

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор института нано-, био-,
информационных, когнитивных
и социогуманитарных наук и
технологий**

П.А. Форш

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Общая физика: электричество и магнетизм
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Термоядерная энергетика и плазменные технологии Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра физики и физического материаловедения
курс:	1
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

2 (весенний) - Дифференцированный зачет
3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 105 всего, в том числе:

лекции: 45 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: М.Г. Ситников, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и физического материаловедения 17.03.2020

Аннотация

Данный раздел физики посвящён изучению классической теории электромагнитного поля. В курсе рассматриваются ключевые понятия и методы физики электромагнитных явлений как части курса общей физики. Изложение курса начинается со знакомства обучающихся с такими базовыми элементами теории как закон сохранения заряда, закон Кулона, принцип суперпозиции, теорема Гаусса в интегральном и дифференциальном виде, скалярный потенциал электростатического поля и др. Последовательно излагаются теория и законы взаимодействия электрических и магнитных полей с веществом. Формулируются уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Даются базовые понятия об электромагнитных волнах и линиях передачи энергии. Для успешного освоения онлайн-курса обучающийся должен владеть основами математического анализа, знать основы линейной алгебры и уметь оперировать с комплексными числами.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- освоение студентами основ классической электродинамики и знакомство студентов с элементами оптики и теории поля.

Задачи дисциплины

- знакомство с базовыми экспериментальными фактами в области электричества и магнетизма;
- усвоение уравнений Максвелла в вакууме и в материальных средах, описывающих все электродинамические явления;
- овладение математическими методами, позволяющими решать уравнения Максвелла;
- решение задач, охватывающих основные приложения электродинамики.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- численные порядки величин, характеризующие электрические и магнитные явления;
- основные законы электродинамики в вакууме и веществе (уравнения Максвелла);
- законы электростатики и магнитостатики;
- явление электромагнитной индукции;
- выражение закона сохранения энергии для электромагнитного поля;
- квазистационарные электромагнитные явления;
- элементарную теорию волноводов и объемных резонаторов;
- основные понятия о плазме.

уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- находить безразмерные параметры, определяющие изучаемое явление;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- обеспечить достоверность получаемых результатов;
- видеть в технических задачах физическое содержание.

владеть:

- методами решения физических задач по электродинамике;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории, библиотеке и Интернете;
- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования физических задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Магнитостатика.	4	7		
2	Постоянные токи.	4	8		
3	Электродинамика.	4	7		45
4	Электростатика.	3	8		
5	Переменные токи.	10	10		
6	Электромагнитные волны в средах.	10	10		
7	Элементы оптики.	10	10		45
Итого часов		45	60		90
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Магнитостатика.

Закон Ампера взаимодействия токов. Магнитное поле постоянных токов в вакууме как векторное поле. Индукция \ магнитного поля. Закон Био-Савара-Лапласа. Силы Ампера и Лоренца. Магнитное поле прямого провода.. Единицы СГСЭ и СГСМ. Опыт Вебера-Кольрауша и электродинамическая постоянная с.. Магнитное поле витка с током. Магнитное поле соленоида. Теорема о циркуляции магнитного поля в интегральной и дифференциальной формах. Магнитное поле проводников с токами: толстого провода, коаксиального кабеля, соленоида, тороида, движущейся заряженной плоскости. Магнитное поле системы токов на большом удалении от этой системы. Магнитный диполь. Момент сил, действующих на диполь, и энергия магнитного диполя в магнитном поле. Магнитные моменты атомов и молекул. Качественные представления о механизме намагничивания парамагнетиков и диамагнетиков. Вектор намагниченности вещества. Свободные токи и токи намагничивания. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость вещества. Напряженность магнитного поля. Характер изменения напряжённости и индукции магнитного поля на границе раздела двух магнетиков.

2. Постоянные токи.

Постоянный ток. Сила и плотность тока. Уравнение непрерывности электрического заряда. Закон Ома в интегральной и дифференциальной формах. Электродвижущая сила. Правила Кирхгофа. Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля-Ленца. Объёмные токи. Проводимость диода, закон Ленгмюра.

3. Электродинамика.

Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Преобразования полей при переходах из одних инерциальных систем отсчёта в другие. Электромагнитная индукция в движущихся и неподвижных проводниках. Электродвижущая сила индукции (закон Фарадея). Правило Ленца. Вихревое электрическое поле. Непрерывность силовых линий магнитного поля. Первая пара уравнений Максвелла. Ток смещения. Вторая пара уравнений Максвелла. Полная система уравнений Максвелла в вакууме. Волновое уравнение. Электромагнитные волны в свободном пространстве, скорость их распространения. Электромагнитная природа света. Уравнения Максвелла и электромагнитная индукция. Взаимная индуктивность контуров; теорема взаимности. Коэффициент самоиндукции контура. Индуктивность длинного соленоида. Энергия, сосредоточенная в индуктивности. Плотность энергии магнитного поля. "Энергетические" определения коэффициентов взаимной индуктивности и коэффициента самоиндукции. Энергетический метод вычисления сил в магнитном поле. Подъёмная сила электромагнита.

4. Электростатика.

Электрические заряды. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Единицы СИ и ГС измерения электрических величин. Принцип суперпозиции Поток векторного поля. Теорема Гаусса для электрического поля в вакууме. Электрическое поле заряженных тел: сферы, шара, нити, цилиндра, плоскости, слоя. Линейный интеграл и циркуляция векторного поля. Потенциальные и вихревые векторные поля. Потенциал электрического поля. Связь напряженности поля с градиентом потенциала. Проводники в постоянном электрическом поле. Граничные условия для электрического поля на заряженной поверхности проводника Электрический диполь. Потенциал и напряжённость поля электрического диполя. Уравнение Пуассона для потенциала постоянного электрического поля. Общая задача электростатики. Метод изображений. Электрические ёмкости. Конденсаторы. Энергия взаимодействия зарядов. Энергия электрического поля и ее локализация в пространстве. Сила, действующая на элемент поверхности проводника (давление электрического поля). Энергия диполя в электрическом поле и момент сил, действующих на диполь. Электрическая поляризуемость атомов и молекул. Вектор поляризации вещества (диэлектрика). Свободные и связанные заряды. Диэлектрическая восприимчивость и диэлектрическая проницаемость вещества. Индукция электрического поля. Энергия электрического поля в диэлектрической среде.

Семестр: 3 (Осенний)

5. Переменные токи.

Колебательный контур. Свободные затухающие колебания электрического тока в контуре. Коэффициент затухания, логарифмический декремент затухания и добротность контура. Энергия, сосредоточенная в колебательном контуре. Энергетический смысл добротности. Вынужденные колебания электрического тока под действием внешнего синусоидального напряжения. Амплитудная и фазовая характеристики тока и напряжений. Резонанс. Процесс установления стационарных колебаний. Условие квазистационарности тока. Гармонические (синусоидальные) токи. Представление колебаний электрического тока и напряжений через комплексные величины. Векторные диаграммы. Комплексное сопротивление (импеданс) элемента цепи переменного тока. Правила Кирхгофа для переменных токов. Работа и мощность переменного тока. Действующие значения тока и напряжения. Вынужденные электрические колебания в контуре. Связь ширины резонансного пика с добротностью контура. Резонанс напряжений и резонанс токов. Резонансный трансформатор Тесла. Интегрирующие и дифференцирующие аналоговые схемы. Параметрическое возбуждение колебания. Понятие об автоколебаниях. Генератор Ван-дер-Поля. Обратная связь. Распространение переменного тока по длинному проводу (кабелю). Уравнения, связывающие ток и напряжение на малом участке кабеля (телеграфные уравнения). Ёмкость, индуктивность, сопротивление и утечка на единицу длины кабеля. Условие распространения сигнала по кабелю без затухания. Условие распространения сигнала с затуханием, но без искажения. Скорость распространения сигнала по кабелю. Волновое сопротивление кабеля.

6. Электромагнитные волны в средах.

Диэлектрические среды: индукция электрического поля и диэлектрическая проницаемость среды. Магнитные среды: напряжённость магнитного поля и магнитная проницаемость среды. Плотность тока смещения (тока связанных зарядов) в среде. Уравнения Максвелла и материальные уравнения (уравнения связи) в изотропной среде. Плотность энергии и плотность потока энергии (вектор Пойнтинга) электромагнитного поля в изотропной среде (в частности - в вакууме). Понятие об импульсе и моменте импульса (угловом моменте) электромагнитного поля. Плоская линейно поляризованная электромагнитная волна в однородной диэлектрической среде (в частности - в вакууме). Частота волны, волновой вектор. Фазовая скорость волны. Коэффициент преломления среды. Поперечность плоской волны. Вектор Пойнтинга для плоской волны. Давление излучения. Проводящие среды. Экранировка, дебаевский радиус. Плазменная частота. Плоская электромагнитная волна в проводящей среде. Скин-эффект. Распространение электромагнитных волн в "газе" осцилляторов. Дисперсия и затухание волн. Нормальная и аномальная дисперсии. Волновой пакет конечной протяженности. Групповая скорость. Формула Рэлея. Дисперсия электромагнитных волн в средах со свободными зарядами (металлы, плазма). Диэлектрическая проницаемость плазмы.

7. Элементы оптики.

Бегущие и стоячие электромагнитные волны. Электромагнитные волны в прямоугольных волноводах. Критическая частота волновода. Объёмный резонатор. Стоячие электромагнитные волны (моды электромагнитного излучения). ТЕ- и ТМ-волны. Отражение и преломление электромагнитных ТЕ- и ТМ-волн на границе раздела сред. Закон Снеллиуса. Формулы Френеля для коэффициентов отражения и прохождения. Угол Брюстера. Полное внутреннее отражение. Туннельный эффект. поляризации плоской волны. Затухание волны в среде. Поляроиды. Закон Малюса. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Одноосные кристаллы. Двойное лучепреломление и поляризационные призмы. Пластинки в четверть волны и в половину волны. Поворот плоскости поляризации в магнитном поле (эффект Фарадея).

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 3 : Электричество : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 4-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2002-2006, 2009 .— 656 с.
2. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 4 : Оптика : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 3-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2002, 2005, 2006 .— 792 с.
3. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. С. Горелик ; под ред. С. М. Рытова .— 3-е изд. — М. : Физматлит, 2007 .— 656 с.
4. Электричество и магнетизм [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. А. Кириченко ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2011 .— 420 с.

Фонд литературы кафедры

5. Козел С.М., Лейман В.Г., Локшин Г.Р., Овчинкин В.А., Прут Э.В. Сборник задач по общему курсу физики. Ч. 2. Электричество и магнетизм. Оптика. Под ред. В.А.Овчинкина. - Москва, Изд-во МФТИ, 2001.
6. Корявов В.П. Методы решения задач в общем курсе физике. Электричество и магнетизм. — Москва, Студент, 2011.

Дополнительная литература

1. Волновые процессы : Основные законы [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. Е. Иродов .— 5-е изд., испр. — М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010, 2013 .— 263 с.
2. Электромагнетизм. Основные законы [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. Е. Иродов .— 7-е изд. — М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2009, 2010, 2013 .— 319 с.
3. Фейнмановские лекции по физике [Текст]. Вып. 5 : Электричество и магнетизм : [учеб. пособие для вузов] / Р. Фенман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; пер. с англ. Г. И. Копылова, Ю. А. Симонова ; под ред. Я. А. Смородинского .— 4-е изд. — М. : ЛКИ, 2008 .— 304 с.

Фонд литературы кафедры

4. Китель Ч., Найт У., Рудерман М. Берклеевский курс физики. Т. 1. Механика. - М.: Наука, 1975 (2-е изд., стереотип.).
5. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. - Москва, НТЦ ВЛАДИС, 1998.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

- 1) <http://www.compadre.org/quantum/search/search.cfm?b=1&gs=2242>)
- 2) http://www.scholarpedia.org/article/Encyclopedia_of_physics

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях демонстрируются презентации с помощью мультимедийных технологий.

В процессе самостоятельной работы обучающиеся могут использовать программные средства MATLAB, Mathcad, WolframMathematica.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Для успешного освоения курса от студента требуется большой объем самостоятельной работы, который включает чтение и конспектирование рекомендованной литературы, проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях – подготовку к проверочным мероприятиям. Показателем владения материалом служит умение решать задачи, а также умение изложить теоретический материал дисциплины. При решении задачи необходимо уметь построить модель, выбрать разумные приближения, выбрать удобную систему координат и использовать удобные обозначения. Значительно облегчить решение задачи может хорошо выполненный чертеж, если он соответствует условию задачи. В начале занятия проводится короткий тест по материалу прошедших занятий в письменной форме. Обязательным требованием является выполнение домашних работ, которые оформляются в специально отведенной для этого тетради и систематически сдаются на проверку. В течение семестра проводятся две контрольные работы.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Термоядерная энергетика и плазменные технологии Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра физики и физического материаловедения
курс:	1
квалификация:	бакалавр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
3 (осенний) - Экзамен	
Разработчик:	М.Г. Ситников, канд. физ.-мат. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Общая физика: электричество и магнетизм» обучающийся должен:

знать:

- численные порядки величин, характеризующие электрические и магнитные явления;
- основные законы электродинамики в вакууме и веществе (уравнения Максвелла);
- законы электростатики и магнитостатики;
- явление электромагнитной индукции;
- выражение закона сохранения энергии для электромагнитного поля;
- квазистационарные электромагнитные явления;
- элементарную теорию волноводов и объемных резонаторов;
- основные понятия о плазме.

уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- находить безразмерные параметры, определяющие изучаемое явление;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- обеспечить достоверность получаемых результатов;
- видеть в технических задачах физическое содержание.

владеть:

- методами решения физических задач по электродинамике;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории, библиотеке и Интернете;
- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования физических задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В целях текущего контроля успеваемости предусмотрен краткий опрос по темам предыдущих занятий по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Промежуточная аттестация по дисциплине «Общая физика: электричество и магнетизм» осуществляется в форме дифференцированного зачета во 2-м семестре и в форме экзамена в 3-м семестре. Дифференцированный зачет и экзамен проводится в устной форме.

Примерный перечень вопросов в тестах.

2 семестр.

1. Дать определение пробного электрического заряда и вектора напряжённости электрического поля.
2. Сформулировать закон Кулона.
3. Записать общее выражение для напряжённости электрического поля $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ произвольной системы зарядов в двух случаях: (1) система состоит из набора точечных зарядов q_i , каждый из которых находится в соответствующей точке \mathbf{r}_i ; (2) имеется непрерывное распределение зарядов по пространству с объёмной плотностью $\rho(\mathbf{r})$.
4. Сформулировать теорему Гаусса в системах СИ и СГСЭ. (Сформулировать словами и указать формулу).
5. Используя теорему Гаусса, найти (подробно, с анализом симметрии, указанием координат и геометрических объектов на чертеже) напряжённость электрического поля равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью электрических зарядов σ .
6. Используя теорему Гаусса, найти (подробно, с анализом симметрии, указанием координат и геометрических объектов на чертеже) напряжённость электрического поля равномерно заряженной нити с линейной плотностью электрических зарядов λ .
7. Используя теорему Гаусса, найти (подробно, с анализом симметрии, указанием координат и геометрических объектов на чертеже) напряжённость электрического поля внутри равномерно заряженного бесконечного слоя, с плотностью зарядов ρ .
8. Используя теорему Гаусса, найти (подробно, с анализом симметрии, указанием координат и геометрических объектов на чертеже) напряжённость электрического поля внутри равномерно заряженного бесконечного цилиндра, с плотностью зарядов ρ .
9. Используя теорему Гаусса, найти (подробно, с анализом симметрии, указанием координат и геометрических объектов на чертеже) напряжённость электрического поля внутри равномерно заряженного шара, с плотностью зарядов ρ .
10. Записать общее выражение для потенциала электрического поля $\varphi(\mathbf{r})$ произвольной системы зарядов в двух случаях: (1) система состоит из набора точечных зарядов q_i , каждый из которых находится в соответствующей точке \mathbf{r}_i ; (2) имеется непрерывное распределение зарядов по пространству с объёмной плотностью $\rho(\mathbf{r})$.
11. Чему равна работа электростатического поля по перемещению заряда из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2 ?
12. Сформулировать теорему о циркуляции электростатического поля. (Сформулировать словами и указать формулу).
13. Как связана напряжённость электростатического поля с градиентом потенциала?
14. Записать потенциал и напряжённость электрического поля точечного диполя.
15. Записать граничные условия на поверхности проводника.
16. Записать выражение для дивергенции векторного поля \mathbf{A} в декартовых координатах.
17. Сформулировать математическую теорему Гаусса-Остроградского. (Сформулировать словами и указать формулу).

