

Кемеровский государственный университет
Институт фундаментальных наук

«УТВЕРЖДАЮ» Директор института



Гудов А.М.

2017 г.

Рабочая программа дисциплины

Электродинамика

Направление подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки

«Физическое материаловедение»

Уровень бакалавриата

Форма обучения

очная

Кемерово 2016

Рабочая программа дисциплины утверждена Ученым советом Физического факультета
(протокол Ученого совета факультета № 7 от 20 февраля 2012 г.)

Утверждена с обновлениями Ученым советом Физического факультета
(протокол Ученого совета факультета № 7 от 25 февраля 2013 г.)

Утверждена с обновлениями Ученым советом Физического факультета
(протокол Ученого совета факультета № 9 от 17 февраля 2014 г.)

Утверждена с обновлениями Ученым советом Физического факультета
(протокол Ученого совета факультета № 11 от 20 февраля 2015 г.)

Утверждена с обновлениями Ученым советом Физического факультета
(протокол Ученого совета факультета № 7 от 15 февраля 2016 г.)

Рабочая программа дисциплины одобрена на заседании кафедры теоретической физики
Зав. кафедрой Поплавной А.С.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по направлению <i>Физика</i>	5
2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата	6
3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся	6
3.1. Объём дисциплины по видам учебных занятий (в часах)	7
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий	7
4.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)	7
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)	8
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	15
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине	15
6.1 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций	15
6.1.1. Балльно-рейтинговая система учета успеваемости	15
6.1.2 Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине	16
6.2 Типовые контрольные задания или иные материалы	17
6.2.1. Понятийный аппарат и основные формулы	17
6.2.2 Теоретический материал	18
6.2.3. Типовые задачи	19
6.2.4. Задачи повышенной сложности.	20
6.2.5. Перечень вариантов контрольных работ	23
6.2.6. Варианты семестровых контрольных работ	30
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	45
а) основная учебная литература:	45
б) дополнительная учебная литература:	45
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины	46
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	46
9.1 Методические рекомендации по освоению лекционного материала	46
9.2 Методические рекомендации по к практическим занятиям	47
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	48

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине	48
12. Иные сведения и (или) материалы.....	48
12.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	48
12.2. Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья	49

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по направлению *Физика*

В результате освоения ООП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине "Электродинамика":

<i>Код компетенции</i>	Результаты освоения ООП <i>Содержание компетенций</i>	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-3	способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	<p>Знать: 1. известные опытные факты, результаты и выводы специальной теории относительности, классической и теоретической механики и формулировку основополагающих принципов, лежащих в основе электродинамических явлений; 2. релятивистские свойства уравнений; 3. вывод основных уравнений электромагнитного поля (уравнения движения заряда и уравнения Максвелла) на основе релятивистского принципа наименьшего действия и принципа суперпозиции; 4. решение уравнений Максвелла для последовательно усложняющихся случаев постоянного поля, поля в отсутствии зарядов и токов, поля движущихся зарядов в вакууме; 5. решение уравнений Максвелла для постоянного электрического поля в проводящих и непроводящих средах, 6. решение уравнений Максвелла для постоянного магнитного поля в средах; 7. основные решения уравнений магнитной гидродинамики; 8. вывод волнового уравнения и его решение для изотропных и анизотропных сред; 9. законы отражения и преломления электромагнитных волн на границе раздела сред; 10. законы распространения волн в неоднородных средах и скин-эффект; 11. особенности распространения электромагнитных волн в ограниченном пространстве и характеристики волноводов.</p> <p>Уметь: 1. решать задачи о нахождении величин полей в вакууме и</p>

		<p>средах; 2. решать задачи о распространении и излучении электромагнитных волн; 3. применять макроскопический подход к описанию электромагнитного поля в средах; 4. усреднять уравнения Максвелла в разрешенной области их применения; 5. исследовать релятивистские свойства уравнений и законов трансформации величин поля с помощью методов векторной и тензорной алгебры;</p> <p>Владеть: 1. математическими методами анализа электромагнитных явлений и решения соответствующих задач;</p>
--	--	---

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Данная дисциплина реализуется в рамках базовой части Блока 1 «Дисциплины (модули) программы бакалавриата».

В курсе содержится теория электромагнитных явлений в вакууме и средах, а также специальная теория относительности. Изложение специальной теории относительности предшествует микроскопической электродинамике, которая строится как последовательно релятивистская теория. В электродинамике сплошных сред используется в основном макроскопический подход к описанию явлений.

Курс «Электродинамики» является завершающим этапом изучения электромагнитных явлений по блокам естественнонаучной и общепрофессиональной подготовки, с другой стороны является основой для квантовой механики и, далее, квантовой электродинамики, элементы которой преподаются в блоке специальных дисциплин.

Особенностью дисциплины является то, что весьма сложные физические явления рассматриваются и анализируются только на основе теоретических представлений. Это требует от студентов хороших знаний по курсам общей физики, включая такие как «Механика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», высокой математической подготовки, которая должна обеспечиваться прохождением курсов «Математический анализ», «Аналитическая геометрия», «Теория функций комплексного переменного», «Дифференциальные уравнения», «Уравнения математической физики». Особую важность для успешного освоения курса имеет обобщающая математическая дисциплина «Векторный и тензорный анализ», что обусловлено особой структурой основных объектов электродинамики, которые имеют полевую природу.

Дисциплина изучается на 3 курсе - 5 семестр.

3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучаю-

щихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 4 зачетные единицы (ЗЕ), 144 академических часа.

3.1. Объем дисциплины по видам учебных занятий (в часах)

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость дисциплины	144
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) (всего)	
Аудиторная работа (всего):	72
в т. числе:	
Лекции	36
Практические занятия	36
Лабораторные работы	
в т.ч. в активной и интерактивной формах	18
Внеаудиторная работа (всего):	36
В том числе - индивидуальная работа обучающихся с преподавателем:	
Самостоятельная работа обучающихся (всего)	
Вид промежуточной аттестации обучающегося (экзамен)	36

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

4.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

№ п/п	Раздел дисциплины	Общая трудоемкость (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости
			аудиторные учебные занятия		Самостоятельная работа обучающихся	
			всего	лекции		
1.	Основополагающие принципы электродинамики	16	6	6	4	Контрольная работа №1
2.	Уравнения электромагнитного поля	6	2	2	2	Компьютерное тестирование зачетной единицы №1

№ п/п	Раздел дисциплины	Общая трудоёмкость (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости
			аудиторные учебные занятия		Самостоятельная работа обучающихся	
			лекции	практические занятия		
3.	Постоянное электромагнитное поле	16	6	6	4	Контрольная работа №2
4.	Переменное электромагнитное поле.	12	4	4	4	Компьютерное тестирование зачетной единицы №2
5.	Рубежный контроль	2			2	Семестровая контрольная работа, компьютерное тестирование по дисциплине (зачет) ,зач. единица № 3.
6.	Электромагнитные поля в веществе.	8	4	2	2	Контрольная работа №3
7.	Постоянное электромагнитное поле в проводниках и диэлектриках.	16	6	6	4	Компьютерное тестирование зачетной единицы №4
8.	Квазистационарные электромагнитные поля.	12	2	6	4	Контрольная работа №4
9.	Электромагнитные поля высокой частоты.	14	6	4	4	Компьютерное тестирование зачетной единицы №4
10.	Итоговый контроль	6			6	Семестровая контрольная работа, компьютерное тестирование по дисциплине (в период экзаменационной сессии), экзамен по итогам рейтинговой системы.

4.2 Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание
1	Основополагающие принципы электродинамики	
<i>Содержание лекционного курса</i>		
1.1.	Принцип относительности.	Скорость распространения взаимодействий. Принцип относительности Эйнштейна. Интервал. Преобразование Лоренца для координат и времени. Собственное время, собственная длина. Закон сложения скоростей. Инвариантность физических законов относительно преобразований Лоренца. (ОПК-3: знать 1,2 уметь 1, владеть – 1)
1.2	Четырехмерный формализм	Четырехмерные векторы, тензоры. Дифференциальные и интегральные операции четырехмерного тензорного ана-

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание
		лиза. Четырехмерная скорость и ускорение. (ОПК-3: знать 1,2 уметь 1, владеть - 1)
1.3	Релятивистская кинематика.	Принцип наименьшего действия. Связь энергии, импульса, массы и скорости релятивистской частицы. Функции Лагранжа и Гамильтона. Законы. Законы преобразования энергии и импульса. Момент импульса.(ОПК-3: знать 1,2 уметь 1, владеть - 1)
1.4	Заряд в электромагнитном поле.	Четырехмерный потенциал поля. Функции Лагранжа и Гамильтона для заряда в электромагнитном поле. Уравнение движения релятивисткой заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле. Уравнения для потенциалов. Калибровочная инвариантность.(ОПК-3: знать 3 уметь 1, владеть - 1)
1.5	Движение зарядов в электромагнитном поле.	Движение в постоянном однородном электрическом поле. Движение в постоянном однородном магнитном поле. Движение заряда в постоянных однородных электрическом и магнитном полях. (ОПК-3: знать 3 уметь 1, владеть - 1)
1.6	Тензор электромагнитного поля.	Действие для системы зарядов в электромагнитном поле. Тензор электромагнитного поля и его свойства. Законы преобразования напряженностей и потенциалов поля. Инварианты поля. Законы преобразования частоты и волнового вектора. Эффект Доплера.(ОПК-3: знать 3 уметь 1, владеть - 1)
<i>Темы практических занятий</i>		
1.1	1:Векторная и тензорная алгебра. 2: Специальная теория относительности.	1:Основные формулы векторного анализа.Преобразование векторов и тензоров. Четырехмерные векторы и тензоры. 2:Преобразования Лоренца для координат и времени. Преобразование скоростей. Эффект Доплера. (ОПК-3: знать 1,2,3 уметь 1, владеть - 1)
1.2	1:Релятивистская кинематика. 2: Релятивистская электродинамика.	1:Энергия, импульс и скорость релятивисткой частицы. Связь энергии, импульса, массы и скорости релятивистской частицы. Закон сложения скоростей. 2:Преобразования потенциалов. Преобразования векторов напряженностей поля. Инварианты поля. (ОПК-3: знать 1,2,3 уметь 1, владеть - 1)
2	Уравнения электромагнитного поля	
<i>Содержание лекционного курса</i>		
2.1	Принцип стационарного действия.	Действие для электромагнитного поля. Принцип суперпозиции. Гауссова система единиц. Четырехмерный вектор тока. Уравнение непрерывности в трех- и четырехмерной форме. (ОПК-3: знать 3 уметь 1,5, владеть - 1)
2.2	Вывод уравнений Максвелла.	Первая пара уравнений Максвелла. Вторая пара уравнений Максвелла. Физическое обоснование уравнений Максвелла. Ковариантная запись уравнений Максвелла для полей в вакууме. Плотность и поток энергии электромагнитного

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание
		поля. Закон сохранения энергии электромагнитного поля. (ОПК-3: знать 2,3 уметь 1,5, владеть - 1)
2.3	Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.	Тензор энергии-импульса системы. Плотность энергии, импульса и момента импульса. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля. Тензор напряжений. Ковариантная форма записи законов сохранения.(ОПК-3: знать 2,3 уметь 1,5, владеть - 1)
<i>Темы практических занятий</i>		
2.1	1: Движение зарядов в постоянном электромагнитном поле. 2: Специальная теория относительности в электродинамике	1:Компьютерное моделирование траекторий движений зарядов в постоянных электрическом и магнитном полях.(ОПК-3: знать 1,2,3 уметь 1,5, владеть - 1) 2: Контрольная работа.
2.1	1: Основные понятия и методы электростатики.2: Нахождение электростатических полей с помощью теоремы Гаусса.	1: Дельта-функция. 2: Нахождение электростатических полей с помощью теоремы Гаусса.(ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
3	Постоянное электромагнитное поле	
<i>Содержание лекционного курса</i>		
3.1	Постоянное электрическое поле.	Уравнение Пуассона и его общее решение. Закон Кулона. Электростатическая энергия зарядов. Границы применимости классической электродинамики. Поле равномерно движущегося заряда.(ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
3.2	Разложение электростатического потенциала по мультиполям.	Дипольный и квадрупольный моменты системы зарядов. Мультипольные моменты более высоких порядков. Напряженность электростатического поля в дипольном и квадрупольном приближениях. (ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
3.3	Постоянное магнитное поле.	Уравнения для магнитостатического поля. Закон Био и Савара. Магнитный момент токов. Магнитное поле в дипольном приближении. Система зарядов во внешнем постоянном однородном магнитном поле. (ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
3.4	Энергия системы зарядов	Энергия системы покоящихся зарядов во внешнем постоянном, однородном электрическом и магнитном полях.(ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
<i>Темы практических занятий</i>		
3.1	1: Интегрирование уравнений Лапласа и Пуассона.2: Дипольный и квадрупольный моменты системы за-	1: Нахождение электростатических полей с помощью общего решения уравнения Пуассона.2: Вычисление полей в дипольном и квадрупольном приближениях. (ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание
	рядов.	
3.2	1: Постоянное магнитное поле. 2: Нахождение магнитных полей методом векторного потенциала.	1: Закон Био и Савара. Нахождение магнитных полей методом векторного потенциала. (ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
4	Переменное электромагнитное поле.	
<i>Содержание лекционного курса</i>		
4.1	Электромагнитные волны.	Электромагнитные поля при отсутствии зарядов и токов. Волновое уравнение. Лоренцова калибровка. Плоские волны. Перенос энергии плоской волной, закон преобразования плотности энергии. Монохроматическая плоская волна. Поляризация. (ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
4.2	Спектральное разложение электромагнитного поля.	Разложение поля в ряд и интеграл Фурье. Разложение электростатического поля. Собственные колебания поля. (ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
4.3	Запаздывающие потенциалы.	Уравнения поля для произвольно движущихся зарядов. Решение в виде запаздывающих потенциалов. Потенциалы Лиенара-Вихерта. Спектральное разложение. (ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
4.4	Излучение электромагнитных волн.	Поле системы зарядов на далеких расстояниях. Волновая зона излучения. Интенсивность излучения. Дипольное излучение. Квадрупольное и магнитно-дипольное излучение. (ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
4.5	Излучение при кулоновском взаимодействии.	Излучение при кулоновском взаимодействии. (ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
4.6	Функция Лагранжа для электромагнитного поля при заданных зарядах и токах.	Разложение запаздывающих потенциалов в ряд. Функция Лагранжа с точностью до членов второго порядка. Разложение потенциалов до третьих членов включительно. Радиационное трение. (ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
4.7	Рассеяние электромагнитных волн на зарядах.	Рассеяние свободными зарядами. Сечение рассеяния. Формула Томпсона. Рассеяние волн с малыми и большими частотами. (ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
<i>Темы практических занятий</i>		
4.1	1: Магнитный момент системы зарядов. 2: Электромагнитное поле точечного заряда, движущегося произвольным образом.	1: Нахождение магнитных полей в дипольном приближении. 2: Электромагнитное поле точечного заряда, движущегося произвольным образом. (ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
4.2	1: Излучение электромагнитных волн точечными зарядами.	1: Дипольное, квадрупольное и магнитно-дипольное излучение электромагнитных волн точечными зарядами. 2: Спектральное разложение и угловое распределение излучения. 3: Поляризация излучаемых, волн и рассеяние электромагнитных

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание
		волн.(ОПК-3: знать 1-5, уметь 1,5, владеть - 1)
5	Электромагнитные поля в веществе.	
<i>Содержание лекционного курса</i>		
5.1	Вывод уравнений поля в среде.	Усреднение микроскопических уравнений Максвелла. Поляризация среды в электрическом поле. Средняя плотность тока и средняя плотность заряда в среде, их связь с векторами поляризации и намагниченности. Закон Ома в дифференциальной форме. Уравнение непрерывности. (ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
5.2	Система уравнений для электромагнитного поля в среде.	Уравнения для напряженностей и индукций электромагнитного поля в веществе. Уравнения связи. Уравнения для потенциалов поля в веществе. (ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
5.3	Граничные условия для полей и потенциалов.	Система граничных условий для векторов поля и потенциалов. Пределы применимости уравнений связи. Законы сохранения энергии в электродинамике покоящихся сред. (ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
5.4	Электродинамика движущихся сред.	Закон индукции в движущихся проводниках и средах. Материальные уравнения для движущихся сред. Законы преобразования векторов напряженностей, индукций, поляризации и намагниченности.(ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
<i>Темы практических занятий</i>		
5.1	1: Поляризация вещества в постоянном электрическом поле. 2: Вычисление электростатических полей в средах интегрированием уравнения Пуассона и методом теоремы Гаусса.	1: Диэлектрики и их свойства. 2: Вычисление электростатических полей в средах интегрированием уравнения Пуассона и методом теоремы Гаусса.(ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
5.2	1:Вычисление электростатических полей методом изображений.2: Сила и энергия в электростатике.	1: Вычисление электростатических полей методом изображений.2: Сила и энергия.(ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
6	Постоянное электромагнитное поле в проводниках и диэлектриках.	
<i>Содержание лекционного курса</i>		
6.1	Электростатика проводников и диэлектриков.	Электростатическое поле. Закон Кулона в среде. Электростатическое поле в проводниках. Методы решения задач электростатики. Энергия системы проводников. Диэлек-

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание
		трики и проводники во внешнем электростатическом поле. Пондеромоторное воздействие электростатического поля на вещество. (ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
6.2	Статическая диэлектрическая проницаемость.	Диэлектрическая проницаемость среды, состоящей из полярных и неполярных молекул. (ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5)
6.3	Диэлектрические свойства кристаллов.	Внутренняя и свободная энергия диэлектрика. Изменение внутренней энергии. Пьезоэлектрики и сегнетоэлектрики.(ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
6.4	Постоянное магнитное поле.	Система уравнений для постоянных токов. Граничные условия для стационарных токов. Закон Ома. Линейный проводник с постоянным током. Постоянный ток в проводящей среде. Магнитное поле для постоянных токов. (ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
6.5	Магнитные свойства вещества.	Намагничивание магнетиков и магнитный момент. Парамагнитная восприимчивость. Ферромагнетизм и сверхпроводимость. Спонтанное намагничивание и гистерезис. Термодинамическая теория ферромагнетизма. Магнитные свойства сверхпроводников.(ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
6.6	Транспортные явления в средах.	Транспортные явления в среде, помещенной в постоянное электрическое поле. Транспортные эффекты в магнитном поле.(ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
<i>Темы практических занятий</i>		
6.1	1:Электрическое и магнитное поле постоянных токов.2: Уравнения Максвелла и граничные условия в магнитостатике.	1: Законы постоянного тока. Конденсаторы. 2: Закон Био Савара. Теорема о циркуляции напряженности магнитного поля. Уравнения Лапласа и Пуассона с дополнительными условиями. (ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
6.2	1:Энергия магнитного поля.2: Квазистационарные явления в линейных проводниках.	1:Магнитный поток. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции. Вычисление коэффициентов индукции для случая линейных проводников.(ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
7	Квазистационарные электромагнитные поля.	
<i>Содержание лекционного курса</i>		
7.1	Квазистационарное приближение в макроскопической электродинамике.	Условия квазистационарности. Уравнения квазистационарного электромагнитного поля. Интегрирование уравнений для случая линейных проводников. Магнитный поток. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции. Коэффициенты индукции для нелинейных проводников.(ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
7.2	Уравнения Лагранжа для системы квазистационарных токов.	Законы сохранения. RLC-цепочка. Обобщенные пондеромоторные силы в системе с подвижными контурами. Флуктуации в проводниках и формула Найквиста.(ОПК-3: знать 5,6,

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание
		уметь 1,5, владеть - 1)
7.3	Переменные поля и токи в массивных покоящихся проводниках.	Скин-эффект. Основные уравнения электродинамики медленно движущихся проводников в предельных случаях сильного и слабого скин-эффекта.(ОПК-3: знать 5,6, уметь 1,5, владеть - 1)
7.4	Магнитная гидродинамика.	Уравнения движения жидкости в магнитном поле. Диссипативные процессы в магнитной гидродинамике. Магнитогидродинамические волны. (ОПК-3: знать 7, уметь 1,5, владеть - 1)
<i>Темы практических занятий</i>		
7.1	1:Закон электромагнитной индукции.2: Колебательные контуры и цепи.	1:Закон электромагнитной индукции.2: Колебательные контуры и цепи.(ОПК-3: знать 5,6, уметь 3-5, владеть - 1)
7.2	1:Магнитные свойства вещества.2:Скин-эффект.	1: Ферромагнетизм и сверхпроводимость. 2: Скин-эффект.(ОПК-3: знать 5,6,7, уметь 3-5, владеть - 1)
8	Электромагнитные поля высокой частоты.	
<i>Содержание лекционного курса</i>		
8.1	Электромагнитные волны в однородной изотропной среде.	Электромагнитные волны в прозрачном веществе. Электромагнитные волны с учетом поглощения в среде. (ОПК-3: знать 8-11, уметь 3-5, владеть - 1)
8.2	Электромагнитное поле в среде с пространственной и временной дисперсией.	Дисперсия диэлектрической проницаемости. Физический смысл комплексной диэлектрической проницаемости. Формулы Крамерса-Кронига. Дисперсионное уравнение. (ОПК-3: знать 8-11, уметь 3-5, владеть - 1)
8.3	Распространение плоских электромагнитных волн.	Дисперсия света.Геометрическая оптика. Уравнение эйконала. Дифракция. (ОПК-3: знать 8-11, уметь 3-5, владеть - 1)
8.4	Отражение и преломление электромагнитных волн.	Законы отражения и преломления. Формулы Френеля. Особенности распространения электромагнитных волн в ограниченном пространстве. Волноводы. (ОПК-3: знать 8-11, уметь 3-5, владеть - 1)
8.5	Вещество в состоянии плазмы.	Равновесная плазма. Уравнение Пуассона-Больцмана. Плазма в стационарном электромагнитном поле. Магнитная изоляция и пинч-эффект. (ОПК-3: знать 8-11, уметь 3-5, владеть - 1)
8.6	Нелинейные электромагнитные процессы в средах.	Нелинейная поляризация. Нелинейная восприимчивость. (ОПК-3: знать 8-11, уметь 3-5, владеть - 1)
<i>Темы практических занятий</i>		
8.1	1: Плоские волны в однородной изотропной среде.2: Отражение и преломление электро-	1: Плоские волны в однородной изотропной среде.2: Отражение и преломление электромагнитных волн.3: Дифракция. (ОПК-3: знать 8-11, уметь 3-5, владеть - 1)

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание
	магнитных волн.3: Рассеяние электромагнитных волн.	
8.2	1: Распространение электромагнитных волн в ограниченном пространстве.2: Физика плазмы.	1: Волноводы. Резонаторы. 2: Движение отдельных частиц в плазме. Коллективные движения.(ОПК-3: знать 8-11, уметь 3-5, владеть - 1)

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Ю.Н. Журавлев. Электронный конспект лекций по электродинамике <http://phys.kemsu.ru>
2. типовые задачи и задания - п.6.2

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

6.1 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций

6.1.1. Балльно-рейтинговая система учета успеваемости

Общая оценка результатов обучения по дисциплине "Векторный и тензорный анализ" - зачет - выставляется по результатам итоговой контрольной работы, а также контроля ведения студентами лекций и текущей успеваемости.

№	Вид деятельности	Комментарий	Максимальный балл	Количество	Суммарный текущий балл
1	Другой вид деятельности	Дом. задания	1	16	16
2	Другой вид деятельности	Экзамен	27	1	27
3	Лекция		2	16	32
4	Практическое занятие (семинар/лабораторная работа)		2	16	32
					$R_i^{\text{текущий}} = 107$
	Зачет		100	1	$R_i^{\text{итоговый}} = 100$

Для студента достигнутый уровень обученности (итоговая отметка) определяется в соответствии с алгоритмом, приведенным в таблице.

Уровни усвоения материала и сформированности способов деятельности	Конкретные действия студентов, свидетельствующие о достижении данного уровня
Первый меньше 50 баллов «неудовлетворительно»	Результаты обучения студентов свидетельствуют об усвоении ими некоторых элементарных знаний основных вопросов по дисциплине. Допущенные ошибки и неточности показывают, что студенты не овладели необходимой системой знаний по дисциплине.
Второй (репродуктивный) от 51 до 65 баллов «удовлетворительно» - зачет	<p>Достигнутый уровень оценки результатов обучения показывает, что студенты обладают необходимой системой знаний и владеют некоторыми умениями по дисциплине. Студенты способны понимать и интерпретировать освоенную информацию, что является основой успешного формирования умений и навыков для решения практико-ориентированных задач:</p> <ul style="list-style-type: none"> – воспроизводят термины, конкретные факты, методы и процедуры, основные понятия, правила и принципы; – проводят простейшие расчеты; – выполняют задания по образцу (или по инструкции).
Третий (реконструктивный) от 66 до 85 баллов «хорошо» - зачет	<p>Студенты продемонстрировали результаты на уровне осознанного владения учебным материалом и учебными умениями, навыками и способами деятельности по дисциплине. Студенты способны анализировать, проводить сравнение и обоснование выбора методов решения заданий в практико-ориентированных ситуациях, а именно:</p> <ul style="list-style-type: none"> – объясняет факты, правила, принципы; – преобразует словесный материал в математические выражения; – предположительно описывает будущие последствия, вытекающие из имеющихся данных; – применяет законы, теории в конкретных практических ситуациях; – использует понятия и принципы в новых ситуациях.
Четвертый (творческий) от 86 до 100 баллов «отлично» - зачет	<p>Студенты способны использовать сведения из различных источников для успешного исследования и поиска решения в нестандартных практико-ориентированных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – пишет реферат, выступление, доклад; – составляет схемы задачи. – оценивает логику построения решения задачи; – оценивает соответствие выводов имеющимся данным;

6.1.2 Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части)	наименование оценочного средства
1.	Основополагающие принци-	ОПК-3	Контрольная работа 1

	пы электродинамики		6.2.1: 6.2.1.1-6.2.1.4 6.2.2: 6.2.2.1-6.2.2.3 6.2.5: гр. заданий 1
2.	Уравнения электромагнитного поля	ОПК-3	6.2.1: 6.2.1.5-6.2.1.7 6.2.2: 6.2.2.4-6.2.2.6 6.2.5: гр. заданий 1
3.	Постоянное электромагнитное поле	ОПК-3	Контрольная работа 2 6.2.1: 6.2.1.8-6.2.1.10 6.2.2: 6.2.2.7-6.2.2.9 6.2.5: гр. заданий 2
4.	Переменное электромагнитное поле.	ОПК-3	6.2.1: 6.2.1.11-6.2.1.13 6.2.2: 6.2.2.10-6.2.2.12 6.2.5: гр. заданий 2
5.	Электромагнитные поля в веществе.	ОПК-3	Контрольная работа 3 6.2.1: 6.2.1.14-6.2.1.16 6.2.2: 6.2.2.13-6.2.2.15 6.2.5: гр. заданий 3
6.	Постоянное электромагнитное поле в проводниках и диэлектриках.	ОПК-3	6.2.1: 6.2.1.17-6.2.1.20 6.2.2: 6.2.2.16-6.2.2.18 6.2.5: гр. заданий 3
7.	Квазистационарные электромагнитные поля.	ОПК-3	Контрольная работа 4 6.2.1: 6.2.1.21-6.2.1.24 6.2.2: 6.2.2.19-6.2.2.22 6.2.5: гр. заданий 4
8.	Электромагнитные поля высокой частоты.	ОПК-3	6.2.1: 6.2.1.25-6.2.1.30 6.2.2: 6.2.2.23-6.2.2.25 6.2.5: гр. заданий 4

6.2 Типовые контрольные задания или иные материалы

6.2.1. Понятийный аппарат и основные формулы.

- 5.2.1.1. На основании каких положений выводятся уравнения электромагнитного поля в среде?
- 5.2.1.2. Записать уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Каков их смысл?
- 5.2.1.3. Записать связь потенциалов и векторов поля в среде.
- 5.2.1.4. Записать уравнения для потенциалов поля в среде.
- 5.2.1.5. Сформулировать и записать граничные условия для полей и потенциалов.
- 5.2.1.6. Записать уравнения связи и установить пределы их применимости.
- 5.2.1.7. Сформулировать законы сохранения в электродинамике покоящихся сред.
- 5.2.1.8. Какими уравнениями описывается электростатическое поле в проводниках и диэлектриках?
- 5.2.1.9. К чему приводит помещение диэлектриков и проводников во внешнее электростатическое поле?
- 5.2.1.10. Записать систему уравнений поля для постоянных токов и граничные условия для проводящих сред.
- 5.2.1.11. Записать уравнения для магнитного поля постоянных токов.
- 5.2.1.12. Дать классификацию веществ по магнитным свойствам.
- 5.2.1.13. Сформулировать основные положения теории ферромагнетизма.
- 5.2.1.14. Сформулировать основные положения теории сверхпроводимости.

- 5.2.1.15. Записать уравнения квазистационарного поля в интегральной и дифференциальной формах.
- 5.2.1.16. Сформулировать закон индукции в движущихся проводниках и средах.
- 5.2.1.17. Записать все законы Ома в электродинамике.
- 5.2.1.18. Определить коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции для линейных и нелинейных проводников.
- 5.2.1.19. Записать выражения для потока и энергии магнитного поля.
- 5.2.1.20. Определить уравнение Лагранжа для RLC -цепочки и комплексное сопротивление.
- 5.2.1.21. В чем состоит скин-эффект и какова глубина проникновения поля в проводник.
- 5.2.1.22. Записать уравнения для электромагнитной волны в однородной изотропной среде. Отличия и сходство в процессах распространения волн в среде и вакууме.
- 5.2.1.23. Диэлектрическая проницаемость: смысл и глубина понятия.
- 5.2.1.24. Записать формулы Крамерса-Кронига и определить их значение.
- 5.2.1.25. Записать дисперсионное уравнение для электромагнитных волн в среде с пространственной дисперсией.
- 5.2.1.26. Как определяется дисперсия света в разряженном газе и аномальная дисперсия.
- 5.2.1.27. В чем состоит приближение геометрической оптики, и каково значение уравнения эйконала.
- 5.2.1.28. Определить законы и величины, характеризующие отражение и преломление электромагнитных волн.
- 5.2.1.29. В чем состоят особенности распространения электромагнитных волн в волноводах.
- 5.2.1.30. Каким уравнением описывается поле в равновесной плазме и что произойдет, если ее поместить во внешнее электрическое и магнитное поле?

6.2.2 Теоретический материал

- 6.2.2.1. Вывести уравнения электромагнитного поля в среде.
- 6.2.2.2. Вывести законы сохранения энергии электромагнитного поля из уравнений Максвелла.
- 6.2.2.3. Вывести из уравнений Максвелла граничные условия для полей и потенциалов.
- 6.2.2.4. Найти решения уравнений для электростатического поля и вывести закон Кулона в среде. Найти энергию системы проводников.
- 6.2.2.5. Найти изменения во внешнем электростатическом поле при помещении в него диэлектриков и проводников.
- 6.2.2.6. Установить уравнения для постоянных токов. Рассмотреть линейный проводник с постоянным током и постоянный ток в проводящей среде.
- 6.2.2.7. Рассмотреть магнитное поле для постоянных токов и вывести закон Био и Савара.
- 6.2.2.8. Вывести выражение для парамагнитной восприимчивости веществ.
- 6.2.2.9. На основе термодинамической теории ферромагнетизма доказать принципиальную возможность спонтанной намагниченности, гистерезиса и температурной зависимости.
- 6.2.2.10. Показать что переход в сверхпроводящее состояние описывается с помощью теории фазовых переходов.
- 6.2.2.11. Вывести закон индукции в движущихся проводниках.
- 6.2.2.12. Вывести систему уравнений для электромагнитного поля в движущихся средах.
- 6.2.2.13. Найти выражение для энергии магнитного поля квазистационарных токов и получить выражения для коэффициентов самоиндукции, взаимной индукции.

- 6.2.2.14. Найти выражение для коэффициентов индукции в случае нелинейных проводников.
- 6.2.2.15. Исходя из уравнений Лагранжа для системы квазистационарных токов установить законы сохранения и получить выражение для комплексного сопротивления RLC -цепочки.
- 6.2.2.16. Найти выражение для напряженностей полей в случае скин-эффекта определить глубину проникновения поля в проводник.
- 6.2.2.17. Записать основные уравнения магнитной гидродинамики идеально проводящей жидкости и найти их решения по теории возмущений.
- 6.2.2.18. Получить уравнения для электромагнитных волн в среде и найти выражения для показателя преломления и коэффициента поглощения.
- 6.2.2.19. Получить формулы Крамерса-Кронига.
- 6.2.2.20. Вывести дисперсионное уравнение для электромагнитного поля в среде с пространственной и временной дисперсией.
- 6.2.2.21. Установить дисперсионные зависимости для поглощения и преломления в сильно разряженном газе.
- 6.2.2.22. Вывести уравнение эйконала и рассмотреть дифракцию на щели.
- 6.2.2.23. Установить законы отражения и преломления электромагнитных волн. Получить выражение для коэффициентов отражения и прохождения.
- 6.2.2.24. Определить условия распространения электромагнитных волн в волноводе.
- 6.2.2.25. Вывести уравнение Пуассона-Больцмана для равновесной плазмы и найти его решение.

6.2.3. Типовые задачи

(В предложенных задачах все необходимые данные вводятся самостоятельно, и тем самым определяется уровень сложности их решения).

- 6.2.3.1. Найти индуктивность единицы длины линии состоящей из двух коаксиальных цилиндров, пространство между которыми заполнено веществом с известной магнитной проницаемостью.
- 6.2.3.2. Точечный заряд находится на некотором расстоянии от плоской границы раздела двух бесконечно протяженных однородных диэлектриков с различными проницаемостями. Найти электростатическое поле, созданное зарядом.
- 6.2.3.3. Внутри цилиндра находится провод. Между проводом и цилиндром – среда с отличной от провода магнитной проницаемостью. Определить индуктивность единицы длины контура.
- 6.2.3.4. Точечный заряд расположен на некотором расстоянии от проводящей заземленной плоскости. Определить потенциал и напряженность поля такой системы.
- 6.2.3.5. Найти коэффициент самоиндукции тороидального соленоида, если известно, что сечение тора – квадрат.
- 6.2.3.6. Точечный заряд расположен на плоской границе раздела двух однородных бесконечных диэлектриков с различными диэлектрическими проницаемостями. Найти потенциал, напряженность и индукцию электрического поля.
- 6.2.3.7. Найти собственную частоту колебаний в контуре, содержащем параллельно соединенные емкость, индуктивность, сопротивление.
- 6.2.3.8. К цепочке, состоящей из последовательно соединенных сопротивлений и емкости, прикладывается прямоугольный импульс напряжения. Найти напряжение на сопротивлении.
- 6.2.3.9. Найти потенциал и напряженность электростатического поля на оси круглого отверстия, сделанного в равномерно заряженной плоскости.

- 6.2.3.10. Найти потенциал и напряженность электростатического поля, созданного равномерно заряженным цилиндром.
- 6.2.3.11. Найти потенциал и напряженность электрического поля сферы, равномерно заряженной по поверхности.
- 6.2.3.12. По какому закону должна быть распределена плотность заряда внутри цилиндра, чтобы напряженность поля внутри него была постоянна по величине. Каково распределение потенциала.
- 6.2.3.13. Определить силу, с которой притягиваются в однородной диэлектрической среде обкладки плоского конденсатора.
- 6.2.3.14. Вычислить индуктивность единицы длины коаксиального кабеля, состоящего из провода и оболочки того же материала.
- 6.2.3.15. Цилиндрический конденсатор заполнен двумя разными диэлектриками. Найти емкость конденсатора и распределение связанного заряда.
- 6.2.3.16. Линейный ток циркулирует по тонкому кольцу. Найти магнитный момент тока.
- 6.2.3.17. По бесконечной цилиндрической поверхности течет однородный ток. Найти напряженность магнитного поля.
- 6.2.3.18. Определить излучение диполя, вращающегося в одной плоскости с постоянной угловой скоростью.
- 6.2.3.19. Вдоль плоскости течет постоянный ток. Найти векторный потенциал и напряженность магнитного поля.
- 6.2.3.20. Определить напряженность магнитного поля, созданного постоянным током, текущим по бесконечному цилиндрическому проводнику.
- 6.2.3.21. Внутри тонкой проводящей цилиндрической оболочки находится коаксиальный с ней провод. По проводникам текут одинаковые токи, но в противоположных направлениях. Найти магнитное поле во всей области пространства.
- 6.2.3.22. Плоский конденсатор заполнен диэлектриком, проницаемость которого меняется линейно с увеличением расстояния между обкладками. Найти емкость конденсатора и распределение связанных зарядов.
- 6.2.3.23. Найти сопротивление сферического конденсатора, заполненного двумя однородными слоями с различными проводимостями.
- 6.2.3.24. Вычислить силу, с которой взаимодействуют два бесконечных параллельных провода, по которым текут разные токи.
- 6.2.3.25. Найти электростатический потенциал поля точечного заряда, помещенного между двумя проводящими плоскостями.
- 6.2.3.26. Ток равномерно распределен по поверхности диска. Найти векторный потенциал и напряженность магнитного поля на его оси.
- 6.2.3.27. Определить фазовую и групповую скорости волн в прямоугольном волноводе с идеально проводящими стенками.
- 6.2.3.28. Определить напряженность электрического поля внутри шара, объемная плотность которого возрастает от центра к периферии.
- 6.2.3.29. Найти напряженность электрического поля, созданного равномерно заряженным слоем непроводящего вещества конечной толщины.
- 6.2.3.30. Найти энергию электростатического поля равномерно заряженного шара.
- 6.2.3.31. Найти силу, действующую на точечный заряд, расположенный внутри сферической полости в проводнике.
- 6.2.3.32. В бесконечную проводящую среду с известной проводимостью и проницаемостью помещен заряд. Найти время релаксации, т.е. время, в течение которого заряд уменьшится в e раз.

6.2.4. Задачи повышенной сложности.

- 6.2.4.1. Заряд Q равномерно распределен по объему, заключенному между двумя эксцентричными сферами так, что меньшая из них находится целиком внутри большей. Диэлектрическая проницаемость всех трех областей разная. Найти напряженность и электрическую индукцию во всей области пространства.
- 6.2.4.2. Бесконечная прямолинейная нить равномерно заряжена с линейной плотностью χ и окружена однородным диэлектриком с проницаемостью ϵ_1 , имеющим форму бесконечного цилиндра радиуса R , а за ним – однородным безграничным диэлектриком с проницаемостью ϵ_2 . Определить напряженность поля, создаваемого заряженной нитью и распределение связанных зарядов на границе диэлектриков.
- 6.2.4.3. Определить при помощи уравнения Пуассона потенциал, напряженность и индукцию поля, создаваемого однородным бесконечным плоским слоем толщиной $2a$, равномерно заряженным с объемной плотностью $\rho = \text{const}$. Диэлектрическая проницаемость слоя ϵ_1 , окружающей среды – ϵ_2 .
- 6.2.4.4. Плоский конденсатор заполнен диэлектриком, проницаемость которого изменяется по закону $\epsilon(x) = \epsilon_0(x+a)/a$, где a – расстояние между обкладками, ось x направлена перпендикулярно обкладкам, площадь которых S . Найти емкость такого конденсатора и распределение в нем связанных зарядов.
- 6.2.4.5. Вычислить емкость единицы длины двух параллельных проводов круглого сечения, находящихся на расстоянии d друг от друга, если радиус проводов $a \ll d$.
- 6.2.4.6. Найти энергию электростатического поля, приходящуюся на единицу длины, бесконечного, заряженного равномерно по объему цилиндра через плотность энергии и через плотность заряда и потенциал. Заряд цилиндра Q , радиус a .
- 6.2.4.7. Полупространства заполнены диэлектриками с различающимися значениями проницаемостей ϵ_1 и ϵ_2 . Бесконечная прямая нить, заряженная с линейной плотностью χ , расположена перпендикулярно плоскости раздела диэлектриков. Найти силу, действующую на единицу длины нити на высоте h над плоскостью раздела диэлектриков.
- 6.2.4.8. Бесконечно длинный цилиндрический коаксиальный кабель состоит из провода круглого сечения радиуса a , окруженного вторым проводом в виде коаксиального полого цилиндра, внутренний и наружный радиусы которого равны соответственно b и c . Удельная проводимость проводов σ и проницаемость изоляции между ними ϵ . По кабелю проходит постоянный ток I . Определить электрическое поле внутри кабеля.
- 6.2.4.9. Заземление осуществляется с помощью идеально проводящего шара радиуса a , наполовину утопленного в землю (проводимость земли $\sigma_1 = \text{const}$). Слой земли радиуса b , concentрический с шаром и прилегающий к нему, имеет искусственно повышенную проводимость σ_2 . Найти сопротивление такого заземлителя.
- 6.2.4.10. Три проводника с круглым сечением одного и того же радиуса и длиной l_0, l_1, l_2 соединены последовательно, образуя замкнутое кольцо. Проводимость проводников $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2$. По объему проводника с проводимостью σ_0 равномерно распределена сторона ЭДС E_0 , не зависящая от времени. Найти электрическое поле в проводниках.
- 6.2.4.11. Вычислить векторный потенциал магнитного поля, создаваемого в однородной среде с магнитной проницаемостью μ , линейным током I , который течет по прямоугольному контуру со сторонами $2a$ и $2b$.
- 6.2.4.12. Внутри однородного магнетика с проницаемостью μ , заполняющего все пространство, имеется воздушная полость цилиндрической формы радиуса a . Внутри этой полости симметрично относительно ее оси протянуты два тонких провода, по которым проходят параллельные токи I . Каково должно быть рас-

- стояние l проводов от оси полости, чтобы действующие на проводники силы взаимно уравновешивались?
- 6.2.4.13. Линия состоит из двух коаксиальных тонких цилиндрических оболочек с радиусами a и b ($a < b$), пространство между которыми заполнено веществом с магнитной проницаемостью μ . Найти коэффициент самоиндукции на единицу длины.
- 6.2.4.14. Длинный прямой провод и кольцо радиуса a лежат в одной плоскости. Расстояние от центра кольца до провода b . Найти коэффициент взаимной индукции, если сила тока в проводе I_1 , а в кольце I_2 .
- 6.2.4.15. Определить коэффициент самоиндукции на единицу длины двухпроводной линии. Линия состоит из двух параллельных прямых проводов, радиусы которых a и b , расстояние между осевыми линиями h . По проводам текут равные по величине, но противоположно направленные токи.
- 6.2.4.16. Определить самоиндукцию проволочного квадрата со стороной b . Радиус провода $a \ll b$, магнитная проницаемость окружающего пространства μ , внутри провода равна $\mu_0 = 1$.
- 6.2.4.17. 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 сопротивлении R .
- 6.2.4.18. Колебательный контур состоит из емкости C и индуктивности L . В некоторый момент времени к обкладкам конденсатора присоединяется батарея постоянной ЭДС E и внутренним сопротивлением R . Найти зависимость тока, текущего через индуктивность от времени. Исследовать зависимость этого тока от величин R, L, C .
- 6.2.4.19. 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.
- 6.2.4.20. 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.
- 6.2.4.21. Тяжелый горизонтальный стержень AB , масса которого m , а длина l , может скользить без трения по двум вертикальным стержням AM и BN , замкнутым на сопротивление R . Определить закон падения стержня AB в однородном поперечном магнитном поле H . Сопротивлением стержней и самоиндукцией контура пренебречь.
- 6.2.4.22. Переменный ток $I(t) = I_0 \exp(-i\omega t)$ течет по полому цилиндрическому проводнику, у которого средний радиус a , проводимость σ , магнитная проницаемость μ , толщина $h \ll a$. Найти распределение плотности тока j по сечению и активное сопротивление на единицу длины.
- 6.2.4.23. На поверхность цилиндрического проводника, у которого радиус a , удельная проводимость σ_1 , нанесен слой другого металла. Толщина слоя h , его проводимость σ_2 , причем $h \ll a$. Найти активное сопротивление R такого проводника переменному току, считая толщину скин-слоя малой по сравнению с a ($\mu = 1$).
- 6.2.4.24. Написать уравнение плоской монохроматической электромагнитной волны, распространяющейся в прозрачной среде ($\sigma = 0$) вдоль положительной оси z линейно-поляризованной вдоль оси x .
- 6.2.4.25. Определить частоту и состояние поляризации электромагнитной волны, полученной в результате наложения двух волн одинаковой амплитуды и очень близ-

- ких частот, поляризованных по кругу в противоположных направлениях и распространяющихся в одном направлении.
- 6.2.4.26. 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 α . Найти поляризацию результирующей волны.
- 6.2.4.27. Найти дисперсионную формулу, т. е. зависимость $n(\omega)$ для прозрачной и немагнитной ($\mu=1$) среды, если известно, что групповая скорость обратно пропорциональна фазовой.
- 6.2.4.28. В вакууме на безграничную плоскую поверхность однородного немагнитного диэлектрика ($\varepsilon, \mu=1$) падает под углом α плоская электромагнитная волна, направление поляризации которой составляет угол θ с плоскостью падения. Показать, что при отражении и преломлении
- 6.2.4.29. Показать, что для волны поперечно-магнитного типа, распространяющейся вдоль прямого волновода (вдоль оси z), энергия, приходящаяся на единицу длины волновода, определяется формулой $W = \frac{\varepsilon\omega^2}{8\pi\gamma^2\sigma^2} \int |E_z|^2 dx dy$, где интегрирование производится по площади сечения волновода.
- 6.2.4.30. Показать, что для любого собственного электромагнитного колебания в полном ($\varepsilon=\mu=1$) резонаторе с идеально проводящими стенками средняя энергия электрического поля равна средней энергии магнитного поля, т.е. $\int \langle E^2 \rangle dV = \int \langle H^2 \rangle dV$.
- 6.2.4.31. Рассмотреть отражение монохроматической плоской волны на границе раздела двух однородных непроводящих и немагнитных сред ($\sigma_1=\sigma_2=0, \mu_1=\mu_2=1$) для случая, когда $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ и $\sin \alpha > \sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}$. Показать, что коэффициент отражения равен единице. Показать, что при полном внутреннем отражении прошедшая волна не является поперечной.
- 6.2.4.32. Круглая проволочная петля радиуса a , находящаяся в постоянном магнитном поле H_0 , вращается с угловой скоростью ω вокруг своего диаметра, перпендикулярного H_0 . Найти силу тока в петле.
- 6.2.4.33. Найти закон движения вектора намагниченности \vec{M} при отсутствии потерь в безграничной ферритовой среде, намагниченной до насыщения. Магнитное поле \vec{H} в среде постоянно и однородно.
- 6.2.4.34. Записать уравнения Максвелла и уравнения непрерывности, описывающие статическое электромагнитное поле в сверхпроводнике. Вывести уравнения, описывающие в этом случае распределение тока и магнитного поля.
- 6.2.4.35. Найти собственные частоты колебаний в двух индуктивно связанных контурах с емкостями C_1, C_2 , индуктивностями L_1, L_2 и коэффициентом взаимной индукции L_{12} .

6.2.5. Перечень вариантов контрольных работ

1. Специальная теория относительности. Элементы четырехмерной векторной и тензорной алгебры. Преобразования Лоренца. Релятивистская механика. Релятивистская электродинамика. Движение заряженной частицы в электромагнитном поле.

Примерный перечень задач

Задание 1.

- Пользуясь правилами векторной алгебры и анализа доказать тождество

$$\operatorname{div}[\vec{A}, \vec{B}] = \vec{B} \operatorname{rot} \vec{A} - \vec{A} \operatorname{rot} \vec{B}$$
- $$\operatorname{rot}[\vec{A}, \vec{B}] = \vec{A} \operatorname{div} \vec{B} - \vec{B} \operatorname{div} \vec{A} + (\vec{B}, \nabla) \vec{A} - (\vec{A}, \nabla) \vec{B}$$
- $$\operatorname{grad}[\vec{A}, \vec{B}] = [\vec{B}, \operatorname{rot} \vec{A}] + [\vec{A}, \operatorname{rot} \vec{B}] + (\vec{B}, \nabla) \vec{A} + (\vec{A}, \nabla) \vec{B}$$
- $$(\nabla, \vec{A}) \vec{B} = (\vec{A}, \nabla) \vec{B} + \vec{B} \operatorname{div} \vec{A}$$

Вычислить

- $\operatorname{rot} \varphi(r) \vec{r} \quad (l, \nabla) \varphi(r) \vec{r}$
- $\operatorname{div}(\vec{a}, \vec{r}) \vec{b} \quad \operatorname{div}(\vec{a}, \vec{r}) \vec{r} \quad \operatorname{div}[[\vec{a}, \vec{r}], \vec{r}] \quad \operatorname{div}([\vec{a}, \vec{r}] \phi(r)) \quad \vec{a}, \vec{b} - \text{постоянные векторы}$
- $\operatorname{rot}(\vec{a}, \vec{r}) \vec{b} \quad \operatorname{rot}(\vec{a}, \vec{r}) \vec{r} \quad \operatorname{rot}[[\vec{a}, \vec{r}], \vec{r}] \quad \operatorname{rot}([\vec{a}, \vec{r}] \phi(r))$
- $\operatorname{grad}(\vec{r}, \vec{A}(r)) \quad \operatorname{grad}(\vec{B}(r), \vec{A}(r)) \quad \operatorname{div} \varphi(r) \vec{A}(r) \quad \operatorname{rot} \varphi(r) \vec{A}(r) \quad (\vec{l}, \nabla) \varphi(r) \vec{A}(r)$

Задание 2

- 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.
- 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 Δt . Какова относительная скорость v масштабов?
- Вывести формулы сложения скоростей для случая, когда скорость \vec{V} системы S' относительно S имеет произвольное направление. Формулы представить в векторном виде.
- 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.

- 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 сис-

темах S, S', \vec{V} - скорость S' относительно S .

- 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?
- 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?
- 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.
- Выразить компоненты четырехмерного ускорения w^i через обычное ускорение $\dot{\vec{v}}$ и скорость \vec{v} частицы. Найти квадрат четырехмерного ускорения $w_i w^i$.

- Частица имеет скорости v и v' в системах S , S' соответственно. Найти связь между углами θ и θ' , которые эти скорости составляют с одинаково направленными осями x , x' . Относительная скорость систем V .
- Относительно системы S движется система S' со скоростью V и два тела со скоростями \vec{v}_1, \vec{v}_2 . Каков угол α между скоростями этих тел при наблюдении в системе S и в системе S' .
- Пучок света распространяется в системе S' под углом θ' к оси x' . Какой угол θ с осью x он составляет в системе S .
- Длина волны света, излучаемого некоторым источником, в той системе, в которой источник покоится, равна λ_0 . Какую длину волны λ регистрируют: а) наблюдатель, приближающийся со скоростью V к источнику и б) наблюдатель, удаляющийся с такой же скоростью от источника?
- Ускоритель дает на выходе пучок заряженных частиц с кинетической энергией T , сила тока в пучке равна I . Найти силу F давления пучка на поглощающую его мишень и выделяемую в мишени мощность W . Масса частицы m , заряд e .

Задание 3.

- Пользуясь определением тензора электромагнитного поля составить таблицы, связывающие компоненты F^{ik} и F_{ik} с напряженностями \vec{E}, \vec{H} .
- Вывести формулы релятивистского преобразования напряженностей поля \vec{E}, \vec{H} .
- Доказать, что если напряженности электрического и магнитного полей перпендикулярны в одной системе отсчета, то они перпендикулярны и во всех других инерциальных системах отсчета.
- Показать, что величина $\vec{E}^2 - \vec{H}^2$ инвариантна относительно преобразований Лорентца.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- В системе S имеется однородное электромагнитное поле \vec{E}, \vec{H} . Найти все возможные инерциальные системы отсчета, в которых поле будет обладать следующим свойством: обе напряженности (\vec{E}', \vec{H}') обращаются в нуль.
- 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 $\pi/4$.

- 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.
- Частица с зарядом e и массой m движется с произвольной скоростью в однородном постоянном электрическом поле E . В начальный момент времени $t=0$ частица находилась в начале координат и имела импульс p_0 . Определить трехмерные координаты и время t , а также энергию частицы в лабораторной системе и функции ее собственного времени τ . Исключив τ представить трехмерные координаты в зависимости от t . Рассмотреть, в частности, нерелятивистский и релятивистский пределы. Построить на компьютере траектории для разных начальных условий.
- Найти пробег L релятивистской заряженной частицы с зарядом e , массой m и начальной энергией E в тормозящем однородном электрическом поле \vec{E} , параллельном начальной скорости частицы.
- Нерелятивистская частица с зарядом e и массой m движется в скрещенных постоянных однородных электрическом $\vec{E} = (0, E_y, E_z)$ и магнитном $\vec{H} = (0, 0, H)$ полях. В начальный момент $t=0$ частица находилась в начале координат и имела скорость $\vec{v} = (v_{0x}, 0, v_{0z})$. Определить зависимости компонент скорости и координат от времени, начертить с помощью компьютера возможные траектории частицы.
- Релятивистская частица движется в параллельных однородных постоянных электрическом \vec{E} и магнитном \vec{H} полях ($\vec{E} \parallel \vec{H} \parallel \vec{Z}$). 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 τ . Построить на компьютере проекции траектории частицы на координатные плоскости.
- 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 $t=0$,
- 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 $t=0$.

2. Постоянное электрическое и магнитное поле в вакууме. Нахождение электростатических полей с помощью теоремы Гаусса, общего решения уравнения Пуассона. Нахождение магнитных полей методом векторного потенциала, закона Био и Савара. Дипольный, квадрупольный и магнитный моменты системы зарядов. Вычисление полей в дипольном и квадрупольном приближениях.

Примерный перечень задач

Задание 1.

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

- 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.
- 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.
- Используя свойства δ -функции, найти распределение объемной плотности ρ для системы точечных зарядов q , расположенных в вершинах квадрата со стороной a .
- Используя свойства δ -функции, найти распределение объемной плотности ρ , если известно, что заряд q распределен равномерно вдоль периметра квадрата со стороной a .

Задание 2.

- Внутри полого бесконечного цилиндра радиуса R_1 помещен полый же цилиндр радиуса R_2 ($R_2 < R_1$), расположенный на расстоянии R от его центра. Найти распределение напряженности электрического поля, если известно, что по цилиндрам равномерно распределен заряд Q .
- Найти электростатическое поле, создаваемое бесконечным полым параллелепипедом высоты h , заряженным с поверхностной плотностью σ .
- Две взаимно перпендикулярные плоскости равномерно заряжены с поверхностной плотностью σ . Найти напряженность электрического поля в каждой точке пространства.
- Внутри сферы радиуса R_1 помещена сфера радиуса R_2 ($R_2 < R_1$), расположенная на расстоянии R от его центра. Найти распределение напряженности электрического поля, если известно, что по сферам равномерно распределен заряд Q .
- Найти поле, создаваемое заряженным шаром радиуса R , если известно, что плотность заряда в нем убывает обратно пропорционально расстоянию r от его центра.
- Найти поле, создаваемое заряженным бесконечным цилиндром радиуса R , если известно, что плотность заряда в нем возрастает пропорционально расстоянию r от его оси.

Задание 3.

- Найти потенциал и напряженность электрического поля равномерно заряженной с линейной плотностью η прямолинейной бесконечной нити.
- Найти потенциал поля, создаваемого заряженным шаром радиуса R , если известно, что плотность заряда в нем убывает как a/r^2 от его центра.
- Найти поле на оси тонкого кольца, равномерно заряженного с линейной плотностью η .
- Найти потенциал поля, создаваемого цилиндрической поверхностью, по которой равномерно распределен заряд Q .
- Найти потенциал поля, создаваемого сферой радиуса R , по которой равномерно распределен заряд Q .
- Найти потенциал поля, создаваемого плоскостью, заряженной с поверхностной плотностью σ .

Задание 4.

- Заряд распределен с линейной плотностью η вдоль полукольца радиуса R . Найти дипольный момент и потенциал в дипольном приближении.
- Плотность заряда в шаре убывает как β/r от его центра. Найти электростатический потенциал в дипольном приближении.
- Два точечных заряда q , расположены на расстояниях L и $2L$ от заряда $-2q$. Определить тензор квадрупольного момента и потенциал поля в квадрупольном приближении.

- Цилиндрическая поверхность радиуса R равномерно заряжена с плотностью σ . Найти электростатический потенциал в дипольном приближении.
- Найти поле на достаточно большом расстоянии от тонкого кольца радиуса R , заряженного с линейной плотностью η .
- Найти дипольный и квадрупольный моменты системы точечных зарядов $\pm q$, расположенных попарно в вершинах квадрата со стороной a .

3. Электрические и магнитные поля в веществах, созданные зарядами и постоянными токами. Поляризация вещества в постоянном поле. Вычисление электростатических полей интегрированием уравнения Пуассона и методом изображений. Электрическое поле для случая постоянных токов. Конденсаторы. Энергия электростатического поля. Нахождение магнитных полей с помощью закона полного тока и интегрированием системы уравнений Максвелла.

Примерный перечень задач

Задание 1.

- Найти энергию электростатического поля равномерно заряженного по объему цилиндра.
- Найти энергию электростатического поля цилиндра, заряд внутри которого линейно убывает по мере удаления от центра.
- Найти энергию электростатического поля шара, заряд внутри которого линейно возрастает по мере удаления от его центра.
- Найти энергию электростатического поля шара, заряд внутри которого линейно убывает по мере удаления от его центра.
- Найти емкость цилиндрического конденсатора и распределение в нем связанных зарядов, если известно, что пространство заполнено двумя слоями диэлектриков с разными проницаемостями.
- Найти емкость сферического конденсатора и распределение в нем связанных зарядов, если известно, что проницаемость диэлектрика убывает линейно по мере удаления от центра.
- Пространство между обкладками цилиндрического конденсатора заполнено проводящим веществом. Как измерить его электропроводность?
- Пространство между обкладками плоского конденсатора заполнено проводящим веществом. Как измерить его электропроводность?

Задание 2.

- Заряд находится вне изолированной проводящей сферы. Найти распределение потенциала во всем пространстве.
- Заряд находится внутри заземленной проводящей сферы. Найти распределение потенциала во всем пространстве.
- Заряд находится вне заземленной проводящей сферы. Найти распределение потенциала во всем пространстве.
- Заряд находится внутри изолированной проводящей сферы. Найти распределение потенциала во всем пространстве.
- Точечный заряд находится на некотором расстоянии от плоской границы бесконечно протяженного проводника. Найти силу, действующую на заряд.
- Точечный заряд находится на некотором расстоянии от плоской границы раздела двух бесконечно протяженных диэлектриков. Найти силу, действующую на заряд.
- Точечный заряд находится между двумя проводящими пластинами, угол между которыми 90° . Найти распределение потенциала.
- Точечный заряд находится между двумя проводящими пластинами, угол между которыми 60° . Найти распределение потенциала.

Задание 3.

- Концы некоторой цепи заземлены с помощью двух идеально проводящих сфер, наполовину утопленных в землю, служащую вторым проводом. Расстояние между сферами много больше их радиусов. Найти сопротивление между заземлителями.
- Три проводника с круглыми сечениями одного и того же радиуса соединены последовательно, образуя замкнутое кольцо. По объему одного проводника равномерно распределена сторонняя Э.Д.С., не зависящая от времени. Найти электрическое поле и распределение электрических зарядов внутри кольца.
- 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.
- Бесконечная прямая, заряженная нить расположена перпендикулярно плоскости раздела двух диэлектриков. Найти силу, действующую на единицу длины нити на некоторой высоте над плоскостью раздела.
- Проводящая заземленная сфера помещена в однородное электрическое поле известной напряженности. Найти потенциал системы и плотность поверхностных зарядов на сфере.
- В бесконечную проводящую среду, с известной проводимостью и проницаемостью, помещен заряд Q_0 . Найти время релаксации, т.е. время, в течение которого заряд уменьшится в e раз.
- В экваториальной плоскости заземленной сферы находится равномерно заряженное кольцо большего, чем сфера радиуса. Центры сферы и кольца совпадают. Найти потенциал на оси симметрии системы.
- Найти закон преломления линий тока на плоской поверхности раздела двух сред с разными проводимостями.

Задание 4.

- Найти напряженность магнитного поля внутри и снаружи тонкостенного цилиндрического проводника, по которому течет постоянный ток известной величины.
- Найти векторный потенциал и напряженность магнитного поля, создаваемого двумя прямолинейными параллельными токами, текущими в противоположных направлениях.
- Определить магнитное поле на оси соленоида с густой намоткой имеющей форму цилиндра.
- Вычислить силу взаимодействия двух коаксиальных кольцевых проводников, по которым текут токи в противоположных направлениях.
- 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.

4. Квазистационарные поля и поля высокой частоты. Энергия магнитного поля. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции. Магнитные свойства вещества. Колебательные контуры и цепи. Плоские волны в однородной изотропной среде. Отражение и преломление электромагнитных волн. Дифракция. Волноводы.

Примерный перечень задач

Задание 1.

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

- К цепочке, состоящей из последовательно соединенных сопротивления и емкости, прикладывается прямоугольный импульс напряжения. Найти напряжение на сопротивление.
- Определить собственные частоты электрических колебаний в двух контурах, связь между которыми осуществляется через емкость.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

Задание 2.

- Найти коэффициент самоиндукции тороидального соленоида, если известно, что сечение тора - прямоугольник.
- Найти коэффициент взаимной индукции двух одинаковых квадратов, находящихся на известном расстоянии друг от друга. Найти силу взаимодействия между ними.
- Найти индуктивность единицы длины двухпроводной линии с известными радиусами проводов и расстоянием между ними.
- Вычислить индуктивность единицы длины линии, состоящей из двух коаксиальных цилиндров, по которым текут противоположно направленные токи.
- Определить коэффициент самоиндукции тонкого проволочного кольца. Радиус провода много меньше радиуса кольца.
- Найти коэффициент взаимной индукции двух одинаковых квадратов, находящихся на известном расстоянии друг от друга. Найти силу взаимодействия между ними.

6.2.6. Варианты семестровых контрольных работ

I. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ПОЛЕЙ И ЗАРЯДОВ В ВАКУУМЕ

Вариант	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
1	1.1	2.2	3.12	4.16
2	1.2	2.3	3.16	4.15
3	1.3	2.1	3.20	4.11
4	1.4	2.4	3.19	4.10
5	1.5	2.5	3.18	4.9
6	1.6	2.7	3.17	4.8
7	1.7	2.6	3.15	4.7
8	1.8	2.10	3.14	4.6
9	1.9	2.8	3.13	4.5
10	1.10	2.12	3.11	4.1

11	1.11	2.11	3.10	4.2
12	1.12	2.13	3.9	4.3
13	1.13	2.14	3.8	4.4
14	1.14	2.17	3.7	4.13
15	1.15	2.18	3.6	4.14
16	1.16	2.15	3.5	4.17
17	1.17	2.19	3.4	4.18
18	1.18	2.20	3.3	4.19
19	1.19	2.16	3.1	4.20
20	1.20	2.9	3.2	4.12

Задача 1.1. Длину стержня, движущегося вдоль оси в некоторой системе отсчета, можно находить таким образом: измерять промежуток времени, в течение которого стержень проходит мимо фиксированной точки этой системы, и умножать его на скорость стержня. Показать, что при таком методе измерения получается обычное лоренцево сокращение.

Задача 1.2. Доказать, что четырехмерный объем $d\Omega = c dt dV$ при переходе в другую инерциальную систему отсчета не изменяется.

Задача 1.3. Вывести формулы сложения скоростей для случая, когда скорость \vec{V} системы S' относительно S имеет произвольное направление. Формулы представить в векторном виде.

Задача 1.4. 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 Δt . Какова относительная скорость v масштабов?

Задача 1.5. 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.

Задача 1.6. 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.

Задача 1.7. 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.

Задача 1.8. Относительно системы S движется система S' со скоростью V и два тела со скоростями \vec{v}_1, \vec{v}_2 . Каков угол α между скоростями этих тел при наблюдении в системе S и в системе S' .

Задача 1.9. Длина волны света, излучаемого некоторым источником, в той системе, в которой источник покоится, равна λ_0 . Какую длину волны λ регистрируют: а) наблюдатель, приближающийся со скоростью V к источнику и б) наблюдатель, удаляющийся с такой же скоростью от источника?

Задача 1.10. Выразить компоненты четырехмерного ускорения w^i через обычное ускорение $\dot{\vec{v}}$ и скорость \vec{v} частицы. Найти квадрат четырехмерного ускорения $w_i w^i$.

Задача 1.11. Частица с зарядом e и массой m движется с произвольной скоростью в однородном постоянном электрическом поле E . В начальный момент времени $t=0$ частица находилась в начале координат и имела импульс p_0 . Определить трехмерные координаты и время t , а также энергию частицы в лабораторной системе и функции ее собственного времени τ . Исключив τ , представить трехмерные координаты в зависимости от t . Рассмотреть, в частности, нерелятивистский и релятивистский пределы. Построить на компьютере траектории для разных начальных условий.

Задача 1.12. Найти пробег L релятивистской заряженной частицы с зарядом e , массой m и начальной энергией E в тормозящем однородном электрическом поле \vec{E} , параллельном начальной скорости частицы.

Задача 1.13. Нерелятивистская частица с зарядом e и массой m движется в скрещенных постоянных однородных электрическом $\vec{E} = (0, E_y, E_z)$ и магнитном $\vec{H} = (0, 0, H)$ полях. В начальный момент $t=0$ частица находилась в начале координат и имела скорость $\vec{v} = (v_{0x}, 0, v_{0z})$. Определить зависимости компонент скорости и координат от времени, начертить с помощью компьютера возможные траектории частицы.

Задача 1.14. Релятивистская частица движется в параллельных однородных постоянных электрическом \vec{E} и магнитном \vec{H} полях ($\vec{E} \parallel \vec{H} \parallel \vec{z}$). 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 τ . Построить на компьютере проекции траектории частицы на координатные плоскости.

Задача 1.15. 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 $t=0$.

Задача 1.16. При помощи формул преобразования напряженностей электрического и магнитного полей доказать, что величины $E^2 - H^2, (\vec{E}, \vec{H})$ не меняют своего вида и численного значения при переходе из одной ИСО в другую.

Задача 1.17. В системе S имеется однородное электромагнитное поле \vec{E}, \vec{H} . Найти все возможные инерциальные системы отсчета, в которых поле будет обладать следующим свойством: а) напряженность $\vec{H}' = 0$; б) напряженности (\vec{E}', \vec{H}') становятся взаимно перпендикулярными; в) напряженности (\vec{E}', \vec{H}') становятся одинаковыми по абсолютной величине; г) обе напряженности (\vec{E}', \vec{H}') обращаются в нуль.

Задача 1.18. Напряженности \vec{E}, \vec{H} однородного электромагнитного поля в некоторой инерциальной системе координат заданы, причем $[\vec{E}, \vec{H}] \neq 0$. Найти скорости \vec{V} всех инерциальных систем координат, в которых напряженности электрического (или магнитного) поля имеют одно и то же численное значение, что и в исходной системе отсчета. Результат представить в векторной форме.

Задача 1.19. 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 $\pi/4$.

Задача 1.20. 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.

Задача 2.1. Определить распределение поверхностной плотности σ заряда в пространстве, если напряженность электрического поля имеет вид: а) $E_x=E_y=0, E_z=E_0$ при $z>0$ и $E_x=E_y=0, E_z=-E_0$ при $z<0$; б) $\vec{E}=0$ при $r<R$ и $\vec{E}=Q\vec{r}/r^3$ при $r>R$, где r – расстояние до начала координат, а Q и R – постоянные; в) $\vec{E}=0$ при $r<R$ и $\vec{E}=Q\vec{r}/r^2$ при $r>R$, где r – расстояние до оси, а Q и R – постоянные.

Задача 2.2. Равномерно заряженный с линейной плотностью χ эллипс с полуосями a и b лежит в плоскости xy . Центр эллипса совпадает с началом координат, а большая полуось a находится на оси x . Определить распределение объемной плотности заряда в декартовых координатах.

Задача 2.3. Средняя плотность заряда электронного облака в атоме водорода равна $\rho = -\frac{e}{\pi a^3} \exp\left(-\frac{2r}{a}\right)$, где a – боровский радиус, а r – расстояние до протона, имеющего заряд e . Определить напряженность электрического поля в атоме водорода.

Задача 2.4. Поверхность равномерно заряжена с поверхностной плотностью σ . Найти напряженность \vec{E} и потенциал φ электрического поля в каждой точке пространства, если заряженная поверхность имеет форму: а) сферы радиуса R ; б) бесконечной цилиндрической поверхности радиуса R ; в) плоскости.

Задача 2.5. Три взаимно перпендикулярные плоскости равномерно заряжены с поверхностной плотностью σ . Найти напряженность электрического поля в каждой точке пространства.

Задача 2.6. Внутри бесконечного цилиндра, однородно заряженного с объемной плотностью ρ , имеется цилиндрическая полость. Расстояние между параллельными осями цилиндра и полости равно l . Найти напряженность электрического поля внутри полости.

Задача 2.7. Шар радиусом R заряжен сферически симметрично с объемной плотностью $\rho=ar^5$, где a – постоянная. Чему равен поток Φ напряженности электростатического поля через круг радиусом R , плоскость которого в центральной части касается шара?

Задача 2.8. Определить напряженность \vec{E} и потенциал φ электрического поля двух бесконечных параллельных нитей, равномерно заряженных с линейной плотностью соответственно χ и $-\chi$. Расстояние между нитями равно L . При калибровке потенциала принять, что φ равен нулю на бесконечности.

Задача 2.9. Плоскость $z=0$ заряжена с плотностью $\sigma(x,y)=\sigma_0 \sin(\alpha x) \sin(\beta y)$, где σ_0, α, β – постоянные. Найти потенциал этой системы.

Задача 2.10. По какому закону должна быть распределена плотность заряда $\rho(r)$ внутри цилиндра радиусом R , чтобы напряженность электрического поля внутри цилиндра была постоянна по величине и равна E_0 . Каково распределение потенциала?

Задача 2.11. Заряд распределен по поверхности сферы радиусом R с поверхностной плотностью $\sigma=\sigma_0 \cos\theta$, где θ – полярный угол сферической системы координат, начало которой совпадает с центром сферы. Найти потенциал и напряженность электрического поля внутри и вне сферы.

Задача 2.12. Плоскость xy несет заряд с периодической поверхностной плотностью $\sigma=\sigma_0 \cos(ax+by)$. Найти потенциал электрического поля в неограниченном пространстве.

Задача 2.13. Найти потенциал электрического поля равномерно заряженного прямолинейного отрезка длиной $2a$, занимающего часть оси Oz от $-a$ до $+a$; заряд отрезка q .

Задача 2.14. Найти потенциал и напряженность электрического поля равномерно заряженной прямолинейной бесконечной нити. Ее заряд на единицу длины χ . Подтвердить полученный результат интегрированием уравнения Пуассона. **Задача 2.15.** Шар радиусом R с объемной плотностью ρ . Его внешняя неограниченная экваториальная плоскость несет

заряд с поверхностной плотностью σ . Найти напряженность электрического поля на оси симметрии шара, которая перпендикулярна однородно заряженной внешней экваториальной плоскости.

Задача 2.16. Тонкое кольцо радиусом R равномерно заряжено с линейной плотностью χ . Используя разложение функции $\frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|}$ по сферическим функциям, найти потенциал электрического поля в каждой точке пространства.

Задача 2.17. Внутри полусферы радиусом R распределен заряд с объемной плотностью $\rho = \rho_0 e^{\alpha r}$, где ρ_0 и α - постоянные, а r - расстояние до центра кривизны полусферы. Найти напряженность электрического поля в центре кривизны полусферы.

Задача 2.18. Найти дипольный момент системы зарядов, распределенных по сфере радиусом R с плотностью $\sigma = \sigma_0 \cos \theta$, θ - сферический полярный угол.

Задача 2.19. В центр прямолинейного отрезка длиной $2l$, заряженного с линейной плотностью χ , помещен точечный заряд $q = -2\chi l$. Найти тензор квадрупольного момента данной системы и потенциал на больших расстояниях.

Задача 2.20. Равномерно заряженная с поверхностной плотностью σ неограниченная тонкая пластина разделена на две половины щелью шириной a . Найти напряженность электрического поля на больших расстояниях $r \gg a$ от щели с учетом членов порядка $1/r$.

Задача 3.1. Определить распределение поверхностной плотности тока, если напряженность \vec{H} однородного магнитного поля, созданного этим током, имеет вид: а) вектор \vec{H} параллелен оси y в области между плоскостями $x=a$ и $x=b$ ($a < b$) и равен нулю в этой области; б) вектор \vec{H} параллелен оси y в полупространстве $x < a$, антипараллелен оси y в полупространстве $x > b$ ($a < b$) и равен нулю между плоскостями $x=a$ и $x=b$; в) вектор \vec{H} внутри цилиндрической поверхности параллелен ее оси и равен нулю снаружи. Ответ: а) $i_x = i_y = 0$, $i_z = eH/4\pi$ в плоскости $x=a$; $i_x = i_y = 0$, $i_z = -eH/4\pi$ в плоскости $x=b$; б) $i_x = i_y = 0$, $i_z = -eH/4\pi$ в плоскостях $x=a$ и $x=b$; в) $i_r = i_z = 0$, $i_\alpha = eH/4\pi$, где ось z цилиндрической системы координат направлена по оси цилиндрической поверхности параллельно вектору \vec{H} .

Задача 3.2. Определить конфигурацию области, по которой течет ток, а также характер распределения тока в ней, если объемная плотность тока в неограниченном пространстве описывается следующей функцией декартовых координат: а) $\vec{j} = 2a\vec{i}_0 \delta(x^2 - a^2)$, где a - постоянная, а постоянный вектор \vec{i}_0 параллелен плоскости yz ; б) $\vec{j} = 2aJ\vec{e}_y \delta(x^2 - a^2) \delta(z)$, где a и J - постоянные.

Задача 3.3. Бесконечно тонкий диск радиусом R , равномерно заряженный с поверхностной плотностью σ , вращается вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью $\vec{\omega}$. Пользуясь общей формулой $\vec{H} = \frac{1}{c} \int \frac{[\vec{i}(\vec{r}'), \vec{r} - \vec{r}']}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} dS'$ найти напряженность магнитного поля на оси диска. Здесь \vec{i} - поверхностная плотность тока, созданного вращающимся диском.

Задача 3.4. 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.

Задача 3.5. Ток I равномерно распределен по поверхности плоского кольца, внутренний и наружный радиусы которого соответственно равны a и b . Вычислить напряжен-

ность магнитного поля на оси кольца.

Задача 3.6. Средняя плотность заряда электронного облака в атоме водорода равна $\rho = \frac{e}{\pi a^3} \exp\left(-\frac{2r}{a}\right)$, где a – боровский 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?

Задача 3.7. 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.

Задача 3.8. Внутри неограниченной пластины параллельно ее поверхностям $z=l$ и $z=-l$ 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 .

Задача 3.9. 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.

Задача 3.10. Вдоль бесконечной прямолинейной полосы, имеющей ширину a , течет ток i , равномерно распределенный по ее ширине. Найти напряженность магнитного поля.

Задача 3.11. Вдоль прямой ($x=L, y=0$) параллельно оси z течет однородный ток J . По другой прямой ($x=-L, y=0$) течет антипараллельный ток такой же величины. Найти напряженность магнитного поля \vec{H} .

Задача 3.12. Вдоль плоскости $z=L$ параллельно оси y течет однородный ток с поверхностной плотностью i_0 . По другой плоскости $z=-L$ течет антипараллельный ток той же величины. Найти напряженность магнитного поля \vec{H} в каждой точке пространства. Какой вид приобретет \vec{H} , если токи на обеих плоскостях параллельны оси y .

Задача 3.13. 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.

Задача 3.14. Шар радиусом R , равномерно заряженный с объемной плотностью ρ , 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 $j_r = j_\theta = 0, j_\alpha = \begin{cases} \rho\omega r \sin\theta, & r \leq R \\ 0, & r > R \end{cases}$, уравнение решать подстановкой $A(r) = F(r)\sin\theta$, далее перейти к уравнениям Эйлера.

Задача 3.15. Ток течет по боковой поверхности круглого цилиндра перпендикулярно его образующей; поверхностная плотность тока $i = \text{const}$, длина цилиндра L , радиус R . Найти магнитное поле на оси цилиндра z .

Задача 3.16. В сферических координатах две компоненты векторного потенциала равны нулю $A_r = A_\theta = 0$, а третья имеет вид $A_\alpha = \begin{cases} \frac{2aR^5}{15r^2} \sin \theta, & r \geq R \\ ar \left(\frac{R^2}{3} - \frac{r^2}{5} \right), & r < R \end{cases}$, где a и R – постоянные.

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

Задача 3.17. По плоскости xu 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).

Задача 3.18. 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.

Задача 3.19. В сферических координатах компоненты вектора \vec{j} средней объемной плотности орбитального тока, текущего в возбужденном атоме водорода, равны $j_r = j_\theta = 0, j_\alpha = \frac{1}{3^8} \frac{e\hbar r^3}{\pi m a^7} e^{-\frac{2r}{3a}} \sin \theta \cos^2 \theta$. Вычислить магнитный момент орбитального тока.

Задача 3.20. Сфера радиусом R заряжена зарядом e равномерно по поверхности и вращается вокруг одного из своих диаметров с угловой скоростью ω . Вычислить магнитный момент и магнитное поле на большом расстоянии.

Задача 4.1. Через конденсатор пролетела частица с массой m и зарядом e . Расстояние между обкладками конденсатора равно L , а напряженность электрического поля \vec{E} в нем однородна и постоянна. Угол между вектором \vec{E} и направлением скорости \vec{v}_0 частицы при влете равнялся α . Знаки заряда e косинуса угла α одинаковы. Найти энергию, теряемую частицей на дипольное излучение.

Задача 4.2. Протон с массой m и зарядом e движется в скрещенных электрическом и магнитном полях с напряженностями \vec{E} и \vec{H} , которые удовлетворяют условиям $(\vec{E}, \vec{H}) = 0$ и $E \ll H$. Внешние поля однородны и постоянны, а протон в начальный момент времени $t_0 = 0$ имел скорость v_0 . Определить энергию дипольного излучения, теряемую частицей за время t .

Задача 4.3. Под влиянием упругой силы частица с массой m и зарядом e может совершать гармонические колебания с частотой ω_0 (так называемый осциллятор). Учитывая силу радиационного трения, определить среднюю по времени за период $T = 2\pi/\omega$ интенсивность I излучения осциллятора, совершающего установившиеся вынужденные колебания во внешнем электрическом поле с напряженностью $\vec{E} = \vec{E}_0 \sin \omega t$.

Задача 4.4. Две частицы с одинаковой массой m скреплены между собой жестким стержнем длиной L , массой которого можно пренебречь. Заряды частиц одинаковы по абсолютной величине, но противоположны по знаку. Напряженность \vec{E} внешнего электри-

ческого поля однородна, постоянна и направлена от отрицательного заряда в сторону положительного. В начальный момент времени $t_0=0$ стержень покоился и образовывал с вектором малый угол $\phi_0 \ll 1$. Определить интенсивность дипольного излучения системы двух зарядов.

Задача 4.5. Частица с массой m и зарядом e движется в потенциальном поле $U = \alpha/r^2$, где постоянная α положительна. Полная энергия и момент частицы равны соответственно E, \vec{M} . Определить энергию E_d , теряемую частицей на дипольное излучение за бесконечное время движения.

Задача 4.6. В тонкой неподвижной квадратной рамке со стороной L возбужден ток $J = J_0 \exp(-\alpha t^2)$. Определить полную энергию длинноволнового излучения за бесконечный промежуток времени.

Задача 4.7. Две частицы с одинаковым отношением заряда к массе $e_1/m_1 = e_2/m_2 = e/m$ связаны между собой пружиной и совершают гармонические колебания в отсутствие поля тяжести. Длина ненагруженной пружины L , а ее коэффициент жесткости k . В начальный момент времени пружина была растянута до длины L_0 и покоилась. Найти интенсивность излучения в среднем по времени за период колебания пружины. Взаимодействием зарядов между собой пренебречь.

Задача 4.8. В магнитном поле две одинаковые частицы с массами m и зарядами e вращаются с постоянной угловой скоростью ω по окружности, находясь на противоположных концах диаметра. В начальный момент времени $t_0=0$ кинетическая энергия обеих частиц равнялась E_0 . Определить обусловленный излучением закон убывания кинетической энергии частиц, предполагая, что взаимодействием зарядов между собой можно пренебречь. Скорость убывания кинетической энергии частиц очень мала $\frac{dE}{dt} \ll \omega E$.

Задача 4.9. Однородно заряженный тонкий диск радиусом R вращается вокруг своего диаметра с постоянной угловой скоростью $\vec{\omega}$. Полный заряд диска равен Q . Найти интенсивность излучения.

Задача 4.10. Заряд Q равномерно распределен по тонкому стержню длиной $2L$, который вращается в плоскости с постоянной угловой скоростью $\vec{\omega}$ вокруг своей центральной точки. Найти интенсивность излучения.

Задача 4.11. Точечный диполь с моментом \vec{d} вращается с постоянной угловой скоростью ω по окружности радиусом R . Вектор \vec{d} постоянен по модулю и в каждый момент времени направлен по радиусу окружности. Определить интенсивность дипольного I_d , магнитно-дипольного I_μ и квадрупольного I_D излучений в длинноволновом излучении.

Задача 4.12. Шар, заряженный по объему сферически-симметрично, пульсирует так, что его объемная плотность заряда меняется во времени по закону $\rho = \rho(r, t)$, где r – расстояние до центра шара. Будет ли иметь место излучение?

Задача 4.13. Частица с массой m и зарядом e подвешена на невесомой жесткой нити и совершает малые колебания с частотой ω_0 в поле тяжести. Учитывая силу радиационного трения, определить ширину спектральной линии излучения.

Задача 4.14. 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, aT – постоянная. Определить энергию, излученную в интервале частот от ω до $d\omega$ за бесконечное время $-\infty < t < \infty$.

Задача 4.15. Прямоугольная рамка с постоянным линейным током J вращается вокруг своей диагонали с постоянной угловой скоростью ω . Площадь рамки равна S , а ее линейные размеры малы по сравнению с длиной излучаемой волны. Найти интенсивность излучения в телесный угол $d\Omega$ в среднем по времени за период движения рамки.

Задача 4.16. 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.

Задача 4.17. Магнитный момент вращается в одной и той же плоскости с постоянной угловой скоростью. Определить поляризацию излучаемых волн.

Задача 4.18. Две одинаковые заряженные частицы движутся в свободном пространстве по прямой, отталкиваясь друг от друга. Определить поляризацию излучаемых волн.

Задача 4.19. Определить дифференциальное и полное сечение рассеяния эллиптически-поляризованной плоской волны с напряженностью $\vec{E} = \vec{e}_x b_1 \cos(\omega t - kz + \alpha) + \vec{e}_y b_2 \sin(\omega t - kz + \alpha)$ на свободном электроны с массой m и зарядом e .

Задача 4.20. 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 βH_0 прецессии магнитного момента мала по сравнению с частотой падающей волны.

II. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА СПЛОШНЫХ СРЕД

Вариант	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
1	5.1	2.12	7.6	8.20
2	5.2	6.13	7.7	8.19
3	5.3	6.14	7.8	8.18
4	5.4	6.15	7.14	8.17
5	5.5	6.16	7.15	8.16
6	5.6	6.17	7.16	8.15
7	5.7	6.6	7.17	8.14
8	5.8	6.7	7.18	8.13
9	5.9	6.8	7.19	8.12
10	5.10	6.9	7.20	8.11
11	5.11	6.1	7.9	8.10
12	5.12	6.2	7.10	8.9
13	5.13	6.3	7.11	8.8
14	5.14	6.4	7.12	8.7
15	5.15	6.5	7.13	8.6
16	5.16	6.10	7.1	8.5
17	5.17	6.11	7.2	8.4
18	5.18	6.18	7.3	8.3
19	5.19	6.19	7.4	8.2
20	5.20	6.20	7.5	8.1

Задача 5.1. Заряд Q равномерно распределен по объему, заключенному между двумя эксцентричными сферами так, что меньшая из них находится целиком внутри большей. Диэлектрическая проницаемость всех трех областей разная. Найти напряженность и электрическую индукцию во всей области пространства.

Задача 5.2. Бесконечная прямолинейная нить равномерно заряжена с линейной плотностью χ и окружена однородным диэлектриком с проницаемостью ε_1 , имеющим форму бесконечного цилиндра радиуса R , а за ним – однородным безграничным диэлектриком с проницаемостью ε_2 . Определить напряженность поля, создаваемого заряженной нитью, и распределение связанных зарядов на границе диэлектриков.

Задача 5.3. Определить поле, создаваемое равномерно заряженной ($\sigma = \text{const}$) поверхностью бесконечно длинного круглого цилиндра радиуса R в неоднородной диэлектрической среде, проницаемость которой $\varepsilon(r)$, где r – расстояние от оси цилиндра. Определить объемную плотность связанных зарядов.

Задача 5.4. Определить поле, создаваемое бесконечной равномерно заряженной ($\sigma = \text{const}$) плоскостью, если по обе стороны от нее пространство заполнено однородным диэлектриком с проницаемостью ε .

Задача 5.5. Определить при помощи уравнения Пуассона потенциал, напряженность и индукцию поля, создаваемого однородным бесконечным плоским слоем толщиной $2a$, равномерно заряженным с объемной плотностью $\rho = \text{const}$. Диэлектрическая проницаемость слоя ε_1 , окружающей среды – ε_2 .

Задача 5.6. Определить при помощи уравнения Пуассона потенциал, напряженность и индукцию поля, создаваемого однородным шаром радиуса R , равномерно заряженным с объемной плотностью $\rho = \text{const}$. Диэлектрическая проницаемость шара ε_1 , окружающей среды – ε_2 .

Задача 5.7. Сферический конденсатор с радиусами обкладок a , b заполнен диэлектриком, проницаемость которого зависит от расстояния r от центра по закону $\varepsilon(r) = \varepsilon_0 a^2 / r^2$. Показать, что емкость такого конденсатора равна емкости плоского конденсатора, заполненного однородным диэлектриком с проницаемостью ε_0 , у которого площадь обкладки $4\pi a^2$, расстояние между обкладками $b - a$.

Задача 5.8. Плоский конденсатор заполнен диэлектриком, проницаемость которого изменяется по закону $\varepsilon(x) = \varepsilon_0(x + a)/a$, где a – расстояние между обкладками, ось x направлена перпендикулярно обкладкам, площадь которых S . Найти емкость такого конденсатора и распределение в нем связанных зарядов.

Задача 5.9. Вычислить емкость цилиндрического конденсатора длиной l и радиусами обкладок a и b . Между обкладками два коаксиальных слоя однородных диэлектриков с проницаемостями ε_1 и ε_2 , граница раздела между которыми – цилиндрическая поверхность радиусом d . Определить распределение связанных зарядов.

Задача 5.10. Вычислить емкость единицы длины двух параллельных проводов круглого сечения, находящихся на расстоянии d друг от друга, если радиус проводов $a \ll d$. Провода находятся в воздухе.

Задача 5.11. Найти плотность связанных поверхностных зарядов, наведенных на плоской границе раздела двух однородных диэлектриков с проницаемостями ε_1 и ε_2 точечным зарядом q .

Задача 5.12. Точечный заряд q находится на одинаковом расстоянии a от двух взаимно перпендикулярных заземленных проводящих полуплоскостей. Определить созданное поле и распределение индуцированных зарядов.

Задача 5.13. Две бесконечные заземленные проводящие полуплоскости образуют угол в 60° . Точечный заряд находится на биссектрисе этого двугранного угла на расстоянии a от его ребра. Определить созданное поле и распределение индуцированных зарядов.

Задача 5.14. Внутри бесконечно длинной заземленной проводящей цилиндрической поверхности радиусом a параллельно ее оси протянута нить на расстоянии l ($l < a$) от нее. Нить равномерно заряжена с линейной плотностью χ . Определить создаваемое ею поле.

Задача 5.15. Между двумя заземленными концентрическими сферами с радиусами a и b ($a > b$) на расстоянии s от общего центра сфер находится точечный заряд q . Найти заряды на сферах.

Задача 5.16. Найти энергию электростатического поля, приходящуюся на единицу длины, бесконечного, заряженного равномерно по объему цилиндра через плотность энергии и через плотность заряда и потенциал. Заряд цилиндра Q , радиус a .

Задача 5.17. Полупространства заполнены диэлектриками с различающимися значениями проницаемостей ε_1 и ε_2 . Бесконечная прямая нить, заряженная с линейной плотностью χ , расположена перпендикулярно плоскости раздела диэлектриков. Найти силу, действующую на единицу длины нити на высоте h над плоскостью раздела диэлектриков.

Задача 5.18. В вакууме имеется бесконечно длинный заземленный проводящий цилиндр радиусом a . Параллельно его оси протянута нить на расстоянии l ($l > a$) от нее. Нить равномерно заряжена с линейной плотностью χ . Определить создаваемое ею поле и силу, действующую на единицу длины нити.

Задача 5.19. Вычислить энергию заряженного сферического, цилиндрического и плоского конденсаторов. Значение заряда q .

Задача 5.20. Вычислить энергию и силу взаимодействия двух параллельных и бесконечных нитей, равномерно заряженных с линейной плотностью χ и $-\chi$ и расположенных на расстоянии a друг от друга в однородной среде с диэлектрической проницаемостью ε .

Задача 6.1. Между обкладками цилиндрического конденсатора, радиусы которых a и b , поддерживается постоянная разность потенциалов U . Пространство между обкладками заполнено однородной средой с удельной проводимостью σ . Вычислить сопротивление между обкладками и силу тока.

Задача 6.2. Вывести закон преломления линий стационарного тока на поверхности раздела двух однородных и изотропных проводящих сред.

Задача 6.3. Бесконечно длинный цилиндрический коаксиальный кабель состоит из провода круглого сечения радиуса a , окруженного вторым проводом в виде коаксиального полого цилиндра, внутренний и наружный радиусы которого равны соответственно b и c . Удельная проводимость проводов σ и проницаемость изоляции между ними ε . По кабелю проходит постоянный ток I . Определить электрическое поле внутри кабеля.

Задача 6.4. Заземление осуществляется с помощью идеально проводящего шара радиусом a , наполовину утопленного в землю (проводимость земли $\sigma_1 = \text{const}$). Слой земли радиусом b , концентрический с шаром и прилегающий к нему, имеет искусственно повышенную проводимость σ_2 . Найти сопротивление такого заземлителя.

Задача 6.5. Три проводника с круглым сечением одного и того же радиуса и длиной l_0, l_1, l_2 соединены последовательно, образуя замкнутое кольцо. Проводимость проводников $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2$. По объему проводника с проводимостью σ_0 равномерно распределена сторона ЭДС E_0 , не зависящая от времени. Найти электрическое поле в проводниках.

Задача 6.6. Определить напряженность магнитного поля \vec{H} и магнитную индукцию \vec{B} , создаваемые постоянным током J , текущим по полому бесконечному цилиндрическому проводнику кругового сечения внутреннего радиуса a и внешнего b . Магнитная проницаемость проводника μ_0 , окружающий проводник вещества - μ .

Задача 6.7. Вычислить векторный потенциал магнитного поля, создаваемого в однородной среде с магнитной проницаемостью μ , линейным током I , который течет по прямоугольному контуру со сторонами $2a$ и $2b$.

Задача 6.8. 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 μ .

Задача 6.9. Однородный магнетик имеет форму бесконечно длинного круглого цилиндра радиусом a , магнитная проницаемость его μ , окружающая среда – воздух. Бесконечный прямолинейный ток проходит в воздухе параллельно оси магнетика на расстоянии l от нее. Определить создаваемое им магнитное поле.

Задача 6.10. 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 μ . Найти поле и силу, действующую на единицу длины провода.

Задача 6.11. Внутри однородного магнетика с проницаемостью μ , 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?

Задача 6.12. Линия состоит из двух коаксиальных тонких цилиндрических оболочек с радиусами a и b ($a < b$), пространство между которыми заполнено веществом с магнитной проницаемостью μ . Найти коэффициент самоиндукции на единицу длины.

Задача 6.13. Длинный прямой провод и кольцо радиусом a лежат в одной плоскости. Расстояние от центра кольца до провода b . Найти коэффициент взаимной индукции, если сила тока в проводе I_1 , а в кольце I_2 .

Задача 6.14. Найти коэффициент самоиндукции на единицу длины бесконечного цилиндрического соленоида с густой намоткой и с произвольной (не обязательно круговой) формой сечения. Площадь сечения S , число витков на единицу длины n .

Задача 6.15. Найти коэффициент самоиндукции катушки из тонкого провода с числом витков на единицу длины n . Катушка имеет круглое сечение радиуса a и конечную длину h ($h \gg a$). Вычисления произвести с точностью до членов порядка a/h .

Задача 6.16. Найти коэффициент самоиндукции тороидального соленоида, если его радиус b , число витков N , а сечение – квадрат со сторонами a и h .

Задача 6.17. Определить коэффициент самоиндукции на единицу длины двухпроводной линии. Линия состоит из двух параллельных прямых проводов, радиусы которых a и b , расстояние между осевыми линиями h . По проводам текут равные по величине, но противоположно направленные токи.

Задача 6.18. Определить коэффициент взаимной индукции двух параллельных отрезков длиной a , расположенных на расстоянии l друг от друга.

Задача 6.19. Определить самоиндукцию проволочного квадрата со стороной b . Радиус провода $a \ll b$, магнитная проницаемость окружающего пространства μ , внутри провода равна $\mu_0 = 1$.

Задача 6.20. Самоиндукция плоского контура в воздухе ($\mu_0 = 1$) равна L . Найти самоиндукцию контура, если его положить на плоскую границу полупространства, заполненного однородным магнетиком с магнитной проницаемостью μ .

Задача 7.1. 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 сопротивлении R .

Задача 7.2. 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 .

Задача 7.3. Колебательный контур состоит из емкости C и индуктивности L . В некоторый момент времени к обкладкам конденсатора присоединяется батарея с постоянной ЭДС E и внутренним сопротивлением R . Найти зависимость тока, текущего через индуктивность от времени. Исследовать зависимость этого тока от величин R, L, C .

Задача 7.4. Найти комплексное сопротивление Z участка цепи, изображенного на рисунке.

Задача 7.5. 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 $I(t)$.

Задача 7.6. Определить собственную частоту колебаний в цепи из параллельно соединенных сопротивления R , емкости C и индуктивности L .

Задача 7.7. Определить собственные частоты ω_1, ω_2 электрических колебаний в двух контурах (см. рисунок к примеру 4), связь между которыми осуществляется через индуктивность L ($Z=-i\omega L$).

Задача 7.8. Определить собственные частоты ω_1, ω_2 электрических колебаний в двух контурах (см. рисунок к примеру 4), связь между которыми осуществляется через сопротивление R ($Z=R$), R велико.

Задача 7.9. 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.

Задача 7.10. Батарея, ЭДС которой E 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.

Задача 7.11. 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.

Задача 7.12. 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?

Задача 7.13. 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.

Задача 7.14. К параллельному соединению конденсатора емкости C и катушки с индуктивностью L (омическим сопротивлением пренебречь) приложено переменное напряжение частоты ω . При каком условии ток, питающий этот контур, равен нулю?

Задача 7.15. Два параллельных стержня лежат в одной плоскости с бесконечным прямолинейным током I на расстояниях a и b по одну сторону от него ($a < b$). Вдоль стержней скользит со скоростью v поперечный проводник AB по направлению к сопротивлению R , на которое замкнуты стержни. Определить силу тока в контуре ABR . Сопротивлением стержней и проводника AB пренебречь.

Задача 7.16. Тяжелый горизонтальный стержень AB , масса которого m , а длина l , может скользить без трения по двум вертикальным стержням AM и BN , замкнутым на сопротивление R . Определить закон падения стержня AB в однородном поперечном магнитном поле H . Сопротивлением стержней и самоиндукцией контура пренебречь.

Задача 7.17. Тяжелый горизонтальный стержень AB , масса которого m , а длина l , может скользить без трения по двум вертикальным стержням AM и BN , замкнутым на сопротивление катушки с сопротивлением R и индуктивностью L . Составить уравнение падения стержня AB в однородном поперечном магнитном поле H . Сопротивлением стержней и самоиндукцией контура пренебречь.

Задача 7.18. Переменный ток $I(t)=I_0 \exp(-i\omega t)$ течет по полуму цилиндрическому проводнику, у которого средний радиус a , проводимость σ , магнитная проницаемость μ , толщина $h \ll a$. Найти распределение плотности тока j по сечению и активное сопротивление на единицу длины.

Задача 7.19. Бесконечный полый цилиндр, у которого внутренний радиус a , толщина стенки h ($h \ll a$), находится в однородном продольном магнитном поле $H(t)=H_0 \exp(-i\omega t)$. Найти амплитуду магнитного поля в полости. В силу условия $h \ll a$ при определении поля в толще оболочки можно считать ее плоской.

Задача 7.20. На поверхность цилиндрического проводника, у которого радиус a , удельная проводимость σ_1 , нанесен слой другого металла. Толщина слоя h , его проводимость σ_2 , причем $h \ll a$. Найти активное сопротивление R такого проводника переменному току, считая толщину скин-слоя малой по сравнению с a ($\mu=1$).

Задача 8.1. Написать уравнение плоской монохроматической электромагнитной волны, распространяющейся в прозрачной среде ($\sigma=0$) вдоль положительной оси z , линейно-поляризованной вдоль оси x .

Задача 8.2. Показать, что в общем случае плоская монохроматическая волна, распространяющаяся в непроводящей среде, является эллиптически поляризованной.

Задача 8.3. 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.

Задача 8.4. 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 α . Найти поляризацию результирующей волны.

Задача 8.5. 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.

Задача 8.6. В непроводящей среде распространяется плоская монохроматическая волна. Вычислить векторный потенциал этого поля, если волна: а) линейно поляризована; б) поляризована по кругу.

Задача 8.7. 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.

Задача 8.8. Найти дисперсионную формулу, т. е. зависимость $n(\omega)$ для прозрачной и немагнитной ($\mu=1$) среды, если известно, что групповая скорость обратно пропорциональна фазовой.

Задача 8.9. В вакууме на безграничную плоскую поверхность однородного немагнитного диэлектрика ($\epsilon, \mu=1$) падает под углом α плоская электромагнитная волна, направление поляризации которой составляет угол θ с плоскостью падения. Показать, что при

отражении и преломлении электромагнитной волны выполняется закон сохранения энергии.

Задача 8.10. В вакууме на безграничную плоскую поверхность однородного немагнитного диэлектрика ($\varepsilon, \mu = 1$) падает под углом α плоская электромагнитная волна, направление поляризации которой составляет угол θ с плоскостью падения. Вычислить коэффициенты отражения и прохождения для случая: а) падающая волна не поляризована; б) падающая волна эллиптически поляризована.

Задача 8.11. 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 Δn в сравнении с 1. Ввести угол скольжения $\varphi = \pi/2 - \alpha \ll 1$ и получить для коэффициента отражения:

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

Задача 8.12. Вычислить разность фаз между параллельной и перпендикулярной составляющими электрического вектора отраженной волны при полном отражении, если падающая волна линейно поляризована.

Задача 8.13. В вакууме на безграничную плоскую поверхность немагнитного металла ($\varepsilon = \text{const}, \mu = 1, \sigma = \text{const}$) падает под углом α плоская монохроматическая волна, направление поляризации которой составляет угол θ с плоскостью падения. Определить интенсивность и состояние поляризации отраженной волны, если интенсивность падающей линейно поляризованной волны I_0 . Рассмотреть предельный случай идеального проводника.

Задача 8.14. Плоская волна падает нормально на непроводящий и немагнитный плоскопараллельный слой толщиной a . Определить давление, испытываемое этим слоем.

Задача 8.15. 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.

Задача 8.16. Показать, что для волны поперечно-магнитного типа, распространяющейся вдоль прямого волновода (вдоль оси z), энергия, приходящаяся на единицу длины волновода, определяется формулой $W = \frac{\varepsilon \omega^2}{8\pi \gamma^2 \sigma^2} \int |E_z|^2 dx dy$, где интегрирование производится по площади сечения волновода.

Задача 8.17. Показать, что для любого собственного электромагнитного колебания в полем ($\varepsilon = \mu = 1$) резонаторе с идеально проводящими стенками средняя энергия электрического поля равна средней энергии магнитного поля, т. е. $\int \langle E^2 \rangle dV = \int \langle H^2 \rangle dV$.

Задача 8.18. 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.

Задача 8.19. 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.

Задача 8.20. 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.

Для контроля усвоения студентами текущего материала по дисциплинам предусмотрено в каждом семестре проведение двух контрольных работ, компьютерное тестирование по 4 зачетным единицам (*творчески-репродуктивный метод*), контрольные опросы по лекционному материалу.

Используется рейтинговая система оценки, включающая в бальном выражении работу студента на практических занятиях, лекциях, результаты контрольных работ, семестровой контрольной работы, выполнения индивидуальных заданий и компьютерного тестирования (п.6.1.1).

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная учебная литература:

1. Алексеев, Алексей Иванович. Сборник задач по классической электродинамике : учеб. пособие / А. И. Алексеев. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2008. - 318 с. : рис. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=100
2. Алексеев, Алексей Иванович. Сборник задач по классической электродинамике [Текст] : учеб. пособие / А. И. Алексеев. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2008. - 318 с

б) дополнительная учебная литература:

1. Паули В. Теория относительности. М., Наука, 1991.
2. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н. Сборник задач по электродинамике. Москва-Ижевск Институт компьютерных исследований, 2003, 736 с.
3. Памятных Е.А., Туров Е.А. Основы электродинамики материальных сред в переменных и неоднородных полях. М.: Наука, Физматлит, 2000.
4. Джексон Дж. Классическая электродинамика. М., Мир, 1965.
5. Новожилов Ю.В., Яппа Ю.А. Электродинамика. М., Наука, 1978.
6. Жданова Т.А., Меледин Г.В. Задачи по электродинамике с решениями. Новосибирск, НГУ, 1995.
7. Бажанова В.В., Меледин Г.В., Переведенцев Е.А., Хрипович Ю.Б., Эйдельман Ю.И. Электродинамика в задачах. Новосибирск, НГУ, 1997.
8. Электродинамика. Часть I. Электродинамика полей и зарядов в вакууме /сост. Ю.Н. Журавлев; ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет» - Кемерово, 2005 г. - 103 с.
9. Электродинамика. Часть II. Электродинамика сплошных сред / сост. Ю.Н. Журавлев; ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет» - Кемерово, 2005 г. - 92 с.
10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Т.8 Электродинамика сплошных сред. "Физматлит", 2006. 536 с. URL: https://e.lanbook.com/book/2236?category_pk=920#authors (дата обращения)

ния 02.04.2017)

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

9.1 Методические рекомендации по освоению лекционного материала

Для успешного освоения лекционного материала, который представляется в настоящее время в форме презентаций, рекомендуется использовать не только собственные конспекты лекций, но и учебную литературу по предмету, список которой представлен в "Рабочей программе", включая пособия по решению задач, где для каждого раздела теоретического курса приведены в краткой форме основные определения и формулы. При подготовке к лекции желательно, помимо повторения и проработки теоретического материала, ознакомиться со способами решения основных задач по текущему разделу, примеры которых разбираются в пособии наиболее детально.

Важным моментом освоения лекционного материала является организация работы с конспектом лекций так как это способствует:

1. более прочному усвоению учебного материала;
2. более легкому запоминанию основных моментов (определений, формул и т.д.)
3. сохранению материала для последующей самостоятельной работы
4. развитию навыков закрепления учебного материала;

С точки зрения "техники" ведения конспектов рекомендуется избегать очень подробной записи, максимально точно повторяющей все, что говорит лектор, за исключением строгих формулировок определений, законов и т.п., о необходимости записи которых лектор специально предупреждает. Запись остальных рассуждений, комментирующих основные моменты и положения материала, должна вестись максимально кратко, чтобы не потерять общей логики рассмотрения текущего вопроса.

При ведении записей на лекции необходимо придерживаться следующих правил:

1. начинать конспект каждой лекции с указания даты, названия темы лекции, целей и плана лекции;
2. выделять и записывать правила, формулы, выводы и обобщения, на перегружая конспект отдельными фактами;
3. выделять (по возможности цветом) отдельные разделы, темы, вопросы;
4. использовать легкие для понимания и запоминания сокращения слов и фраз;
5. записи вести на страницах с большими полями.

Самостоятельную работу с конспектом лекций удобней вести по этапам:

1. повторить по конспекту изученный материал;
2. отметить (на полях) непонятные положения для последующего уточнения;
3. устранить незаконченные фразы, пользуясь учебной и методической литературой;

9.2 Методические рекомендации по к практическим занятиям

Задачами практических занятия являются: расширение, детализация и углубление знаний, полученных на лекциях, повышение уровня усвоения материала по предмету, развитие научного мышления, текущая проверка знаний, развитие познавательной активности и навыков самостоятельной работы, а также навыков ведения коллективной работы дискуссии и умения аргументированно отстаивать свои идея и взгляды.

Подготовка к практическим занятиям в качестве одного из этапов должна обязательно включать работу с конспектом лекций, дополненную изучением рекомендованной методической литературы.

В настоящее время по курсу "Электродинамика" и "Электродинамика сплошных сред" разработаны специализированные учебно-методические пособия:

1. Журавлев Ю. Н. Электродинамика. Часть I. Электродинамика полей и зарядов в вакууме / Ю. Н. Журавлев; ГОУ ВПО "Кемеровский госуниверситет" - Кемерово, 2005. - 105 стр.
2. Журавлев Ю. Н. Электродинамика. Часть II. Электродинамика сплошных сред / Ю. Н. Журавлев; ГОУ ВПО "Кемеровский госуниверситет" - Кемерово, 2005. - 92 стр.

для использования в качестве вспомогательного материала во время учебных занятий и основного для самостоятельной работы при подготовке к занятиям, сдаче экзамена и выполнению индивидуальных работ. В пособие представлены опорный конспект лекций по соответствующему разделу, курса, подробный анализ способов решения основных типов задач по каждому разделу, а также дополнительные задания для самостоятельной работы, сгруппированные по вариантам заданий для контрольных работ.

При выполнении индивидуальных заданий, домашних работ необходимо:

1. обосновать каждый этап решения задачи в соответствии с положениями соответствующего раздела теоретического курса
2. составить общий план решения задачи
3. излагать решение максимально подробно с объяснением всех деталей соответствующих вычислений, преобразований и т.д.,
4. использовать рисунки и схемы, определяющие план решения задач и дальнейшую его реализацию;

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Чтение лекций с использованием слайд-презентаций, графических объектов в форме Flash-приложений; компьютерное тестирование по основным разделам курса.

Технологии, используемые при активной и интерактивной формах обучения	
Неимитационные	Имитационные
Активные (проблемные) лекции и семинары	Кейс-технологии
Тематическая дискуссия (пресс-конференции)	Анализ конкретных ситуаций
Мозговая атака	Групповой тренинг
Презентация	

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекции по дисциплине "Электродинамика" проводятся в аудитории с выходом в Интернет, оснащенной мультимедийным оборудованием (ПК и компьютерный проектор). Чтение лекций проводится в режиме слайд-презентации (MS PowerPoint). Практические занятия проводятся в учебных аудиториях; специализированного оборудования не требуется. Самостоятельная работа по дисциплине "Электродинамика" может проводиться в электронном читальном зале (ауд. 1218), оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду КемГУ (в том числе депозитарий информационно-образовательных ресурсов КемГУ) и в электронно-библиотечные системы "[УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН](#)", "[ЛАНЬ](#)" (Пункт 3.7.1).

Изучение дисциплины "Электродинамика" не требует специализированного программного обеспечения в силу теоретического характера (Пункт 7.3.2).

12. Иные сведения и (или) материалы

12.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Курс «Электродинамика» построен на принципах системного подхода к отбору программного материала и определению последовательности его изучения студентами (*технология модульного обучения*). Предусматривается теоретическое (лекции) практическое (практические занятия) изучение и материала.

Аудиторные занятия: лекции (*технологии концентрированного, дифференцированного и активного (контекстного) обучения*) и практические занятия (*технологии проблемного, активного (контекстного), развивающего обучения и деловой игры*) предполагают самостоятельную работу студентов. На лекциях, в рамках реализации методов, направленных на первичное овладение знаниями и совершенствование знаний и формирование умений и навыков, предлагаются для самостоятельного изучения некоторые дополнительные темы, на практических занятиях даются домашние задания для самостоятельного решения задач. Выделенный объем самостоятельной работы студента направлен на подготовку к практическим занятиям, выполнению семестровой контрольной работы с задачами повышенной сложности (*репродуктивный метод*), написанию рефератов, индивидуальных заданий исследовательского характера (*проблемно-поисковые методы*).

12.2. Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

В процессе изучения дисциплины и осуществления процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации лиц с ограниченными возможностями здоровья применяются адаптированные формы обучения с учётом индивидуальных психофизиологических особенностей. При определении форм проведения занятий с обучающимися-инвалидами учитываются рекомендации данные по результатам медико-социальной экспертизы, содержащиеся в индивидуальной программе реабилитации инвалида, относительно рекомендованных условий и видов труда.

При необходимости обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья пользуются специальными рабочими местами, созданными с учётом нарушенных функций и ограничений жизнедеятельности.

Для лиц с нарушением зрения (слепых и слабовидящих):

- специализированное стационарное рабочее место ЭлСИС 201;
- специализированное стационарное рабочее место ЭлСИС 221;
- специализированное мобильное место ЭлНОТ 301;
- принтер Брайля (+ПО для трансляции текста в шрифт Брайля).

Для лиц с нарушением слуха:

- система информационная для слабослышащих стационарная «Исток» С-1И;
- беспроводная звукозаписывающая аппаратура коллективного пользования: радиокласс (радиомикрофон) «Сонет-PCM» РМ-3.1.

Для лиц с нарушением опорно-двигательного аппарата:

- компьютерный стол для лиц с нарушениями опорнодвигательной системы с электроприводом;
- клавиатура с накладной и с кнопочной мышкой с расположением кнопок сверху Аккорд;
- беспроводная мышь трекбол для ПК Logitech M570;

– клавиатура с джойстиком для выбора клавиши на цветовом поле.

Особенности процесса изучения дисциплины и осуществления процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации:

Для лиц с нарушением зрения задания и инструкции по их выполнению предоставляются с укрупненным шрифтом, для слепых задания оформляются рельефно-точечным шрифтом Брайля или в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением для слепых, либо зачитываются им. При необходимости обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс, предоставляется увеличивающее устройство, а также возможность использовать собственное увеличивающее устройство.

Для лиц с нарушением слуха дидактический материал (слайд-презентации лекций, задания и инструкции к их выполнению) предоставляются в письменной форме или электронном виде при необходимости. Обеспечивается наличие звукоусиливающей аппаратуры коллективного пользования, при необходимости студентам предоставляется звукоусиливающая аппаратура индивидуального пользования.

Для лиц с тяжёлыми нарушениями речи текущий и промежуточный контроль проводятся в письменной форме.

При необходимости *лица с нарушениями двигательных функций нижних конечностей* письменные задания выполняются дистанционно, при этом взаимодействие с преподавателем осуществляется через ЭИОС; лекции проводятся в 1 и 2 блочных аудиториях, практические занятия в аудиториях 8 и 2 корпусов КемГУ.

Для лиц с нарушениями двигательных функций верхних конечностей или отсутствием верхних конечностей письменные задания выполняются дистанционно, при этом взаимодействие с преподавателем осуществляется через ЭИОС; зачет сдаётся в устной форме.

При необходимости лицу с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для выполнения заданий и сдачи зачёта, но не более чем на 0.5 часа.

Студенты с ограниченными возможностями здоровья сдают зачёт в одной аудитории совместно с иными обучающимися, если это не создает трудностей для студентов при сдаче зачёта.

Студенты с ограниченными возможностями здоровья могут в процессе обучения и прохождения текущего и итогового контроля пользоваться техническими средствами, необходимыми им в связи с их индивидуальными особенностями.

Допускается присутствие в аудитории во время сдачи зачёта ассистента из числа работников КемГУ или привлечённых лиц, оказывающих студентам с ограниченными возможностями здоровья необходимую техническую помощь с учётом их индивидуальных особенностей (занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, общаться с преподавателями).

Особые условия предоставляются студентам с ограниченными возможностями здоровья на основании заявления, содержащего сведения о необходимости создания соответствующих специальных условий.

Составители: Гордиенко А.Б. (профессор кафедры теоретической физики КемГУ, д.ф.м.-н.), Журавлев Ю. Н. (профессор кафедры теоретической физики КемГУ, д.ф.м.-н.)