А}$$

$$U_m = 40 \text{ В}$$

$$T = 15,7 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

Найти: $W = ?$

Решение

Энергия колебательного контура равна максимальной энергии магнитного поля или максимальной энергии электрического поля контура

$$W = \frac{L \cdot I_m^2}{2} = \frac{C U_m^2}{2},$$

отсюда

$$W = \frac{I_m U_m \sqrt{LC}}{2}.$$

Период колебаний в контуре



$$T = 2\pi\sqrt{LC} \text{ и } \sqrt{LC} = \frac{T}{2\pi}.$$

Тогда

$$W = \frac{TI_m U_m}{4\pi} = \frac{1,57 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 \cdot 40}{4\pi} = 10^{-5} \text{ (Дж)}.$$

Ответ: $W = 10^{-5}$ Дж



5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

После завершения изучения дисциплины студенты сдают экзамен.

К экзамену допускаются только те студенты, у которых зачтены индивидуальные задания и лабораторные работы.

Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме, приведен в разделе 5.2.

Образец билета для студентов, изучающих дисциплину с применением дистанционных технологий, приведен в разделе 5.3.

5.1. Вопросы для подготовки к экзамену

1. Электрический заряд и его свойства.
2. Закон Кулона. Напряженность электростатического поля. Поток силовых линий напряженности.
3. Поле диполя.
4. Теорема Гаусса и ее доказательство.
5. Применение теоремы Гаусса к расчету полей. Поле сферы и шара.
6. Применение теоремы Гаусса к расчету полей. Поле цилиндра и нити.
7. Применение теоремы Гаусса к расчету полей. Поле плоскости и конденсатора.
8. Теорема Гаусса в дифференциальной форме.
9. Работа в электрическом поле. Потенциал.
10. Признак потенциальности поля. Связь напряженности и потенциала.
11. Проводники в электрическом поле.
12. Ёмкость проводника. Ёмкость конденсаторов.
13. Диэлектрики в электрическом поле. Электронные диэлектрики.
14. Диполь в электрическом поле.
15. Полярные, сегнето- и пьезоэлектрики.
16. Конденсатор, заполненный диэлектриком.
17. Теорема Гаусса для диэлектриков.
18. Поле на границе раздела диэлектриков. Вектор электростатического смещения.
19. Потенциальная энергия системы зарядов. Энергия, связанная с полем.
20. Пондеромоторные силы.
21. Характеристики постоянного тока.
22. Закон Ома для участка цепи.



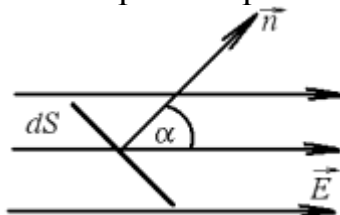
23. Закон Ома для полной цепи.
24. Закон Джоуля – Ленца.
25. Законы Кирхгофа.
26. Экспериментальное подтверждение электронной теории проводимости металлов (опыты Рикке, Милликена, Папалекси).
27. Закон Ома с точки зрения электронной теории.
28. Закон Джоуля – Ленца с точки зрения электронной теории.
29. Закон Видемана – Франца.
30. Недостатки электронной теории проводимости металлов.
31. Термоэлектронные явления. Термоэлектронная эмиссия. Зависимость тока насыщения от температуры накала катода.
32. Контактная разность потенциалов. Внешняя и внутренняя контактная разность потенциалов.
33. Законы Вольта. Термоэлектронные явления (эффект Зеебека, Пельтье, Томсона).
34. Ток в электролитах. Законы электролиза.
35. Ток в газах. Самостоятельный и несамостоятельный разряд.
36. Закон Био – Савара – Лапласа. Применение закона к расчету полей.
37. Поле кругового тока.
38. Поле соленоида.
39. Закон полного тока и его применение.
40. Сила Лоренца и ее применение.
41. Сила Ампера и ее применение. Работа силы Ампера.
42. Поток вектора магнитной индукции. Рамка с током в магнитном поле.
43. Магнитное поле движущегося заряда.
44. Электромагнитная индукция. Взаимная индукция. Самоиндукция. Индуктивность.
45. Ток замыкания.
46. Ток размыкания. Применение явления электромагнитной индукции.
47. Энергия магнитного поля.
48. Диамагнетики.
49. Пара- и ферромагнетики.
50. Магнитное поле в однородном магнетике. Связь \vec{B} и \vec{H} .
51. Магнитомеханические явления.
52. Уравнения Максвелла.
53. Гармонические колебания. Дифференциальное уравнение гармонических колебаний.
54. Пружинный маятник.

55. Математический маятник.
56. Физический маятник.
57. Колебательный контур.
58. Энергия гармонического осциллятора.
59. Затухающие колебания. Декремент затухания.
60. Сложение одинаково направленных колебаний с равными T .
61. Сложение одинаково направленных колебаний с близкими T .
62. Сложение одинаково направленных колебаний с кратными T .
63. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний с одинаковыми T .
64. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний с кратными T .

5.2. Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме

Билет содержит теоретические вопросы и задачи. Экзамен считается сданным, если выполнено более 55 % заданий из билета.

1. Что описывает закон Кулона? Напишите формулу.
2. Сформулируйте теорему о циркуляции напряженности магнитного поля.
3. Скорость и ускорение при гармоническом колебании.
4. Какая величина характеризует силовое действие электростатического поля на пробный заряд, помещенный в данную точку поля? Найдите её численное значение для поля точечного заряда.
5. Выведите выражение для экстратока, возникающего при замыкании цепи.
6. Сложение взаимно-перпендикулярных колебаний одинаковой частоты.
7. Каким будет поток вектора \vec{E} через площадку dS (см. рис.)?

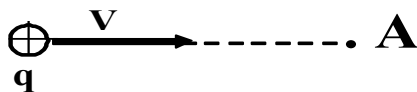


Укажите правильный ответ:

- а) $d\varphi = E \cdot dS$;
- б) $d\varphi = E \cdot dS \cdot \cos \alpha$;
- в) $d\varphi = E \cdot dS \cdot \sin \alpha$.



8. Покажите, как направлено магнитное поле, созданное движущейся заряженной частицей в точке A .



9. Как образуется электромагнитная волна?

10. Элемент с ЭДС 6В и внутренним сопротивлением 1,5 Ом замкнут на внешнее сопротивление 6,5 Ом. Найдите силу тока в цепи.

11. Найти напряженность магнитного поля на оси кругового контура на расстоянии 3 см от его плоскости. Радиус контура 4 см. Сила тока в контуре 2А.

12. Найти индуктивность катушки, которая присоединена к плоскому конденсатору с площадью пластин 100 см^2 и расстоянием между ними 0,1 мм, если контур резонирует на волну длиной 750 м. Диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами, равна 6.

5.3. Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину дистанционно

В данном разделе приведены примеры вопросов из экзаменационного билета для студентов, сдающих экзамен в онлайн режиме (через Интернет на сайте ИДО). Экзаменационный билет включает в себя 20 заданий: задания на выбор единственного ответа (8); задания на выбор множественных ответов (4); задания на установление последовательности (4); задания на установление соответствия (2); задания для краткого ответа (2).

1. Задания на выбор единственного ответа

В однородном магнитном поле \vec{B} находится прямоугольная рамка с током I . В каком случае вращательный момент, действующий на рамку, будет максимальный?

- 1) плоскость рамки параллельна \vec{B}
- 2) плоскость рамки перпендикулярна \vec{B}
- 3) плоскость рамки расположена под углом 45° к \vec{B}

2. Задания на выбор множественных ответов

Укажите формулу(ы), по которой можно определить напряженность электростатического поля, созданного равномерно заряженной с поверхностной плотностью σ сферой радиуса R , находя-



щейся в вакууме в точке внутри сферы на расстоянии r от центра сферы. Q – суммарный заряд сферы.

$$1. \oint_S (\vec{E} d\vec{S}) = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i$$

$$2. E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

$$3. E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$4. E = 0$$

$$5. E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sigma 4\pi R^2}{r^2}$$

$$6. E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^3} r$$

$$7. E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$8. E = \frac{\sigma R}{\epsilon_0 r}$$

3. Задания на установление последовательности

Закон электромагнитной индукции Фарадея гласит

магнитного потока
в замкнутом контуре
через поверхность
электродвижущая сила
скорости изменения

и противоположна по знаку
численно равна
натянутую на контур
электромагнитной индукции

4. Задания на установление соответствия

Установить соответствие между законами физики и их открывателями

а) $j = \sigma E$

б) $\dot{Q} = jE$

в) $\sum I_i = 0$

г) $F = IlB$

д) $B = \mu_0 I / (2\pi R)$

1) Ом

2) Кирхгоф

3) Джоуль и Ленц

4) Био и Савар

5) Ампер

5. Задания для краткого ответа

Лампочка и реостат, соединенные последовательно присоединены к источнику тока. Напряжение U на зажимах лампочки равно 40 В, сопротивление R реостата равно 10 Ом. Внешняя цепь потребляет мощность $P = 120$ Вт. Найти силу тока I в цепи.



6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Кравченко Н.С., Лисичко Е.В., Твердохлебов С.И. Физика 2. Электричество и магнетизм: учебное пособие. – Томск: Изд-во. Томского политехнического университета, 2012. – 209 с.
2. Савельев И.В. Курс физики. М.: Наука, 1999.
3. Яворский Б.М., А.А.Пинский. Основы физики. М.: Наука, 1972
4. Калашников С.Г. Электричество. М.: Наука, 1977.
5. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. М.: Высш. шк., 1979.
6. Трофимова Г.И. Курс общей физики. М.: Высш. шк., 1998.

Дополнительная литература

7. Сивухин Д.В. Общий курс физики. М.: Наука, 1974.
8. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. М.: Высш. шк., 1983.
9. Астахов А.В., Широков Ю.М. Курс физики. М.: Высш. шк., 1980.
10. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М.: Высш. шк., 1983.
11. Астахов А.В. Курс физики. Т. 1. М.: Наука, 1971.

Учебно-методические пособия

12. Методические указания для выполнения лабораторных работ. – Режим доступа http://portal.tpu.ru/departments/kafedra/tief/method_work/method_work2/lab1, свободный.
13. Виртуальный лабораторный комплекс по дисциплине «Физика 2». – Режим доступа <http://lms.tpu.ru/course/view.php?id=8343>, свободный.
14. СТО ТПУ 2.5.01–2006. Система образовательных стандартов. Работы выпускные, квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления / ТПУ [Электронный ресурс] – Томск, 2006. – Режим доступа <http://portal.tpu.ru/departments/head/methodic/standart>, свободный



Учебное издание

ФИЗИКА 2

Методические указания и индивидуальные задания

Составители

**КРАВЧЕНКО Надежда Степановна
ЛИСИЧКО Елена Владимировна
МАКИЕНКО Антонина Васильевна**

Рецензент

*доктор физико-математических наук,
профессор кафедры ТиЭФ ФТИ*

В.Ф. Пичугин

Компьютерная верстка *М.Ю. Дорофеева*


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати . Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать Херох. Усл.печ.л. 5,29. Уч.-изд.л. 4,79.
Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru