

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА  
**сборник учебно-методических материалов**  
для направления подготовки  
03.03.02 - Физика

Благовещенск 2017

*Составитель: О.В. Зотова*

Электродинамика: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 03.03.02. Физика – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

© Амурский государственный университет, 2017

© Кафедра физики, 2017

© О.В. Зотова, составление

## ВВЕДЕНИЕ

Курс «Электродинамика» представляет собой часть курса теоретической физики, которую можно назвать теоретической основой всего естествознания. Выработка общих понятий, на которые ориентирован курс, приобретает особое значение, потому что они оказывают большое влияние на оценку не только научных фактов сегодняшнего дня, но и тех фактов, которые появятся в ближайшем будущем.

Настоящий курс «Электродинамики» представляет один из четырех разделов теоретической физики и предназначен для студентов изучивших разделы курса общей физики – «Электричество и магнетизм» и «Оптика», полностью освоивших цикл математических дисциплин и изучивших «Теоретическую механику» с изложением логранжева и гамильтонова метода.

В курсе содержится теория электромагнитных явлений в вакууме и средах, где используется в основном макроскопический подход к описанию явлений, а также специальная теория относительности, которая строится как последовательно релятивистская теория, в основу вывода уравнений которой положен принцип наименьшего действия. Большое внимание к вопросам релятивистской инвариантности уравнений и трансформационным свойствам физических величин является той основой, которая позволяет с сугубо теоретической точки зрения подойти как к описанию классических электромагнитных явлений, так и новым разделам электромагнетизма, интенсивно развивающимся в последнее время. Вместе с тем, отсутствие квантовых представлений предполагает в курсе «Электродинамики» феноменологический подход к описанию макроскопических электрических и магнитных свойств веществ.

Таким образом, значимость курса «Электродинамики» состоит в том, чтобы на основе общефизических представлений и математических методов дать последовательное изложение строгой теории электромагнитного поля в вакууме и феноменологической теории электромагнитных полей в материальных средах, обобщая тем самым уже известные студентам данные и развивая новые полевые представления о пространстве-времени.

# 1 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## ***Введение***

Электромагнитные взаимодействия и область их применения. Роль электродинамики в современной физической картине мира. Связь с другими дисциплинами. Системы единиц. Классическая электродинамика и ее применение в науке и технике, перспективы развития.

## ***Тема 1. Математические аппарат электродинамики***

Основы векторного и тензорного анализа. Криволинейные координаты. Элементы объема и поверхности в криволинейных координатах. Векторное и скалярное поле. Интегральные теоремы. Дифференциальные векторные операторы. Дифференциальные операции второго порядка.

## ***Тема 2. Экспериментальные основы электродинамики и уравнения электромагнитного поля***

Электрическое поле. Электрическое смещение и электростатическая теорема Гаусса (интегральная и дифференциальная форма). Электрический ток. Закон Ома в дифференциальной форме. Закон сохранения заряда (уравнение непрерывности). Магнитное поле постоянного тока. Закон Био-Савара-Лапласа. Закон полного тока в интегральной и дифференциальной форме. Ток смещения. Обобщение закона полного тока для токов проводимости и смещения. Закон электромагнитной индукции Фарадея.

Теорема Гаусса для магнитного поля, ее физический смысл. Фундаментальная система уравнений Максвелла в вакууме (интегральная и дифференциальная форма). Полнота системы. Единственность решений уравнений Максвелла. Закона сохранения энергии электромагнитного поля. Вектор Умова-Пойнтинга.

## ***Тема 3. Электромагнитное поле в веществе***

Электронная теория вещества. Система уравнений Максвелла-Лоренца. Усреднение микроскопических уравнений Максвелла в среде. Поляризация среды в электрическом поле. Средняя плотность тока и средняя плотность заряда в среде, их связь с векторами поляризации и намагниченности.

#### ***Тема 4. Потенциалы поля и решения задач электродинамики***

Векторный и скалярный потенциалы. Описание электромагнитного поля с помощью потенциалов. Неоднозначность потенциалов. Уравнение Даламбера. Калибровка потенциалов (калибровочные соотношения). Уравнения для потенциалов поля в веществе. Система граничных условий для векторов поля и потенциалов. Пределы применимости уравнений связи. Единственность решения уравнений Максвелла. Прямая и обратная задачи электродинамики. Разделы электродинамики.

#### ***Тема 5. Электростатическое поле***

Система уравнений Максвелла для статического приближения. Электростатическое поле, его потенциальный характер. Скалярный потенциал электростатического поля, его физический смысл и свойства. Уравнения Лапласа и Пуассона. Потенциал системы зарядов в вакууме на больших расстояниях от нее. Разложение потенциала по мультиполям. Мультипольные моменты. Дипольный момент. Поле диполя. Диполь в электрическом поле. Энергия взаимодействия системы неподвижных зарядов и энергия электростатического поля в диэлектриках. Свойства электростатического поля проводников. Поле вблизи поверхности проводника. Потенциал и емкость проводника, системы проводников, потенциальные и емкостные коэффициенты.

#### ***Тема 6. Стационарное магнитное поле***

Уравнения Максвелла для стационарного приближения. Условия существования постоянного тока. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Правила Кирхгофа. Векторный потенциал поля стационарных токов в однородных и изотропных средах. Уравнение Лапласа-Пуассона для векторного потенциала. Закон Био и Савара. Магнитное поле системы движущихся зарядов на больших расстояниях. Магнитный момент тока. Энергия магнитного поля системы токов. Контур с током (магнитный диполь) во внешнем магнитном поле.

#### ***Тема 7. Квазистационарное электромагнитное поле***

Условия квазистационарности. Уравнения Максвелла для квазистационарного приближения. Интегрирование уравнений для случая линейных про-

водников. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции. Закон Ома для системы квазистационарных токов. Правила Кирхгофа для цепей переменного (квазистационарного) тока. Электрическая цепь с индуктивностью и емкостью. Вынужденные колебания. Резонанс. Квазистационарные процессы в цепи с постоянной эдс. Собственные колебания.

Переменные поля и токи в массивных покоящихся проводниках. Скин-эффект: сущность явления и его качественное объяснение. Элементарная теория скин-эффекта.

## ***Тема 8. Электромагнитные волны***

### ***8.1 Электромагнитные волны в вакууме и средах***

Переменное электромагнитное поле. Электромагнитные поля в отсутствии зарядов и токов. Волновое уравнение (уравнение Даламбера) и его решение для плоских электромагнитных волн, свойства электромагнитных волн. Электромагнитные волны в прозрачном веществе. Интенсивность отраженной и преломленной волны. Формулы Френеля.

Электромагнитные волны с учетом поглощения в среде. Распространение электромагнитных волн в диспергирующих средах. Классическая теория дисперсии света. Нормальная и аномальная дисперсия.

Распространение электромагнитных волн в проводящей среде. Физический смысл комплексной диэлектрической проницаемости.

### ***8.2. Теория излучения***

Излучение электромагнитных волн. Уравнения поля для произвольно движущихся зарядов. Решение в виде запаздывающих потенциалов. Энергия, излучаемая системой зарядов в пределах малого телесного угла. Излучение гармонического осциллятора. Электромагнитное поле осциллятора вблизи него и в волновой зоне. Поток энергии. Классическая теория излучения упруго-связанного электрона.

## ***Тема 9. Четырехмерная формулировка электродинамики***

### ***9.1 Основы теории относительности***

Экспериментальные обоснования специальной теории относительности. Постулаты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца для координат и времени. Интервал. Инвариантность физических законов относительно преобразований Лоренца.

### ***9.2 Четырёхмерный формализм. Векторы и тензоры в четырёхмерном пространстве***

Четырёхмерная геометрическая интерпретация преобразований Лоренца. Контравариантные и ковариантные компоненты векторов в четырёхмерном пространстве. Четырёхмерный вектор мировой точки. Тензоры в четырёхмерном пространстве. Тензорные поля. Тензорные поля в механике: четыре-вектор скорости, четыре-вектор ускорения, четыре-вектор импульса материальной точки.

Принцип наименьшего действия. Четырёхмерный вектор силы. Связь энергии, импульса, массы и скорости релятивистской частицы.

### ***9.3 Уравнения электромагнитного поля***

Действие для электромагнитного поля. Гауссова система единиц. 4-потенциал электромагнитного поля. Тензор электромагнитного поля. Преобразования напряжённостей электрического и магнитного полей при переходе от одной ИСО к другой. Инварианты поля. Уравнение движения заряда в электромагнитном поле в четырёхпространстве. Закон сохранения заряда в пространстве Минковского. Четырёхмерная плотность тока. Уравнения Максвелла в четырёхмерной форме.

Плотность и поток энергии электромагнитного поля. Закон сохранения энергии электромагнитного поля. Тензор энергии и импульса электромагнитного поля. Смысл различных компонент.

## **2 СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ (СЕМИНАРСКИХ) ЗАНЯТИЙ**

### **2.1 Темы практических (семинарских) занятий**

**1. Математический аппарат электродинамики.** Основные формулы векторного анализа. Преобразование векторов и тензоров. Дифференциальные векторные операторы. Дифференциальные операции второго порядка.

**2. Экспериментальные основы электродинамики и уравнения электромагнитного поля (семинар).** Прямая и обратная задачи электродинамики. Единственность решений уравнений Максвелла. Специфика постановки задач и методов их решения в различных разделах электродинамики.

**3. Потенциалы поля и решения задач электродинамики для случая электростатического поля в вакууме и веществе.** Методы решения задач электростатики. Нахождение электростатических полей с помощью теоремы Гаусса, и интегрированием уравнения Пуассона. Вычисление электростатических полей в средах интегрированием уравнения Пуассона и методом теоремы Гаусса. Вычисление электростатических полей методом изображений.

**4. Стационарное магнитное поле.** Закон Био и Савара. Нахождение магнитных полей методом векторного потенциала.

**5. Квазистационарное электромагнитное поле.** Квазистационарные явления в линейных проводниках. Закон электромагнитной индукции. Расчет коэффициентов самоиндукции и взаимной индукции.

**6. Электромагнитные волны.** Электромагнитные волны в прозрачном веществе. Электромагнитные волны с учетом поглощения в среде. Распространение электромагнитных волн в диспергирующих и проводящих средах.

**7. Четырехмерная формулировка электродинамики.** Энергия, импульс и скорость релятивистской частицы. Связь энергии, импульса, массы и скорости релятивистской частицы. Закон сложения скоростей.

## 2.2 Вопросы и задания для подготовки к практическим занятиям

### *Тема 1. Математический аппарат электродинамики*

1. Какое поле называется скалярным? Посредством чего графически принято изображать скалярное поле? Приведите примеры.
2. Что называется градиентом скалярной функции?
3. Какой физический смысл имеет поток вектора? С какой целью определяется поток сквозь замкнутую поверхность при исследовании поля? Изобразите поле в котором поток через замкнутую поверхность  $\Phi > 0$ ,  $\Phi < 0$ ,  $\Phi = 0$ .
4. Что понимается под дивергенцией вектора и что она оценивает в векторном поле? Чем отличается поле в котором  $\operatorname{div} \mathbf{a} = 0$ , от поля в котором  $\operatorname{div} \mathbf{a} \neq 0$ .
5. Сформулируйте теорему Остроградского-Гаусса
6. Что называется циркуляцией векторного поля? С какой целью определяется циркуляция при исследовании поля? Изобразите поле, в котором циркуляция  $C = 0$ ,  $C \neq 0$ .
7. Что понимается под ротором вектора?
8. Сформулируйте теорему Стокса.
9. Докажите, справедливость  $\operatorname{div} \operatorname{rot} \mathbf{A} = 0$  и поясните физический смысл этого тождества.
10. Докажите, справедливость  $\operatorname{rot} \operatorname{grad} U = 0$ , и поясните физический смысл этого тождества.
11. Пользуясь правилами векторной алгебры и анализа докажите тождество  $\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{A} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{A} - \Delta \mathbf{a}$ .

### *Тема 2. Экспериментальные основы электродинамики и уравнения электромагнитного поля (семинар).*

1. Дать определение напряженностей электрического и магнитного полей.
2. Записать уравнения Максвелла для электромагнитного поля в дифференциальной и интегральной формах.
3. Записать уравнения связи и установить пределы их применимости.
4. Сформулировать основополагающие принципы электродинамики.

5. Вывести уравнение непрерывности из уравнений Максвелла. Какой смысл оно имеет?
6. Как определяются плотность энергии и поток энергии электромагнитного поля?
7. Записать энергию системы зарядов во внешнем поле.
8. На основании каких положений выводятся уравнения электромагнитного поля в среде?

***Тема 3. Потенциалы поля и решения задач электродинамики для случая электростатического поля в вакууме и веществе***

1. Какое поле называется постоянным?
2. Вывести из уравнений Максвелла для электростатического поля закон Кулона.
3. Как связаны между собой потенциалы и напряженности электромагнитного поля?
4. Записать потенциал поля, созданного системой точечных зарядов.
5. Записать уравнение Пуассона и его общее решение.
6. Записать выражение для энергии системы зарядов.
7. Записать потенциальную энергию взаимодействия двух систем зарядов с заданными дипольными моментами.
8. Записать выражения для дипольного и квадрупольного моментов системы точечных (непрерывно распределенных) зарядов.
9. Сформулировать и записать граничные условия для полей и потенциалов.
10. Записать уравнения связи и установить пределы их применимости.
11. Какими уравнениями описывается электростатическое поле в проводниках и диэлектриках?
12. К чему приводит помещение диэлектриков и проводников во внешнее электростатическое поле?

#### ***Тема 4. Стационарное магнитное поле***

1. Вывести из уравнений Максвелла уравнение для векторного потенциала постоянного магнитного поля.
2. Сформулировать закон Био и Савара.
3. Как определяется магнитный момент системы зарядов?
4. Установить связь между векторным потенциалом, напряженностью магнитного поля и магнитным моментом.
5. Как определяются и чему равны потенциалы поля, созданного равномерно движущимся зарядом?
6. Записать уравнения для магнитного поля постоянных токов.
7. Дать классификацию веществ по магнитным свойствам.
8. Записать систему уравнений поля для постоянных токов и граничные условия для проводящих сред.

#### ***Тема 5. Квазистационарное электромагнитное поле***

1. Записать уравнения квазистационарного поля в интегральной и дифференциальной формах.
2. Сформулировать закон индукции в движущихся проводниках и средах.
3. Записать все законы Ома в электродинамике.
4. Определить коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции для линейных и нелинейных проводников.
5. Записать выражения для потока и энергии магнитного поля.
6. Определить уравнение Лагранжа для RLC-цепочки и комплексное сопротивление.
7. В чем состоит скин-эффект и какова глубина проникновения поля в проводник?

#### ***Тема 6. Электромагнитные волны***

1. Что называется электромагнитной волной? Каким уравнением она определяется?
2. В чем состоит Лоренцова калибровка?

3. Какая волна называется плоской и каким уравнением она определяется?
4. Как определяется поток энергии в плоской волне?
5. Как связаны между собой вектора напряженности в плоской волне?
6. Как определить поляризацию электромагнитной волны?
7. Записать закон преобразования компонент волнового вектора.
8. Записать разложение величин поля в ряд (интеграл) Фурье.
9. Записать уравнения для потенциалов поля, созданного произвольно движущимися зарядами.
10. Дать определение запаздывающих потенциалов.
11. Какие потенциалы называются потенциалами Лиенара-Вихерта?
12. Какая область называется волновой зоной излучения?
13. Как связаны между собой величины поля в волновой зоне излучения?
14. Дать определение интенсивности излучения.
15. Какое излучение называется дипольным, квадрупольным, магнитно-дипольным и почему?

### ***Тема 7. Четырехмерная формулировка электродинамики***

1. Как определяются компоненты четырехмерного потенциала поля?
2. Записать обобщенный импульс частицы в электромагнитном поле в 4-пространстве.
3. Записать уравнение движения заряда в электромагнитном поле в 4-пространстве?
4. Что понимается под термином калибровочная (градиентная) инвариантность?
5. Свойства тензора электромагнитного поля.
6. Преобразования Лоренца для напряженностей электрического и магнитного полей.
7. Записать инварианты электромагнитного поля. Какие следствия из них вытекают?
8. Записать действие для электромагнитного поля.

9. Как определяются и какой смысл имеют компоненты тензора энергии-импульса электромагнитного поля?

10. Записать уравнения Максвелла для электромагнитного поля в дифференциальной, интегральной и четырехмерной формах.

11. Пользуясь определением тензора электромагнитного поля составить таблицы, связывающие компоненты  $F_{ik}$  и  $F_{ik}$  с напряженностями  $\vec{E}, \vec{H}$ .

12. Вывести формулы релятивистского преобразования напряженностей поля  $\vec{E}, \vec{H}$ .

13. Доказать, что если напряженности электрического и магнитного полей перпендикулярны в одной системе отсчета, то они перпендикулярны и во всех других инерциальных системах отсчета.

14. Показать, что величина  $\vec{E}^2 - \vec{H}^2$  инвариантна относительно преобразований Лоренца.

15. В системе S имеется однородное электромагнитное поле  $\vec{E}, \vec{H}$ . Найти все возможные инерциальные системы отсчета, в которых поле будет обладать следующим свойством: напряженности  $(\vec{E}', \vec{H}')$  становятся параллельными, либо антипараллельными.

16. В системе S имеется однородное электромагнитное поле  $\vec{E}, \vec{H}$ . Найти все возможные инерциальные системы отсчета, в которых поле будет обладать следующим свойством: одна из напряженностей  $(\vec{E}', \vec{H}')$  обращается в нуль.

17. В системе S имеется однородное электромагнитное поле  $\vec{E}, \vec{H}$ . Найти все возможные инерциальные системы отсчета, в которых поле будет обладать следующим свойством: напряженности  $(\vec{E}', \vec{H}')$  становятся взаимно перпендикулярными.

18. В системе S имеется однородное электромагнитное поле  $\vec{E}, \vec{H}$ . Найти все возможные инерциальные системы отсчета, в которых поле будет обладать следующим свойством: напряженности  $(\vec{E}', \vec{H}')$  становятся одинаковыми по абсолютной величине.

## 2.3 Задачи для практических занятий и самостоятельной работы

### Тема: Математический аппарат электродинамики

1. Вычислить градиент скалярной функции:

1.1.  $\varphi(r)(\mathbf{k}[\mathbf{k}[\mathbf{b}, \mathbf{r}]])$

1.2.  $(\mathbf{r}, \mathbf{k}) \cdot \cos \{ \mathbf{k}[\mathbf{b}, \mathbf{r}] \} + r / (\mathbf{k}, \mathbf{r})^2$

1.3.  $d(e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{r})} / (r^2 - 6))$

1.4.  $(\mathbf{r}, \mathbf{b}) \cdot \cos \{ (\mathbf{r}[\mathbf{b}, \mathbf{r}])^2 \} + r^3$

1.5.  $\{ (\mathbf{c}, \mathbf{r})^n + (\mathbf{a}, \mathbf{r})^n \} / (\mathbf{a}, \mathbf{r})^n$

1.6.  $ae^{i(\mathbf{k}, \mathbf{r})} / r$

1.7.  $(\mathbf{k}, [\mathbf{c}[\mathbf{k}, \mathbf{r}]]) (\mathbf{c}, \mathbf{r})^n$

1.8.  $\sin \{ ([\mathbf{a}[\mathbf{r}, \mathbf{a}])^n \} + (\mathbf{k}, \mathbf{r}) / r$

1.9.  $ae^{i(\mathbf{k}, \mathbf{r})} / \sin kr$

1.10.  $(\mathbf{c}, \mathbf{r})^{(\mathbf{c}, \mathbf{r})} + (\mathbf{k}, [\mathbf{r}, \mathbf{k}]) \cdot \cos(\mathbf{k}, \mathbf{r})$

1.11.  $(\mathbf{k}[\mathbf{a}[\mathbf{b}, \mathbf{r}]]) e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{r})} / (\mathbf{k}, \mathbf{r})$

1.12.  $(\mathbf{k}, [\mathbf{r}, \mathbf{c}]) / \sin(\mathbf{k}[\mathbf{r}, \mathbf{c}])$

1.13.  $([\mathbf{k}, \mathbf{r}], [\mathbf{k}, \mathbf{r}]) e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{r})}$

1.14.  $(\mathbf{r}(\mathbf{c}, \mathbf{r})^n, \mathbf{c}) + \{ (\mathbf{b}, \mathbf{r}) / (\mathbf{c}, \mathbf{r}) \}^n$

1.15.  $(\mathbf{b}, \mathbf{r}) \cos(\mathbf{k}[\mathbf{c}[\mathbf{r}, \mathbf{c}]])$

#### Указания:

1) Векторы  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{c}$  и  $\mathbf{k}$  – постоянные векторы;  $m$ ,  $n$ ;  $a$  – постоянные,  $i$  – мнимая единица,  $\varphi(r)$  – произвольная функция  $r$ .

