

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор по образовательной  
деятельности

\_\_\_\_\_ С.Т. Князев  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1146954	Дополнительные главы теоретической физики

Екатеринбург

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Электроника и наноэлектроника	<b>Код ОП</b> 1. 11.03.04/33.01
<b>Направление подготовки</b> 1. Электроника и наноэлектроника	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 11.03.04

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Чолах Сеиф Османович	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	электрофизики

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ **Дополнительные главы теоретической физики**

## 1.1. Аннотация содержания модуля

В состав модуля входят дисциплины теоретической физики. Модуль посвящен изучению основ классической макроскопической электродинамики или электродинамики сплошных сред, а именно, основных разделов, рассматривающих электромагнитные взаимодействия и поля в пространстве, заполненном веществом, и изменения самой среды под действием электромагнитного поля. Излагаются основные понятия и законы электродинамики, а также методы исследования свойств систем зарядов и токов. В частности, анализируется система базовых уравнений Максвелла и вытекающие из этих уравнений следствия. Рассматриваются основные задачи электродинамики сплошных сред и некоторые вопросы микроскопической электродинамики. Также в модуле рассматривается феноменологическая термодинамика равновесных систем, равновесные свойства идеальных и слабонеидеальных классических систем, фазовые переходы и критические явления.

## 1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Электродинамика	4
2	Термодинамика и статистическая физика	4
ИТОГО по модулю:		8

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	1. Основы теоретической физики
Постреквизиты и кореквизиты модуля	Не предусмотрены

## 1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Термодинамика и статистическая физика	ПК-12 - Способность применять знания физико-химических и технологических основ	З-1 - Объяснять фундаментальные законы природы и основные физические законы в области механики, термодинамики,

	<p>получения и использования пучков корпускулярного и электромагнитного излучения, электрического разряда в газах и вакууме, потоков плазмы для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне</p>	<p>электричества и магнетизма, оптики и атомной физики</p> <p>З-2 - Различать основы физики плазмы, процессы переноса в плазме, поведения плазмы в магнитном поле, взаимодействия плазмы с твердым телом, современных плазменных технологий</p> <p>З-3 - Описывать современные представления об энергетических состояниях и методах заселения квантовых систем, генерации, усиления и использования мощных потоков излучения оптического диапазона, методик их регистрации и управления характеристиками таких потоков</p> <p>У-1 - Определять оптимальные математические методы, физические и химические законы для решения практических задач</p> <p>У-2 - Рассчитывать характеристики плазмы по заданным параметрам, делать оценки скорости дрейфового движения частиц в плазме, объяснить влияние магнитных полей простой конфигурации на поведение плазмы</p> <p>У-3 - Самостоятельно рассчитывать параметры лазерных излучателей</p> <p>П-1 - Иметь практический опыт применения законов физики</p> <p>П-2 - Иметь практический опыт использования полученных знаний при работе с современными электрофизическими установками и ускорителями, в энергетике, электронике</p> <p>П-3 - Иметь практический опыт работы с современными квантовыми оптическими генераторами</p>
<p>Электродинамика</p>	<p>ОПК-1 - Способен формулировать и решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя фундаментальные знания основных закономерностей</p>	<p>З-1 - Привести примеры основных закономерностей развития природы, человека и общества</p> <p>З-2 - Обосновать значимость использования фундаментальных естественнонаучных и философских знаний в формулировании и</p>

	<p>развития природы, человека и общества</p>	<p>решении задач профессиональной деятельности знаний</p> <p>У-1 - Использовать понятийный аппарат и терминологию основных закономерностей развития природы, человека и общества при формулировании и решении задач профессиональной деятельности</p> <p>У-2 - Определять конкретные пути решения задач профессиональной деятельности на основе фундаментальных естественнонаучных знаний</p> <p>П-1 - Работая в команде, формулировать и решать задачи в рамках поставленного задания, относящиеся к области профессиональной деятельности</p> <p>Д-1 - Демонстрировать умение эффективно работать в команде</p>
	<p>ОПК-3 - Способен проводить исследования и изыскания для решения прикладных инженерных задач относящихся к профессиональной деятельности, включая проведение измерений, планирование и постановку экспериментов, интерпретацию полученных результатов</p>	<p>З-1 - Изложить основные приемы и методы проведения исследований и изысканий, которые могут быть использованы для решения поставленных прикладных задач, относящихся к профессиональной деятельности</p> <p>З-2 - Характеризовать возможности доступной исследовательской аппаратуры для реализации предложенных приемов и методов решения поставленных прикладных инженерных задач относящихся к профессиональной деятельности</p> <p>З-3 - Описать последовательность действий при обработке и интерпретации полученных результатов исследований и изысканий</p> <p>У-1 - Обосновать выбор приемов, методов и соответствующей аппаратуры для проведения исследований и изысканий, которые позволят решить поставленные прикладные задачи, относящиеся к профессиональной деятельности</p> <p>У-2 - Определять перечень необходимых ресурсов и временные затраты при составлении плана проведения исследований и изысканий</p>

		<p>У-3 - Анализировать и объяснить полученные результаты исследований и изысканий</p> <p>П-1 - Подготовить и провести экспериментальные измерения, исследования и изыскания для решения поставленных прикладных задач, относящихся к профессиональной деятельности</p> <p>П-2 - Представить интерпретацию полученных результатов в форме научного доклада (сообщения)</p> <p>П-3 - Составить план проведения исследований и изысканий, включающий перечень необходимых ресурсов и временные затраты</p> <p>Д-1 - Проявлять заинтересованность в содержании и результатах исследовательской работы</p>
	<p>ПК-12 - Способность применять знания физико-химических и технологических основ получения и использования пучков корпускулярного и электромагнитного излучения, электрического разряда в газах и вакууме, потоков плазмы для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне</p>	<p>З-1 - Объяснять фундаментальные законы природы и основные физические законы в области механики, термодинамики, электричества и магнетизма, оптики и атомной физики</p> <p>З-2 - Различать основы физики плазмы, процессы переноса в плазме, поведения плазмы в магнитном поле, взаимодействия плазмы с твердым телом, современных плазменных технологий</p> <p>З-3 - Описывать современные представления об энергетических состояниях и методах заселения квантовых систем, генерации, усиления и использования мощных потоков излучения оптического диапазона, методик их регистрации и управления характеристиками таких потоков</p> <p>У-1 - Определять оптимальные математические методы, физические и химические законы для решения практических задач</p> <p>У-2 - Рассчитывать характеристики плазмы по заданным параметрам, делать оценки скорости дрейфового движения частиц в плазме, объяснить влияние магнитных</p>

		<p>полей простой конфигурации на поведение плазмы</p> <p>У-3 - Самостоятельно рассчитывать параметры лазерных излучателей</p> <p>П-1 - Иметь практический опыт применения законов физики</p> <p>П-2 - Иметь практический опыт использования полученных знаний при работе с современными электрофизическими установками и ускорителями, в энергетике, электронике</p> <p>П-3 - Иметь практический опыт работы с современными квантовыми оптическими генераторами</p>
--	--	---

### **1.5. Форма обучения**

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Электродинамика**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Зверев Владимир Владимирович	доктор физико- математических наук, доцент	Профессор	теоретической физики и прикладной математики

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Физико-технологический**

Протокол № 9 от 14.05.2021 г.



# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Зверев Владимир Владимирович, Профессор, теоретической физики и прикладной математики

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Уравнения Максвелла	Уравнения Максвелла в дифференциальной форме в абсолютной (гауссовой) системе единиц СГС. Связь между напряженностями электрического и магнитного и соответствующими индукциями. Электрическая и магнитная поляризации. Случай линейной связи между напряженностями полей и индукциями, электрическая и магнитная восприимчивости. Выражение для силы Лоренца.  Уравнения Максвелла в интегральной форме. Уравнения Максвелла в рационализированной системе единиц МКСА (системе СИ). Электрическая и магнитная проницаемости вакуума. Правила перехода между системами единиц.
2	Обобщенные функции	Обращение преобразования разложения в ряд Фурье; идея введения дельта-функции. Использование дельта-функции для представления пространственной плотности заряда и плотности тока в случае системы точечных частиц.  Использование дельта-функции при интегрировании по пространственным переменным. Примеры выполнения действий с использованием обобщенных функций, построенных на основе дельта-функции. Правила "снятия" интегралов для случаев, когда подынтегральная функция содержит дельта-функцию, аргументом которой является линейная функция; дифференцируемая функция, обращающаяся в ноль.

3	Электрическая поляризация в диэлектриках	Физическая природа электрической поляризации диэлектриков. Коэффициент поляризации (диэлектрическая восприимчивость) и диэлектрическая проницаемость. Плотность нескомпенсированного (связанного) заряда, ее связь с плотностью поляризации.
4	Магнитная поляризация и магнитная проницаемость	Физическая природа магнитной поляризации магнетиков. Магнитные моменты атомов с точки зрения классической и квантовой физики. Орбитальные и собственные (спиновые) моменты электронов. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Плотность тока поляризации и плотность тока намагничения. Уравнение непрерывности для плотности тока поляризации. Связь между полем намагничения и распределением магнитных моментов атомов. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость.
5	Закон Ома в дифференциальной форме	Закон Ома в дифференциальной форме. Поле сторонних сил; ЭДС. Проводимость изотропной и анизотропной среды.
6	Условия на границах раздела сред	Условия на границе раздела сред; их вывод из уравнений Максвелла в интегральной форме. Поверхностные плотность зарядов и плотность токов.
7	Плотность силы Лоренца. Энергия поля	Плотности силы Лоренца, выраженная через плотность зарядов и плотность токов. Плотность мощности, связанной с работой силы Лоренца; полная мощность для некоторой области. Уравнение баланса энергии, учитывающее поток энергии через граничную поверхность. Плотность энергии электромагнитного поля. Вектор Умова-Пойнтинга.
8	Электростатическое поле	<p>Уравнения электростатики. Введение скалярного потенциала электростатического поля; уравнение Пуассона для потенциала. Решение в случае одиночного точечного заряда; системы зарядов. Представление уравнения Пуассона в форме уравнения для функции Грина. Решение уравнения для функции Грина. Выражение для потенциала, создаваемого непрерывным распределением зарядов. Энергия электростатического взаимодействия зарядов (случай непрерывного распределения зарядов, системы точечных зарядов).</p> <p>Мультипольное разложение для электростатического потенциала. Член, связанный с наличием нескомпенсированного заряда, дипольный и квадрупольный члены. Общий вид мультипольного разложения, записанного с использованием полиномов и присоединенных полиномов (функций) Лежандра; с помощью сферических функций. Мультипольное разложение для энергии системы зарядов, находящихся во внешнем поле; силы, действующей на систему зарядов. Энергия взаимодействия двух систем зарядов.</p> <p>Потенциал двойного слоя. Связь между потенциалом в некоторой точке пространства и телесным углом, под которым поверхность видна из этой точки. Скачок потенциала на поверхности двойного слоя.</p> <p>Потенциал поля связанных зарядов; его связь с поляризацией среды. Вектор Герца.</p>

		<p>Решение уравнения Лапласа в сферических координатах. Запись общего решения в виде ряда с использованием присоединенных полиномов (функций) Лежандра. Асимптотическое поведение отдельных членов ряда при стремлении радиальной переменной к нулю; к бесконечности.</p> <p>Проводник во внешнем электростатическом поле. Электрическое поле, скалярный потенциал, плотность зарядов внутри проводника. Поверхностное распределение зарядов. Граничное условие на поверхности проводника. Задача о проводящем шаре, помещенном во внешнее электрическое поле, которое вдали от шара является однородным. Потенциал вблизи шара, распределение заряда на поверхности шара, дипольный момент шара.</p> <p>Задача о шаре из диэлектрика, помещенном во внешнее электрическое поле, являющееся вдали от шара однородным. Граничные условия на поверхности диэлектрика. Потенциал вблизи шара, во внутренних точках шара. Плотность поляризации диэлектрика, дипольный момент шара, поверхностный заряд.</p> <p>Метод отражений. Поле, создаваемое точечным зарядом, находящимся вблизи плоской граничной поверхности проводника, который заполняет полупространство.</p>
9	Векторный потенциал. Калибровочная инвариантность	Введение векторного потенциала. Калибровочное преобразование и калибровочная инвариантность. Калибровка Кулона и калибровка Лоренца.
10	Магнитостатическое поле	<p>Уравнения магнитостатики. Векторный потенциал. Уравнение Пуассона для векторного потенциала; его решение. Закон Био-Савара.</p> <p>Мультипольное разложение для векторного потенциала в магнитостатическом приближении. Магнитно-дипольный вклад в векторный потенциал. Магнитный момент системы движущихся зарядов; его связь с механическим моментом.</p> <p>Силы, действующие на магнитный диполь. Уравнение движения магнитного момента, находящегося во внешнем магнитном поле. Ларморовская прецессия. Гиромагнитное отношение. Добавление в уравнение движения членов релаксации (трения). Магнитный резонанс.</p> <p>Векторный потенциал, описывающий поле однородно намагниченной среды. Уравнение Пуассона для магнитного вектора Герца; его решение. Скалярный магнитный потенциал. Магнитные заряды. Энергия магнитного поля и энергия взаимодействия стационарных токов.</p>
11	Волновые решения уравнений Максвелла	Волновые решения уравнений Максвелла. Волновые уравнения для электрического и магнитного полей. Плоская волна в пространстве. Волновой вектор; его связь с частотой колебаний (случай волны в вакууме). Связь между направлениями волнового вектора, векторов электрического и магнитного поля.

		<p>Волновые уравнения для потенциалов. Поле, создаваемое неподвижным точечным зарядом, величина которого зависит от времени. Сферические волны. Опережающее и запаздывающее решения. Отбор решения, удовлетворяющего принципу причинности. Общие выражения для скалярного и векторного потенциалов, создаваемых зависящими от времени распределениями зарядов и токов, с учетом эффекта запаздывания.</p> <p>Поле, создаваемое точечным зарядом, движущимся по заданной траектории. Потенциалы Льенара-Вихерта. Связь между спектральными компонентами потенциалов и плотностей зарядов (плотностей токов). Спектральные функции (фурье-образы) потенциалов полей, создаваемых одиночным движущимся зарядом. Явные выражения для напряженностей полей, создаваемых движущимся зарядом. Поле, создаваемое зарядом, движущимся равномерно. Поле излучения, порождаемое зарядом, движущимся ускоренно.</p> <p>Поле, создаваемое системой движущихся зарядов, вдали от области локализации. Отбор члена мультипольного разложения, убывающего с ростом расстояния наиболее медленно. Электрическое и магнитное поле, выраженные через скорость изменения векторного потенциала. Напряженности поля излучения в дипольном приближении. Перенос энергии при дипольном излучении: энергия, излучаемая в заданный телесный угол в единицу времени; полная мощность (интенсивность) излучения. Электрическое квадрупольное и магнитное дипольное излучение; соответствующие вклады в векторный потенциал, электрическое и магнитное поле, полную интенсивность излучения.</p> <p>Значения электрического и магнитного полей с точки зрения неподвижного наблюдателя и наблюдателя, движущегося с постоянной скоростью. Постулаты теории относительности. Инерционные системы отсчета; преобразование Лоренца. Формулы, связывающие значения полей, соответствующие различным инерционным системам отсчета. Инвариантность некоторых условий, налагаемых на значения полей.</p>
12	<p>Переменное электромагнитное поле в однородной среде</p>	<p>Переменное электромагнитное поле в однородной среде. Приближение линейного отклика. Диэлектрическая и магнитная проницаемости, зависящие от частоты. Вещественная и мнимая части диэлектрической проницаемости. Связь между мнимой частью диэлектрической проницаемости и проводимостью среды. Соотношения Крамерса-Кронига.</p> <p>Монохроматическое электромагнитное поле и плоская волна в среде. Связь между волновым вектором и частотой. Коэффициент преломления, фазовая скорость волны. Отражение и преломление электромагнитных волн на границе раздела двух сред: равенство углов падения и отражения, закон Снеллиуса, явные выражения для амплитуд электрического поля отраженной и преломленной волн.</p> <p>Метаматериалы. Скин-эффект.</p>

<b>13</b>	Электродинамика и теория относительности	<p>Скорость распространения взаимодействия. Принцип относительности в классической физике. Инерциальные системы отсчета. Преобразование Галилея. Гипотеза эфира. Опыт Майкельсона-Морли. Принцип относительности Эйнштейна. Интервал. Преобразования Лоренца. Световой конус. 4-векторы и 4-тензоры.</p> <p>Релятивистские энергия и импульс. Уравнение движения релятивистской заряженной частицы в электромагнитном поле. Связь между энергией и импульсом частицы. Зависимость энергии от времени. 4-тензор электромагнитного поля. Законы сохранения. Волновые уравнения для потенциалов в 4-векторной форме. Уравнения Максвелла. Закон сохранения заряда. Закон сохранения энергии-импульса.</p>
-----------	--	--

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология самостоятельной работы	ПК-12 - Способность применять знания физико-химических и технологических основ получения и использования пучков корпускулярного и электромагнитного излучения, электрического разряда в газах и вакууме, потоков плазмы для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне	<p>У-1 - Определять оптимальные математические методы, физические и химические законы для решения практических задач</p> <p>П-1 - Иметь практический опыт применения законов физики</p> <p>П-2 - Иметь практический опыт использования полученных знаний при работе с современными электрофизическими установками и ускорителями, в энергетике, электронике</p>

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## **2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Электродинамика**

#### **Электронные ресурсы (издания)**

1. Медведев, Б. В.; Начала теоретической физики: Механика, теория поля, элементы квантовой механики : учебное пособие.; Физматлит, Москва; 2007; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69239> (Электронное издание)
2. Алексеев, А. И.; Сборник задач по классической электродинамике; Наука, Москва; 1977; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=492374> (Электронное издание)
3. Тамм, И. Е.; Основы теории электричества : учебное пособие.; Физматлит, Москва; 2003; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69243> (Электронное издание)
4. Ландау, Л. Д.; Электродинамика сплошных сред; Государственное издательство физико-математической литературы, Москва; 1959; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=474070> (Электронное издание)
5. Джексон, Д. Д., Воскресенский, Г. В., Соловьев, Л. С., Бурштейн, Э. Л.; Классическая электродинамика; Издательство "МИР", Москва; 1965; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=213805> (Электронное издание)
6. Терлецкий, Я. П.; Электродинамика; Высшая школа, Москва; 1980; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=492478> (Электронное издание)
7. Левич, В. Г.; Курс теоретической физики; Наука, Москва; 1969; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=494682> (Электронное издание)
8. Савельев, И. В.; Основы теоретической физики; Наука, Москва; 1977; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=494691> (Электронное издание)

#### **Печатные издания**

1. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М., Е. М.; Теоретическая физика : учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов : в 10 т. Т. 2. Теория поля. - 7-е изд., испр.; Наука, Москва; 1988 (95 экз.)
2. Иродов, И. Е.; Электромагнетизм. Основные законы : [учебник для студентов физ. специальностей вузов]; Лаборатория Базовых Знаний : Физматлит, Москва; 2002 (2 экз.)
3. Покровский, В. В.; Электромагнетизм. Методы решения задач : [учеб. пособие].; БИНОМ. Лаборатория знаний, Москва; 2007 (21 экз.)
4. Батыгин, В. В., Бредов, М. М.; Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности : учеб. пособие [для вузов].; Лань, Санкт-Петербург [и др.]; 2010 (51 экз.)
5. Крамм, М. Н.; Сборник задач по основам электродинамики : учеб. пособие для вузов.; Лань, Санкт-Петербург [и др.]; 2011 (1 экз.)
6. Фальковский, О. И.; Техническая электродинамика : учебник.; Лань, Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар; 2009 (1 экз.)
7. Батыгин, В. А., Топтыгин, И. Н.; Современная электродинамика : Учеб. пособие. Ч. 1. Микроскопическая теория; Институт компьютерных исследований, Москва; Ижевск; 2003 (1 экз.)
8. Бредов, М. М., Румянцев, В. В., Топтыгин, И. Н.; Классическая электродинамика : учеб. пособие.; Лань, Санкт-Петербург [и др.]; 2003 (2 экз.)
9. Савельев, И. В.; Основы теоретической физики : В 2 т. Т. 1. Механика. Электродинамика; Наука,

Москва; 1991 (38 экз.)

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

1. Полнотекстовая БД American Chemical Society (<http://pubs.acs.org/>).
2. Полнотекстовая БД American Institute of Physics (<http://scitation.aip.org/>).
3. Полнотекстовая БД American Physical Society (<https://journals.aps.org/about>).
4. Полнотекстовая БД Annual Reviews Science Collection (<http://www.annualreviews.org>).
5. Полнотекстовая БД Applied Science & Technology Source (<http://search.ebscohost.com>).
6. Полнотекстовая БД eLibrary - научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru>).
7. Реферативная БД INSPEC. EBSCO publishing (<http://search.ebscohost.com/>).
8. Полнотекстовая БД Institute of Physics (IOP) (<http://iopscience.iop.org/>).
9. Библиографическая БД Journal Citation Reports (JCR). Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com/>).
10. Полнотекстовая БД Nature (<https://www.nature.com/siteindex>).
11. Полнотекстовая БД Optical Society of America (OSA) (<https://www.osapublishing.org/about.cfm>).
12. Полнотекстовая БД Questel Patent (<https://www.orbit.com/>).
13. Полнотекстовая БД Science AAAS (American Association for the Advancement of Science) (<http://www.sciencemag.org/>).
14. Полнотекстовая БД ScienceDirect Freedom Collection (<http://www.sciencedirect.com/>).
15. Реферативная БД Scopus (<http://www.scopus.com/>).
16. Полнотекстовая БД Springer Materials (<https://materials.springer.com/>).
17. Полнотекстовая БД Springer Nature Experiments (<https://experiments.springernature.com/>).
18. Полнотекстовая БД SpringerLink (<https://link.springer.com/>).
19. Реферативная БД Web of Science Core Collection (<http://apps.webofknowledge.com/>).
20. Полнотекстовая БД Wiley Journal Database (<http://onlinelibrary.wiley.com/>).

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. ООО Научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>).
2. Зональная научная библиотека УрФУ (<http://lib.urfu.ru>).
3. Электронный научный архив УрФУ (<https://elar.urfu.ru>).

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Электродинамика

Сведения об оснащении дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	Mathematica10.2 Educational Network Increment Bundled List Price Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Maple 11 Mathcad University Department Perpetual - 400 Locked Maintenance Gold ver. 14
3	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	Mathematica10.2 Educational Network Increment Bundled List Price Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Maple 11 Mathcad University Department Perpetual - 400 Locked Maintenance Gold ver. 14
4	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	Не требуется



		Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	<b>Не требуется</b>

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Термодинамика и статистическая физика**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Медведев Анатолий Иванович	кандидат физико- математических наук, доцент	Доцент	электрофизики

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Физико-технологический**

Протокол № 9 от 14.05.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- **Медведев Анатолий Иванович, Доцент, электрофизики**

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Введение	Цели и задачи курса. Его место в образовательной программе. Краткие исторические сведения. Основные понятия: теплота и температура, макросистема и её свойства, термостат. Термодинамическое состояние. Термодинамические величины: параметры, функции состояния, потенциалы. Внешние и внутренние переменные. Тепловое равновесие – нулевое начало термодинамики, транзитивность.
2	Классификация термодинамических систем	Термодинамический контакт. Адиабатическая стенка. Процессы изменения состояния. Инфинитезимальный и квазистатический процессы. Обратимость. Понятие о циклическом процессе.
3	Первый закон термодинамики – закон сохранения энергии	Понятие о внутренней энергии системы, как однозначной функции термодинамических параметров. Невозможность вечного двигателя первого рода. Теплота и работа. Классификация видов энергии. Энтальпия. Применение I-го закона термодинамики к квазистатическим процессам.
4	Температура	Уточнение понятия температура, её свойства, определяемые законом транзитивности. Направление спонтанных процессов. Шкалы температур. Теплоёмкость. Закон Джоуля. Формула Майера. Уравнения состояния.
5	Второй закон термодинамики	Многообразие его формулировок, как отражение сложности процессов преобразования тепла в работу. Основные формулировки 2-го закона термодинамики, их эквивалентность. Циклически работающая тепловая машина.

		Невозможность вечного двигателя второго рода. Цикл Карно, лемма Карно. Абсолютность температуры. Газовый термометр.
6	Свободная энергия системы	Свободная энергия системы – дифференциальное определение. Математические теоремы об интегрирующем множителе линейных форм в полных дифференциалах. Основное уравнение термодинамики обратимых процессов. Свободная энергия системы – интегральное определение.
7	Энтропия	Теорема Клаузиуса. Следствия основного уравнения термодинамики обратимых процессов, относящиеся к равновесным состояниям. Максимальная и минимальная работа. Свойства энтропии. Физические примеры. Направление реальных процессов.
8	Термодинамические функции	Преобразования Лежандра. Определение термодинамических величин и термодинамических соотношений. Соотношения взаимности Максвелла. Уравнение Гиббса-Дюгема.
9	Третий закон термодинамики	Третий закон термодинамики – теорема Нернста - Планка. Следствия третьего закона термодинамики. Методы охлаждения газов.
10	Равновесное излучение	Равновесное излучение. Законы Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана для равновесного излучения.
11	Характеристические функции	Характеристические функции
12	Неравновесные состояния и неравновесные процессы	Энтропия в неравновесном состоянии. Изменение энтропии при необратимом неравновесном процессе. Обобщение теоремы Клаузиуса. Свободная энергия в неравновесном состоянии. Изменение свободной энергии при необратимом процессе.
13	Условия равновесия системы	Фаза. Устойчивость системы, состоящей из одной фазы. Термодинамическое описание фазового перехода. Классификация фазовых переходов. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Равновесие трёх фаз. Равновесие в системе, состоящей из нескольких фаз переменного состава. Правило фаз Гиббса.
14	Поверхностная энергия и поверхностное натяжение	Роль поверхностного натяжения при образовании новой фазы. Критический радиус. Критическая точка.
15	Статистическая физика	Основные положения и определения. Краткие исторические сведения. Ограниченность термодинамического подхода и невозможность точного аналитического описания.
16	Метод Гиббса	Основные определения. Классическая Гамильтонова динамика микросостояний системы. Фазовое пространство. Фазовая траектория. Фазовый объём. Фазовый ансамбль. Функция распределения. Вероятность нахождения состояний системы в элементе фазового пространства. Теорема Лиувилля. Макроскопические величины как фазовые средние. Эргодическая гипотеза.
17	Стационарные функции распределения	Микроканоническое распределение Гиббса для адиабатических изолированных систем. Малость относительных флуктуаций внутренних параметров макросистемы и их исчезновение в термодинамическом пределе. Каноническое распределение

		Гиббса для замкнутой системы в термостате. Физический смысл параметров канонического распределения. Интеграл состояний. Выражение термодинамических функций через интеграл состояний. Флуктуации энергии в каноническом ансамбле. Большой канонический ансамбль, физический смысл его параметров.
18	Классический идеальный газ	Одночастичная функция распределения. Распределение Максвелла-Больцмана. Максвелловское распределение частиц по скоростям, импульсам и энергиям. Больцмановское распределение частиц по координатам во внешнем силовом поле. Барометрическая формула.
19	Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы	Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Теплоёмкость идеального газа. Парадокс Гиббса. Ограниченность классической статистической физики.
20	Основные определения квантовой статистической физики	Ансамбли в квантовой статистике. Статистическая сумма. Статистический вес состояния.
21	Функции распределения в квантовой статистике	Статистика Максвелла-Больцмана. Квантовый осциллятор и квантовый ротатор. Квантовая теория теплоёмкости. Идеальный Бозе-газ. Статистика Бозе-Эйнштейна. Применение статистики Бозе-Эйнштейна к фотонному газу. Конденсация Бозе-газа. Представление о сверхтекучем состоянии He4. Идеальный Ферми-газ. Статистика Ферми-Дирака. Высоко и низкотемпературные пределы. Электроны в металле. Теплоёмкость вырожденного электронного газа.
22	Заключение	Проблемы статистического и термодинамического рассмотрения макросистем. Парадоксы обратимости и возврата.

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология самостоятельной работы	ПК-12 - Способность применять знания физико-химических и технологических основ получения и использования пучков корпускулярного и электромагнитного излучения, электрического разряда в газах и вакууме, потоков	У-1 - Определять оптимальные математические методы, физические и химические законы для решения практических задач П-1 - Иметь практический опыт применения

			плазмы для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне	законов физики
--	--	--	--	----------------

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Термодинамика и статистическая физика

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Михельсон, В. А.; Физика Молекулярная физика. Термодинамика; Объединенное научно-техническое издательство (Ленинград), Москва|Ленинград; 1938; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=105169> (Электронное издание)
2. Ефремов, Ю. С.; Статистическая физика и термодинамика : учебное пособие.; Директ-Медиа, Москва|Берлин; 2015; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428682> (Электронное издание)
3. Самойлович, А. Г.; Термодинамика и статистическая физика : учебное пособие.; Государственное технико-теоретическое изд-во, Москва; 1955; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=255755> (Электронное издание)
4. Алтунин, К. К.; Статистическая физика и термодинамика : учебно-методическое пособие.; Директ-Медиа, Москва; 2014; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240555> (Электронное издание)
5. Кондратьев, А. С.; Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории : учебное пособие.; Физматлит, Москва; 2007; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68401> (Электронное издание)
6. Румер, Ю. Б.; Термодинамика, статистическая физика и кинетика; Наука, Москва; 1977; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=482845> (Электронное издание)
7. Терлецкий, Я. П.; Статистическая физика; Высшая школа, Москва; 1973; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=482849> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Ландау, Л. Д.; Теоретическая физика : Учеб. пособие для физ. спец. ун-тов : В 10 т. Т. 5. Статистическая физика, ч.1. - 4-е изд., испр.; Наука, Москва; 1995 (25 экз.)
2. Лифшиц, Е. М., Ландау, Л. Д., Питаевский, Л. П.; Статистическая физика : Учеб. пособие для физ. спец. ун-тов. Ч. 2. Теория конденсированного состояния; Физматлит., Москва; 2000 (1 экз.)
3. Леонтович, М. А.; Введение в термодинамику. Статистическая физика : [учеб. пособие].; Лань, Санкт-Петербург [и др.]; 2008 (2 экз.)
4. Климонтович, Ю. Л.; Статистическая физика : Учеб. пособие для физ. специальностям вузов.; Наука, Москва; 1982 (5 экз.)

#### Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Полнотекстовая БД American Chemical Society (<http://pubs.acs.org/>).
2. Полнотекстовая БД American Institute of Physics (<http://scitation.aip.org/>).

3. Полнотекстовая БД American Physical Society (<https://journals.aps.org/about>).
4. Полнотекстовая БД Annual Reviews Science Collection (<http://www.annualreviews.org>).
5. Полнотекстовая БД Applied Science & Technology Source (<http://search.ebscohost.com>).
6. Полнотекстовая БД eLibrary - научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru>).
7. Реферативная БД INSPEC. EBSCO publishing (<http://search.ebscohost.com/>).
8. Полнотекстовая БД Institute of Physics (IOP) (<http://iopscience.iop.org/>).
9. Библиографическая БД Journal Citation Reports (JCR). Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com/>).
10. Полнотекстовая БД Nature (<https://www.nature.com/siteindex>).
11. Полнотекстовая БД Optical Society of America (OSA) (<https://www.osapublishing.org/about.cfm>).
12. Полнотекстовая БД Questel Patent (<https://www.orbit.com/>).
13. Полнотекстовая БД Science AAAS (American Association for the Advancement of Science) (<http://www.sciencemag.org/>).
14. Полнотекстовая БД ScienceDirect Freedom Collection (<http://www.sciencedirect.com/>).
15. Реферативная БД Scopus (<http://www.scopus.com/>).
16. Полнотекстовая БД Springer Materials (<https://materials.springer.com/>).
17. Полнотекстовая БД Springer Nature Experiments (<https://experiments.springernature.com/>).
18. Полнотекстовая БД SpringerLink (<https://link.springer.com/>).
19. Реферативная БД Web of Science Core Collection (<http://apps.webofknowledge.com/>).
20. Полнотекстовая БД Wiley Journal Database (<http://onlinelibrary.wiley.com/>).

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Министерство образования и науки Российской Федерации (<http://минобрнауки.рф/>).
2. Федеральный портал «Российское образование» (<http://www.edu.ru/>).
3. ООО Научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>).
4. Зональная научная библиотека УрФУ (<http://lib.urfu.ru>).
5. Электронный научный архив УрФУ (<https://elar.urfu.ru>).
6. Официальный сайт Института электрофизики УрО РАН (<http://iep.uran.ru/>).

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Термодинамика и статистическая физика

#### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Доска аудиторная	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES  Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Доска аудиторная	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES  Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя	<b>Не требуется</b>
4	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Персональные компьютеры по количеству обучающихся  Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES  Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Доска аудиторная	<b>Не требуется</b>



