

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

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Проректор по учебной работе**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Общая физика: электромагнетизм
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Управление инновациями в бизнесе Физтех-школа бизнеса высоких технологий кафедра общей физики
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 50 всего, в том числе:

лекции: 20 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 55 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 3

Программу составили:

П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент

И.С. Юдин, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 12.05.2022

## Аннотация

В курсе рассматриваются ключевые понятия и методы физики электромагнитных явлений как части курса общей физики.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Освоение студентами базовых знаний в области физики электромагнитных явлений для дальнейшего изучения других разделов физики и углубленного изучения фундаментальных основ электричества и магнетизма

#### Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний в области электричества и магнетизма
- формирование умений и навыков применять изученные теоретические законы и математические инструменты для решения различных физических задач
- формирование общепедагогической культуры: умения выделять существенные физические явления и пренебрегать несущественными; умения проводить оценки физических величин; умения строить простейшие теоретические модели, описывающие физические процессы

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- о фундаментальные законы и понятия физики электромагнитных явлений, а также границы их применимости;
- о закон сохранения заряда, закон Кулона, принцип суперпозиции, теорема Гаусса в интегральном и дифференциальном виде;
- о понятие потенциала и его связь с напряжённостью поля;
- о основные понятия при вычислении электрического поля в веществе: векторы поляризации и электрической индукции, поляризуемость и диэлектрическая проницаемость;
- о закон Ома в интегральной и дифференциальной формах, правила Кирхгофа, закон Джоуля–Ленца;
- о закон Био–Савара, теорема о циркуляции для магнитного поля в интегральном и дифференциальном виде;
- о основные понятия при вычислении магнитного поля в веществе: магнитная индукция и напряжённость поля, вектор намагниченности, токи проводимости и молекулярные токи;
- о закон электромагнитной индукции, правило Ленца;
- о основные понятия теории колебаний: свободные затухающие колебания, коэффициент затухания, логарифмический декремент и добротность, вынужденные колебания, резонанс, параметрическое возбуждение колебаний, автоколебания;
- о уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме;
- о закон сохранения энергии и теорема Пойнтинга;

уметь:

- о применять изученные общие физические законы для решения конкретных задач по электричеству и магнетизму;
- о применять теорему Гаусса для нахождения электрического поля в вакууме и в веществе;
- о записывать и решать уравнения Пуассона и Лапласа;
- о применять теорему о циркуляции для нахождения магнитного поля в вакууме и в веществе;
- о применять метод «изображений» для вычисления электрических и магнитных полей;
- о применять энергетический метод вычисления сил в электрическом и магнитном поле;
- о рассчитывать электрическую ёмкость и коэффициенты само- и взаимной индукции;
- о использовать комплексную форму представления колебаний и векторные диаграммы при расчете колебательных контуров;
- о анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведённого анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;
- о применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов, и проводить необходимые аналитические и численные расчёты.

владеть:

- основными методами решения задач физики электромагнитных явлений;
- основными математическими инструментами, характерными для задач электричества и магнетизма.

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

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

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Электрическое поле	2	3		5
2	Потенциал, законы электростатики	2	3		5
3	Электрическое поле в веществе	2	3		7
4	Магнитное поле	2	3		5
5	Электромагнитная индукция	2	3		7
6	Электрические цепи	2	3		6
7	Свободные и вынужденные колебания в электрических цепях	2	3		5
8	Уравнения Максвелла	2	3		5
9	Электромагнитные волны	2	3		5
10	Приложения электромагнитной теории	2	3		5
Итого часов		20	30		55
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 3 (Осенний)

###### 1. Электрическое поле

Электрическое поле в вакууме. Электрические заряды и электрическое поле. Закон сохранения заряда. Напряжённость электрического поля. Закон Кулона. Система единиц СГСЭ. Принцип суперпозиции. Электрическое поле диполя. Теорема Гаусса для электрического поля в вакууме в интегральной и дифференциальной формах. Её применение для нахождения электростатических полей. Потенциальный характер электростатического поля. Потенциал и разность потенциалов. Связь напряжённости поля с градиентом потенциала. Граничные условия на заряженной поверхности. Уравнения Пуассона и Лапласа. Единственность решения электростатической задачи. Метод «изображений».

## 2. Потенциал, законы электростатики

Электрическое поле в веществе. Проводники в электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации. Свободные и связанные заряды. Теорема Гаусса при наличии диэлектриков. Вектор электрической индукции. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость. Граничные условия на поверхности проводника и на границе двух диэлектриков. Электрическая ёмкость. Конденсаторы. Энергия электрического поля и её локализация в пространстве. Объёмная плотность энергии. Взаимная энергия зарядов. Энергия диполя в электрическом поле. Энергетический метод вычисления сил в электрическом поле.

## 3. Электрическое поле в веществе

Магнитное поле постоянных токов в вакууме. Постоянный ток. Сила и плотность тока. Закон Ома в интегральной и дифференциальной формах. Электродвижущая сила. Правила Кирхгофа. Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля–Ленца. Токи в объёмных средах. Магнитное поле постоянных токов в вакууме. Вектор магнитной индукции. Сила Лоренца. Сила Ампера. Закон Био–Савара. Магнитное поле равномерно движущегося точечного заряда. Рамка с током в магнитном поле. Магнитный момент тока. Теорема о циркуляции для магнитного поля в вакууме и её применение к расчету магнитных полей. Магнитное поле тороидальной катушки и соленоида. Дифференциальная форма теоремы о циркуляции.

## 4. Магнитное поле

Магнитное поле в веществе. Магнитная индукция и напряжённость поля. Вектор намагниченности. Токи проводимости и молекулярные токи. Теорема о циркуляции для магнитного поля в веществе. Граничные условия на границе двух магнетиков. Применение теоремы о циркуляции для расчёта магнитных полей. Магнитные свойства вещества. Качественные представления о механизме намагничивания пара- и диамагнетиков. Понятие о ферромагнетиках. Гистерезис. Магнитные свойства сверхпроводников I рода. Электромагнитная индукция в движущихся и неподвижных проводниках. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца. Относительный характер электрического и магнитного полей. Преобразование  $\rightarrow E$  и  $\rightarrow B$  (при  $v \ll c$ ). Коэффициенты само- и взаимной индукции. Процесс установления тока в цепи, содержащей индуктивность. Теорема взаимности. Магнитная энергия и её локализация в пространстве. Объёмная плотность энергии. Энергетический метод вычисления сил в магнитном поле. Подъёмная сила электромагнита.

## 5. Электромагнитная индукция

Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Определение удельного заряда электрона.

## 6. Электрические цепи

Электромагнитные колебания. Квазистационарные процессы. Колебания в линейных системах. Колебательный контур. Свободные затухающие колебания. Коэффициент затухания, логарифмический декремент и добротность. Энергетический смысл добротности. Вынужденные колебания под действием синусоидальной силы. Амплитудная и фазовая характеристики. Резонанс. Процесс установления стационарных колебаний. Параметрическое возбуждение колебаний. Понятие об автоколебаниях. Обратная связь. Условие самовозбуждения. Роль нелинейности. Электрические флуктуации. Тепловой шум, формула Найквиста. Дробовой шум, формула Шоттки (без вывода). Флуктуационный предел измерения слабых сигналов. Комплексная форма представления колебаний. Векторные диаграммы. Комплексное сопротивление (импеданс). Правила Кирхгофа для переменных токов. Работа и мощность переменного тока. Вынужденные колебания под действием несинусоидальной силы. Амплитудная и фазовая модуляции. Понятие о спектральном разложении. Спектр одиночного прямоугольного импульса и периодической последовательности импульсов. Соотношение неопределённостей. Спектральный анализ линейных систем. Колебательный контур как спектральный прибор. Частотная характеристика и импульсный отклик. Понятие о детектировании модулированных сигналов.

## 7. Свободные и вынужденные колебания в электрических цепях

Электромагнитные волны. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Граничные условия. Ток смещения. Материальные уравнения. Волновое уравнение. Электромагнитные волны в однородном диэлектрике, их поперечность и скорость распространения. Поток энергии в электромагнитной волне. Закон сохранения энергии и теорема Пойнтинга. Электромагнитная природа света. Монохроматические волны. Комплексная амплитуда. Уравнение Гельмгольца. Плоские и сферические волны. Давление излучения. Электромагнитный импульс. Излучение диполя (без вывода). Понятие о линиях передачи энергии. Двухпроводная линия. Коэффициент стоячей волны (КСВ). Согласованная нагрузка. Электромагнитные волны в прямоугольном волноводе. Дисперсионное уравнение. Критическая частота. Понятие об объёмных резонаторах. Скин-эффект. Электромагнитные волны на границе раздела двух диэлектриков. Формулы Френеля. Явление Брюстера. Явление полного внутреннего отражения. Понятие о поверхностных волнах.

## 8. Уравнения Максвелла

Плазма. Плазма. Экранировка, дебаевский радиус. Плазменная частота. Диэлектрическая проницаемость плазмы. Электромагнитные волны в плазме.

## 9. Электромагнитные волны

Волновое уравнение как следствие уравнений Максвелла. Скорость распространения электромагнитных волн. Волновой вектор. Плотность потока энергии волны.

## 10. Приложения электромагнитной теории

Передача электромагнитной энергии, понятие о длинных линиях, волноводах и резонаторах. Плазма как четвертое состояние вещества. Дебаевский радиус и плазменная частота.

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

- Лекционная аудитория, оснащённая мультимедийным проектором и экраном
- Оборудование для лекционных демонстраций
- Учебные аудитории, оснащённые доской
- Доступ к библиотекам учебной технической литературы, в том числе электронным, необходимый для осуществления самостоятельной работы обучающихся

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 3 : Электричество : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 4-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2002-2006, 2009 .— 656 с.
2. Основы физики [Текст] : Курс общей физики : в 2 т. Т. 1. Механика, электричество и магнетизм. Колебания и волны, волновая оптика / А. С. Кингсеп, Г. Р. Локшин, О. А. Ольхов ; под ред. А. С. Кингсепа .— 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2007 .— 704 с.
3. Электричество и магнетизм [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. А. Кириченко ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2011 .— 420 с.
4. Лабораторный практикум по общей физике [Текст] : в 3 т. Т. 2 : Электричество и магнетизм : учеб. пособие для вузов / под ред. А. Д. Гладуна ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : Изд-во МФТИ, 2007 .— 280 с.
5. Сборник задач по общему курсу физики [Текст] : в 3 ч. Ч. 2 : Электричество и магнетизм : учеб. пособие для вузов : рек.М-вом образования РФ / под ред. В. А. Овчинкина ; Моск.физико-техн.ин-т (гос.ун-т) .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : Физматкнига, 2004 .— 400 с
6. Калашников Н.П., Смондырев М.А./Основы физики в 2-х томах М.-Лаборатория знаний, 2017

#### Дополнительная литература

1. Электричество [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов : доп. М-вом образования Рос. Федерации / С. Г. Калашников .— 6-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 1985, 2004, 2008 .— 624 с.
2. Основы теории электричества [Текст] : учеб.пособие для ун-тов:доп.Гос.ком.СССР / И.Е.Тамм .— 10-е изд.,испр. — М. : Наука, 1989 .— 504с.
3. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. С. Горелик ; под ред. С. М. Рытова .— 3-е изд. — М. : Физматлит, 2007 .— 656 с.
4. Методы решения задач в общем курсе физики. Теория, формулы, таблицы [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. П. Корявов .— М. : Студент, 2014 .— 446 с.

Рекомендованная литература для самостоятельного изучения.

1. Электричество и магнетизм [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Э. Парселл ; пер. с англ. под ред. А. И. Шальникова, А. О. Вайнсберга .— / 3-е изд., испр. — М. : Наука, 1983 .— 416 с.
2. Фейнмановские лекции по физике [Текст]. Вып. 5 : [учеб. пособие для вузов]. Электричество и магнетизм / пер. с англ. Г. И. Копылова, Ю. А. Симонова ; под ред. Я. А. Смородинского / Р. Фенман, Р. Лейтон, М. Сэндс .— 3-е изд. — М. : Едиториал УРСС, 2004 .— 299, [3] с. - 2000 экз. - ISBN 5-354-00703-8.

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

1. [http://mipt.ru/education/chair/physics/S\\_III/Method\\_3/](http://mipt.ru/education/chair/physics/S_III/Method_3/)— методический раздел сайта кафедры Общей физики
2. <http://lib.mipt.ru/catalogue/1412/?t=750> — электронная библиотека МФТИ, раздел «Общая физика»

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

Литература, рекомендуемая к курсу, доступна в электронном виде (см. п.[1,2] перечня ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)), так что студенты могут читать учебники прямо со своих планшетов.

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

Студент, изучающий курс «Общая физика: электромагнетизм», должен не только изучить общие физические законы и понятия, но научиться применять их на практике.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,
- подготовку к контрольной работе, сдаче заданий, экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения и проводить все необходимые вычисления, доводя задачу до конечного ответа. Задача считается решённой, если она содержит обоснованное решение: ссылки на применяемые физические законы и корректные выкладки, а также правильный численный ответ (если в задаче есть числовые данные).

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Управление инновациями в бизнесе  
Физтех-школа бизнеса высоких технологий  
кафедра общей физики  
**курс:** 2  
**квалификация:** бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

**Разработчики:**

П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент

И.С. Юдин, канд. физ.-мат. наук, доцент



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Общая физика: электромагнетизм» обучающийся должен:

### знать:

- о фундаментальные законы и понятия физики электромагнитных явлений, а также границы их применимости;
- о закон сохранения заряда, закон Кулона, принцип суперпозиции, теорема Гаусса в интегральном и дифференциальном виде;
- о понятие потенциала и его связь с напряжённостью поля;
- о основные понятия при вычислении электрического поля в веществе: векторы поляризации и электрической индукции, поляризуемость и диэлектрическая проницаемость;
- о закон Ома в интегральной и дифференциальной формах, правила Кирхгофа, закон Джоуля–Ленца;
- о закон Био–Савара, теорема о циркуляции для магнитного поля в интегральном и дифференциальном виде;
- о основные понятия при вычислении магнитного поля в веществе: магнитная индукция и напряжённость поля, вектор намагниченности, токи проводимости и молекулярные токи;
- о закон электромагнитной индукции, правило Ленца;
- о основные понятия теории колебаний: свободные затухающие колебания, коэффициент затухания, логарифмический декремент и добротность, вынужденные колебания, резонанс, параметрическое возбуждение колебаний, автоколебания;
- о уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме;
- о закон сохранения энергии и теорема Пойнтинга;

### уметь:

- о применять изученные общие физические законы для решения конкретных задач по электричеству и магнетизму;
- о применять теорему Гаусса для нахождения электрического поля в вакууме и в веществе;
- о записывать и решать уравнения Пуассона и Лапласа;
- о применять теорему о циркуляции для нахождения магнитного поля в вакууме и в веществе;
- о применять метод «изображений» для вычисления электрических и магнитных полей;
- о применять энергетический метод вычисления сил в электрическом и магнитном поле;
- о рассчитывать электрическую ёмкость и коэффициенты само- и взаимной индукции;
- о использовать комплексную форму представления колебаний и векторные диаграммы при расчете колебательных контуров;
- о анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведённого анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;
- о применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов, и проводить необходимые аналитические и численные расчёты.

### владеть:

- основными методами решения задач физики электромагнитных явлений;
- основными математическими инструментами, характерными для задач электричества и магнетизма.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлого занятия.

### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Закон Кулона. Напряжённость электрического поля. Элементарный заряд. Принцип суперпозиции. Единицы измерения заряда (в системе Гаусса и СИ). Поле точечного диполя.
2. Теорема Гаусса для электрического поля в вакууме (интегральная и дифференциальная формы). Примеры применения.
3. Потенциальный характер электростатического поля. Потенциал и разность потенциалов. Теорема о циркуляции в электростатическом поле. Связь потенциала с напряжённостью поля. Потенциал поля точечного диполя.
4. Потенциал электростатического поля. Уравнение Пуассона и уравнение Лапласа. Граничные условия и метод зеркальных изображений.
5. Проводники в электростатическом поле. Электростатическая защита. Граничные условия на поверхности проводника. Проводящий шар в электростатическом поле.
6. Диэлектрики в электростатическом поле. Механизм поляризации диэлектриков. Свободные и связанные (поляризационные) заряды. Вектор поляризации. Связь вектора поляризации с поляризационными зарядами. Поверхностный и объёмный поляризационные заряды.
7. Вектор поляризации и его связь с поляризационными зарядами. Вектор электрической индукции. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость.
8. Теорема Гаусса для электрического поля в диэлектриках (интегральная и дифференциальная формы). Граничные условия на границе раздела двух диэлектриков.
9. Электрическая ёмкость уединённых проводников и конденсаторов. Расчёт ёмкости плоского, сферического и цилиндрического конденсаторов.
10. Электрическая энергия и её локализация в пространстве. Объёмная плотность энергии. Энергия диполя во внешнем поле (жёсткий и упругий диполи). Взаимная энергия зарядов.
11. Силы, действующие на диполь в неоднородном электрическом поле. Энергетический метод вычисления сил (случай:  $q=\text{const}$   $U=\text{const}$ ).
12. Постоянный ток. Сила и плотность тока. Сторонние силы. Закон сохранения заряда и уравнение непрерывности. Токи в неограниченных средах.

#### БИЛЕТ №1

1. Вопрос по выбору.
2. Закон Кулона. Напряжённость электрического поля. Элементарный заряд. Принцип суперпозиции. Единицы измерения заряда (в системе Гаусса и СИ). Поле точечного диполя.

#### БИЛЕТ №2

1. Вопрос по выбору.
2. Теорема Гаусса для электрического поля в вакууме (интегральная и дифференциальная формы). Примеры применения.

#### БИЛЕТ №3

1. Вопрос по выбору.
2. Потенциальный характер электростатического поля. Потенциал и разность потенциалов. Теорема о циркуляции в электростатическом поле. Связь потенциала с напряжённостью поля. Потенциал поля точечного диполя.

#### БИЛЕТ №4

1. Вопрос по выбору.
2. Потенциал электростатического поля. Уравнение Пуассона и уравнение Лапласа. Граничные условия и метод зеркальных изображений.

## БИЛЕТ №5

1. Вопрос по выбору.

2. Проводники в электростатическом поле. Электростатическая защита. Граничные условия на поверхности проводника. Проводящий шар в электростатическом поле.

### Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и за её пределами, а также умение уверенно применять их на практике при решении сложных нестандартных задач.

Оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач.

Оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач, однако допустившему некоторые неточности при ответе.

Оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы и умение свободно применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач, однако допустил при ответе ряд грубых неточностей.

Оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный характер знаний, допускавшему неточности в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему сильно фрагментарный характер знаний, допускавшему грубые ошибки в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «неудовлетворительно (2)» или «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает значительную часть основного содержания программы, систематически допускает грубые ошибки при формулировании основных физических законов или не способен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

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

Экзамен проходит в традиционной форме беседы преподавателя со студентом по теме экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит два пункта: «вопрос по выбору» и один вопрос из программы курса.

«Вопрос по выбору» студент готовит самостоятельно до экзамена. Выбор темы осуществляется при консультации преподавателя, ведущего семинарские задания. Вопросом по выбору может быть 1) углубленное изложение одного из пунктов программы, 2) вопрос или задача, непосредственно связанные с тематикой курса, однако не затронутые в нём, 3) изложение и защита результатов лабораторной работы, сделанной студентом в лабораторном практикуме в качестве дополнительной работы. На ответ по «вопросу по выбору» студенту предоставляется не более 10 минут.

На подготовку к ответу по билету студенту даётся от 30 до 45 минут. В течение экзамена студенту не разрешается пользоваться вычислительной техникой, литературой, заранее подготовленными собственными записями и другими материалами, относящимися к предмету, кроме экзаменационной программы курса.

В процессе ответа на «вопрос по выбору» разрешается пользоваться заранее подготовленным планом ответа и заранее подготовленными иллюстрациями/графиками, представленными в бумажном виде, либо на электронном носителе (планшет/ноутбук). Используемые графики или иллюстрации не должны содержать частей текста доклада. На подготовку ответа на «вопрос по выбору» (повторение) даётся не более 5 минут.

В процессе ответа по билету экзаменатор может задавать уточняющие вопросы. После ответа по билету экзаменатор вправе задавать студенту любые дополнительные вопросы по программе курса.

В совокупности опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Общая физика: электромагнетизм» осуществляется в форме экзамена. Экзамен состоит из двух частей: проводится в письменной и устной форме.

На письменной части экзамена студенту предлагается решить 5 задач. Все предлагаемые задачи представляют собой оригинальные авторские задачи, специально подготовленные для экзамена. С примерами задач прошлых лет можно ознакомиться на сайте кафедры общей физики в разделе экзаменационных материалов за 3-й семестр [http://mipt.ru/education/chair/physics/S\\_III/Ex\\_el/](http://mipt.ru/education/chair/physics/S_III/Ex_el/)

Устная часть экзамена проходит по билетам. В каждом билете содержится теоретический вопрос из приведенного ниже списка экзаменационных вопросов. Кроме того, студенту предлагается изложить подготовленный заранее «вопрос по выбору», которым может быть как один из пунктов приведенного ниже списка, так и любой вопрос, затрагиваемый в изучаемом курсе или непосредственно связанный с ним. В качестве вопроса по выбору могут быть изложены результаты проделанной студентом лабораторной работы.

Список вопросов устного экзамена:

1. Закон Кулона. Напряжённость электрического поля. Элементарный заряд. Принцип суперпозиции. Единицы измерения заряда (в системе Гаусса и СИ). Поле точечного диполя.
2. Теорема Гаусса для электрического поля в вакууме (интегральная и дифференциальная формы). Примеры применения.
3. Потенциальный характер электростатического поля. Потенциал и разность потенциалов. Теорема о циркуляции в электростатическом поле. Связь потенциала с напряжённостью поля. Потенциал поля точечного диполя.
4. Потенциал электростатического поля. Уравнение Пуассона и уравнение Лапласа. Граничные условия и метод зеркальных изображений.
5. Проводники в электростатическом поле. Электростатическая защита. Граничные условия на поверхности проводника. Проводящий шар в электростатическом поле.
6. Диэлектрики в электростатическом поле. Механизм поляризации диэлектриков. Свободные и связанные (поляризационные) заряды. Вектор поляризации. Связь вектора поляризации с поляризационными зарядами. Поверхностный и объёмный поляризационные заряды.
7. Вектор поляризации и его связь с поляризационными зарядами. Вектор электрической индукции. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость.
8. Теорема Гаусса для электрического поля в диэлектриках (интегральная и дифференциальная формы). Граничные условия на границе раздела двух диэлектриков.
9. Электрическая ёмкость уединённых проводников и конденсаторов. Расчёт ёмкости плоского, сферического и цилиндрического конденсаторов.
10. Электрическая энергия и её локализация в пространстве. Объёмная плотность энергии. Энергия диполя во внешнем поле (жёсткий и упругий диполи). Взаимная энергия зарядов.
11. Силы, действующие на диполь в неоднородном электрическом поле. Энергетический метод вычисления сил (случаи:  $q=\text{const}$   $U=\text{const}$ ).
12. Постоянный ток. Сила и плотность тока. Сторонние силы. Закон сохранения заряда и уравнение непрерывности. Токи в неограниченных средах.
13. Закон Ома (интегральная и локальная формы). Постоянный ток в замкнутом контуре. Электродвижущая сила. Правила Кирхгофа. Примеры применения.

14. Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля–Ленца в интегральной и локальной форме.
15. Магнитное поле постоянного тока. Вектор магнитной индукции. Сила Лоренца и сила Ампера. Закон Био–Савара. Магнитный момент рамки с током. Момент сил, действующий на рамку с током в магнитном поле.
16. Теорема о циркуляции магнитного поля в вакууме (интегральная и дифференциальная формы). Примеры применения. Магнитное поле соленоида. Теорема Гаусса для магнитного поля (интегральная и дифференциальная формы).
17. Магнитное поле в веществе. Молекулярные токи. Вектор намагниченности и его связь с молекулярными токами (интегральная и дифференциальная формы).
18. Теорема о циркуляции магнитного поля в веществе. Вектор  $\vec{H}$ . Применение к расчёту магнитных цепей.
19. Граничные условия для векторов  $\vec{B}$  и  $\vec{H}$  на границе раздела двух магнетиков.
20. Постоянный магнит. Магнитные поля  $\vec{B}$  и  $\vec{H}$  постоянного магнита.
21. Магнитные свойства сверхпроводника I-го рода. Эффект Мейснера. Граничные условия на поверхности сверхпроводника. Сверхпроводящий шар в магнитном поле.
22. Работа сил Ампера по перемещению витка с током в магнитном поле.
23. Электромагнитная индукция в движущихся проводниках. Правило Ленца.
24. Электромагнитная индукция в неподвижных проводниках. Фарадеевская и максвелловская трактовка явления электромагнитной индукции. Вихревое электрическое поле.
25. Нерелятивистское преобразование полей  $\vec{B}$  и  $\vec{E}$  при переходе от одной инерциальной системы к другой. Магнитное поле равномерно движущегося заряда.
26. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Дрейфовое движение. Циклотронная частота.
27. Магнитный поток. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции. Индуктивность соленоида и тороидальной катушки.
28. Установление тока в цепи, содержащей индуктивность. Магнитная энергия тока. Локализация магнитной энергии в пространстве.
29. Взаимная энергия токов. Теорема взаимности. Взаимная индуктивность двух катушек на общем магнитопроводе.
30. Энергетический метод вычисления сил в магнитном поле. Подъёмная сила электромагнита.
31. Переменное электрическое поле и его магнитное действие. Ток смещения. Примеры расчёта.
32. Системы уравнений Максвелла в интегральной форме. Граничные условия. Материальные уравнения.
33. Система уравнений Максвелла в дифференциальной форме. Граничные условия. Материальные уравнения.
34. Волновое уравнение как следствие уравнений Максвелла. Плоские электромагнитные волны в однородной среде. Скорость распространения. Поперечность электромагнитных волн. Связь полей  $\vec{B}$  и  $\vec{E}$  в плоской электромагнитной волне.
35. Монохроматическая (гармоническая) плоская волна. Стоячие электромагнитные волны. Отражение электромагнитной волны от плоской поверхности идеального проводника.
36. Электромагнитные волны в волноводах. Простейшие типы электромагнитных волн в волноводе прямоугольного сечения. Критическая частота. Длина волны и фазовая скорость волн в волноводе.
37. Двухпроводная линия как пример неквазистационарной цепи. Электромагнитная волна в двухпроводной линии. Скорость волны. Волновое сопротивление. Согласованная нагрузка.
38. Поток энергии. Вектор Пойнтинга. Теорема Пойнтинга. Примеры применения.

39. Давление излучения. Опыты Лебедева. Электромагнитный импульс.
40. Излучение электромагнитных волн. Излучение колеблющегося диполя (без вывода). Диаграмма излучения. Зависимость мощности излучения от частоты (закон Релея).
41. Отражение и преломление электромагнитных волн на плоской границе двух диэлектриков. Формулы Френеля. Коэффициенты отражения и прозрачности. Угол Брюстера. Полное внутреннее отражение. Понятие о неоднородных волнах.
42. Скин-эффект. Толщина скин-слоя, её зависимость от частоты и проводимости.
43. Квазистационарные процессы. Уравнение гармонического осциллятора. Свободные колебания осциллятора с затуханием.
44. Коэффициент затухания, логарифмический декремент, добротность колебательного контура. Превращения энергии при затухающих колебаниях. Энергетический смысл добротности.
45. Вынужденные колебания в линейных системах (гармоническая внешняя ЭДС). Амплитудно-фазовая характеристика линейных фильтров. Колебательный контур. Резонанс. Ширина резонансной кривой и её связь с добротностью.
46. Процессы установления вынужденных колебаний. Биения.
47. Расчёт цепей, содержащих сопротивления, индуктивности и ёмкости при гармоническом внешнем воздействии. Метод комплексных амплитуд. Векторные диаграммы. Резонанс.
48. Правила Кирхгофа для переменных токов. Работа и мощность переменного тока.
49. Вынужденные колебания в линейных системах под действием негармонической внешней силы – спектральный анализ линейных систем.
50. Модулированные колебания. Амплитудная и фазовая модуляция. Векторное изображение модулированных колебаний. Спектры колебаний, модулированных по амплитуде и фазе (при синусоидальной модуляции).
51. Представление модулированных сигналов в виде суперпозиции гармонических колебаний. Опыты Мандельштама. Понятие о разложении Фурье (ряд Фурье, интеграл Фурье). Примеры спектральных разложений. Соотношение неопределённостей.
52. Параметрические колебания. Условия возбуждения индуктивной параметрической машины, параметрический резонанс.
53. Понятие об автоколебаниях. Обратная связь. Условие самовозбуждения.
54. Понятие о плазме. Дебаевский радиус. Плазменные колебания и плазменная частота.
55. Диэлектрическая проницаемость плазмы.

#### 4. Критерии оценивания

По результатам решения задач письменной части экзамена за каждую задачу выставляется от 0 до 3 баллов согласно следующим критериям:

3 балла: Задача решена полностью верно (т. е. приведены правильное обоснованное решение и даны ответы на все вопросы задачи). Возможно наличие мелких недочётов (описки, несущественные арифметические ошибки).

2 балла: Задача решена, ход решения задачи в целом верен, но есть существенные недочёты (ошибки в выкладках, абсурдный ответ и т.п.).

1 балл: Задача не решена, но все основные физические законы, необходимые для решения, сформулированы правильно.

0 баллов: Задача не решена или решена неверно (основные законы записаны с ошибками, либо не полностью, подход к решению задачи принципиально неверен или решение задачи не соответствует условию).

Полученные баллы суммируются и выставляется оценка за письменную часть экзамена по следующей схеме

Оценка	Баллы	Сумма баллов
--------	-------	--------------

отлично	10	15
	9	13-14
	8	12
хорошо	7	11
	6	9-10
	5	8
удовлетворительно	4	6-7
	3	5
неудовлетворительно	2	2-4
	1	0-1

Оценка за письменную часть экзамена определяет максимальную итоговую оценку за экзамен. В исключительных случаях, если на устной части экзамена студент демонстрирует превосходные теоретические знания и уровень понимания предмета, итоговая оценка может быть повышена, но не более, чем на 2 балла (по 10-балльной шкале).

На устном экзамене преподаватель оценивает ответ студента в целом и выставляет оценку согласно приведённым ниже критериям и изложенным выше замечаниям касательно письменной части экзамена:

Оценка **«отлично (10)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и за её пределами, а также умение уверенно применять их на практике при решении сложных нестандартных задач.

Оценка **«отлично (9)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач.

Оценка **«отлично (8)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач, однако допустившему некоторые неточности при ответе.

Оценка **«хорошо (7)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы и умение свободно применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка **«хорошо (6)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка **«хорошо (5)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач, однако допустил при ответе ряд грубых неточностей.

Оценка **«удовлетворительно (4)»** выставляется студенту, показавшему фрагментарный характер знаний, допускавшему неточности в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка **«удовлетворительно (3)»** выставляется студенту, показавшему сильно фрагментарный характер знаний, допускавшему грубые ошибки в формулировке основных законов



и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «**неудовлетворительно (2)**» или «**неудовлетворительно (1)**» выставляется студенту, который не знает значительную часть основного содержания программы, систематически допускает грубые ошибки при формулировании основных физических законов или не способен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

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

### **Порядок проведения письменного экзамена.**

Время проведения письменной части экзамена составляет 4 астрономических часа. На экзамене предлагаются для решения 5 оригинальных задач. Темы соответствуют темам семинарских занятий. Задача считается решённой, если она содержит обоснованное решение: ссылки на применяемые физические законы и корректные выкладки, а также правильный численный ответ (если в задаче есть числовые данные). На экзамене разрешается пользоваться любыми записями и учебными пособиями в бумажном виде. Категорически запрещается включать любые устройства, которые могут служить средствами связи – ноутбуки, планшеты, телефоны и т.п. Нарушители удаляются с экзамена с оценкой «неудовлетворительно». Разрешается пользоваться калькуляторами. Запрещается пользоваться калькуляторами в мобильных телефонах, ноутбуках и т.п.

### **Порядок проведения устного экзамена.**

Экзамен проходит в традиционной форме беседы преподавателя со студентом по теме экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит два пункта: «вопрос по выбору» и один вопрос из программы курса.

«Вопрос по выбору» студент готовит самостоятельно до экзамена. Выбор темы осуществляется при консультации преподавателя, ведущего семинарские задания. Вопросом по выбору может быть 1) углубленное изложение одного из пунктов программы, 2) вопрос или задача, непосредственно связанные с тематикой курса, однако не затронутые в нём, 3) изложение и защита результатов лабораторной работы, проделанной студентом в лабораторном практикуме в качестве дополнительной работы. На ответ по «вопросу по выбору» студенту предоставляется не более 10 минут.

На подготовку к ответу по билету студенту даётся от 30 до 45 минут. В течение экзамена студенту не разрешается пользоваться вычислительной техникой, литературой, заранее подготовленными собственными записями и другими материалами, относящимися к предмету, кроме экзаменационной программы курса.

В процессе ответа на «вопрос по выбору» разрешается пользоваться заранее подготовленным планом ответа и заранее подготовленными иллюстрациями/графиками, представленными в бумажном виде, либо на электронном носителе (планшет/ноутбук). Используемые графики или иллюстрации не должны содержать частей текста доклада. На подготовку ответа на «вопрос по выбору» (повторение) даётся не более 5 минут.

В процессе ответа по билету экзаменатор может задавать уточняющие вопросы. После ответа по билету экзаменатор вправе задавать студенту любые дополнительные вопросы по программе курса.

В совокупности опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Примеры простых задач, решение которых необходимо для получения удовлетворительной оценки:

- В точке  $A$  направление поля  $E$  создаваемого диполем, противоположено направлению его дипольного момента, а в точке  $B$  их направления совпадают. Найти отношение расстояний от диполя до этих точек, если известно, что величина напряженности поля в них одинакова.
- В вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a$  находятся заряды  $e, e, -2e$ . Найдите поле  $E$  в точке, лежащей на линии проходящей через положительные заряды, на расстоянии  $L \gg a$  от треугольника.
- Тонкий диск радиуса  $R$  и толщины  $h$ , сделанный из диэлектрика с проницаемостью  $\varepsilon$ , расположен перпендикулярно внешнему однородному электрическому полю  $E_0$ . Найти суммарный дипольный момент его поляризационных зарядов.
- На границе воздух-масло (диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon = 2$  угол между вектором напряженности в воздухе и нормалью границы составляет  $1^\circ$ . Найти этот угол в масле.
- Найти поток напряженности поля диполя проходящий через сферу  $x^2 + y^2 + z^2 = R^2$ , если диполь находится в начале координат.
- Безграничный плоский слой диэлектрика с проницаемостью  $\varepsilon$  и толщиной  $2h$  равномерно заряжен с объемной плотностью заряда  $\rho_0$ . Определить напряженность поля  $E$  внутри и вне слоя.
- В вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a$  находятся заряды  $e, 2e, 3e$ . Найти значение суммы  $\operatorname{div} E$  для поля в центре треугольника.
- В вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a$  зафиксированы заряды  $-e, 2e, -3e$ . В центр треугольника помещен электрон. Найти скорость которую он в конечном итоге приобретет после того, как его отпустят.
- Известно, что в некоторой области пространства, заполненной непрерывно распределенным зарядом, потенциал описывается формулой  $\varphi(x) = \varphi_0[1 - x/d + (x/d)^2 - (x/d)^3 + (x/d)^4]$ . Найти координаты точки, в которой плотность положительного заряда максимальна.
- Найти энергию сферы радиуса  $R$  с равномерно распределенным на ней зарядом  $Q$ .
- Между круглыми металлическими обкладками радиуса  $R$ , находящимися на расстоянии  $d$  друг от друга, осесимметричным образом поместили металлический диск такого же диаметра и толщиной  $2d/3$ . Найти емкость получившегося конденсатора.
- Вывести формулу плотности энергии электрического поля из энергии плоского конденсатора.
- Стая саранчи пролетела через грозовую тучу, из-за чего насекомые наэлектризовались – теперь на каждой особи находится по 100 нескомпенсированных электронов. Скорость саранчи 54 км/ч, среднее расстояние между насекомыми 25 см. Найти среднюю плотность тока стаи.
- В проводнике имеющем удельное сопротивление  $\rho$  и заполняющем все пространство вокруг, между точками 1 и 2 создана разность потенциалов  $\Delta U$ . Найти контурный интеграл  $\int \mathbf{j} ds$ , где  $\mathbf{j}$  – плотность тока в проводнике, а контуром является окружность соединяющая точки 1 и 2.
- Два перпендикулярно направленных бесконечных провода находятся на расстоянии  $L$ . По проводам текут одинаковые токи  $I$ . Найти величину и направление магнитного поля в середине минимального отрезка соединяющего линии проводов.
- По проводящему колечку радиуса  $r$  течет ток  $I$ . Найдите создаваемое им магнитное

поле, в точке, лежащей в плоскости колечка на расстоянии  $L \gg r$  от его центра.

- В некоторой области пространства магнитное поле имеет вид  $\mathbf{B} = B_0 \cdot (0, 0, x^2 + y^2)$ . Найдите векторное выражение для плотности тока текущего в этой области.
- Используя теорему о циркуляции, найти поле длинного соленоида на расстоянии  $a/2$  от его оси, где  $a$  – радиус соленоида. Длина соленоида –  $l$ , количество витков –  $N$ , текущий ток –  $I$ .
- Тонкий стержень из вещества с магнитной восприимчивостью  $\mu$  помещен вдоль магнитного поля  $\mathbf{B}_0$ . Найти суммарный магнитный дипольный момент его молекулярных токов.
- Соленоид радиуса  $a$  с текущим по нему переменным током продет через проводящее кольцо с сопротивлением  $R$ . Известно, что в кольце течет ток  $I = I_0 \cos(\omega t)$ . Найти магнитное поле в соленоиде. (Индуктивностью кольца пренебречь)
- В некоторой области пространства имеется переменное вихревое электрическое поле:  $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = A \sin \omega t \cdot (-y, x, 0)$ . Найдите магнитное поле в этой области.
- Найти индуктивность длинного соленоида имеющего радиус  $a$ , длину  $l$  и число витков  $N$ .
- После того как катушку индуктивности  $L$ , имеющую сопротивление  $R$ , отключили от источника питания и одновременно замкнули накоротко, в ней выделилось тепло  $Q$ . Найти ток, который был в катушке до отключения.
- Расстояние между круглыми обкладками плоского воздушного конденсатора равно  $d$ . На него подается напряжение  $U_0 \cos(\omega t)$ . Найти распределение магнитного поля между обкладками.
- Амплитуда свободных колебаний в колебательном контуре падает в  $e$  раз за 100 колебаний. Найти добротность контура.
- Амплитуда свободных колебаний в колебательном контуре падает в  $e$  раз за 0.01 секунды. Найти индуктивность контура  $L$ , если его сопротивление  $R = 4$  Ом.
- Известно, что при частоте вынуждающего напряжения  $\omega = 0.99 / \sqrt{LC}$ , амплитуда колебаний в колебательном контуре в  $\sqrt{2}$  меньше, чем в резонансе. Найти добротность контура.
- Катушка индуктивности с  $L = 0.001$  Г соединена параллельным образом с конденсатором  $C = 1$  нФ. Найти импеданс получившегося участка цепи при частоте  $\omega = 10^6$  с $^{-1}$ .
- Цепь состоит из конденсатора  $C = 10$  нФ, последовательно соединенного с сопротивлением  $R$ . Найти значение  $R$ , если при частоте напряжения  $\omega = 10^6$  с $^{-1}$  фазовый сдвиг между током и напряжением составил  $10^{-2}$  рад.