2) Вычисления можно производить любым способом, проще всего с помощью оператора  $\nabla$  («набла») с последующим использованием таблиц для известных тождеств  $\text{grad}$ ,  $\text{div}$  и  $\text{rot}$ .

2. Вычислить дивергенцию и ротор векторного поля:

2.1.  $\varphi(r)[\mathbf{A}(\mathbf{r}), \mathbf{r}]$

2.2.  $\mathbf{k} \cdot \cos \{ \mathbf{k}[\mathbf{b}, \mathbf{r}] \} + \mathbf{r} / (\mathbf{k}, \mathbf{r})^2$

2.3.  $\mathbf{A}_0 e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{r})} / (r^2 - 6)$

2.4.  $\mathbf{b} \cdot \cos \{ (\mathbf{r}[\mathbf{b}, \mathbf{r}])^2 \} + r^3 \mathbf{r}$

- 2.5.  $(\mathbf{r} + (\mathbf{a}, \mathbf{r})^n)/(\mathbf{a}, \mathbf{r})^n$
- 2.6.  $\mathbf{B}_0 e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{r})}/r$
- 2.7.  $\sin\{([\mathbf{a}, \mathbf{r}, \mathbf{a}])^n\} + (\mathbf{k}, \mathbf{r})\mathbf{r}$
- 2.8.  $\mathbf{C}_0 e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{r})}/\sin kr$
- 2.9.  $\mathbf{c}(\mathbf{c}, \mathbf{r})^{(\mathbf{c}, \mathbf{r})} + [\mathbf{r}, \mathbf{k}] \cdot \cos(\mathbf{k}, \mathbf{r})$
- 2.10.  $\mathbf{A}_0 e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{r})}/(\mathbf{A}_0, \mathbf{r})^n$
- 2.11.  $[\mathbf{r}, \mathbf{c}]/\sin(\mathbf{k}[\mathbf{r}, \mathbf{c}])$
- 2.12.  $[\mathbf{E}_0, \mathbf{r}]e^{i(\mathbf{k}, \mathbf{r})}$
- 2.13.  $[\mathbf{r}(\mathbf{c}, \mathbf{r})^n, \mathbf{c}] + \mathbf{r}/(\mathbf{c}, \mathbf{r})^n$
- 2.14.  $[\mathbf{B}_0, \mathbf{r}]\cos(\mathbf{k}[\mathbf{c}[\mathbf{r}, \mathbf{c}]])$
- 2.15.  $[\mathbf{k}[\mathbf{b}, \mathbf{r}]]/(\mathbf{c}, \mathbf{r})^n$

**Указания:**

1) Векторы  $\mathbf{A}_0$ ,  $\mathbf{B}_0$ ,  $\mathbf{C}_0$ ,  $\mathbf{E}_0$ ,  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{c}$  и  $\mathbf{k}$  – постоянные векторы,  $m$ ,  $n$ ,  $\alpha$  – постоянные величины.

2) Вычисления можно производить любым способом, проще всего с помощью оператора  $\nabla$  («набла») с последующим использованием таблиц для известных тождеств grad, div и rot.

**Тема: Потенциалы поля и решения задач электродинамики для случая электростатического поля в вакууме и веществе**

1. Определить объемную плотность заряда внутри бесконечного цилиндра, если известно, что созданное им поле имеет напряженность  $\vec{E} = \alpha r^2 \vec{r}$ .

2. Определить объемную плотность заряда внутри шара, если известно, что созданное им поле имеет напряженность  $\vec{E} = \alpha \frac{\vec{r}}{r^3}$ .

3. Установить возможность создания поля напряженности  $\vec{E} = r[\vec{a}, \vec{r}]$ ,  $\vec{a} = const$  внутри полой сферической области некоторым распределением заряда вне этой области.

4. Установить возможность создания поля напряженности  $\vec{E} = r[\vec{r}, \vec{b}] \vec{b} = const$  внутри полой сферической области некоторым распределением заряда вне этой области.

5. Найти потенциал и напряженность электрического поля равномерно заряженной с линейной плотностью  $\eta$  прямолинейной бесконечной нити.

6. Найти потенциал поля, создаваемого заряженным шаром радиуса  $R$ , если известно, что плотность заряда в нем убывает как  $\alpha/r^2$  от его центра.

7. Найти поле на оси тонкого кольца, равномерно заряженного с линейной плотностью  $\eta$ .

8. Найти потенциал поля, создаваемого цилиндрической поверхностью, по которой равномерно распределен заряд  $Q$ .

9. Найти потенциал поля, создаваемого сферой радиуса  $R$ , по которой равномерно распределен заряд  $Q$ .

10. Найти энергию электростатического поля равномерно заряженного по объему цилиндра.

11. Найти энергию электростатического поля цилиндра, заряд внутри которого линейно убывает по мере удаления от центра.

12. Найти энергию электростатического поля шара, заряд внутри которого линейно возрастает по мере удаления от его центра.

13. Найти емкость цилиндрического конденсатора и распределение в нем связанных зарядов, если известно, что пространство заполнено двумя слоями диэлектриков с разными проницаемостями.

14. Найти емкость сферического конденсатора и распределение в нем связанных зарядов, если известно, что проницаемость диэлектрика убывает линейно по мере удаления от центра.

15. Пространство между обкладками цилиндрического конденсатора заполнено проводящим веществом. Как измерить его электропроводность?

16. Пространство между обкладками плоского конденсатора заполнено проводящим веществом. Как измерить его электропроводность?

17. Заряд находится вне изолированной проводящей сферы. Найти распределение потенциала во всем пространстве.

18. Заряд находится внутри заземленной проводящей сферы. Найти распределение потенциала во всем пространстве.

19. Заряд находится вне заземленной проводящей сферы. Найти распределение потенциала во всем пространстве.

20. Заряд находится внутри изолированной проводящей сферы. Найти распределение потенциала во всем пространстве.

21. Точечный заряд находится на некотором расстоянии от плоской границы бесконечно протяженного проводника. Найти силу, действующую на заряд.

22. Точечный заряд находится на некотором расстоянии от плоской границы раздела двух бесконечно протяженных диэлектриков. Найти силу, действующую на заряд.

23. Точечный заряд находится между двумя проводящими пластинами, угол между которыми  $90^\circ$ . Найти распределение потенциала.

24. Точечный заряд находится между двумя проводящими пластинами, угол между которыми  $60^\circ$ . Найти распределение потенциала.

25. Найти дипольный и квадрупольный моменты системы точечных зарядов  $\pm q$ , расположенных попарно в вершинах квадрата со стороной  $a$ .

### ***Тема: Стационарное магнитное поле***

1. Постоянный ток течет по бесконечно длинному проводу. Провод окружен толстой, коаксиальной с ним проводящей цилиндрической оболочкой, служащей обратным проводом. Найти потенциал электрического поля во всем пространстве.

2. Найти закон преломления линий тока на плоской поверхности раздела двух сред с разными проводимостями.

3. Найти напряженность магнитного поля внутри и снаружи тонкостенного цилиндрического проводника, по которому течет постоянный ток известной величины.

4. Найти векторный потенциал и напряженность магнитного поля, создаваемого двумя прямолинейными параллельными токами, текущими в противоположных направлениях.

5. Определить магнитное поле на оси соленоида с густой намоткой имеющей форму цилиндра.

6. Вычислить силу взаимодействия двух коаксиальных кольцевых проводников, по которым текут токи в противоположных направлениях.

7. Горизонтальный стержень скользит без трения по двум вертикальным стержням, соединенным внизу конденсатором. Имеется однородное магнитное поле, перпендикулярное плоскости падения стержня. Найти ускорение стержня, пренебрегая электрическим сопротивлением образованной цепи.

8. Определить напряженность магнитного поля  $\vec{H}$  и магнитную индукцию  $\vec{B}$ , создаваемые постоянным током  $I$ , текущим по полному бесконечному цилиндрическому проводнику кругового сечения внутреннего радиуса  $a$  и внешнего  $b$ . Магнитная проницаемость проводника  $\mu_0$ , окружающий проводник вещества -  $\mu$ .

9. Вычислить векторный потенциал магнитного поля, создаваемого в однородной среде с магнитной проницаемостью  $\mu$ , линейным током  $I$ , который течет по прямоугольному контуру со сторонами  $2a$  и  $2b$ .

10. Бесконечный прямолинейный ток силой  $I$  находится в вакууме на расстоянии  $a$  от параллельной ему плоской поверхности однородного магнетика, заполняющего полупространство. Определить создаваемое током поле. Магнитная проницаемость магнетика  $\mu$ .

11. Однородный магнетик имеет форму бесконечно длинного круглого цилиндра радиусом  $a$ , магнитная проницаемость его  $\mu$ ; окружающая среда –

воздух. Бесконечный прямолинейный ток проходит в воздухе параллельно оси магнетика на расстоянии  $l$  от нее. Определить создаваемое им магнитное поле.

12. Прямолинейный провод с током  $I$  расположен внутри бесконечной цилиндрической полости, вырезанной в однородной магнитной среде. Провод расположен параллельно оси цилиндра на расстоянии  $b$  от нее. Радиус цилиндра  $a$ , магнитная проницаемость  $\mu$ . Найти поле и силу, действующую на единицу длины провода.

13. Внутри однородного магнетика с проницаемостью  $\mu$ , заполняющего все пространство, имеется воздушная полость цилиндрической формы радиусом  $a$ . Внутри этой полости симметрично относительно ее оси протянуты два тонких провода, по которым проходят параллельные токи  $I$ . Каково должно быть расстояние  $l$  проводов от оси полости, чтобы действующие на проводники силы взаимно уравновешивались?

14. Линейный проводник имеет форму прямоугольника со сторонами  $2a$  и  $2b$ . По нему проходит ток силой  $I$ . Вычислить напряженность создаваемого им магнитного поля на оси, проходящей через центр прямоугольника перпендикулярно его плоскости.

15. Ток  $I$  равномерно распределен по поверхности плоского кольца, внутренний и наружный радиусы которого соответственно равны  $a$  и  $b$ . Вычислить напряженность магнитного поля на оси кольца.

16. Средняя плотность заряда электронного облака в атоме водорода равна  $\rho = \frac{e}{\pi a^3} \exp\left(-\frac{2r}{a}\right)$ , где  $a$  – борковский радиус,  $r$  – расстояние до протона, а  $e$  – заряд электрона. Если поместить атом во внешнее однородное магнитное поле напряженностью  $\vec{H}_0$ , то электронное облако придет во вращение, которое создаст в пространстве ток с объемной плотностью  $\vec{j} = \frac{e\rho}{2mc} [\vec{r}, \vec{H}]$ , где  $m$  – масса электрона, а  $c$  – скорость света в вакууме. На какую величину  $\Delta\vec{H}$  изменится

напряженность магнитного поля в центре атома вследствие вращения электронного облака?

17. По бесконечной цилиндрической поверхности радиусом  $R$  параллельно ее оси течет однородный ток с поверхностной плотностью  $i_0$ . Найти напряженность магнитного поля  $\vec{H}$ , не прибегая к векторному потенциалу.

18. Внутри неограниченной пластины параллельно ее поверхностям  $z=1$  и  $z=-1$  течет однородный ток с объемной плотностью  $j$ . Не прибегая к векторному потенциалу, определить напряженность магнитного поля внутри и снаружи пластины, если токовые линии параллельны оси  $y$ .

19. Бесконечно длинный проводник имеет форму круглого цилиндра радиусом  $a$ , внутри которого находится цилиндрическая полость радиусом  $b$ . Расстояние между осями обоих цилиндров  $l < a - b$ . По проводнику проходит ток  $I$ , равномерно распределенный по площади поперечного сечения. Определить напряженность магнитного поля внутри полости.

20. Вдоль бесконечной прямолинейной полосы, имеющей ширину  $a$ , течет ток  $i$ , равномерно распределенный по ее ширине. Найти напряженность магнитного поля.

21. Вычислить векторный потенциал и напряженность магнитного поля, создаваемого прямолинейным током  $I$  длиной  $2L$ .

Указание: использовать общее решение уравнения Пуассона

$$A_x = A_y = 0, A_z = \frac{I}{c} \int_{z-L}^{z+L} \frac{dz'}{\sqrt{R^2 + z'^2}},$$

ось  $z$  направлена вдоль тока, начало выбрано посередине проводника,  $R$  – расстояние от точки поля до прямолинейного тока.

22. Шар радиусом  $R$ , равномерно заряженный с объемной плотностью  $\rho$ , вращается вокруг своей оси симметрии с постоянной угловой скоростью  $\vec{\omega}$ . Определить векторный потенциал  $\vec{A}$  и напряженность магнитного поля  $\vec{H}$  внутри и снаружи шара.

Указание: использовать в сферической системе координат

$$j_r = j_\theta = 0, j_\alpha = \begin{cases} \rho\omega r \sin \theta, & r \leq R \\ 0, & r > R \end{cases}, \text{ уравнение решать подстановкой } A(r)=F(r)\sin\theta,$$

далее перейти к уравнениям Эйлера.

23. В сферических координатах две компоненты векторного потенциала

$$\text{равны нулю } A_r=A_\theta=0, \text{ а третья имеет вид } A_\alpha = \begin{cases} \frac{2aR^5}{15r^2} \sin \theta, & r \geq R \\ ar \left( \frac{R^2}{3} - \frac{r^2}{5} \right), & r < R \end{cases}, \text{ где } a \text{ и } R$$

– постоянные. Найти распределение объемной плотности тока  $\vec{j}$ , создавшего магнитное поле с данным векторным потенциалом.

24. По плоскости  $XOY$  течет ток с поверхностной плотностью  $\vec{i} = \vec{i}_0 \cos \vec{k}\vec{r}$ , где постоянные векторы  $\vec{i}_0, \vec{k}$  лежат в указанной плоскости и удовлетворяют соотношению  $(\vec{k}, \vec{i}_0) = 0$ . Найти векторный потенциал в каждой точке пространства. (Указание: векторный потенциал имеет ту же периодическую структуру, что и плотность тока).

25. Объемная плотность тока в пространстве имеет вид  $\vec{j}(\vec{r}) = [\vec{a}, \nabla] \delta(\vec{r} - \vec{r}_0)$ , где  $\vec{a}, \vec{r}_0$  - постоянные векторы. Определить магнитный момент.

**Тема: Квазистационарное электромагнитное поле**

1. Определить собственные частоты электрических колебаний в двух контурах, связь между которыми осуществляется через активное сопротивление.

2. К цепочке, состоящей из последовательно соединенных сопротивления и емкости, прикладывается прямоугольный импульс напряжения. Найти напряжение на сопротивление.

3. Определить собственные частоты электрических колебаний в двух контурах, связь между которыми осуществляется через емкость.

4. В один из двух одинаковых контуров, имеющих индуктивность, емкость и сопротивление включена сторонняя ЭДС с гармонической зависимостью от времени. Найти токи в обоих контурах и определить частоту, при которой ток максимален.

5. Колебательный контур состоит из емкости и индуктивности. В некоторый момент времени к обкладкам конденсатора подсоединяется батарея с постоянной ЭДС. Найти зависимость тока, текущего через индуктивность от времени.

6. В один из двух одинаковых контуров, имеющих индуктивность, емкость и сопротивление включена сторонняя ЭДС. Найти токи в обоих контурах. Рассмотреть случай, когда второй контур содержит только индуктивность.

7. В цепь, состоящую из последовательно соединенных сопротивления и индуктивности, включается в какой-то момент времени ЭДС  $E(t) = E_0 \cos(\omega t + \alpha)$ . Определить силу тока в цепи.

8. Найти коэффициент самоиндукции тороидального соленоида, если известно, что сечение тора - прямоугольник.

9. Найти коэффициент взаимной индукции двух одинаковых квадратов, находящихся на известном расстоянии друг от друга. Найти силу взаимодействия между ними.

10. Найти индуктивность единицы длины двухпроводной линии с известными радиусами проводов и расстоянием между ними.

11. Вычислить индуктивность единицы длины линии, состоящей из двух коаксиальных цилиндров, по которым текут противоположно направленные токи.

12. Определить коэффициент самоиндукции тонкого проволочного кольца. Радиус провода много меньше радиуса кольца.

13. Найти коэффициент взаимной индукции двух одинаковых квадратов, находящихся на известном расстоянии друг от друга. Найти силу взаимодействия между ними.

14. К цепочке, состоящей из последовательно соединенных сопротивления  $R$  и индуктивности  $L$ , прикладывается прямоугольный импульс напряжения:  $U_1(t)=U_0$  при  $0 \leq t \leq T$ ,  $U_1(t)=0$  при  $t < 0$ ,  $t > T$ . Найти напряжение на индуктивности  $L$ .

15. Колебательный контур состоит из емкости  $C$  и индуктивности  $L$ . В некоторый момент времени к обкладкам конденсатора присоединяется батарея с постоянной ЭДС и внутренним сопротивлением  $R$ . Найти зависимость тока, текущего через индуктивность от времени. Исследовать зависимость этого тока от величин  $R$ ,  $L$ ,  $C$ .

16. Найти комплексное сопротивление  $Z$  участка цепи, изображенного на рисунке.

17. В цепь, состоящую из последовательно соединенных сопротивления  $R$  и индуктивности  $L$ , включается в момент времени  $t=0$  ЭДС  $E(t)=E_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$ . Определить силу тока в цепи  $I(t)$ .

18. Определить собственную частоту колебаний в цепи из параллельно соединенных сопротивления  $R$ , емкости  $C$  и индуктивности  $L$ .

19. Цепь постоянного тока состоит из следующих последовательно соединенных частей: аккумулятора с ЭДС  $E$  индуктивности  $L$  и двух сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ . Определить силу тока в цепи после того, как сопротивление  $R_2$  замыкается накоротко.

20. Батарея, ЭДС которой и внутреннее сопротивление  $R$ , конденсатор емкости  $C$  и катушка с индуктивностью  $L$  соединены параллельно. Определить силу тока в батарее после ее замыкания. Сопротивлением катушки и подводящих проводов пренебречь.

21. Конденсатор, емкость которого  $C$ , заряжен количеством электричества  $q$ . При помощи ключа конденсатор замыкается на две параллельно соединенные между собой катушки, самоиндукции которых  $L_1$  и  $L_2$ . Найти максимальные силы тока в катушках. Сопротивлением и взаимной индукцией катушек пренебречь.

22. Коэффициент взаимной индукции двух контуров равен  $L_{12}$ . Сопротивления этих контуров равны соответственно  $R_1$  и  $R_2$ . В первом контуре имеется аккумулятор с ЭДС, равной  $E$ . Какое количество электричества пройдет через второй контур после того, как замкнут первый?

23. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью  $L$ , соединенной последовательно с двумя конденсаторами, емкости которых  $C_1$  и  $C_2$ . В момент замыкания контура заряд на конденсаторе  $C_1$  равен  $Q$ , а на конденсаторе  $C_2$  – нулю. Найти силу тока в контуре.

24. К параллельному соединению конденсатора емкости  $C$  и катушки с индуктивностью  $L$  (омическим сопротивлением пренебречь) приложено переменное напряжение частоты  $\omega$ . При каком условии ток, питающий этот контур, равен нулю?

25. Переменный ток  $I(t)=I_0 \exp(-i\omega t)$  течет по полному цилиндрическому проводнику, у которого средний радиус  $a$ , проводимость  $\sigma$ , магнитная проницаемость  $\mu$ , толщина  $h \ll a$ . Найти распределение плотности тока  $j$  по сечению и активное сопротивление на единицу длины.

### ***Тема: Электромагнитные волны***

1. Написать уравнение плоской монохроматической электромагнитной волны, распространяющейся в прозрачной среде ( $\sigma=0$ ) вдоль положительной оси  $z$ , линейно-поляризованной вдоль оси  $x$ .

2. Показать, что в общем случае плоская монохроматическая волна, распространяющаяся в непроводящей среде, является эллиптически поляризованной.

3. Определить частоту и состояние поляризации электромагнитной волны, полученной в результате наложения двух волн одинаковой амплитуды и очень близких частот, поляризованных по кругу в противоположных направлениях и распространяющихся в одном направлении.

4. Две плоские монохроматические линейно-поляризованные волны одной частоты распространяются вдоль оси  $z$ . Первая волна поляризована по  $x$  и

имеет амплитуду  $a$ , вторая поляризована по  $y$ , имеет амплитуду  $b$  и опережает первую по фазе на  $\alpha$ . Найти поляризацию результирующей волны.

5. Электромагнитная волна является суперпозицией двух некогерентных «почти монохроматических» волн разной интенсивности  $I$  с приблизительно одинаковыми частотами и волновыми векторами. Обе волны поляризованы линейно, направления поляризации задаются в плоскости, перпендикулярной их волновому вектору, ортами  $\vec{e}_1(1,0)$ ,  $\vec{e}_2(\cos \theta, \sin \theta)$ . Построить тензор поляризации результирующей частично поляризованной волны и определить степень ее поляризации.

6. В непроводящей среде распространяется плоская монохроматическая волна. Вычислить векторный потенциал этого поля, если волна: а) линейно поляризована; б) поляризована по кругу.

7. В однородной и изотропной проводящей среде распространяется плоская монохроматическая волна. Вычислить средний поток энергии через поверхность куба, боковые ребра которого параллельны направлению распространения волны. Показать, что этот поток равен средней мощности потерь на джоулево тепло.

8. Найти дисперсионную формулу, т. е. зависимость  $n(\omega)$  для прозрачной и немагнитной ( $\mu=1$ ) среды, если известно, что групповая скорость обратно пропорциональна фазовой.

9. В вакууме на безграничную плоскую поверхность однородного немагнитного диэлектрика ( $\epsilon, \mu=1$ ) падает под углом  $\alpha$  плоская электромагнитная волна, направление поляризации которой составляет угол  $\theta$  с плоскостью падения. Показать, что при отражении и преломлении электромагнитной волны выполняется закон сохранения энергии.

10. В вакууме на безграничную плоскую поверхность однородного немагнитного диэлектрика ( $\epsilon, \mu=1$ ) падает под углом  $\alpha$  плоская электромагнитная волна, направление поляризации которой составляет угол  $\theta$  с плоскостью падения. Вычислить коэффициенты отражения и прохождения для случая: а)

падающая волна не поляризована; б) падающая волна эллиптически поляризована.

11. Вычислить коэффициент отражения для случая почти скользящего падения на среду, относительный показатель преломления которой мало отличается от единицы. Указание: положить  $n=1+\Delta n$  и пренебречь малой величиной  $\Delta n$  в сравнении с 1. Ввести угол скольжения  $\varphi=\pi/2-\alpha\ll 1$  и получить для коэф-

фициента отражения: 
$$R = \left( \frac{\sqrt{\varphi^2 + 2\Delta n} - \varphi}{\sqrt{\varphi^2 + 2\Delta n} + \varphi} \right)^2.$$

12. Вычислить разность фаз между параллельной и перпендикулярной составляющими электрического вектора отраженной волны при полном отражении, если падающая волна линейно поляризована.

13. В вакууме на безграничную плоскую поверхность немагнитного металла ( $\varepsilon=const$ ,  $\mu=1$ ,  $\sigma=const$ ) падает под углом  $\alpha$  плоская монохроматическая волна, направление поляризации которой составляет угол  $\theta$  с плоскостью падения. Определить интенсивность и состояние поляризации отраженной волны, если интенсивность падающей линейно поляризованной волны  $I_0$ . Рассмотреть предельный случай идеального проводника.

14. Плоская волна падает нормально на непроводящий и немагнитный плоскопараллельный слой толщиной  $a$ . Определить давление, испытываемое этим слоем.

15. Определить волны поперечно-электрического типа, которые могут распространяться вдоль прямого волновода прямоугольного сечения, поперечные размеры которого  $a$  и  $b$ . Стенки волновода считать идеально проводящими, а среду, заполняющую волновод изотропной, однородной и непроводящей. Найти наименьшую (критическую) частоту этих волн. Вычислить групповую скорость электромагнитной волны, распространяющейся вдоль прямого волновода.

16. Показать, что для волны поперечно-магнитного типа, распространяющейся вдоль прямого волновода (вдоль оси  $z$ ), энергия, приходящаяся на

единицу длины волновода, определяется формулой  $W = \frac{\epsilon\omega^2}{8\pi\gamma^2\sigma^2} \int |E_z|^2 dx dy$ , где интегрирование производится по площади сечения волновода.

17. Показать, что для любого собственного электромагнитного колебания в полом ( $\epsilon=\mu=1$ ) резонаторе с идеально проводящими стенками средняя энергия электрического поля равна средней энергии магнитного поля, т.е.  $\int \langle E^2 \rangle dV = \int \langle H^2 \rangle dV$ .

18. Плоский экран имеет прямоугольное отверстие со сторонами  $2a$  и  $2b$ . Монохроматическая плоская электромагнитная волна частоты  $\omega=kc$  падает нормально к плоскости экрана. Вектор поляризации параллелен одной из сторон прямоугольного отверстия, а длина волны мала по сравнению с характерными размерами  $ka \gg 1$  и  $kb \gg 1$ . Определить интенсивность  $dI$  дифрагированной волны в телесном угле  $d\Omega$  в среднем по времени за период колебаний волны.

19. Линейно-поляризованная плоская электромагнитная волна частоты  $\omega=kc$  падает нормально к плоскости бесконечного экрана, имеющего круглое отверстие радиусом  $R$ . Длина волны мала по сравнению с радиусом  $kR \gg 1$ . Определить интенсивность  $dI$  дифрагированной волны в телесном угле  $d\Omega$  в среднем по времени за период колебаний волны.

20. Плоский экран имеет кольцевое отверстие радиусами  $R_1$  и  $R_2$  ( $R_1 < R_2$ ). Определить интенсивность  $dI$  дифрагированной волны в телесном угле  $d\Omega$  в среднем по времени за период колебаний волны при нормальном падении плоской линейно-поляризованной электромагнитной волны на кольцевое отверстие. Длина волны мала по сравнению с радиусами, и углы дифракции также малы.

21. Точечный диполь с моментом  $\vec{d}$  вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega$  по окружности радиусом  $R$ . Вектор  $\vec{d}$  постоянен по модулю и в каждый момент времени направлен по радиусу окружности. Определить интен-

сивность дипольного  $I_d$ , магнитно-дипольного  $I_\mu$  и квадрупольного  $I_D$  излучений в длинноволновом излучении.

22. Частица с массой  $m$  и зарядом  $e$  подвешена на невесомой жесткой нити и совершает малые колебания с частотой  $\omega_0$  в поле тяжести. Учитывая силу радиационного трения, определить ширину спектральной линии излучения.

23. Магнитный момент токов, текущих в весьма малой области пространства, меняется со временем по закону  $\vec{\mu} = \vec{\mu}_0 \exp(-t^2/T^2)$ , где  $\vec{\mu}_0$  - постоянный вектор, а  $T$  - постоянная. Определить энергию, излученную в интервале частот от  $\omega$  до  $d\omega$  за бесконечное время  $-\infty < t < \infty$ .

24. Определить полное сечение рассеяния линейно-поляризованной монохроматической плоской волны  $\vec{H} = \vec{H}_0 \cos(\omega t - \vec{k}\vec{r} + \alpha)$  на свободном нейтроне, у которого магнитный  $\vec{\mu}$  и механический  $\vec{M}$  моменты связаны соотношением  $\vec{\mu} = -\beta\vec{M}$ . Частота  $\beta H_0$  прецессии магнитного момента мала по сравнению с частотой падающей волны.

25. Протон с массой  $m$  и зарядом  $e$  покидает неподвижное ядро, радиус которого  $R$ , а остаточный заряд  $Ze$ . При вылете из ядра скорость протона равнялась нулю. Найти угловое распределение полной энергии дипольного излучения, обусловленного кулоновским взаимодействием протона с ядром.

### **Тема: Четырехмерная формулировка электродинамики**

1. Длину стержня, движущегося вдоль оси в некоторой системе отсчета, можно находить таким образом: измерять промежуток времени, в течении которого стержень проходит мимо фиксированной точки этой системы, и умножать его на скорость стержня. Показать, что при таком методе измерения получается обычное лоренцево сокращение.

2. Два масштаба, каждый из которых имеет длину покоя  $l_0$ , равномерно движутся навстречу друг другу параллельно общей оси  $x$ . Наблюдатель, связанный с одним из них, заметил, что между совпадением левых и правых концов масштабов прошло время  $\Delta t$ . Какова относительная скорость  $v$  масштабов?

3. Вывести формулы сложения скоростей для случая, когда скорость  $\vec{V}$  системы  $S'$  относительно  $S$  имеет произвольное направление. Формулы представить в векторном виде.

4. Даны три системы отсчета:  $S, S', S''$ .  $S''$  движется относительно  $S'$  со скоростью  $V$ , параллельной оси  $x$ . Соответствующие оси всех трех систем параллельны. Записать преобразования Лоренца от  $S''$  к  $S$  и получить из них формулу сложения параллельных скоростей

5. Доказать соотношение 
$$v = \frac{\sqrt{(\vec{v}' - \vec{V})^2 - [\vec{v}', \vec{V}]^2} / c^2}{1 + (\vec{v}', \vec{V}) / c^2}$$
, где  $\vec{v}, \vec{v}'$  - скорости

частиц в системах  $S, S', \vec{V}$  - скорость  $S'$  относительно  $S$ .

6. Два масштаба, каждый из которых имеет в своей системе покоя длину  $l_0$ , движутся навстречу друг другу с равными скоростями  $v$  относительно некоторой системы отсчета. Какова длина  $l$  каждого из масштабов, измеренная в системе отсчета, связанной с другим масштабом?

7. Используя закон преобразования волнового 4-вектора, определить изменение частоты (эффект Доплера) и направления скорости света (абберация света) при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. Исследовать полученные формулы в предельном случае  $V \ll c$ , где  $V$  - модуль скорости относительного движения двух указанных инерциальных систем отсчета.

8. Два пучка электронов летят навстречу друг другу со скоростями  $v=0,9c$  относительно лабораторной системы координат. Какова относительная скорость  $V$  электронов: а) с точки зрения наблюдателя в лаборатории; б) с точки зрения наблюдателя, движущегося вместе с одним из пучков электронов?

9. Найти формулы преобразования ускорения  $\dot{\vec{v}}$  для случая, когда система  $S'$  движется относительно системы  $S$  с произвольно направленной скоростью  $\vec{V}$ . Представить эти формулы преобразования в векторном виде.

10. Выразить компоненты четырехмерного ускорения  $w_i$  через обычное ускорение  $\dot{\vec{v}}$  и скорость  $\vec{v}$  частицы. Найти квадрат четырехмерного ускорения  $w_i w_i$ .

11. Частица имеет скорости  $v$  и  $v'$  в системах  $S, S'$  соответственно. Найти связь между углами  $\theta$  и  $\theta'$ , которые эти скорости составляют с одинаково направленными осями  $x, x'$ . Относительная скорость систем  $V$ .

12. Относительно системы  $S$  движется система  $S'$  со скоростью  $V$  и два тела со скоростями  $\vec{v}_1, \vec{v}_2$ . Каков угол  $\alpha$  между скоростями этих тел при наблюдении в системе  $S$  и в системе  $S'$ .

13. Пучок света распространяется в системе  $S'$  под углом  $\theta'$  к оси  $x'$ . Какой угол  $\theta$  с осью  $x$  он составляет в системе  $S$ .

14. Длина волны света, излучаемого некоторым источником, в той системе, в которой источник покоится, равна  $\lambda_0$ . Какую длину волны  $\lambda$  зарегистрируют: а) наблюдатель, приближающийся со скоростью  $V$  к источнику и б) наблюдатель, удаляющийся с такой же скоростью от источника?

15. Релятивистская частица движется в параллельных однородных постоянных электрическом  $\vec{E}$  и магнитном  $\vec{H}$  полях. При  $t=0$  частица находилась в начале координат, обладая импульсом  $\vec{p} = (p_{0x}, 0, p_{0z})$ . Определить зависимости компонент импульса и энергии от собственного времени частицы  $\tau$ . Построить на компьютере проекции траектории частицы на координатные плоскости.

16. Найти зависимость от собственного времени компонент импульса и энергии релятивистской частицы, движущейся в однородных и постоянных электрическом  $\vec{E}$  и магнитном  $\vec{H}$  ( $H > E$ ) взаимно перпендикулярных полях. Начальный импульс частицы  $p_0, x=y=z=0$  при  $t=0$ ,

17. Найти зависимость от собственного времени компонент импульса и энергии релятивистской частицы, движущейся в однородных и постоянных электрическом  $\vec{E}$  и магнитном  $\vec{H}$  ( $E > H$ ) взаимно перпендикулярных полях. Начальный импульс частицы  $p_0, x=y=z=0$  при  $t=0$ .

18. Определить ускорение заряженной частицы в электромагнитном поле через ее скорость и напряженности электрического и магнитного полей.

19. Вывести формулы преобразования компонент электрического поля (магнитного поля) при переходе к системе, движущейся вдоль оси  $Z$ .

20. Получить формулы, выражающие закон преобразования компонент скорости частицы при преобразованиях Лоренца.

21. Доказать, что величина  $\vec{E}^2 - \vec{H}^2$  инвариантна относительно преобразований Лоренца.

22. Доказать, что если напряженность электрического и магнитного полей перпендикулярны в одной системе отсчета, то они перпендикулярны во всех других инерциальных системах координат.

23. В системе отсчета  $S$   $\vec{E} \perp \vec{H}$ . Найти величину напряженности электрического поля в системе координат, в которой вектор напряженности магнитного (электрического) поля равен нулю.

24. Напряженности  $\vec{E}, \vec{H}$  электрического и магнитного полей в исходной системе координат образуют острый угол. Определить модули  $E', H'$  напряженностей электрического и магнитного полей в той инерциальной системе отсчета, в которой угол между векторами  $\vec{E}', \vec{H}'$  равен  $\pi/4$ .

25. В системе отсчета  $S$   $\vec{E} \perp \vec{H}$ . Найти величину напряженности электрического поля в системе координат, в которой вектор напряженности магнитного (электрического) поля равен нулю.

#### 2.4 Темы для самостоятельного изучения

Напряженность электростатического поля в дипольном и квадрупольном приближениях.

Метод изображений. Плоская граница диэлектриков. Диэлектрический шар в однородном электрическом поле. Проводящая сфера в однородном электрическом поле.

Ферромагнетизм и сверхпроводимость. Магнитные свойства сверхпроводников.

Индукция токов в движущихся проводниках.

Основные уравнения электродинамики медленно движущихся проводников в предельных случаях сильного и слабого скин-эффекта.

Распространение электромагнитных волн в диспергирующих средах.

Распространение электромагнитных волн в длинных линиях. Телеграфные уравнения. Волновое сопротивление линии.

Распространение электромагнитных волн в ограниченном пространстве. Волноводы. Резонаторы.

Торможение излучением. Радиационное трение. Условия пренебрежения реакцией излучения.

Общие следствия преобразований Лоренца. Закон сложения скоростей. Изменение длины движущихся тел. Изменение хода движущихся часов. Общие свойства пространства-времени и определение одновременности.

Астрономическая абберация и эффект Доплера. Инвариантность фазы. Четырехмерный волновой вектор. Формулы преобразования частоты и волнового вектора.

### 3 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т: учеб. пособие: рек. Мин. обр РФ/ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. -М. : Физматлит. - 2003.

Т. 2 : Теория поля/ под ред. Л. П. Питаевского. -8-е изд., стер.. -2003.-534 с.

2. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст]: в 10 т: учеб. пособие: рек. Мин. обр РФ/ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. -М. : Физматлит. - 2003.

Т. 8 : Электродинамика сплошных сред/ под ред. Л. П. Питаевского. -8-е изд., стер.- [Б.м.: б.и. -2003, 2005.-652 с.

3. Батыгин В.В. Сборник задач по электродинамике : учеб. пособие/ В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин ; под ред. М. М. Бредова. -3-е изд., испр.. -М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2002.-640 с.

4. Горбузов В.Н. Математический анализ: теория поля : Учеб. пособие/ Горбузов В.Н.. –Гродно: Изд-во Гродн. гос. ун-та, 2000.-627 с.

5. Матвеев А.Н. Электродинамика : учеб. пособие/ А. Н. Матвеев. -2-е изд., испр. и доп.. –М.: Высш. шк., 1980.-384 с.

6. Барышников, С. В. Электродинамика [Текст] : Методика решения задач / С.В. Барышников. - Благовещенск : Изд-во Благовещ. гос. пед. ин-та, 1998.

## 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 4.1 Общие рекомендации по организации работы на лекции

Очень важным является умение правильно конспектировать лекционный материал и работать с ним. Ниже приведены *рекомендации студенту по конспектированию лекций и дальнейшей работе с записями*.

1. Конспект лекций должен быть в отдельной тетради. Ее нужно сделать удобной, практичной и полезной, ведь именно она является основным информативным источником при подготовке к практическим (семинарским) занятиям и экзаменам. Возможно ее сочетание с записями по практическим занятиям, иллюстрирующим применение теоретических законов и соотношений в решении практических задач.

2. Конспект должен легко восприниматься зрительно (чтобы максимально использовать «зрительную» память), поэтому он должен быть аккуратным. Выделяйте заголовки, отделите один вопрос от другого, соблюдайте абзацы, подчеркните термины.

3. При прослушивании лекции обращайтесь внимание на интонацию лектора и вводные слова «таким образом», «итак», «необходимо отметить» и т.п., которыми он акцентирует наиболее важные моменты. Не забывайте пометать это при конспектировании.

4. Не пытайтесь записывать каждое слово лектора, иначе потеряете основную нить изложения и начнете писать автоматически, не вникая в смысл. Техника прочтения лекций преподавателем такова, что он повторяет свою мысль два-три раза. Постарайтесь вначале понять ее, а затем записать, используя сокращения. Конспектируйте только самое важное в рассматриваемом параграфе: формулировки определений и законов, выводы основных уравнений и формул, то, что старается выделить лектор, на чем акцентирует внимание студентов. Старайтесь отфильтровывать и сжимать подаваемый материал. Научитесь в процессе лекции разбивать текст на смысловые части и заменять их содержание короткими фразами и формулировками. Более подробно записывайте основную информацию и кратко – дополнительную.

5. По возможности записи ведите своими словами, своими формулировками, используя при этом общепринятую в данном разделе физики аббревиатуру и систему сокращений. Придумайте собственную систему сокращений, аббревиатур и символов, удобную только вам (но не забудьте сделать словарь, иначе существует угроза не расшифровать текст). Однако при дальнейшей работе с конспектом символы лучше заменить обычными словами для быстрого зрительного восприятия текста.

6. Конспектируя лекцию, надо оставлять поля, на которых позднее, при самостоятельной работе с конспектом, можно сделать дополнительные записи, отметить непонятные места. Полезно после каждой лекции оставлять одну страницу свободной, она потребуется при самостоятельной подготовке. Сюда можно будет занести дополнительную информацию по данной теме, полученную из других источников: чертежи, графики, схемы, и т.п.

7. После прослушивания лекции необходимо проработать и осмыслить полученный материал. Насколько эффективно студент это сделает, зависит и прочность усвоения знаний, и, соответственно, качество восприятия предстоящей лекции, так как он более целенаправленно будет её слушать. В процессе изучения лекционного материала рекомендуется использовать опорные конспекты, учебники и учебные пособия.

#### **4.2 Общие рекомендации по подготовке к практическим занятиям**

Практическое занятие – вид учебных занятий, направленное на приобретение первоначальных практических навыков в решении различного вида задач в рамках изучаемой темы. А умение решать задачи – важный критерий усвоения теоретического материала. Практические занятия по решению задач существенно дополняют лекции по физике.

В процессе анализа и решения задач студенты расширяют и углубляют знания, полученные из лекционного курса и учебников, учатся глубже понимать физические законы и формулы, разбираться в их особенностях, границах применения, приобретают умение применять общие закономерности к конкретным случаям. В процессе решения задач вырабатываются навыки вычисле-

ний, работы со справочной литературой, таблицами и другими источниками. Решение задач не только способствует закреплению знаний и тренировке в применении изучаемых законов, но и формирует особый стиль умственной деятельности, особый метод подхода к физическим явлениям. Последнее тесным образом связано с методологией физики как науки.

На практических занятиях используются несколько видов задач и планы их решения:

- 1) задачи для закрепления и контроля знаний;
- 2) задачи для демонстрации практического применения тех или иных законов;
- 3) нестандартные задачи и задачи повышенной сложности.

Несмотря на различие в видах задач, их решение можно проводить по следующему общему плану (некоторые пункты плана могут выпадать в некоторых конкретных случаях):

- 1) прочесть внимательно условие задачи;
- 2) посмотреть, все ли термины в условиях задачи известны и понятны (при затруднениях в интерпретации следует обратиться к учебнику, просмотреть решения предыдущих задач, проконсультироваться с преподавателем);
- 3) записать в сокращенном виде условие задачи;
- 4) сделать чертёж, если это необходимо (при наличии векторных величин и применении для решения задачи законов формулируемых в векторной форме, например закона сохранения импульса);
- 5) произвести анализ задачи, вскрыть её физический смысл, установить, какие физические законы и соотношения могут быть использованы при решении данной задачи;
- 6) составить уравнения, связывающие физические величины, которые характеризуют рассматриваемые явления с количественной стороны;
- 7) решить эти уравнения относительно неизвестных величин, получить ответ в общем виде. Прежде чем переходить к численным значениям, полезно

провести анализ этого решения, он поможет вскрыть такие свойства рассматриваемого явления, которые не видны в численном ответе;

8) перевести количественные величины в общепринятую систему единиц (СИ), найти численный результат;

9) проанализировать полученный ответ, выяснить, как изменяется искомая величина при изменении других величин, функцией которых она является, исследовать предельные случаи.

### **4.3 Общие рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы**

В высшей школе студент должен прежде всего сформировать потребность в знаниях и научиться учиться, приобрести навыки самостоятельной работы, необходимые для непрерывного самосовершенствования, развития профессиональных и интеллектуальных способностей. Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения студентом новых для него знаний и умений без непосредственного участия преподавателей.

При изучении дисциплин модуля «Общая физика» в самостоятельную внеаудиторную работу могут включаться следующие виды деятельности:

<i>для овладения знаниями</i>	<i>для закрепления и систематизации знаний</i>	<i>для формирования умений</i>
чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы)	работа с конспектом лекции	решение задач и упражнений по образцу
составление плана текста	повторная работа над учебным материалом	решение вариантных задач и упражнений
конспектирование текста	составление таблиц для систематизации учебного материала	выполнение расчетно-графических работ
работа со словарями и справочниками	изучение нормативных материалов	решение ситуационных профессиональных задач
работа с нормативными документами	ответы на контрольные вопросы	подготовка к выполнению физического эксперимента
научно-	аналитическая обработ-	проектирование и моде-

исследовательская работа	ка текста	лирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности
использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники, Интернет и др.	подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции	подготовка докладов по темам
создание мультимедийных презентаций	подготовка рефератов, докладов	рефлексивный анализ профессиональных умений, с использованием мультимедийной техники

Ниже представлены рекомендации по организации работы по основным видам самостоятельной внеаудиторной деятельности студентов по дисциплине.

#### **4.3.1 Работа с учебно-методическим и информационным обеспечением**

Умение работать с литературой означает научиться осмысленно пользоваться учебно-методическим и другим информационным обеспечением дисциплины. Прежде чем приступить к чтению, необходимо запомнить или записать выходные данные издания: автор, название, издательство, год издания, название интересующих глав.

Содержание (оглавление) дает представление о системе изложения ключевых положений всей публикации и помогает найти нужные сведения.

Предисловие или введение книги поможет установить, на кого рассчитана данная публикация, какие задачи ставил перед собой автор, содержится краткая информация о содержании глав работы. Иногда полезно после этого посмотреть послесловие или заключение. Это помогает составить представление о степени достоверности или научности данной книги.

Изучение научной учебной и иной литературы требует ведения рабочих записей. Форма записей может быть весьма разнообразной: простой или развернутый план, тезисы, цитаты, конспект. Такие записи удлиняют процесс проработки, изучения книги, но способствуют ее лучшему осмыслению и усвоению, выработке навыков кратко и точно излагать материал. При изучении ли-

тературы особое внимание следует обращать на новые термины и понятия. Записи позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

Процесс изучения дисциплины предполагает также активное использование информационных технологий при организации своей познавательной деятельности.

Наличие огромного количества материалов в Сети и специализированных поисковых машин делает Интернет незаменимым средством при поиске информации в процессе обучения. Однако при использовании Интернет-ресурсов следует учитывать следующие рекомендации: необходимо критически относиться к информации; следует научиться обрабатывать большие объемы информации, представленные в источниках, уметь видеть сильные и слабые стороны, выделять из представленного материала наиболее существенную часть; необходимо избегать плагиата, поэтому, если текст источника остается без изменения, необходимо сделать ссылки на автора работы.

#### **4.3.2 Подготовка к практическим занятиям**

При подготовке к практическому занятию студент должен проработать теоретический материал, относящийся к теме занятия. Следует изучить конспект лекции, а также конспект материала самостоятельного изучения темы или дополнительные рекомендованные преподавателем материалы. При этом необходимо выяснить физический смысл всех величин, встречающихся в конспекте лекций по данному вопросу.

При подготовке к практическому занятию студенту рекомендуется использовать лекционный материал и учебную литературу, откуда в отдельную тетрадь выписать:

- основные законы, условия их выполнения;
- пояснить физический смысл величин, входящих в закон, обозначить единицы измерения;
- привести графические иллюстрации, поясняющие физический смысл величин, входящих в закон;

- численные значения постоянных, входящих в математическую формулу закона;

- кратко перечислить практические случаи применения закона.

Такая подготовка способствует успешному ответу в ходе *письменного опроса*, который проводится преподавателем для закрепления изучаемого материала, а также при решении задач на практическом занятии.

#### **4.3.3 Выполнение домашних и расчетно-графических работ**

Для успешного решения домашних задач и расчетно-графических работ необходимо просмотреть записи решений задач, выполненных в аудитории. Приступая к решению любой задачи, следует придерживаться рекомендаций, приведенных в пункте 1.2.

Домашнее задание выполняется в тетради для практических занятий, а и расчетно-графические работы оформляются на отдельных листах формата А4. На одном листе пишется полностью условие задачи, краткое условие, решение; чертежи выполняются аккуратно с использованием чертежных инструментов. Все численные данные переводятся в систему СИ. В конце пишется ответ.

#### **4.3.4 Самостоятельное изучение и конспектирование отдельных тем**

Для подготовки конспекта рекомендуется использовать основную и дополнительную литературу.

При написании конспекта придерживайтесь следующих рекомендаций:

1. Прежде чем приступить к чтению, необходимо записать выходные данные издания: автор, название, издательство, год издания.
2. Внимательно прочитайте текст.
3. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта.
4. Выделите главное, составьте план.
5. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора.
6. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана.

При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты, учитывайте лаконичность, значимость мысли. В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения.

#### **4.3.5 Подготовка к текущему и промежуточному контролю**

*Подготовка к коллоквиуму.* Коллоквиум – одна из форм контроля полученных теоретических знаний. Коллоквиум это вид занятия, на котором обсуждаются отдельные части, разделы, темы, вопросы изучаемого курса.

При подготовке к коллоквиуму следует, прежде всего, просмотреть конспект лекций и отметить в нем имеющиеся вопросы коллоквиума. Если какие-то вопросы вынесены преподавателем на самостоятельное изучение, следует обратиться к учебной литературе, рекомендованной преподавателем.

Для лучшего усвоения основных физических законов рекомендуется прописывать формулировки и их математические интерпретации (формулы) несколько раз на отдельном листе, а затем воспроизводить в контексте ответа на вопрос.

Для самопроверки рекомендуется провести следующий опыт: при закрытой тетради и т.п., положив перед собой список вопросов для подготовки к коллоквиуму, попытаться ответить на любые вопросы из этого списка.

*Подготовка к контрольной работе.* Контрольная работа направлена на проверку умений студентов применять полученные теоретические знания в отношении определенной конкретной задачи.

Подготовка к контрольной работе включает: повторение теоретического материала по тематике контрольной работы. Особое внимание следует уделить запоминанию основных законов и примеров их применения. Для этого следует еще раз рассмотреть решения задач, которые рассматривались на практических занятиях и при решении домашних заданий или выполнении расчетно-графических работ.

*Подготовка к тестированию.* В современном образовательном процессе тестирование как новая форма оценки знаний занимает важное место.

При подготовке к тесту следует, прежде всего, просмотреть конспект лекций и практических занятий и отметить в них имеющиеся темы и практические задания, относящиеся к тематике теста. Особо следует уделить внимание содержанию тем заданных на самостоятельное изучение, так как часть вопросов в тестах может относиться именно к этим темам. Если какие – то лекционные вопросы и практические задания на определенные темы не были разобраны на занятиях (или решения которых оказались не понятными), следует обратиться к учебной литературе, рекомендованной преподавателем. Полезно самостоятельно решить несколько типичных заданий по соответствующему разделу.

При подготовке к тесту не следует просто заучивать, необходимо понять логику изложенного материала. Этому немало способствует составление развернутого плана, таблиц, схем. Как и любая другая форма подготовки к контролю знаний, тестирование имеет ряд особенностей, знание которых помогает успешно выполнить тест.

Можно дать следующие методические рекомендации:

- прежде всего, следует внимательно изучить структуру теста, оценить объем времени, выделяемого на данный тест, увидеть, какого типа задания в нем содержатся, что поможет настроиться на работу;

- лучше начинать отвечать на те вопросы, в правильности решения которых нет сомнений, пока не останавливаясь на тех, которые могут вызвать долгие раздумья, что позволит успокоиться и сосредоточиться на выполнении более трудных вопросов;

- очень важно всегда внимательно читать задания до конца, не пытаясь понять условия «по первым словам» или выполнив подобные задания в предыдущих тестированиях, так как такая спешка нередко приводит к досадным ошибкам в самых легких вопросах;

- если Вы не знаете ответа на вопрос или не уверены в правильности, следует пропустить его и отметить, чтобы потом к нему вернуться;

– думайте только о текущем задании, необходимо концентрироваться на данном вопросе и находить решения, подходящие именно к нему;

– многие задания можно быстрее решить, если не искать сразу правильный вариант ответа, а последовательно исключать те, которые явно не подходят, что позволяет в итоге сконцентрировать внимание на одном-двух вероятных вариантах;

– рассчитывать выполнение заданий нужно всегда так, чтобы осталось время на проверку и доработку (примерно 1/3-1/4 запланированного времени), что позволит свести к минимуму вероятность описок и сэкономить время, чтобы набрать максимум баллов на легких заданиях и сосредоточиться на решении более трудных, которые вначале пришлось пропустить;

– процесс угадывания правильных ответов желательно свести к минимуму, так как это чревато тем, что Вы забудете о главном: умении использовать имеющиеся накопленные в учебном процессе знания, и будете надеяться на удачу.

*Подготовка к промежуточной аттестации.* Формами промежуточной аттестации (контроля) являются экзамен и зачет. Экзамен (зачет) может проводиться в виде письменного опроса с последующим собеседованием или с применением тестирования.

Основная цель подготовки к экзамену (зачету) – достичь понимания физических законов и явлений, а не только механически заучить материал. Рекомендации по подготовке к экзаменационному (зачетному) тесту представлены выше.

Подготовка к устной сдаче экзамена (зачета) включает в себя несколько основных этапов:

- просмотр программы учебного курса;
- определение необходимых для подготовки источников (учебников, дополнительной литературы и т.д.) и их изучение;
- использование конспектов лекций, материалов практических занятий;
- консультирование у преподавателя.

Для успешной сдачи экзамена рекомендуется соблюдать несколько правил.

1. Подготовка к экзамену (зачету) начинается с первого занятия по дисциплине, на котором аспиранты получают общую установку преподавателя и перечень основных требований к текущей и промежуточной аттестации. При этом важно с самого начала планомерно осваивать материал, руководствуясь, прежде всего перечнем вопросов к экзамену, конспектировать важные для решения учебных задач источники.

2. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до экзамена (зачета). В течение этого времени нужно успеть повторить и систематизировать изученный материал.

3. За несколько дней перед экзаменом (зачетом) распределите вопросы равномерно на все дни подготовки, возможно, выделив последний день на краткий повтор всего курса.

4. Каждый вопрос следует проработать по конспекту лекций, по учебнику или учебному пособию. В процессе подготовки к экзамену (зачету) при изучении того или иного физического закона, кроме формулировки и математической записи закона, следует обратить внимание на опыты, которые обнаруживают этот закон и подтверждают его справедливость, границы и условия его применимости.

Для лучшего запоминания материала целесообразно работать с карандашом в руках, записывая выводимые формулы, изображая рисунки, схемы и диаграммы в отдельной тетради или на листах бумаги.

5. После повтора каждого вопроса нужно, закрыв конспект и учебники, самостоятельно вывести формулы, воспроизвести иллюстративный материал с последующей самопроверкой.

6. Все трудные и не полностью понятые вопросы следует выписывать на отдельный лист бумаги, с последующим уточнением ответов на них у преподавателя на консультации.

7. При ответе на вопросы билета студент должен продемонстрировать знание теоретического материала и умение применить при анализе качественных и количественных задач. Изложение материала должно быть четким, кратким и аргументированным.

#### **4.3.6 Подготовка к другим видам работ**

*Подготовка реферата.* Цель реферата – раскрыть предложенную тему путем приведения каких-либо аргументов. Реферат не может содержать много идей. Он отражает только один вариант размышлений и развивает его. При написании реферата старайтесь четко отвечать на поставленный вопрос и не отклоняйтесь от темы.

Написание реферата предполагает изложение самостоятельных рассуждений по теме, выбранной студентом и связанной с тематикой курса.

Прежде чем приступить к написанию реферата, проанализируйте имеющуюся у вас информацию, а затем составьте тезисный план. Рекомендуется придерживаться следующей структуры реферата: введение, основная часть (развитие темы), заключение, библиографический список.

Введение должно включать краткое изложение вашего понимания и подход к теме реферата.

Основная часть предполагает развитие структурированной аргументации и анализа по теме, а также их логическое обоснование исходя из имеющихся данных, других аргументов и позиций по этому вопросу. Следует избегать повторений.

Необходимо писать коротко, четко и ясно, придерживаясь следующих требований:

- структурно выделять разделы и подразделы работы;
- логично излагать материал;
- обосновывать выводы;
- приветствуется оригинальность выводов;
- отсутствие лишнего материала, не имеющего отношение к работе;

- способность построить и доказать вашу позицию по определенным проблемам на основе приобретенных вами знаний;
- аргументированное раскрытие темы на основе собранного материала.

Заключение. В этом разделе должна содержаться информация о том, насколько удалось достичь поставленной цели. Эта часть реферата может представлять собой основные выводы по каждому разделу основной части реферата, в ней отмечается значимость выполненной работы, предложения по возможному практическому использованию результатов работы и целесообразность ее продолжения.

Библиографический список должен содержать только те источники информации, которые имеют прямое отношение к работе и использованы в ней. Библиографический список должен быть составлен в соответствии со стандартом организации по оформлению учебных работ (СТО СМК) АмГУ.

*Подготовка презентации и доклада.* Доклад – сообщение по выбранной теме. Любое устное выступление должно удовлетворять *трем основным критериям*, которые в конечном итоге и приводят к успеху:

- критерий правильности, т.е. соответствия языковым нормам;
- критерий смысловой адекватности, т.е. соответствия содержания выступления реальности;
- критерий эффективности, т.е. соответствия достигнутых результатов поставленной цели.

Докладчик должен знать и уметь: сообщать новую информацию, использовать технические средства, хорошо ориентироваться в теме, отвечать на заданные вопросы, четко выполнять установленный регламент.

Работа по подготовке устного выступления начинается с формулировки темы. Само выступление должно состоять из трех частей – вступления (10-15% общего времени), основной части (60-70%) и заключения (20-25%).

Вступление включает в себя представление авторов, название доклада, цель, задачи, актуальность темы, четкое определение стержневой идеи.

Основная часть. Раскрывается суть затронутой темы – строится по принципу отчета. Задача основной части – представить достаточно материала для раскрытия темы. План развития основной части должен быть ясным. Должно быть отобрано оптимальное количество фактов и необходимых примеров. Логическая структура строится с помощью наглядных пособий, визуальных материалов (презентаций).

Заключение – ясное, четкое обобщение и краткие выводы.

Презентация как документ представляет собой последовательность сменяющих друг друга слайдов. Для подготовки презентации рекомендуется использовать: PowerPoint, MSWord, AcrobatReader, LaTeX-овский пакет beamer. Компьютерную презентацию, сопровождающую выступление докладчика, удобнее всего подготовить в программе MS PowerPoint.

Для подготовки презентации необходимо собрать и обработать начальную информацию. Рекомендуется придерживаться следующей последовательности подготовки презентации:

1. Четко сформулировать цель, задачи и актуальность выбранной темы.
2. Определить формат презентации.
3. Отобрать всю содержательную часть для презентации и выстроить логическую цепочку подачи информации. Обязательная информация для презентации: тема, фамилия и инициалы выступающего (на первом слайде), краткие выводы по теме доклада (на завершающем слайде).
4. Определить ключевые моменты и содержание текста и выделить их.
5. Определить виды визуализации (иллюстрации, таблицы, графики, диаграммы и т.д.) для отображения их на слайдах в соответствии с логикой, целью и спецификой информации.
6. Подобрать дизайн и форматировать слайды (количество картинок и текста, их расположение, цвет и размер). Особо тщательно необходимо отнестись к оформлению презентации, она должна содержать минимум текста, максимум изображений, несущих смысловую нагрузку, выглядеть наглядно и просто. Для всех слайдов презентации по возможности необходимо использовать

один и тот же шаблон оформления, кегль – для заголовков - не меньше 24, для информации - для информации не менее 18. Яркие краски, сложные цветные построения, излишняя анимация, выпрыгивающий текст или иллюстрация — не самое лучшее дополнение к научному докладу. Таблицы и диаграммы размещаются на светлом или белом фоне. Также нежелательны звуковые эффекты в ходе демонстрации презентации. Для лучшей ориентации в презентации по ходу выступления лучше пронумеровать слайды. Рекомендуемое общее число слайдов в презентации от 17 до 22.

7. Проверить визуальное восприятие презентации.

8. После подготовки презентации необходима репетиция выступления для согласования текста доклада и предоставляемой в презентации визуальной информации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батыгин В.В. Сборник задач по электродинамике : учеб. пособие/ В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин ; под ред. М. М. Бредова. -3-е изд., испр.. -М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2002.-640 с.

2. Горбузов В.Н. Математический анализ: теория поля : Учеб. пособие/ Горбузов В.Н.. -Гродно: Изд-во Гродн. гос. ун-та, 2000.-627 с.

3. Барышников, С. В. Электродинамика [Текст] : Методика решения задач / С.В. Барышников. - Благовещенск : Изд-во Благовещ. гос. пед. ин-та, 1998.

4. Рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Е.М. Емышева [и др.].– Москва: Изд-во РГТУ, 2013.– 125 с. – Режим доступа:

<https://www.rsuh.ru/upload/iblock/c70/c70c10002f5932ab48798aae10f5a351.do>

5. Методические рекомендации при подготовке к занятиям по физике (лекциям практике, решения задач, лабораторным работам) [Электронный ресурс]: учебно-метод. пособие / Е. А. Попкова.– Рыбинск: ООО Изд-во «РМП», 2009. – 54 с. – Режим доступа: <http://www.rsatu.ru/sites/physics/?doc=1491334469>

6. Лызь, Н.А. Тенденции развития высшего образования [Электронный ресурс]: учебно-метод. пособие / Н.А Лызь, А.Е. Лызь. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 48 с. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/2332317/>

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Содержание дисциплины	4
2 Содержание практических (семинарских) занятий	8
2.1 Темы практических (семинарских) занятий	8
2.2 Вопросы для самопроверки при подготовке к практическим занятиям	9
2.3 Задачи для практических занятий и самостоятельной работы	14
2.4 Темы для самостоятельного изучения	31
3 Рекомендуемая литература	33
4. Организация занятий по дисциплине	34
4.1 Общие рекомендации по организации работы на лекции	34
4.2 Общие рекомендации по подготовке к практическим занятиям	35
4.3 Общие рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы	37
4.3.1 Работа с учебно-методическим и информационным обеспечением	38
4.3.2 Подготовка к практическим занятиям	39
4.3.3 Выполнение домашних и расчетно-графических работ	40
4.3.4 Самостоятельное изучение и конспектирование отдельных тем	40
4.3.5 Подготовка к текущему и промежуточному контролю	41
4.3.6 Подготовка к другим видам работ	45
Библиографический список	49

**Оксана Васильевна Зотова,**  
*доцент кафедры физики АмГУ, канд. физ.-мат. наук.*