18. Сформулировать электростатическую теорему Гаусса в дифференциальной форме с системах СИ и СГСЭ.
19. Дать определение оператора Лапласа в декартовых координатах и записать уравнение Пуассона для электрического потенциала.
20. Записать выражение для ротора векторного поля \mathbf{A} в декартовых координатах.
21. Сформулировать (словами и указать формулу) математическую теорему Стокса.
22. Сформулировать теорему о циркуляции электростатического поля в дифференциальной форме.
23. Найти (подробно, с указанием фигурирующих физических величин) ёмкость плоского конденсатора. Площадь обкладок равна S , расстояние между обкладками равно d , между обкладками вакуум.
24. Найти (подробно, с указанием фигурирующих физических величин) ёмкость сферического конденсатора. Радиус внутренней обкладки равен R_1 , радиус внешней обкладки равен R_2 , между обкладками вакуум.
25. Записать выражение для энергии системы зарядов (через заряды и потенциалы) в двух случаях: (1) имеется набор точечных зарядов q_i , (2) заряд распределен по пространству непрерывно с плотностью $\rho(\mathbf{r})$.
26. Записать выражение для энергии заряженного конденсатора ёмкости C .
27. Записать связь между вектором поляризации \mathbf{P} и связанными зарядами в интегральной и дифференциальной формах.
28. Дать определение вектора электрической индукции \mathbf{D} с пояснением смысла фигурирующих физических величин.
29. Дать определение диэлектрической проницаемости ϵ с пояснением смысла фигурирующих физических величин.
30. Указать связь между диэлектрической проницаемостью ϵ и поляризуемостью χ .
31. Записать граничные условия для полей \mathbf{E} и \mathbf{D} на границе раздела двух диэлектриков.
32. Записать выражение для плотности энергии электрического поля в СИ и СГСЭ в диэлектрике.
33. Записать выражение для плотности электрического тока в однородном потоке плотности n частиц с зарядом e , летящих со скоростью v .
34. Записать уравнение непрерывности в интегральной и дифференциальной формах.
35. Записать закон Ома в интегральной и дифференциальной формах с пояснением смысла фигурирующих физических величин.
36. Записать выражение для мощности, выделяемой на проводнике, в интегральной и дифференциальной формах с пояснением смысла фигурирующих физических величин.
37. Записать выражение для силы Лоренца, действующей на заряд q в электрическом \mathbf{E} и магнитном \mathbf{B} полях.
38. Записать выражение для силы Ампера, действующей на прямолинейный проводник с током I длины l в магнитном поле \mathbf{B} .
39. Записать закон Био-Савара-Лапласа (с указанием соответствующих векторов на рисунке) в двух формах: (1) магнитное поле движущегося заряда; (2) магнитное поле малого элемента тока.
40. Записать общее выражение для индукции магнитного поля $\mathbf{B}(\mathbf{r})$, которое создаётся произвольным непрерывным распределением токов в пространстве с плотностью $\mathbf{j}(\mathbf{r})$.
41. Сформулировать теорему Гаусса для магнитного поля в интегральной (сформулировать словами и указать формулу) и дифференциальной формах (формула).
42. Сформулировать теорему о циркуляции для магнитного поля в интегральной (сформулировать словами и указать формулу) и дифференциальной формах (формула).

43. Используя теорему о циркуляции, найти (подробно, с анализом симметрии, указанием координат и геометрических объектов на чертеже) индукцию магнитного поля прямого бесконечного провода радиуса R , если ток распределён равномерно по поперечному сечению провода.
44. Используя теорему о циркуляции, найти (подробно, с анализом симметрии, указанием координат и геометрических объектов на чертеже) индукцию магнитного поля бесконечной плоскости, по которой течёт ток с постоянной линейной плотностью i .
45. Используя теорему о циркуляции, найти (подробно, с анализом симметрии, указанием координат и геометрических объектов на чертеже) индукцию магнитного поля внутри бесконечного соленоида, по которому течёт ток с линейной плотностью i .
46. Дать определение магнитного момента замкнутого проводника с током.
47. Записать выражение для поля магнитного диполя \mathbf{m} на далёких расстояниях.
48. Записать связь между вектором намагниченности \mathbf{M} и токами намагниченности в интегральной и дифференциальной формах.
49. Дать определение вектора напряжённости магнитного поля \mathbf{H} с пояснением смысла фигурирующих физических величин.
50. Дать определение магнитной проницаемости μ с пояснением смысла фигурирующих физических величин.
51. Указать связь между магнитной проницаемостью μ и магнитной восприимчивостью χ .
52. Записать граничные условия для полей \mathbf{B} и \mathbf{H} на границе раздела двух магнетиков.
53. Предполагая, что в однородном магнитном поле индукции \mathbf{B} , частица заряда q движется по круговой орбите со скоростью v , найти выражения для циклотронных радиуса и частоты.
54. Записать выражение для скорости дрейфа центра орбиты заряда в скрещенных полях \mathbf{E} и \mathbf{B} в векторном виде.
55. Дать определение плотности тока смещения.
56. Сформулировать закон Фарадея в общем виде с пояснением смысла фигурирующих физических величин.
57. Записать систему уравнений Максвелла.

3 семестр.

1. Записать закон Фарадея в общем виде.
2. Записать "потокосное" и "энергетическое" определения индуктивности.
3. "Потоковым" и "энергетическим" методами вычислить индуктивность бесконечного соленоида. Число витков N , длина соленоида l , площадь поперечного сечения соленоида S , магнитная проницаемость магнетика в полости соленоида μ .
4. Записать выражение для плотности энергии магнитного поля в веществе с указанием смысла всех фигурирующих в выражении величин.
5. Записать формулу Томсона для частоты свободных незатухающих электромагнитных колебаний.
6. Записать общее решение затухающих колебаний и указать связь фигурирующих в выражении величин с характеристиками колебательного контура.
7. Записать определение логарифмического декремента затухания и его связь с коэффициентом затухания и собственной частотой колебаний.
8. Записать "энергетическое" определение добротности контура и её связь с коэффициентом затухания и собственной частотой колебаний.
9. Записать уравнение вынужденных электромагнитных колебаний с указанием смысла фигурирующих в нём физических величин.
10. Качественно нарисовать зависимости амплитуды и фазы вынужденных колебаний от частоты внешнего переменного напряжения.

11. Указать связь характерной ширины резонансного пика с коэффициентом затухания, а также с добротностью контура (две формулы).
12. Записать выражения для индуктивного и ёмкостного сопротивлений с указанием смысла фигурирующих физических величин.
13. Как связана реальная зависимость синусоидального тока или напряжения от времени с соответствующей комплексной физической величиной? Как связана амплитуда синусоидального тока или напряжения с соответствующей комплексной физической величиной?
14. Как связана мощность источника синусоидальной э.д.с. с амплитудой э.д.с. источника, амплитудой тока, протекающего через источник, и сдвигом фазы между током и э.д.с.?
15. Чему равна мощность, выделяемая на резисторе с сопротивлением R , если через него течёт переменный синусоидальный ток с амплитудой I_0 ?
16. Как связано действующее значение синусоидального тока или напряжения с амплитудой соответствующей физической величины?
17. Записать произвольную периодическую функцию в виде ряда Фурье (в вещественной или комплексной формах) и выражение для коэффициентов Фурье.
18. Записать произвольную быстро убывающую на бесконечности функцию в виде интеграла Фурье и выражение для коэффициентов Фурье.
19. Записать соотношение неопределенностей для длительности импульса и его частоты.
20. Записать телеграфные уравнения.
21. Записать выражение для скорости распространения сигнала по проводам через ёмкость и индуктивность на единицу длины (без затухания).
22. Записать выражение для волнового сопротивления кабеля.
23. Записать условие распространения сигнала по проводам с затуханием, но без искажения.
24. Записать выражения для вектора Пойнтинга электромагнитного поля в среде.
25. Равномерно заряженная с линейной плотностью зарядов λ тонкая бесконечная нить движется со скоростью v вдоль самой себя. Найти вектор Пойнтинга (величину и направление) в точке на расстоянии r от нити.
26. Равномерно заряженная с поверхностной плотностью зарядов σ тонкая бесконечная плоскость движется со скоростью v вдоль самой себя. Найти вектор Пойнтинга (величину и направление) в точке на расстоянии x от плоскости.
27. Записать волновое уравнение для какой-либо из компонент электрического или магнитного поля в однородной изотропной среде. Диэлектрическая проницаемость среды ϵ . Магнитная проницаемость среды μ .
28. Записать выражение для скорости распространения электромагнитных волн в среде с электрической и магнитной проницаемостями ϵ и μ соответственно.
29. Как связаны модули векторов напряжённости электрического \mathbf{E} и индукции магнитного \mathbf{B} полей в плоской линейно поляризованной бегущей электромагнитной волне?
30. Как связан показатель преломления среды с её электромагнитными характеристиками?
31. Как связан вектор Пойнтинга плоской линейно поляризованной бегущей электромагнитной волны с её плотностью энергии?
32. Известна зависимость частоты от волнового вектора для волны, распространяющейся в диспергирующей среде, $\omega(k)$. Записать определения фазовой v и групповой u скоростей.
33. Из определения групповой скорости, как производной частоты по волновому числу, вывести формулу Рэлея.
34. Записать выражение для плазменной частоты. Указать смысл фигурирующий физический величин.
35. Записать зависимость показателя преломления плазмы n от частоты ω , если известна плазменная частота ω_p .

36. Записать выражение для дебаевского радиуса. (Плазма состоит из одновалентных ионов). Указать смысл фигурирующий физический величин.
37. Записать выражение для толщины скин-слоя в металле. Указать смысл фигурирующий физический величин.
38. Чему равны возможные значения волнового вектора одномерной стоячей волны, возбуждённой в области длины L ?
39. Записать закон дисперсии $\omega(k)$ для произвольной волны, распространяющейся вдоль волновода прямоугольного сечения $a \times b$. Внутри волновода вакуум. Чему равна критическая частота ω_0 , если $a > b$?
40. Найти первые 5 различных частот мод электромагнитных колебаний внутри кубического резонатора со стороной a . Внутри резонатора вакуум.

Примерный перечень контрольных вопросов в билетах.

- 1) Стационарное поле кулоновских сил. Напряженность и потенциал электрического поля. Единицы СИ и ГС измерения электрических величин.
- 2) Поток и дивергенция векторного поля. Теорема Гаусса-Остроградского. Вычисление дивергенции в декартовой системе координат.
- 3) Закон Гаусса в электростатике в интегральной и дифференциальной формах.
- 4) Проводник в постоянном электрическом поле. Плотность заряда на поверхности проводника. Поле в полости проводника. Внешняя и внутренняя экранировки.
- 5) Постановка общей задачи электростатики. Уравнения Пуассона и Лапласа. Метод изображений.
- 6) Емкость проводников и систем проводников. Конденсаторы. Энергия взаимодействия зарядов. Энергия, сосредоточенная в конденсаторе. Плотность энергии электрического поля.
- 7) Электрический ток. Сила тока и плотность тока. Уравнение непрерывности электрического тока. Первое правило Кирхгофа.
- 8) Закон Ома для однородного и неоднородного участков цепи. Локальная форма закона Ома. Электродвижущая сила (ЭДС). Второе правило Кирхгофа.
- 9) Тепловая мощность тока. Закон Джоуля-Ленца для однородного и неоднородного участков цепи. Локальная форма закона Джоуля-Ленца.
- 10) Силы Ампера. Индукция магнитного поля. Сила Лоренца. Закон Био-Савара-Лапласа. Единицы СИ и ГС измерения магнитных величин.
- 11) Циркуляция и ротор векторного поля. Теорема Стокса. Вычисление ротора в декартовой системе координат.
- 12) Магнитное поле прямого провода. Закон, определяющий циркуляцию магнитного поля, в интегральной и дифференциальной формах.
- 13) Электрический дипольный момент системы зарядов. Поле диполя. Энергия диполя в электрическом поле и момент сил, действующих на диполь. Сила, действующая на диполь в неоднородном электрическом поле.
- 14) Магнитный дипольный момент плоского контура с током. Индукция магнитного поля, создаваемого магнитным диполем. Момент сил, действующих на магнитный диполь, и энергия магнитного диполя в магнитном поле. Сила, действующая на магнитный диполь (рамку с током) в неоднородном магнитном поле.
- 15) Поляризуемость атомов и молекул. Вектор поляризации вещества. Электрическое поле поляризованного вещества. Плотность связанных зарядов.
- 16) Диэлектрическая восприимчивость и диэлектрическая проницаемость вещества. Индукция электрического поля. Плотность связанных зарядов в однородном диэлектрике. Плотность заряда на поверхности диэлектрика. Энергия электрического поля в диэлектрической среде.

- 17) Характер изменения напряженности и индукции электрического поля на границе раздела двух диэлектриков. Электрическое поле в однородном диэлектрике, заполняющем все пространство между проводниками со свободными электрическими зарядами.
- 18) Типы магнетиков. Поведение ферромагнетиков, парамагнетиков и диамагнетиков в постоянном магнитном поле. Вектор намагниченности вещества. Магнитное поле намагниченного вещества. Плотность тока намагничивания.
- 19) Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость вещества. Напряженность магнитного поля. Плотность тока намагниченности в однородном магнетике. Плотность токов на поверхности магнетиков. Ферромагнетики. Остаточная намагниченность и коэрцитивная сила.
- 20) Характер изменения напряженности и индукции магнитного поля на границе раздела двух магнетиков. Токи намагничивания в проводнике с током. Магнитное поле в однородном магнетике, заполняющем все пространство между проводниками со свободными электрическими токами.
- 21) Индукционный ток в контуре, движущемся в постоянном неоднородном магнитном поле. ЭДС индукции.
- 22) Закон электромагнитной индукции. Вихревое электрическое поле. Первая пара уравнений Максвелла.
- 23) Взаимная индуктивность. Теорема взаимности. Коэффициент самоиндукции замкнутого контура. Катушки индуктивности. Индуктивность длинного соленоида.
- 24) Энергия, сосредоточенная в катушке индуктивности. Плотность энергии магнитного поля.
- 25) "Телеграфные" уравнения. Индуктивность и емкость на единицу длины коаксиального кабеля. Скорость распространения сигналов по коаксиальному кабелю. Волновое сопротивление кабеля. Условие распространения сигналов без искажений.
- 26) Квазистационарные токи. Импеданс элемента цепи - сопротивления, индуктивности и емкости. Правила Кирхгофа для переменных токов. Тепловая мощность переменного тока. Действующие значения тока и напряжения.
- 27) Колебательный контур. Частота колебаний тока в контуре без затухания и с затуханием. Добротность контура. Энергетический смысл добротности. Параметрические колебания. Автоколебания. Генератор Ван дер Поля.
- 28) Вынужденные электрические колебания в контуре. Резонанс напряжений. Влияние добротности контура на ширину резонансной линии. Резонанс токов.
- 29) Вторая пара уравнений Максвелла
- 30) Уравнения Максвелла в изотропной диэлектрической среде. Плотность тока связанных зарядов. Явный вид уравнений в единицах СИ и ГС.
- 31) Плотность энергии, плотность потока энергии (вектор Пойнтинга) и энергия электромагнитного поля в изотропной диэлектрической среде. Интегральная и дифференциальная формы закона изменения энергии электромагнитного поля в веществе.
- 32) Плоская электромагнитная волна в однородной диэлектрической среде. Частота волны, волновой вектор. Фазовая скорость волны. Коэффициент преломления среды. Поперечность плоской волны. Вектор Пойнтинга для плоской волны.
- 33) Круговая и эллиптическая поляризации плоской электромагнитной волны. Поляроиды. Закон Малюса. Одноосные кристаллы и двойное лучепреломление. Поляризационная призма Николя.
- 34) Отражение и преломление плоской электромагнитной волны при прохождении границы двух диэлектрических сред. ТЕ- и ТМ-волны. Связи между углами падения, отражения и преломления. Коэффициенты отражения и прохождения волн. Формулы Френеля. Угол Брюстера.
- 35) Электромагнитные волны в проводящих средах при низких частотах. Скин-эффект. Глубина проникновения переменного электромагнитного поля в проводник.

- 36) Электромагнитные волны в проводящих средах при высоких частотах. Плазменная частота. Диэлектрическая проницаемость и показатель преломления плазмы. Дисперсия электромагнитных волн в плазме. Экранировка зарядов в плазме. Радиус Дебая.
- 37) Элементарная теория дисперсии (зависимости показателя преломления среды от частоты электромагнитной волны, распространяющейся в этой среде). Модель "газа" осцилляторов. Нормальная и аномальная дисперсии. Диэлектрическая проницаемость и показатель преломления в пределе высоких частот.
- 38) Бегущие и стоячие электромагнитные волны. Прямоугольные волноводы. Поле простейшей TE-волны в волноводе прямоугольного сечения. Критическая частота волновода.
- 39) Объёмный прямоугольный резонатор. Стоячие электромагнитные волны в резонаторе (моды электромагнитного излучения). Собственные частоты резонатора. Частотная плотность мод.
- 40) Амплитудная и фазовая (частотная) модуляции волн. Фурье-разложения периодических сигналов. Полосы частот, необходимые для передачи звуковых сигналов посредством электромагнитных волн.
- 41) Электромагнитные импульсы. Суперпозиции плоских волн с близкими частотами (волновыми числами). Групповая скорость распространения импульсов. Полосы частот, необходимые для передачи импульсов конечной протяженности. Соотношение неопределённости "частота-время".
- 42) Тепловой и дробовой шум. Пределы чувствительности электрических измерительных приборов.

Примерный перечень задач в контрольных заданиях.

2 Семестр.

Задание № 1.

1. По двум длинным прямым проводам, расположенным параллельно на расстоянии d друг от друга, равномерно распределены разноимённые заряды с линейной плотностью $+\lambda$ и $-\lambda$. Найти напряжённость электрического поля в точке, находящейся на расстоянии h от плоскости, в которой лежат провода, и равноудалённой от проводов. Рассмотреть предел $d \rightarrow 0$ и $\lambda \rightarrow \infty$, если $d\lambda = \nu = \text{const}$.
2. Диск радиусом R заряжен равномерно с поверхностной плотностью σ . Найти напряжённость электрического поля в точке, которая находится на расстоянии h от диска на перпендикуляре, проходящем через центр диска. Рассмотреть также предельные случаи $R \gg h$ и $R \ll h$.
3. В равномерно заряженном бесконечном плоском слое толщины d с объёмной плотностью зарядов ρ вырезана сферическая полость. Центр полости находится в середине между поверхностями слоя, диаметр полости меньше толщины слоя d . Найти напряжённость электрического поля в полости (зависимости $E_x(x,y,z)$, $E_y(x,y,z)$ и $E_z(x,y,z)$, если начало координат помещено в центр полости, а ось x перпендикулярна слою).
4. Найти зависимость потенциала электростатического поля от расстояния до оси бесконечного равномерно заряженного цилиндра радиуса R . Объёмная плотность зарядов в цилиндре равна ρ . Принять, что потенциал на оси цилиндра равен 0. Нарисовать график полученной зависимости.
5. Длинная проводящая проволока радиуса поперечного сечения r помещена в однородное электрическое поле \mathbf{E}_0 , направленное вдоль оси z поперёк оси

провода (оси x). Найти плотность $\sigma(\varphi)$ распределения заряда по поверхности провода (φ -- это азимутальный угол между направлением на точку поверхности из точки на оси провода и осью z).

6. Металлический шар радиусом R_1 , несущий заряд Q , находится внутри сферического металлического слоя с внутренним радиусом R_2 и внешним радиусом R_3 (центры шара и слоя совпадают). Найти потенциал и напряжённость электрического поля в зависимости от расстояния от центра шара. Построить графики полученных зависимостей. Чему равны потенциалы проводников? Что изменится, если проводящий сферический слой заземлить? Нарисовать графики соответствующих зависимостей для этого нового случая.

7. Вычислить напряжённости электрического поля равномерно заряженных: (1) шара радиуса R и (2) бесконечной пластины толщины h , используя теорему Гаусса в дифференциальной форме. В обоих случаях объёмная плотность зарядов равна ρ .

8. В начале координат расположен электрический диполь \mathbf{p} , направленный вдоль оси x . Вычислить поток электрического поля этого диполя через круг радиуса R , перпендикулярный оси x , с центром на оси x в точке x_0 . Обсудить пределы $R \rightarrow 0$ и $R \rightarrow \infty$.

9. Заряд q находится на расстоянии $R/2$ от центра тонкостенной металлической изолированной сферы радиуса R . Заряд сферы равен Q . Найти силу, действующую на заряд, а также поверхностную плотность зарядов на сфере в самой ближней к заряду и самой дальней от заряда точках.

10. Вычислить дивергенцию и ротор поля $\mathbf{E}(x,y,z)=(2y, 2x+3z, 3y)$. Является ли это поле потенциальным? Если да, то найти его потенциал $\varphi(x,y,z)$. Проверить, что линейный интеграл от \mathbf{E} между произвольными точками A и B совпадает с убывью потенциала $\varphi_A - \varphi_B$.

11. На плоскости задано поле $\mathbf{E}(x,y)=(ax, b(x^2-y^2))$, где a и b -- постоянные. При каком соотношении между постоянными a и b поле \mathbf{E} является потенциальным? Для найденных a и b определить потенциал $\varphi(x,y)$, а также плотность заряда $\rho(x,y)$, формирующего это поле.

12. Вычислить дивергенцию и ротор поля:

\$\$

$$\mathbf{E}(x,y,z) = \left(\frac{qx}{R^3}, \frac{qy}{R^3}, \frac{qz}{R^3} \right), \quad \text{где } R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} < R, \quad \text{где } R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} < R,$$

\$\$

\$\$

$$\mathbf{E}(x,y,z) = \left(\frac{qx}{r^3}, \frac{qy}{r^3}, \frac{qz}{r^3} \right), \quad \text{где } r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \geq R,$$

\$\$

где q -- постоянная. Является ли это поле потенциальным? Если да, то определить потенциал $\varphi(x,y)$, а также плотность заряда $\rho(x,y)$, формирующего это поле.

13. Внутри равномерно заряженной сферы радиуса R и постоянного заряда Q находится проводящая сфера радиуса $r < R$ и заряда q (центры сфер совпадают). Заряд q может меняться. Найти энергию W системы в зависимости от заряда q .

При каком q эта энергия минимальна? Какой заряд установится на внутренней сфере, если её заземлить?

14. Предположим, что энергия покоя электрона $E_0 = mc^2$ есть не что иное, как энергия электрического поля покоящегося электрона. Считая электрон сферическим, найти радиус электрона при двух предположениях: (1) весь заряд электрона распределён равномерно по его поверхности; (2) весь заряд электрона равномерно распределён по его объёму. Полученные ответы выражаются через одну и ту же комбинацию мировых констант: элементарного заряда e , массы электрона m и скорости света c . Саму эту комбинацию r_0 называют классическим радиусом электрона. Вычислить r_0 , если $e = 4.8 \cdot 10^{-10}$ СГСЭ $_q$, $m = 0.91 \cdot 10^{-27}$ г и $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с. В случае, когда заряд распределён по поверхности, вычислить также давление (в атм) изнутри на поверхность электрона.

15. В безграничном плоском слое толщиной $2l$ объёмная плотность заряда изменяется по закону $\rho = \rho_0 x/l$ ($-l < x < l$), где x -- ось, перпендикулярная слою (нуль находится в середине слоя). В слое имеется тонкий канал вдоль оси x , в который помещён точечный диполь с массой m и дипольным моментом \mathbf{p} , направленным вдоль канала. Вычислить частоту малых колебаний диполя вдоль оси x (направление момента \mathbf{p} в процессе колебаний не меняется).

16. Диэлектрический образец с замороженной поляризацией \mathbf{P} имеет форму полого цилиндра с разрезом. Толщина стенки цилиндра $h \ll R$, где R -- радиус цилиндра; ширина разреза $l \ll h$. Найти электрическое поле \mathbf{E} и индукцию \mathbf{D} в точке A и в центре разреза.

17. Диэлектрическая пластина толщины h с замороженной однородной поляризацией \mathbf{P} помещена внутрь плоского конденсатора параллельно его обкладкам (площади боковых граней пластины равны площадям обкладок) и не примыкает к ним. Расстояние между обкладками равно $d \gg h$. Вектор \mathbf{P} перпендикулярен боковым граням пластины и обкладкам конденсатора. Обкладки соединены проводом. Найти напряжённость $E_x(x)$ и индукцию $D_x(x)$ электрического поля внутри и вне пластины (ось x перпендикулярна пластине и направлена вдоль вектора \mathbf{P}). Нарисовать графики этих функций.

18. Напряжённость электрического поля в вакууме вблизи плоской поверхности однородного диэлектрика с проницаемостью ϵ равна $\{\mathbf{E}\}_0$ и составляет угол θ с нормалью \mathbf{n} к поверхности диэлектрика. Считая поля внутри и вне диэлектрика однородными, найти: (1) потоки Φ_E и Φ_D векторов \mathbf{E} и \mathbf{D} соответственно через поверхность сферы радиуса R , центр которой лежит на поверхности диэлектрика; (2) циркуляции \mathcal{C}_E и \mathcal{C}_D векторов \mathbf{E} и \mathbf{D} соответственно по прямоугольному контуру со сторонами l_1 и l_2 .

Задание № 2

1. Плоский конденсатор с квадратными обкладками (расстояние между обкладками d , площадь каждой обкладки S) заряжен до разности потенциалов V_0 . В конденсатор вдвигают до половины пластину диэлектрика с проницаемостью ϵ . Толщина пластины равна d . Найдите силу, с которой пластина втягивается в конденсатор, если (1) после зарядки (и до вставки пластины) конденсатор был отключён от батареи; (2) после зарядки конденсатор остался подключённым к батарее с э.д.с. V_0 .

2. Две половинки сферического конденсатора заполнены диэлектриками с проницаемостями ε_1 и ε_2 (схема представлена на рисунке). Найти силу, действующую на внутреннюю сферу. Заряд конденсатора Q , радиус внутренней сферы R .
3. Пусть C -- это ёмкость системы из двух проводников произвольной формы, разнесённых на некоторое расстояние друг от друга в вакууме. Заполним всё пространство между проводниками однородной проводящей средой с удельным сопротивлением λ . Показать, что сопротивление R среды току, текущему между проводниками, равно $\rho/(4\pi C)$ (в системе СГСЭ). Какой будет ответ, если использовать единицы СИ?
4. По проводнику, имеющему форму эллипса, течёт постоянный ток $I=10$ А. Большая и малая полуоси эллипса равны соответственно $a=50$ см, $b=30$ см. Найти модуль и направление индукции магнитного поля \mathbf{B} в фокусе эллипса. Уравнение эллипса в полярной системе координат имеет вид: $r(\varphi)=p/(1+e\cos(\varphi))$, где $p=b^2/a$ -- параметр, а $e=\sqrt{1-b^2/a^2}<1$ -- эксцентриситет; начало координат совпадает с одним из фокусов эллипса.
5. По оси полого длинного цилиндра (R_1 и R_2 -- радиусы внутренней и внешней поверхностей цилиндра) натянута заряженная нить, на 1 см длины которой приходится заряд $\varphi=1$ СГСЭ $_q$. Цилиндр вращается вокруг своей оси с угловой скоростью $\Omega=1000$ с $^{-1}$ (схема представлена на рисунке). Найти индукцию магнитного поля $\mathbf{B}(r)$ вдали от его торцов в полости цилиндра, $r<R_1$, в материале цилиндра, $R_1<r<R_2$, и вне цилиндра, $r>R_2$ (на расстояниях r от оси, небольших по сравнению с длиной цилиндра), в двух случаях: (1) цилиндр металлический, немагнитный; (2) цилиндр диэлектрический ($\varepsilon=3$). Всеми эффектами, связанными с центробежными силами, можно пренебречь.
6. Равномерно заряженная с линейной плотностью λ квадратная рамка со стороной l вращается с угловой скоростью ω вокруг одной из сторон. Найти магнитный момент рамки \mathbf{m} .
7. Постоянный магнит и соленоид выполнены в виде одинаковых цилиндров (с одинаковыми высотами и поперечными сечениями). Намагниченность \mathbf{M} вещества постоянного магнита постоянна и направлена вдоль оси цилиндра. Какой ток нужно пустить по соленоиду с плотностью намотки n для того, чтобы индукция \mathbf{B} в постоянном магните и соленоиде была одинаковой? Нарисовать (качественно) силовые линии полей \mathbf{B} и \mathbf{H} для постоянного магнита и соленоида.
8. Индукция магнитного поля в вакууме вблизи плоской поверхности магнетика с проницаемостью μ равна \mathbf{B}_0 , причём вектор \mathbf{B}_0 составляет угол θ с нормалью \mathbf{n} к поверхности (см. рисунок). Найти: (1) потоки Φ_B и Φ_H векторов \mathbf{B} и \mathbf{H} через поверхность сферы S радиусом R , центр которой лежит на поверхности магнетика; (2) циркуляции \mathcal{C}_B и \mathcal{C}_H векторов \mathbf{B} и \mathbf{H} по квадратному контуру Γ со стороной h .
9. Сердечник, выполненный из мягкого железа с магнитной проницаемостью $\mu \gg 1$ в виде тонкого кольца радиуса R , разрезан по диаметру (см. рисунок). Половинки сердечника раздвинуты на расстояние $L \ll R$. Один из зазоров (А) замкнут небольшим постоянным магнитом в виде бруска длины L с намагниченностью \mathbf{m} .

M , направленной вдоль оси цилиндра (поперечное сечение магнита совпадает с поперечным сечением сердечника). Найти напряжённость \mathbf{H} и индукцию \mathbf{B} магнитного поля в другом зазоре (Б). Рассеянием магнитного потока пренебречь.

10. В длинном воздушном соленоиде с радиусом катушки R и плотностью витков n течёт ток, нарастающий с постоянной скоростью dI/dt . Какой будет форма силовых линий вихревого электрического поля \mathbf{E} ? Найти напряжённость $E(r)$ на расстоянии r (как меньшем, так и большем R , но малом по сравнению с длиной соленоида) от оси соленоида. Построить (качественно) график $E(r)$.

11. Позитрон начинает двигаться со скоростью v_0 в области, где созданы однородные, постоянные и взаимно перпендикулярные поля \mathbf{E} и \mathbf{B} ($E \parallel B$). Скорость v_0 перпендикулярна обоим полям. Найти траекторию движения позитрона $\mathbf{r}(t)$, считая, что в начальный момент времени $t=0$ он находится в начале координат. Принять для определённости, что вектор начальной скорости \mathbf{v}_0 направлен вдоль оси x , вектор \mathbf{E} -- вдоль оси y , а вектор \mathbf{B} -- вдоль оси z . Нарисовать траекторию для случая, когда $v_0=0$.

12. В простейшей схеме магнитного гидродинамического генератора плоский конденсатор с площадью пластин S и расстоянием между ними d помещён в поток проводящей жидкости с проводимостью λ , движущейся с постоянной скоростью \mathbf{V} параллельно пластинам. Система находится в магнитном поле \mathbf{B} , направленном перпендикулярно скорости \mathbf{V} и параллельно пластинам конденсатора. Найти мощность W , которая будет выделяться на сопротивлении R , подсоединённом к пластинам конденсатора.

3 Семестр.

Задание № 1.

1. Найти индуктивность единицы длины $L' = \Delta L / \Delta x$ двухпроводной линии (телефонного кабеля). Радиусы проводов a , расстояние между осями проводов b . Влиянием изоляции, а также магнитным полем внутри проводов пренебречь.

2. Внутри тонкого соленоида длиной $l=50$ см с числом витков $N=10000$ и поперёк его оси размещена небольшая плоская катушка с числом витков $n=40$ и площадью витков $S=10$ см². По виткам катушки течёт ток $I=1$ А. Найти поток магнитного поля катушки, пронизывающий обмотку соленоида.

3. Прямоугольная рамка ABCD из тонкого провода расположена в одной плоскости с бесконечным проводом. Ближняя к проводу сторона AB, имеющая длину a , параллельна проводу и находится от него на расстоянии $l > b$, где b -- длина сторон BC и AD. По проводу течёт ток I . Какой заряд Q протечёт по рамке, если рамку повернуть на пол-оборота вокруг стороны AB (так что ближней к проводу станет сторона CD)? Сопротивление рамки равно R .

4. В пространстве хаотично распределены сверхпроводящие шарики радиуса r . Концентрация n шариков такова, что $nr^3 \ll 1$. Найти магнитную проницаемость μ этой среды.

5. Сверхпроводящее плоское кольцо, по которому течёт ток $I=1$ А, переносится из удалённой области в область однородного магнитного поля $B_0=100$ Гс. Площадь

кольца $S=10 \text{ см}^2$. Нормаль к плоскости кольца составляет угол $\theta_0=60^\circ$ с направлением магнитного поля. Чему равен коэффициент самоиндукции кольца, если в результате переноса ток в кольце обратился в нуль?

6. В опытах А.Д. Сахарова по получению сверхсильных магнитных полей осуществляется взрывное сжатие цилиндрического соленоида, внутри которого создано магнитное поле с индукцией B_0 . Найти индукцию поля B в соленоиде в момент максимального сжатия, если $B=5 \cdot 10^4$ Гс, начальный внутренний радиус соленоида $R_0=5$ см, радиус в момент максимального сжатия $R=0.5$ см. Считать, что оболочка, окружающая магнитное поле, является идеально проводящей. Найти также давление P , необходимое для получения такого сжатия.

7. К источнику постоянного тока с э.д.с. \mathcal{E} последовательно подсоединены дроссель (катушка) и сопротивление. Полное сопротивление цепи равно R . Индуктивность дросселя с железным сердечником равна L_1 , а без сердечника -- L_2 . В начале сердечник был вставлен, а по цепи протекал постоянный ток. В момент $t=0$ сердечник был удалён за время, пренебрежимо малое по сравнению с временем установления тока в цепи. Найти зависимость силы тока от времени $I(t)$ при $t>0$.

8. В колебательный контур с индуктивностью L и конденсатором ёмкости C дополнительно введены параллельно индуктивности -- сопротивление R и диод, соединённые последовательно (схема представлена на рисунке). Сопротивление диода в одном направлении много меньше R , а в обратном направлении -- бесконечно велико. Вначале конденсатор имеет заряд q_0 , а контур разомкнут ключом. В некоторый момент ключ замыкают и конденсатор начинает разряжаться через индуктивность (диод на этом этапе блокирует протекание тока параллельно индуктивности). Когда ток через катушку достигает максимального значения, ключ вновь размыкают. Какой после этого пройдёт заряд через сопротивление R ?

9. Генератор с очень малым внутренним сопротивлением посылает в контур прямоугольный импульс напряжения (схема представлена на рисунке). Пренебрегая затуханием, найти: (1) длительность импульса T_1 , при которой в контуре после прекращения импульса колебания отсутствуют; (2) длительность импульса T_2 , при которой амплитуда колебаний напряжения на ёмкости после прекращения импульса максимальна. В случае (2) найти эту максимальную амплитуду V колебаний напряжения. Для обоих случаев нарисовать графики зависимостей тока и напряжения на ёмкости от времени, начиная с момента действия генератора.

10. На замкнутом железном сердечнике имеется обмотка из большого числа n хорошо проводящих витков, присоединённая к источнику синусоидальной э.д.с. \mathcal{E} . Вне этой обмотки имеется кольцо, так же (как и витки обмотки) пронизываемое сердечником. Сопротивление провода, из которого изготовлено кольцо, равно R . Точки А, В и С делят это кольцо на три равные части (схема представлена на рисунке). Что покажет чувствительный амперметр переменного тока с сопротивлением r , если его присоединить к точкам А и С кольца? Рассмотреть два случая: (1) сердечник не пронизывает контур, образованный дугой АС и проводами, ведущими к амперметру; (2) сердечник пронизывает контур, образованный дугой АС и проводами, ведущими к амперметру. Индуктивностью кольца и соединительных проводов пренебречь. Рассеянием магнитного потока в сердечнике тоже пренебречь.

11. Найти зависимость тока от времени $\mathcal{J}(t)$ (в установившемся режиме) в цепи, изображённой на рисунке. При какой частоте ω амплитуда установившихся колебаний будет максимальна, и при какой частоте ω амплитуда установившихся колебаний будет минимальна? Чему равны максимум и минимум амплитуды тока?

12. Последовательно к сопротивлению R подключён блок, состоящий из двух параллельно соединённых веток. В 1-й ветке друг за другом следуют сопротивление R_1 и ёмкость C_1 . Во 2-й ветке имеются параллельно включённые индуктивность L и ёмкость C (схема представлена на рисунке). Цепь подключена к источнику переменной э.д.с., меняющейся по закону $\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_0 \cos^2 \omega t$. Найти токи \mathcal{J}_1 и \mathcal{J} , протекающие через 1-ю и 2-ю ветки соответственно, если известно, что параметры цепи удовлетворяют условию $\omega^2 = 1/(4LC)$.

13. Колебательный контур с индуктивностью $L=1$ Гн подключён к генератору переменного напряжения. В случае резонанса в контуре под действием внешнего переменного напряжения с амплитудой $V_0=200$ В устанавливается переменный ток с амплитудой $I_0=20$ А. Найти по этим данным сопротивление контура R и время затухания τ (за которое амплитуда колебаний уменьшается в e раз) в режиме свободных затухающих колебаний.

14. Высокодобротный колебательный контур (см. рисунок) включает две последовательно соединённые катушки с индуктивностями L_1 и L_2 . После того, как катушку L_2 замыкают накоротко, частота собственных колебаний контура не изменяется. Определить коэффициент взаимной индукции M .

15. Колебательный контур состоит из последовательно соединённых индуктивности L , сопротивления R и ёмкости C . График периодической зависимости индуктивности L от времени t представлен на рисунке. При каком значении ёмкости колебательного контура возможен параметрический резонанс? Найти критическое значение R_0 сопротивления контура, выше которого параметрические колебания не возбуждаются. Выполнить численные расчёты для значений $L_0 = 4 \cdot 10^{-4}$ Г, $\Delta L = 4 \cdot 10^{-5}$ Г, $\tau_0 = 10^{-6}$ с.

16. RLC-контур подключён к источнику переменной э.д.с., частота которой ω отличается от собственной частоты контура ω_0 , причём расстройка $\Delta\omega = \omega_0 - \omega$ больше ширины резонансной кривой ($\Delta\omega > \gamma$). Зажимы генератора накоротко соединены проводом с ключом (схема представлена на рисунке). Можно ли "раскачать" колебания в контуре периодическим замыканием и размыканием этого ключа? При какой частоте замыканий ключа амплитуда колебаний в контуре будет максимальной? (Ответы пояснить!)

17. На входе колебательного контура (см. рисунок) подаётся периодическая последовательность прямоугольных импульсов (рисунок а к задаче 6-1 6-го семинара), длительность которых в 4 раза меньше величины периода. Частота повторения импульсов совпадает с резонансной частотой контура. Вычислить отношение амплитуды второй гармоники к амплитуде первой на выходе контура, если его добротность $Q=100$.

18. Каков спектральный состав выходного напряжения $V_{\text{вых}}$ (т.е. амплитуды и фазы спектральных компонент) в схеме, изображённой на рисунке, если обе индуктивности одновременно изменяются по закону $L = L_0(1 + m \cos \Omega t)$?

Задание № 2

1. Плоский конденсатор с пластинами площади S , находящимися на расстоянии d друг от друга, заполнен слабопроводящим диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ и удельным сопротивлением ρ . Через конденсатор течёт переменный ток $I = I_0 \cos \omega t$. Найти V_0 -- амплитуду напряжения на конденсаторе.

2. По прямому проводу радиуса r , обладающему удельным сопротивлением ρ , идёт постоянный ток. Найти нормальную составляющую вектора Пойнтинга S_r (обусловленную тангенциальной составляющей электрического поля) на поверхности проводника и указать направление. Найти энергию, которая проходит в единицу времени через поверхность проводника на единицу его длины. Результат сравнить с выражением для мощности, выделяемой на резисторе.

3. В коаксиальном кабеле центральный провод имеет радиус a , а тонкая внешняя оболочка -- радиус b . Между проводом и оболочкой -- изолирующая среда с диэлектрической проницаемостью ϵ и магнитной проницаемостью μ . Вычислить ёмкость единицы длины кабеля $C' = \Delta C / \Delta x$ в двух приближениях: (1) ток равномерно распределён по сечению центрального провода (частота тока мала, поэтому скин-эффект несущественен); (2) ток распределён по поверхности центрального провода (частота тока так велика, что толщина скин-слоя мала по сравнению с радиусом a). Взять результаты вычислений индуктивности единицы длины кабеля $L' = \Delta L / \Delta x$, выполненных в задаче 1-1 первого семинара. Для каждого из рассмотренных приближений найти скорость распространения волн по коаксиальному кабелю и его волновое сопротивление.

4. По длинному плазменному цилиндру радиуса $R = 10$ см течёт ток $I = 10^5$ А, сосредоточенный в поверхностном слое. Давление в плазме $P = 10^5$ Па. Найти давление P_0 на боковую поверхность плазменного цилиндра, возникающее под действием тока. Сжимается плазма или расширяется? Найти величину тока, необходимую для того, чтобы радиальные силы уравновесились.

5. Вычислить групповую скорость u волн, распространяющихся в средах с различными законами дисперсии: (а) $v = a$ -- недиспергирующая среда; (б) $v = a / \lambda$ -- поперечные волны, бегущие по длинному стержню; (в) $v = c \omega / \sqrt{\epsilon \omega^2 - a^2 c^2}$ -- электромагнитные волны в прямолинейном волноводе, заполненном диспергирующей средой с диэлектрической проницаемостью $\epsilon(\omega)$ и магнитной проницаемостью $\mu(\omega)$. Здесь v -- фазовая скорость; λ -- длина волны; ω -- частота волны; c -- скорость света; a -- постоянная величина.

6. Показатель преломления n рентгеновского излучения с частотой ω в среде определяется формулой $n^2 = 1 - \omega_0^2 / \omega^2$, где ω_0 -- постоянная. Найти предельный угол падения α рентгеновского излучения из воздуха на среду, за которым имеет место явление полного внутреннего отражения. Выразить групповую скорость u рентгеновского излучения в среде через скорость c распространения излучения в вакууме и угол α .

7. В волноводе квадратного сечения со стороной $a=5$ см с металлическими стенками возбуждаются колебания электрического поля $E_x = E_0 \cos 2\pi \nu_0 t$ с частотой $\nu_0 = 2995$ МГц (поле E перпендикулярно оси волновода z и параллельно одной из стенок) (см. рисунок к задаче 10-1 семинара 10). При какой минимальной частоте амплитудной модуляции ν_{\min} в волноводе возникнет бегущая волна? Чему равна фазовая скорость волны при частоте модуляции $\nu = 5$ МГц? При вычислениях значение скорости света брать с точностью до 4-го знака.

8. Мощный СВЧ-генератор через волновод питает нагрузку, посылая в волновод мощность $N_0 = 100$ кВт. Часть этой мощности поглощается в нагрузке ($N_{\text{н}} = 75$ кВт), а часть отражается. В результате в волноводе возникает суперпозиция прямой и отражённой волн, распространяющихся во встречных направлениях. Найти коэффициент стоячей волны k в волноводе, т.е. отношение максимальной напряжённости поля (в пучности) к минимальной (в узле).

9. Генератор электромагнитного излучения с длиной волны $\lambda = 8$ мм и мощностью $N = 1$ Вт настроен на основную моду прямоугольного резонатора с металлическими стенками, объём которого $V = 0.2$ см³ и добротность $Q = 10^3$. Система соединения генератора и резонатора обеспечивает полное поглощение энергии генератора внутри резонатора. Определить максимальную напряжённость E_0 электрического поля в резонаторе.

10. В прямоугольном объёмном резонаторе СВЧ-диапазона со сторонами $a < b < l$ возбуждают низшую моду колебаний. После накопления в резонаторе плазмы, образующейся в результате ионизации оставшегося после откачки воздуха, частота этой моды колебаний удваивается. По этим данным определить концентрацию электронов плазмы.

11. Найти наименьшую толщину d пластинки кварца, вырезанной параллельно оптической оси, чтобы падающий плоско поляризованный свет выходил поляризованным по кругу ($n_e = 1.5533$, $n_o = 1.5442$, $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$ см).

12. Смесь света, поляризованного по кругу, и естественного рассматривается через кристаллическую пластинку в четверть волны и николю (пластины расположены друг за другом). При вращении николя вокруг оси светового пучка интенсивность прошедшего через систему света меняется. Найдено, что максимальная интенсивность в $m=3$ раза превосходит минимальную. Найти отношение интенсивности света $I_{\text{к}}$, поляризованного по кругу, к интенсивности естественного света $I_{\text{е}}$.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1

- 1) Стационарное поле кулоновских сил. Напряженность и потенциал электрического поля. Единицы СИ и ГС измерения электрических величин.
- 2) Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость вещества. Напряженность магнитного поля. Плотность тока намагниченности в однородном магнетике. Плотность токов на поверхности магнетиков. Ферромагнетики. Остаточная намагниченность и коэрцитивная сила.

Билет 2

- 1) Закон Гаусса в электростатике в интегральной и дифференциальной формах.
- 2) Характер изменения напряженности и индукции магнитного поля на границе раздела двух магнетиков. Токи намагничивания в проводнике с током. Магнитное поле в однородном магнетике, заполняющем все пространство между проводниками со свободными электрическими токами.

Билет 3

- 1) Поток и дивергенция векторного поля. Теорема Гаусса-Остроградского. Вычисление дивергенции в декартовой системе координат.
- 2) Индукционный ток в контуре, движущемся в постоянном неоднородном магнитном поле. ЭДС индукции.

4. Критерии оценивания

Оценка	Баллы	Критерии
отлично	10	Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.
	9	Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.
	8	Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.
хорошо	7	Выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.
	6	Выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.
	5	Выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять

		полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.
удовлетворительно	4	Выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.
	3	Выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.
неудовлетворительно	2	Выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.
	1	Выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности.

Проведение дифференцированного зачета осуществляется путем опроса, оценка включает в себя кроме результатов опроса, текущую успеваемость, результаты сдачи контрольных и иных работ предусмотренных настоящей программой. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется не менее 40 минут на подготовку. Опрос по билету и ответы на дополнительные вопросы не должен превышать двух астрономических часов. По завершении отведенного на опрос времени, экзаменатор должен выставить обучающемуся оценку в соответствии с вышеприведенными критериями.