

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов»*

Факультет физико-математических и естественных наук

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Рекомендуется для направления(ий) подготовки (специальности(ей))

03.06.01 – Физика и астрономия

Направленность программ (профилей)

Профили:

«Теоретическая физика»

Квалификация (степень) выпускника

Исследователь. Преподаватель-исследователь.

1. Цели и задачи дисциплины

Рассматриваемая дисциплина является основной при подготовке аспирантов по профилю 01.04.02 - Теоретическая физика.

Целями изучения дисциплины являются:

получение аспирантами основополагающих представлений об основных подходах к описанию реальных физических процессов и явлений, как на классическом, так и на квантовом уровне;

формирование у аспирантов систематических знаний о методах решения практических задач теоретической физики на основе современных математических моделей описания физических объектов;

развитие научного мышления и создание фундаментальной базы для дальнейшей успешной профессиональной деятельности в областях, связанных с текущими исследованиями аспирантов.

участие аспирантов с докладами на научных семинарах кафедры и научных конференциях, а также оформлением публикаций по результатам исследований.

2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Учебная дисциплина «Теоретическая физика» входит в вариативную часть ООП.

Дисциплина «Теоретическая физика» необходима при подготовке выпускной квалификационной работы аспиранта и подготовке к сдаче кандидатского экзамена.

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины «Теоретическая физика» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ООП по профилю подготовки 01.04.02 – Теоретическая физика.

Профессиональные компетенции:

- Владение фундаментальными знаниями в основных разделах теоретической физики, включая классическую и квантовую теорию поля, физику ядра и элементарных частиц, физику конденсированного состояния (ПК-2)

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны будут:

знать:

- современные представления о природе основных физических явлений, о причинах их возникновения и взаимосвязи;
- основные понятия и теории, описывающие состояние физических объектов и протекающие в них физические процессы;
- математические методы, позволяющие адекватно описать и объяснить протекание любого конкретного физического процесса или явления;

уметь:

- применять физические законы для решения практических задач;
- выделить главное содержание исследуемого физического явления и выбрать адекватную физическую модель его описания, позволяющую рассчитать основные характеристики;

- использовать знания фундаментальных основ и методов теоретической физики в освоении уже имеющихся и в создании новых подходов к проблемам профессиональной деятельности;
- самостоятельно изучать и понимать специальную научную и методическую литературу, связанную с современными проблемами теоретической физики;

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		б
Аудиторные занятия (всего)	8	-
В том числе:		
<i>Индивидуальные консультации с преподавателем</i>	8	-
<i>Кандидатский экзамен</i>	36	-
Самостоятельная работа (всего)	64	-
Общая трудоемкость час	108	-
зач. ед.	3	-

5. Содержание дисциплины

Содержание дисциплины совпадает с программой кандидатского экзамена по специальности 01.04.02 “Теоретическая физика”. Дисциплина содержит следующие разделы:

Механика

Уравнения движения. Обобщенные координаты, принцип наименьшего действия, функция Лагранжа. Симметрии. Теорема Нетер. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса.

Малые колебания. Свободные и вынужденные одномерные колебания, параметрический резонанс. Колебания систем со многими степенями свободы, полярные координаты.

Колебания при наличии трения.

Движение твердых тел. Угловая скорость, момент инерции и момент количества движения твердых тел. Эйлеровы углы и уравнение Эйлера.

Канонические уравнения, уравнение Гамильтона, скобки Пуассона, действие как функция координат, теорема Лиувилля, уравнение Гамильтона—Якоби, разделение переменных.

Принцип относительности. Скорость распространения взаимодействий. Интервал.

Собственное время. Преобразование Лоренца. Преобразование скорости. Четырехмерные векторы. Четырехмерная скорость.

Релятивистская механика. Принцип наименьшего действия. Энергия и импульс. Распад частиц.

Упругие столкновения частиц.

Теория поля

Заряд в электромагнитном поле. Четырехмерный потенциал поля. Уравнения движения заряда в поле, калибровочная (градиентная) инвариантность. Тензор электромагнитного поля. Преобразование Лоренца для поля. Инварианты поля. Действие для электромагнитного поля. Уравнения электромагнитного поля. Четырехмерный вектор тока. Уравнение непрерывности. Плотность и поток энергии. Тензор энергии-импульса. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля. Постоянное электромагнитное поле. Закон Кулона. Электростатическая энергия зарядов. Дипольный момент. Мультипольные моменты. Система зарядов во внешнем поле. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора. Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоские волны. Монохроматическая плоская волна. Спектральное разложение. Поляризационные характеристики излучения. Разложение электростатического поля. Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы. Потенциалы Лиенара—Вихерта. Излучение электромагнитных волн. Поле системы зарядов на далеких расстояниях. Мультипольное излучение. Излучение быстро движущегося заряда. Рассеяние свободными зарядами.

Электродинамика сплошных сред

Электростатика диэлектриков и проводников. Диэлектрическая проницаемость и проводимость. Термодинамика диэлектриков. Магнитные свойства. Постоянное магнитное поле. Магнитное поле постоянных токов. Термодинамические соотношения. Диа-, пара-, ферро- и антиферромагнетики. Сверхпроводники. Магнитные свойства. Сверхпроводящий ток. Критическое поле. Уравнения электромагнитных волн. Уравнения поля в отсутствие дисперсии. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Соотношения Крамерса—Кронига. Плоская монохроматическая волна. Распространение электромагнитных волн. Отражение и преломление. Принцип взаимности. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Эффекты Керра и Фарадея. Пространственная дисперсия. Естественная оптическая активность. Магнитная гидродинамика. МГД-волны. Проблема динамо. Нелинейная оптика. Нелинейная проницаемость. Самофокусировка. Генерация второй гармоники. Ионизационные потери быстрых частиц. Излучение Черенкова. Рассеяние электромагнитных волн в средах. Рэлеевское рассеяние.

Механика сплошных сред и физическая кинетика

Идеальная жидкость. Уравнение непрерывности. Уравнение Эйлера. Поток энергии. Поток импульса. Сохранение циркуляции скорости. Потенциальное обтекание тел: присоединенная масса, сила сопротивления, эффект Магнуса. Вязкая жидкость: уравнения движения вязкой жидкости. Диссипация энергии в несжимаемой жидкости. Переход к турбулентности. Неустойчивости ламинарных течений. Теория Ландау—Хопфа. Типы аттракторов. Странный аттрактор. Переход к турбулентности путем удвоения периодов. Развитая турбулентность. Спектр турбулентности в вязком интервале. Колмогоровский спектр. Звук. Звуковые волны. Геометрическая акустика.

Одномерное движение сжимаемого газа. Характеристики. Инварианты Римана. Простая волна Римана. Образование ударных волн. Ударная адиабата. Слабые разрывы. Теория сильного взрыва.

Ударные волны слабой интенсивности. Уравнение Бюргера.

Звуковые волны со слабой дисперсией. Уравнение КДВ. Солитоны и их взаимодействие. Бесстолкновительные ударные волны.

Гидродинамика сверхтекучей жидкости. Двухжидкостное описание.

Кинетическая теория газов. Кинетическое уравнение Больцмана. H-теорема.

Теплопроводность и вязкость газов. Симметрии кинетических коэффициентов. Диффузионное приближение. Уравнение Фоккера—Планка.

Бесстолкновительная плазма. Уравнения Власова. Диэлектрическая проницаемость бесстолкновительной плазмы. Затухание Ландау. Ленгмюровские и ионно-звуковые волны.

Пучковая неустойчивость: гидродинамическая и кинетическая стадии. Квазилинейная теория.

Столкновения в плазме. Интеграл столкновений Ландау. Длина пробега частиц в плазме.

Квантовая механика

Основные положения квантовой механики. Принцип неопределенности. Принцип суперпозиции. Операторы. Дискретный и непрерывный спектры. Гамильтониан.

Стационарные состояния. Гейзенберговское представление. Соотношения неопределенности.

Уравнение Шредингера. Основные свойства уравнения Шредингера. Одномерное движение.

Одномерный осциллятор. Плотность потока. Квазиклассическая волновая функция.

Прохождение через барьер.

Момент количества движения. Собственные функции и собственные значения момента количества движения. Четность. Сложение моментов. Разложение Клебша—Гордана.

Движение в центральном поле. Сферические волны. Разложение плоской волны. Радиальное уравнение Шредингера. Атом водорода.

Теория возмущений. Возмущения, не зависящие от времени. Периодические возмущения.

Квазиклассическая теория возмущений.

Спин. Оператор спина. Тонкая структура атомных уровней.

Тождественность частиц. Симметрия при перестановке частиц. Вторичное квантование для бозонов и фермионов. Обменное взаимодействие.

Атом. Состояние электронов атома. Уровни энергии. Самосогласованное поле. Уравнение Томаса—Ферми. Тонкая структура тонких уровней. Периодическая система Менделеева.

Движение в магнитном поле. Уравнение Шредингера для движения в магнитном поле.

Плотность потока в магнитном поле.

Столкновения частиц. Общая теория. Формула Бора. Резонансное рассеяние. Столкновение тождественных частиц. Упругое рассеяние при наличии неупругих процессов. Матрица рассеяния. Формула Брейта—Вигнера.

Статистическая физика

Основные принципы статистики. Функция распределения и матрица плотности.

Статистическая независимость. Теорема Лиувилля. Роль энергии. Закон возрастания энтропии.

Микроканоническое распределение. Распределение Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц.

Термодинамические величины. Температура. Работа и количество тепла. Термодинамические потенциалы. Термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье. Теорема Нернста.

Системы с переменным числом частиц. Свободная энергия в распределении Гиббса. Вывод термодинамических соотношений.

Термодинамика идеальных газов. Распределение Больцмана. Столкновение молекул. Неравновесный идеальный газ. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ. Распределение Ферми и Бозе. Вырожденный идеальный ферми-газ. Свойства вещества при больших плотностях. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе—Эйнштейна. Равновесное тепловое излучение. Формула Планка. Светимость абсолютно черного тела. Неидеальные газы и конденсированные среды. Фононные спектры и термодинамические свойства газа. Термодинамические свойства идеального классического газа. Равновесие фаз. Формула Клапейрона—Клаузиса. Критическая точка. Системы с различными частицами. Правило фаз. Слабые растворы. Смесь идеальных газов. Смесь изотопов. Химические реакции. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Теплота реакции. Ионизационное равновесие. Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Квантовые вихри. Твердые тела. Кристаллические структуры. Поверхность Ферми. Зонная структура. Квазичастицы. Колебания решетки. Теория упругости. Звук в твердых телах. Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов. Теплопроводность. Сверхпроводимость. Куперовское спаривание. Теория Бардина—Купера—Шриффера (БКШ). Теория Лондонов. Теория Гинзбурга-Ландау. Ток, калибровочная инвариантность, квантование потока. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Джозефсона. Флуктуации. Распределение Гиббса. Флуктуации основных термодинамических величин. Формула Пуассона. Временные флуктуации. Симметрии кинетических коэффициентов. Флуктационно-диссипативная теорема. Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау. Критические индексы. Масштабная инвариантность. Флуктуации в окрестности критической точки.

Теория конденсированного состояния

Неидеальный бозе-газ. Симметрия волновой функции системы бозонов, бозе-конденсат. Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Типы и симметрия твердых тел. Кристаллические структуры. Симметрия кристаллов. Свойства обратной решетки. Зона Бриллюэна. Теорема Блоха. Зонная структура и типы связи. Квазичастицы. Электронная теплоемкость. Поверхность Ферми. Диамагнитный и циклотронный резонанс. Открытые орбиты. Квантование орбит. Эффект де Газа—ван Альфвена. Колебания решетки. Теория упругости. Звук в твердых телах. Акустические и оптические ветви. Модель Дебая. Удельная теплоемкость решетки. Квантование фононов. Ангармонизм и тепловое расширение. Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов в диэлектрике. Теплопроводность. Электрон-фононное взаимодействие и проблема полярона. Магнетизм. Обменное взаимодействие. Магнитные свойства изолированного атома. Природа магнетизма металлов. Спиновый парамагнетизм Паули и орбитальный диамагнетизм Ландау. Магнитные примеси в металле. Магнитный порядок. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм. Метод среднего поля для ферромагнетика. Доменная структура. Гистерезис ферромагнетиков. Спиновые волны (магноны). Квантовые флуктуации и спиновые волны в антиферромагнетике.

Квантовая теория полей

Квантование свободных полей. Симметрии лагранжиана и теорема Нетер. Алгебра токов. Дискретные симметрии. СРТ теорема и связь спина со статистикой. Релятивистское описание элементарных частиц. Основы классической теории поля. Вариационный принцип. Структура сохраняющихся величин. Классические теоремы смещения, вращения и заряда в гамильтоновом формализме.

Групповые методы в физике частиц. Инфинитезимальный метод построения неприводимых представлений групп Ли. Неприводимые представления группы вращений, группы Лоренца и группы Пуанкаре. Уравнение Дирака.

Внутренние группы симметрии. Схемы Дынкина и корневые диаграммы. Принцип калибровочной симметрии. Эффект Хиггса. Суперсимметрия.

Теория квантовых полей. Правило квантования Дирака.

Канонические перестановочные соотношения. Метод вторичного квантования.

Теория фон Неймана бесконечных тензорных произведений гильбертовых пространств.

Пространство Фока. Элементы теории обобщенных функций.

Пространство Шварца и функционалы над ним. Тензорное представление операторов в пространстве Фока. Правило суперотбора.

Общие принципы квантования полей. Динамический принцип Швингера – Фейнмана.

Квантование скалярного, массивного векторного и электромагнитного полей. Квантование спинорного поля.

Матрица рассеяния в квантовой теории поля. Уравнение Томонаги – Швингера и решение Дайсона.

Свойства S-матрицы. Правила Фейнмана в квантовой электродинамике. Расчет простейших эффектов. Учет радиационных поправок.

Теорема Гейзенберга о перенормируемых теориях поля. R-операция Боголюбова и устранение расходимостей.

Уравнения Дайсона и Швингера для полных функций Грина. Уравнение Бете – Солпитера.

Аксиоматическая теория S-матрицы.

6. Лабораторный практикум не предусмотрен

7. Структура курса

Организационно-методическое построение курса.

Курс состоит из лекций, практических занятий (семинаров), предусмотрено проведение консультаций. Лекции проводятся в интерактивном режиме – слушатели вовлекаются в дискуссию методом постановки вопросов по представленному материалу, а также по материалу, отвечающему базовому уровню подготовки. Вопросы формулируются в форме, провоцирующей активную реакцию слушателей.

Формат семинара – разбор материала, данного слушателям для самостоятельной проработки с целью лучшего усвоения и закрепления полученных знаний, а также для получения опыта их практического использования. Материал имеет форму практических задач, решение которых требует как аналитических, выкладок так иногда и ограниченного компьютерного моделирования. Семинар проходит в дискуссионной форме и носит характер мастер-класса.

Промежуточная аттестация в течение семестра проводится в виде теста по пройденному материалу. В конце семестра – экзамен в письменной форме. Экзаменационная заданием содержит только задачи, решение которых требует активного

использования полученных в течение семестра знаний. После собеседования выставляется итоговая оценка.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Мультимедийная аудитория или учебная аудитория с возможностью использования проектора и компьютерной техники для занятий по представлению презентационных материалов обучающимися. Компьютерные (дисплейные) классы с доступом к сети Интернет и электронно-образовательной среде Университета для проведения обучающимися самостоятельной работы и проведения компьютерного тестирования обучающихся (при необходимости).

9. Информационное обеспечение дисциплины:

а) программное обеспечение:

- ОС Windows, MS Office (программа корпоративного лицензирования (Microsoft Subscription) Enrollment for Education Solutions), браузер Firefox (лицензия MPL-2.0) или браузер Chrome (лицензия Google Chrome Terms of Service); Adobe Reader (Adobe Software License Agreement).
- ОС Linux, офисный пакет LibreOffice (лицензия MPL-2.0), ПО для просмотра pdf (например, evince (лицензия GPL-2+ CC-BY-SA-3.0)).

б) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- Электронная библиотека РГБ <http://www.rsl.ru/>
- Сайт библиотеки РУДН <http://lib.rudn.ru/>
- Springer/Kluwer <http://www.springerlink.com>. Журналы и книги издательства Springer/Kluwer охватывают различные области знания и разбиты на предметные категории.
- Taylor & Francis <http://www.informaworld.com>. Коллекция журналов насчитывает более 1000 именованных по всем областям знаний.
- Электронная библиотека <http://www.rsl.ru/>

10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

Литература

1. В.А. Рубаков. Классические калибровочные поля. