

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

УТВЕРЖДЕНО
Проректор по учебной работе

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Введение в теоретическую физику
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 120 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: Е.А. Дорофеев, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической физики им. Л.Д. Ландау 16.12.2023

Аннотация

Дисциплина нацелена на формирование развитие умений, основанных на полученных теоретических знаниях, позволяющих на творческом уровне создавать и применять физические модели для исследования оптических свойств объектов.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- дать студентам, поступившим в магистратуру и не имеющим необходимой подготовки по курсам базовой и вариативной части Б.3 кода УЦ ООП блока «Теоретическая физика» знания, необходимые для описания различных физических явлений методами теоретической физики, методы построения соответствующих математических моделей, показать соответствие системы постулатов, положенных в основу теории классической теории поля, квантовой механики и статистической физики, существующим экспериментальным данным, что позволяет считать теорию достоверной в области её применимости. Дать навыки, позволяющие понять как адекватность теоретической модели соответствующему физическому явлению, так и её пределы применимости.

Задачи дисциплины

- изучение математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической микроскопической электродинамики;
- изучение методов решения задач релятивистской кинематики и динамики и классической микроскопической электродинамики;
- изучение методов описания систем заряженных частиц и создаваемых ими электромагнитных полей, в том числе систем, взаимодействующих с внешним электромагнитным полем;
- овладение студентами методами релятивистской механики и классической микроскопической электродинамики для описания свойств различных конкретных физических систем.
- изучение математического аппарата нерелятивистской квантовой механики;
- изучение методов решения задач нерелятивистской квантовой механики;
- изучение методов решения задач, описывающих микроскопические (квантовые) системы;
- овладение студентами методами нерелятивистской квантовой механики одночастичных систем.

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
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения

научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- постулаты и принципы специальной теории относительности, релятивистской механики и классической микроскопической электродинамики, методы описания релятивистских частиц и систем заряженных частиц, а также электромагнитного поля, создаваемого заряженными частицами и взаимодействующего с ними;
- основные уравнения и свойства электромагнитного поля;
- основные методы математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической электродинамики: трехмерную тензорную алгебру, векторный анализ и аппарат четырехмерных векторов и тензоров;
- основные методы решения задач релятивистской кинематики и динамики и классической микроскопической электродинамики, включая движение заряженных частиц в электромагнитном поле и создание поля системами заряженных частиц;
- методы и способы описания излучения электромагнитных волн системами заряженных частиц;
- методы описания рассеяния электромагнитных волн заряженными частицами.
- постулаты и принципы квантовой механики, методы описания квантовых систем, связь состояний и операторов с наблюдаемыми и измеряемыми величинами;
- основные свойства точно решаемых моделей квантовых систем;
- основные приближенные методы решения задач квантовой механики: квазиклассическое приближение; стационарную и нестационарную теорию возмущений.

уметь:

- пользоваться аппаратом трехмерного векторного анализа;
- пользоваться аппаратом трехмерной тензорной алгебры;
- пользоваться аппаратом четырехмерных векторов и тензоров;
- решать кинематические задачи с участием релятивистских частиц;
- решать задачи о движении релятивистских заряженных частиц в заданном внешнем электромагнитном поле различной конфигурации;
- применять метод мультипольных моментов для решения задач электростатики и магнитостатики;
- решать задачи про излучение электромагнитных волн системами нерелятивистски движущихся заряженных частиц, используя мультипольные моменты;
- решать задачи про излучение электромагнитных волн релятивистски движущимися заряженными частицами.
- определять энергетические спектры и волновые функции в одномерных случаях;
- определять средние значения (физические величины) квантовых систем, если известны их волновые функции;
- определять состояния и классифицировать энергетические спектры частицы в симметричных потенциалах, в частности, обладающих аксиальной и центральной симметрией;
- решать простые модельные задачи и применять квазиклассическое приближение для оценки уровней энергии и вероятностей проникновения в одномерных потенциалах;
- применять стационарную теорию возмущений для нахождения поправок к уровням энергии и волновым функциям;
- применять нестационарную теорию возмущений для нахождения вероятностей переходов между состояниями.

владеть:

- основными методами математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической микроскопической электродинамики;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных как со свойствами систем заряженных частиц, взаимодействующих с электромагнитным полем, так и со свойствами самого электромагнитного поля, создаваемого заряженными частицами
- основными методами решения задач о нахождении состояний и энергетических спектров различных квантовых систем;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами микроскопических и наносистем, обладающих как дискретным, так и непрерывным спектрами.

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	Принцип относительности и преобразования Лоренца. Четырехмерное псевдоевклидово пространство Минковского и математический аппарат теории относительности	2	2		2
2	Движение свободной релятивистской частицы и релятивистская кинематика	3	3		2
3	Классическая система зарядов в электромагнитном поле	2	2		2
4	Уравнения Максвелла как обобщение опытных фактов	3	3		2
5	Энергия системы зарядов в электромагнитном поле.	2	2		2

6	Свободное электромагнитное поле. Излучение	3	3		2
7	Математический аппарат квантовой механики, теория представлений	2	2		2
8	Уравнение Шредингера и его свойства. Временная эволюция физической системы. Симметрии в квантовой механике и законы сохранения	3	3		2
9	Момент импульса	2	2		2
10	Задача двух тел. Движение в поле центрально-симметричного потенциала	3	3		4
11	Квазиклассическое приближение	2	2		4
12	Стационарная теория возмущений. Метод функции Грина. Теория рассеяния. Борновское приближение.	2	2		2
13	Нестационарная теория возмущений. Представление взаимодействия	1	1		2
14	Сложные (составные) системы	2	2		2
15	Методы описания тождественных частиц. Представление чисел заполнения	3	3		2
16	Свободное электромагнитное поле и его взаимодействие с системами зарядов	2	2		2
17	Описание незамкнутых квантовых систем. Матрица плотности.	2	2		2
18	Связь термодинамики и статистической физики.	2	2		2
19	Идеальный больцмановский газ.	3	3		2
20	Статистика и термодинамика систем с переменным числом частиц.	2	2		2
21	Идеальные ферми и бозе газы	2	2		2
22	Фазовые переходы I и II рода	3	3		2
23	Элементарные возбуждения в конденсированных средах	2	2		2
24	Уравнение Больцмана	2	2		4
25	Уравнение типа Фоккера Планка.	2	2		4
26	Неравновесная термодинамика	3	3		2
Итого часов		60	60		60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

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

Семестр: 7 (Осенний)

1. Принцип относительности и преобразования Лоренца. Четырёхмерное псевдоевклидово пространство Минковского и математический аппарат теории относительности

Однородность пространства и времени, изотропия пространства, инерциальные системы отсчёта. Мировая точка (событие) и мировая линия. Интервалы между событиями как мера расстояния в четырёхмерном пространстве-времени Минковского. Метрика четырёхмерного пространства. Преобразования Лоренца, их вывод и следствия из них. Векторы и тензоры в трёхмерном пространстве.

2. Движение свободной релятивистской частицы и релятивистская кинематика

Понятие точечной элементарной частицы, её 4-координата и мировая линия. Ковариантная формулировка принципа наименьшего действия в пространстве Минковского, функция Лагранжа свободной частицы. Энергия, импульс и гамильтониан свободной релятивистской частицы. 4-вектор импульса. Закон сохранения 4-импульса замкнутой системы как следствие однородности пространства-времени. Применение закона сохранения 4-импульса для описания упругих столкновений частиц. Неупругие столкновения и распады с образованием новых частиц.

3. Классическая система зарядов в электромагнитном поле

Скалярный и векторный потенциалы как компоненты 4-вектора. Электрическое и магнитное поля и их выражения через компоненты 4-потенциала. Калибровочная инвариантность. Лоренцева калибровка. Уравнения движения заряженной частицы в электромагнитном поле, сила Лоренца. Гамильтонова форма уравнений движения, гамильтониан. Связь обобщенного импульса с кинематическим

4. Уравнения Максвелла как обобщение опытных фактов

Фундаментальные законы Кулона, Био-Савара, Фарадея и их соответствие уравнениям Максвелла. Волновые уравнения, их вид в лоренцевой и кулоновской калибровках. Энергия электромагнитного поля, закон сохранения энергии, вектор Пойнтинга и тензор напряжений. Функция Грина волнового уравнения. Запаздывающие потенциалы.

5. Энергия системы зарядов в электромагнитном поле.

Взаимодействие системы зарядов со статическим электрическим полем. Разложение энергии взаимодействия по мультиполям, дипольный и квадрупольный моменты. Поле, создаваемое системой зарядов на больших расстояниях, поле диполя и квадрупольного поля. Взаимодействие систем зарядов, находящихся на больших расстояниях друг от друга. Взаимодействие системы зарядов, совершающей финитное движение с магнитным полем, гиромантическое отношение и магнитный момент системы зарядов

6. Свободное электромагнитное поле. Излучение

Решение волновых уравнений свободного электромагнитного поля в виде плоской монохроматической волны, поляризация. Энергия свободного электромагнитного поля. Разложение свободного поля по нормальным колебаниям - плоским монохроматическим волнам. Гамильтониан свободного электромагнитного поля. Излучение электромагнитного поля системой зарядов, квазистационарная и волновая зоны. Электрическое дипольное, квадрупольное и магнитное дипольное излучение. Потеря энергии системой зарядов на излучение, сила радиационного трения.

7. Математический аппарат квантовой механики, теория представлений

Состояние и пространство состояний, физические величины (наблюдаемые) и операторы, принцип суперпозиции, полнота описания квантовой системы, уравнение Шредингера. Понятие представления, координатное и импульсное представление, волновая функция, матричные элементы операторов. Задача на собственные значения. Эрмитовское сопряжение и эрмитовы операторы, свойства их собственных векторов. Гамильтоновы системы, классический и квантовый гамильтонианы. Эволюция физических величин во времени, скобки Пуассона. Квантовые скобки Пуассона - коммутаторы. Соответствие между физическими величинами и операторами. Соотношения неопределенностей для квантовых систем. Постулат коммутационного соотношения между операторами координаты и импульса. Представление операторов координаты и импульса в координатном и импульсном представлении. Функция от оператора, уравнение Шредингера в координатном и импульсном представлении.

8. Уравнение Шредингера и его свойства. Временная эволюция физической системы. Симметрии в квантовой механике и законы сохранения

Эволюция состояния во времени, оператор эволюции. Интегралы движения. Условия одновременной измеримости физических величин. Интегралы движения и полный набор физических величин. Вырождение спектра и неоднозначность выбора представления (способа описания) состояния квантовой системы. Понятие симметрии. Гармонический осциллятор как одна из точно решаемых моделей.

9. Момент импульса

Изотропия пространства и момент импульса. Оператор поворота и его связь с оператором импульса. Коммутационные соотношения для проекций оператора импульса. Собственные состояния системы, обладающей определенным значением импульса. Значения, которые может принимать момент импульса. Координатное представление оператора момента, собственные функции. Полуцелые значения и понятие спина.

10. Задача двух тел. Движение в поле центрально-симметричного потенциала

Задача двух тел в классической и квантовой механике. Гамильтониан системы в случае центрального взаимодействия. Разделение радиальных и угловых переменных в сферической системе координат. Угловая часть волновой функции и собственная функция оператора момента импульса. Вырождение энергетического спектра частицы в центральном поле. Кулоновское поле и атом водорода. Кулоновская и атомная система единиц. Энергетические спектр и состояния атома водорода, вырождение спектра водородоподобного атома. Классификация состояний атома водорода и частицы в произвольном центральном поле.

11. Квазиклассическое приближение

Действие в классической механике и уравнение Гамильтона-Якоби. Волновая функция стационарного состояния и ее выражение через квантовое действие. Уравнение для квантового действия, квазиклассическое разложение по степеням \hbar . Критерии применимости квазиклассического приближения, классически разрешенные и запрещенные области, вид волновой функции. Правило квантования Бора-Зоммерфельда и проникновение через потенциальный барьер. Понятие квазистационарных состояний, описание распада в квантовой механике.

12. Стационарная теория возмущений. Метод функции Грина. Теория рассеяния. Борновское приближение.

Постановка задачи теории возмущений, стационарный случай. Функция Грина стационарного уравнения Шредингера и ряд стационарной теории возмущений. Поправки к состояниям и уровням энергии дискретного спектра. Случай вырожденного энергетического спектра. Непрерывный спектр. Функция Грина свободной частицы. Интегральное уравнение и задача о рассеянии. Общий вид волновой функции частицы в задаче о рассеянии, упругое рассеяние. Амплитуда рассеяния и дифференциальное сечение рассеяния. Борновское приближение, особенности рассеяния медленных и быстрых частиц.

13. Нестационарная теория возмущений. Представление взаимодействия

Представление взаимодействия, ряд нестационарной теории возмущений, понятие хронологизованного произведения, T-хр Функция Грина нестационарного уравнения Шредингера. Представление ряда теории возмущений в виде диаграмм Фейнмана. Вероятность перехода, критерии применимости нестационарной теории возмущений. Соотношение неопределенностей для энергии и времени в квантовой механике. Возмущения, действующие на системы с непрерывным спектром, вероятность переходов в единицу времени, «золотое правило» Ферми. Квазистационарные состояния, время жизни и мнимая поправка к дискретному уровню энергии

14. Сложные (составные) системы

Состояние системы, состоящей из двух не взаимодействующих подсистем, связь между различными базисами. Действие операторов в составных системах. Сложение моментов, матрица коэффициентов Клебша Гордана, как матрица перехода между двумя представлениями. Описание слабо взаимодействующих систем, применение теории возмущений. Описание системы связанных гармонических осцилляторов.

15. Методы описания тождественных частиц. Представление чисел заполнения

Ферми и бозе частицы, их связь со спином. Связь многочастичного и одночастичного базисов, детерминант Слеттера, перманент. Разделение координатной и спиновой частей волновой функции системы не взаимодействующих тождественных частиц. Описание систем слабо взаимодействующих тождественных частиц. Основное состояние и понятие элементарных возбуждений. Описание систем тождественных частиц в представлении чисел заполнения. Представление чисел заполнения, операторы рождения и уничтожения. Гамильтониан системы тождественных частиц с парным взаимодействием.

16. Свободное электромагнитное поле и его взаимодействие с системами зарядов

Гамильтониан свободного электромагнитного поля, представление в виде не взаимодействующих осцилляторов. Фотоны, операторы рождения и уничтожения фотонов. Произвольное состояние электромагнитного поля и его связь с основным состоянием или вакуумом. Гамильтониан системы зарядов с учетом свободного электромагнитного поля, оператор взаимодействия. Учет взаимодействия по теории возмущений для нерелятивистской системы. Невозмущенный гамильтониан и невозмущенные состояния. Переходы между состояниями невозмущенной системы, спонтанное и индуцированное излучение и поглощение электромагнитного поля. Время жизни возбужденного состояния системы зарядов. Электрическое дипольное излучение, правила отбора.

17. Описание незамкнутых квантовых систем. Матрица плотности.

Матрица плотности, понятие чистых и смешанных состояний. Свойства матрицы плотности. Открытые системы и применение формализма матрицы плотности для их описания. Уравнение Лиувилля. Понятие сепарабельных и несепарабельных состояний, запутанные состояния (entanglement). Роль смешанных состояний в современной физике.

18. Связь термодинамики и статистической физики.

Связь термодинамики и статистической физики. Необходимость описания статистической системы с помощью матрицы плотности. Равновесная матрица плотности. Канонический ансамбль. Статистическая сумма. Вывод первого и второго начала термодинамики из канонического распределения Гиббса. Флуктуация энергии и теплоемкость в каноническом ансамбле. термодинамический предел. Микроканоническое распределение. Квазинезависимые подсистемы и условие идеальности газа. Преобразование термодинамических производных. Адиабатическое размагничивание.

19. Идеальный больцмановский газ.

Квантовый и квазиклассический способ вычисления статистической суммы. Аддитивность и принцип тождественности. Термодинамические потенциалы. Распределение Максвелла Больцмана. Внутренние степени свободы атомов и молекул. Вращательная и колебательная теплоемкость газа из двухатомных молекул. Сравнение вращательных и колебательных постоянных. Вращательные статсуммы орто и пара водорода. Закон равнораспределения. Теорема об отсутствии диа- и парамагнетизма в классической статистике. Полная теплоемкость многоатомных газов.

20. Статистика и термодинамика систем с переменным числом частиц.

Статистика и термодинамика системы с переменным числом частиц Большое каноническое распределение Гиббса. Флуктуации энергии и числа частиц. Первое и второе термодинамические неравенства. Термодинамические потенциалы и их минимальность в состоянии равновесия. Термодинамическая теория флуктуаций. Термодинамический потенциал смеси. Химическое равновесие. Формула Саха.

21. Идеальные ферми и бозе газы

Тепловая длина волны и температура вырождения. Распределение Ферми Дирака и Бозе Эйнштейна. Переход к распределению Больцмана. Неравновесные ферми и бозе газы. Конденсация Бозе Эйнштейна. Теплоемкость и уравнение состояния идеального бозе газа. Статистика и термодинамика черного излучения. Фононы и модель Дебая. Вырожденный ферми газ; химический потенциал, уравнение состояния, теплоемкость. Парамагнетизм Паули и диамагнетизм Ландау

22. Фазовые переходы I и II рода

Фазовые переходы I и II рода. Теория фазового перехода в модели Изинга (самосогласованное поле). Теория Ландау фазовых переходов II рода. Флуктуации параметра порядка, Флуктуационная теплоемкость

23. Элементарные возбуждения в конденсированных средах

Вторичное квантование бозонов и фермионов. Вид операторов в представлении чисел заполнения. Квантовые корреляции в идеальном ферми-газе. Слабонеидеальный бозе газ. Преобразование Боголюбова. Сверхтекучесть. Спиновые волны в ферромагнетике. Квантование длинноволновых возбуждений. Фононы и плазмоны другие. Электрон-фононное взаимодействие. Деформационное и поляризационное взаимодействие. Поляронный эффект. Рассеяние электрона на фононах и плазмонах. Взаимодействие частиц через фононы и плазмоны.

24. Уравнение Больцмана

Функция распределения. Качественный вывод уравнения Больцмана. Законы сохранения. H-теорема. Равновесное и локально равновесное распределение. Законы сохранения в субстанциональной форме. Пятимоментное приближение. Линеаризованное уравнение Больцмана. Схема метода Чепмена-Энскога. приближение. Сдвиговая вязкость и теплопроводность в приближении. Кинетическое уравнение для легких частиц в тяжелом газе Коэффициенты переноса в приближении. Плотность источников энтропии, тепла и их потоки.

25. Уравнение типа Фоккера-Планка.

Общий вид уравнений типа ФП. Соотношение Эйнштейна. Марковость. Уравнения диффузии в координатном и энергетическом пространствах. Задача Ферми о «возрасте» частицы. Отклонение от закона Ома в сильных электрических полях, разогрев частиц. Уравнение Ланжевена. Броуновская динамика

26. Неравновесная термодинамика

Принцип Онсагера. Плотность источников энтропии в твердом теле и жидкости. Кинетическое обоснование Второго начала термодинамики. Феноменологическая гидродинамика вязкой жидкости. Затухание звука в вязкой жидкости.

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

- а) Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: доска, мел, тряпка. Желательно также применение мультимедийного оборудования (проектор), для лучшей организации лекции.
- б) Необходимое программное обеспечение: не требуется
- в) Обеспечение самостоятельной работы: наличие учебников и задачников по курсу теоретической физики вообще и теории поля в частности в библиотеке института, доступ в Интернет для получения вспомогательного учебного и консультативного материала на сайте кафедры теоретической физики.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 2. Теория поля.— М.: Наука, 1988.
2. Белоусов Ю.М. Методы теоретической физики. Часть 1. – М.: МФТИ, 2010.
3. Белоусов Ю.М. Курс квантовой механики. Нерелятивистская теория. – М.: МФТИ, 2006.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. – М.: Наука, 2002.
5. Белоусов Ю.М., Бурмистров С.Н., Тернов А.И. Задачи по теоретической физике. – Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2012.
6. Галицкий В.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Задачи по квантовой механике. – М.: Наука, 1981.

Дополнительная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Краткий курс теоретической физики. Т. 1. Механика, электродинамика. — М.: Наука, 1969.
2. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н. Современная электродинамика.
3. 1.Микроскопическая теория. — М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.
3. Бредов М.М., Румянцев В.В., Топтыгин И.Н. Классическая электродинамика. — М.: Наука, 1985.
4. Алексеев А.И. Сборник задач по классической электродинамике. —М.: Наука, 1977.
5. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н. Сборник задач по электродинамике.— М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002.
6. Мессиа А. Квантовая механика. – М.: Наука, Т.2. 1979.
7. Белоусов Ю.М., Кузнецов В.П., Смилга В.П. Катехизис: учеб. пособие. — М.: МФТИ, 2005.
8. Белоусов Ю.М., Кузнецов В.П., Смилга В.П. Практическая математика. Руководство для начинающих изучать теоретическую физику. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2009.
9. Давыдов А.С. Квантовая механика. – М.: Наука, 1973.
10. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. – М.: Наука, 1976.
11. Коренев Г.В. Тензорное исчисление. — М.: МФТИ, 2000.

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

Не используются

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

Мультимедийное оборудование для лучшей организации лекций.

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

1. Домашнее задание, состоящее из двух частей, каждая из которых состоит из двух компонентов: упражнения и задачи. Домашние задания издаются специальными выпусками в форме методических пособий для индивидуальной раздачи студентам, а также «выкладываются» на сайт кафедры. Упражнения и задачи разделены на два уровня: базовый, с пометкой (С) или без особых пометок, и вариативный, помеченный (*).
2. Еженедельное выполнение тестовых заданий по материалам лекций, прочитанных на предыдущей неделе (всего 10 тестов).
3. Две контрольных работы в соответствии с двумя домашними заданиями.

Индивидуальная работа предполагает самостоятельное выполнение студентом определенного в «Задании» набора упражнений и задач в соответствии с тематикой семинарских занятий. При необходимости студент получает консультацию по выполнению отдельных задач у преподавателя ведущего занятия как во время проведения семинарских занятий, так и во внеурочное время по согласованию с преподавателем. «Задание» раздается всем студентам в виде учебно-методического материала, содержащего программу курса и упражнения, и задачи, включенные в два домашних задания. Студент также имеет возможность в течение семестра получать консультации по выполнению домашних заданий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: Е.А. Дорофеев, канд. физ.-мат. наук, доцент, 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
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Введение в теоретическую физику» обучающийся должен:

знать:

- постулаты и принципы специальной теории относительности, релятивистской механики и классической микроскопической электродинамики, методы описания релятивистских частиц и систем заряженных частиц, а также электромагнитного поля, создаваемого заряженными частицами и взаимодействующего с ними;
- основные уравнения и свойства электромагнитного поля;
- основные методы математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической электродинамики: трехмерную тензорную алгебру, векторный анализ и аппарат четырехмерных векторов и тензоров;
- основные методы решения задач релятивистской кинематики и динамики и классической микроскопической электродинамики, включая движение заряженных частиц в электромагнитном поле и создание поля системами заряженных частиц;
- методы и способы описания излучения электромагнитных волн системами заряженных частиц;
- методы описания рассеяния электромагнитных волн заряженными частицами.
- постулаты и принципы квантовой механики, методы описания квантовых систем, связь состояний и операторов с наблюдаемыми и измеряемыми величинами;
- основные свойства точно решаемых моделей квантовых систем;
- основные приближенные методы решения задач квантовой механики: квазиклассическое приближение; стационарную и нестационарную теорию возмущений.

уметь:

- пользоваться аппаратом трехмерного векторного анализа;
- пользоваться аппаратом трехмерной тензорной алгебры;
- пользоваться аппаратом четырехмерных векторов и тензоров;
- решать кинематические задачи с участием релятивистских частиц;
- решать задачи о движении релятивистских заряженных частиц в заданном внешнем электромагнитном поле различной конфигурации;
- применять метод мультипольных моментов для решения задач электростатики и магнитостатики;
- решать задачи про излучение электромагнитных волн системами нерелятивистски движущихся заряженных частиц, используя мультипольные моменты;
- решать задачи про излучение электромагнитных волн релятивистски движущимися заряженными частицами.
- определять энергетические спектры и волновые функции в одномерных случаях;
- определять средние значения (физические величины) квантовых систем, если известны их волновые функции;
- определять состояния и классифицировать энергетические спектры частицы в симметричных потенциалах, в частности, обладающих аксиальной и центральной симметрией;
- решать простые модельные задачи и применять квазиклассическое приближение для оценки уровней энергии и вероятностей проникновения в одномерных потенциалах;
- применять стационарную теорию возмущений для нахождения поправок к уровням энергии и волновым функциям;
- применять нестационарную теорию возмущений для нахождения вероятностей переходов между состояниями.

владеть:

- основными методами математического аппарата специальной теории относительности, релятивистской механики и классической микроскопической электродинамики;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных как со свойствами систем заряженных частиц, взаимодействующих с электромагнитным полем, так и со свойствами самого электромагнитного поля, создаваемого заряженными частицами
- основными методами решения задач о нахождении состояний и энергетических спектров различных квантовых систем;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами микроскопических и наносистем, обладающих как дискретным, так и непрерывным спектрами.

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

ВОПРОС-ОТВЕТ:

1. Релятивистская кинематика свободной частицы.

Основы специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. Сокращение длины, замедление времени, относительность одновременности.

2. Основы тензорного анализа.

Ковариантные и контравариантные векторы. Понятие тензора. Скалярное произведение векторов. Метрический тензор. Евклидовы и псевдоевклидовы пространства.

3. Динамика свободной частицы.

Действие для свободной частицы. Лагранжиан, уравнение движения. Энергия, гамильтониан, 4-импульс. Сохранение 4-импульса для замкнутой системы частиц при упругих взаимодействиях. Распады частиц.

4. Классическая система зарядов в электромагнитном поле.

Скалярный и векторный потенциалы как компоненты 4-вектора. Электрическое и магнитное поля и их выражения через компоненты 4-потенциала. Калибровочная инвариантность. Лоренцева калибровка.

Уравнения движения заряженной частицы в электромагнитном поле, сила Лоренца. Гамильтонова форма уравнений движения, гамильтониан. Связь обобщенного импульса с кинематическим.

5. Уравнения Максвелла как обобщение опытных фактов.

Фундаментальные законы Кулона, Био-Савара, Фарадея и их соответствие уравнениям Максвелла. Волновые уравнения, их вид в лоренцевой и кулоновской калибровках. Энергия электромагнитного поля, закон сохранения энергии, вектор Пойнтинга и тензор напряжений. Функция Грина волнового уравнения. Запаздывающие потенциалы.

6. Энергия системы зарядов в электромагнитном поле.

Взаимодействие системы зарядов со статическим электрическим полем. Разложение энергии взаимодействия по мультиполям, дипольный и квадрупольный моменты. Поле, создаваемое системой зарядов на больших

расстояниях, поле диполя и квадруполья. Взаимодействие систем зарядов, находящихся на больших расстояниях друг от друга. Взаимодействие системы зарядов, совершающей финитное движение с магнитным полем, гиромангнитное отношение и магнитный момент системы зарядов.

7. Свободное электромагнитное поле.

Решение волновых уравнений свободного электромагнитного поля в виде плоской монохроматической волны, поляризация. Энергия свободного электромагнитного поля.

8. Излучение.

Излучение электромагнитного поля системой зарядов, квазистационарная и волновая зоны. Электрическое дипольное, квадрупольное и магнитное дипольное излучение. Потеря энергии системой зарядов на излучение, сила радиационного трения.

9. Постулаты квантовой механики.

Векторная (дираковская) формулировка. Состояние и пространство состояний, физические величины (наблюдаемые) и операторы, принцип суперпозиции, полнота описания квантовой системы, уравнение Шредингера. Понятие представления, координатное и импульсное представление, волновая функция, матричные элементы операторов. Задача на собственные значения. Эрмитово сопряжение и эрмитовы операторы, свойства их собственных векторов.

10. Гамильтониан и другие основные операторы.

Гамильтоновы системы, классический и квантовый гамильтонианы. Эволюция физических величин во времени, скобки Пуассона. Квантовые скобки Пуассона - коммутаторы. Соответствие между физическими величинами и операторами. Соотношения неопределенностей для квантовых систем. Постулат коммутационного соотношения между операторами координаты и импульса. Представление операторов координаты и импульса в координатном и импульсном представлении. Функция от оператора, уравнение Шредингера в координатном и импульсном представлении.

11. Некоторые свойства операторов.

Эволюция состояния во времени, оператор эволюции. Интегралы движения. Условия одновременной измеримости физических величин. Интегралы движения и полный набор физических величин. Вырождение спектра и неоднозначность выбора представления (способа описания) состояния квантовой системы. Понятие симметрии.

12. Гармонический осциллятор как одна из точно решаемых моделей.

Гамильтониан, трехмерный и одномерный гармонические осцилляторы. Осцилляторные единицы энергии, длины и импульса. Повышающий и понижающий операторы и запись с их помощью гамильтониана. Решение задачи в энергетическом представлении, энергетический спектр осциллятора и состояния. Соотношение неопределенностей для координаты и импульса в осцилляторе и его минимизация в основном состоянии. Понятие когерентного состояния. Состояния осциллятора в координатном и импульсном представлении.

13. Момент импульса.

Изотропия пространства и момент импульса. Оператор поворота и его связь с оператором импульса. Коммутационные соотношения для проекций оператора импульса. Собственные состояния системы, обладающей определенным значением импульса. Значения, которые может принимать момент импульса. Координатное представление оператора момента, собственные функции. Полуцелые значения и понятие спина.

14. Центральное поле.

Задача двух тел в классической и квантовой механике. Гамильтониан системы в случае центрального взаимодействия. Разделение радиальных и угловых переменных в сферической системе координат. Угловая часть волновой функции и собственная функция оператора момента импульса. Вырождение энергетического спектра частицы в центральном поле.

15. Атом водорода и водородоподобные атомы.

Кулоновское поле и атом водорода. Кулоновская и атомная система единиц. Энергетические спектр и состояния атома водорода, вырождение спектра водородоподобного атома. Классификация состояний атома водорода и частицы в произвольном центральном поле.

Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

Студенты, допущенные к дифференцированному зачету, отвечают на вопросы билета, имея возможность на подготовку не менее 1 часа. Ответы представляются в письменном виде, по которым проводится устное собеседование.

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Методы теоретической физики. Часть 1» осуществляется в форме дифференцированного зачета. Итоговая оценка выставляется студенту с учетом оценки его работы в семестре.

Знания студентов оцениваются в результате проведения еженедельного опроса пройденного материала. Опрос проводится в письменной форме в виде тестовых вопросов. Пример тестовых вопросов приведен ниже.

Умения и навыки студентов определяются по итогам сдачи домашних заданий. Всего студентам предлагается два домашних задания в семестр. Задание содержит три типа задач и упражнений. Типовые задачи и упражнения разбираются на семинарских (практических) занятиях. Аналогичные задачи и упражнения студенты должны решить самостоятельно, используя рекомендованную литературу. Кроме того, студентам предлагаются специально помеченные задачи повышенной сложности. Решение таких задач требует от студента навыков и представляет собой оценку навыков решения задач повышенной сложности. Каждый вопрос задания оценен в определенную сумму баллов в зависимости от сложности и уровня (знания, умения и навыки).

Навыки студентов проверяются в результате решения контрольных работ, которые проводятся во время аудиторных занятий. Задачи аналогичны типовым задачам, включенным в домашние задания, как рассмотренных на семинарских (практических) занятиях, так и предлагаемых для самостоятельного решения. Задания контрольных работ оценены в определенную сумму баллов, что позволяет оценить уровень умения и навыков студентов.

Вопросы, включенные в тестовые опросы, охватывают основные понятия, рассмотренные на предыдущей лекции.

Примерные вопросы (вопрос-ответ):

1. Релятивистская кинематика свободной частицы.
Основы специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. Сокращение длины, замедление времени, относительность одновременности.
2. Основы тензорного анализа.
Ковариантные и контравариантные векторы. Понятие тензора. Скалярное произведение векторов. Метрический тензор. Евклидовы и псевдоевклидовы пространства.
3. Динамика свободной частицы.
Действие для свободной частицы. Лагранжиан, уравнение движения. Энергия, гамильтониан, 4-импульс. Сохранение 4-импульса для замкнутой системы частиц при упругих взаимодействиях. Распады частиц.
4. Классическая система зарядов в электромагнитном поле.
Скалярный и векторный потенциалы как компоненты 4-вектора. Электрическое и магнитное поля и их выражения через компоненты 4-потенциала. Калибровочная инвариантность. Лоренцева калибровка.
Уравнения движения заряженной частицы в электромагнитном поле, сила Лоренца. Гамильтонова форма уравнений движения, гамильтониан. Связь обобщенного импульса с кинематическим.
5. Уравнения Максвелла как обобщение опытных фактов.
Фундаментальные законы Кулона, Био-Савара, Фарадея и их соответствие уравнениям Максвелла. Волновые уравнения, их вид в лоренцевой и кулоновской калибровках. Энергия электромагнитного поля, закон сохранения энергии, вектор Пойнтинга и тензор напряжений. Функция Грина волнового уравнения. Запаздывающие потенциалы.
6. Энергия системы зарядов в электромагнитном поле.

Взаимодействие системы зарядов со статическим электрическим полем. Разложение энергии взаимодействия по мультиполям, дипольный и квадрупольный моменты. Поле, создаваемое системой зарядов на больших расстояниях, поле диполя и квадруполь. Взаимодействие систем зарядов, находящихся на больших расстояниях друг от друга. Взаимодействие системы зарядов, совершающей финитное движение с магнитным полем, гиромангнитное отношение и магнитный момент системы зарядов.

7. Свободное электромагнитное поле.

Решение волновых уравнений свободного электромагнитного поля в виде плоской монохроматической волны, поляризация. Энергия свободного электромагнитного поля.

8. Излучение.

Излучение электромагнитного поля системой зарядов, квазистационарная и волновая зоны. Электрическое дипольное, квадрупольное и магнитное дипольное излучение. Потеря энергии системой зарядов на излучение, сила радиационного трения.

9. Постулаты квантовой механики.

Векторная (дираковская) формулировка. Состояние и пространство состояний, физические величины (наблюдаемые) и операторы, принцип суперпозиции, полнота описания квантовой системы, уравнение Шредингера. Понятие представления, координатное и импульсное представление, волновая функция, матричные элементы операторов. Задача на собственные значения. Эрмитово сопряжение и Эрмитовы операторы, свойства их собственных векторов.

10. Гамильтониан и другие основные операторы.

Гамильтоновы системы, классический и квантовый гамильтонианы. Эволюция физических величин во времени, скобки Пуассона. Квантовые скобки Пуассона - коммутаторы. Соответствие между физическими величинами и операторами. Соотношения неопределенностей для квантовых систем. Постулат коммутационного соотношения между операторами координаты и импульса. Представление операторов координаты и импульса в координатном и импульсном представлении. Функция от оператора, уравнение Шредингера в координатном и импульсном представлении.

11. Некоторые свойства операторов.

Эволюция состояния во времени, оператор эволюции. Интегралы движения. Условия одновременной измеримости физических величин. Интегралы движения и полный набор физических величин. Вырождение спектра и неоднозначность выбора представления (способа описания) состояния квантовой системы. Понятие симметрии.

12. Гармонический осциллятор как одна из точно решаемых моделей.

Гамильтониан, трехмерный и одномерный гармонические осцилляторы. Осцилляторные единицы энергии, длины и импульса. Повышающий и понижающий операторы и запись с их помощью гамильтониана. Решение задачи в энергетическом представлении, энергетический спектр осциллятора и состояния. Соотношение неопределенностей для координаты и импульса в осцилляторе и его минимизация в основном состоянии. Понятие когерентного состояния. Состояния осциллятора в координатном и импульсном представлении.

13. Момент импульса.

Изотропия пространства и момент импульса. Оператор поворота и его связь с оператором импульса. Коммутационные соотношения для проекций оператора импульса. Собственные состояния системы, обладающей определенным значением импульса. Значения, которые может принимать момент импульса. Координатное представление оператора момента, собственные функции. Полуцелые значения и понятие спина.

14. Центральное поле.

Задача двух тел в классической и квантовой механике. Гамильтониан системы в случае центрального взаимодействия. Разделение радиальных и угловых переменных в сферической системе координат. Угловая часть волновой функции и собственная функция

оператора момента импульса. Вырождение энергетического спектра частицы в центральном поле.

15. Атом водорода и водородоподобные атомы.

Кулоновское поле и атом водорода. Кулоновская и атомная системы единиц. Энергетический спектр и состояния атома водорода, вырождение спектра водородоподобного атома. Классификация состояний атома водорода и частицы в произвольном центральном поле.

Конкретные условия набора баллов за работу в семестре определяются согласно следующему правилу.

В течение семестра студент набирает сумму баллов по результатам тестовых опросов (например, 50 баллов), по результатам сдачи двух заданий (например, 80 баллов) и по результатам двух контрольных (например, 100 баллов). Кроме того, за решение задач повышенной сложности домашнего задания студент может набрать премиальные (бонусные) баллы по двум заданиям (например, 30 баллов). Полный балл оценивается в данном случае суммой 230 баллов. По результатам итогового рейтинга студент может набрать. Студенты, получившие за работу в семестре к началу сессии оценку «неудовлетворительно» (менее 30% усвоения материала), считаются не усвоившими материал и не выполнившими задания курса.

Дифференцированный зачет проводится в устной форме. Билеты могут содержать наряду с теоретическими вопросами, также и типовые задачи.

Ответ студента оценивается по 10-балльной шкале.

Билеты состоят из двух разделов в соответствии с двумя частями курса: Электродинамика и Квантовая механика, в каждом из которых студентам предлагается 5 относительно простых вопросов. Каждый вопрос оценивается в 1 балл. Студент, ответивший правильно на все 10 вопросов, получает 10 баллов, на 9 вопросов – 9 баллов и т.д. При этом необходимо, чтобы студент ответил правильно по крайней мере на 2 вопроса каждого раздела, в противном случае ответ оценивается как «неудовлетворительный». При подготовке к ответу не разрешается пользоваться литературой.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со схемой:

Оценка	Баллы	Критерии
Отлично	10	10 баллов за дифференцированный зачет и оценка за работу в семестре не ниже 8. 9 баллов за дифференцированный зачет и 10 баллов за работу в семестре
	9	9 баллов за дифференцированный зачет и оценка за работу в семестре не ниже 8.
	8	8 баллов за дифференцированный зачет и оценка за работу в семестре не ниже 6. 7 баллов за дифференцированный зачет и более 8 баллов за работу в семестре
Хорошо	7	7 баллов за дифференцированный зачет и оценка за работу в семестре не ниже 5. 6 баллов за дифференцированный зачет и более 8 баллов за работу в семестре

	6	6 баллов за дифференцированный зачет и оценка за работу в семестре не ниже 5. 5 баллов за дифференцированный зачет и более 7 баллов за работу в семестре
	5	5 баллов за дифференцированный зачет и оценка за работу в семестре не ниже 3.
удовлетворительно	4	4 балла за дифференцированный зачет и оценка за работу в семестре не ниже 3.
	3	3 балла за дифференцированный зачет и оценка за работу в семестре 3.
неудовлетворительно	2	2 балла за дифференцированный зачет и оценка за работу в семестре 3.
	1	1 балл за дифференцированный зачет и оценка за работу в семестре 3.

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

Студенты, допущенные к дифференцированному зачету, отвечают на вопросы билета, имея возможность на подготовку не менее 1 часа. Ответы представляются в письменном виде, по которым проводится устное собеседование.

Оценка за ответ на билет выставляется в соответствии со следующим критериями:

Студент, ответивший правильно

на 1 вопрос, получает оценку «неудовл» (1);

на 2 вопроса, получает оценку «удовл» (3) или (4), в зависимости от полноты правильных ответов и ответов на другие вопросы;

на 3 вопроса, получает оценку «хорошо» (5), (6) или (7), в зависимости от полноты правильных ответов и ответов на другие вопросы;

на 4 вопроса, получает оценку «отлично» (8), (9) или (10), в зависимости от полноты правильных ответов и ответов на другие вопросы;

Во время проведения дифференцированного зачета студенты могут пользоваться программой дисциплины и сборниками домашних заданий. Учебной, учебно-методической и справочной литературой пользоваться во время дифференцированного зачета не допускается. Во время дифференцированного зачета должны быть также выключены мобильные телефоны.

Перед началом сессии студенты получают перечень вопросов, ответы на которые необходимо знать для успешной сдачи дифференцированного зачета. Формулировки вопросов в билетах студенты узнают во время консультаций.

Студенты, получившие итоговую оценку «отлично» (10) и решившие и защитившие задачи повышенной сложности домашнего задания, могут получить дополнительные зачетные единицы по курсу.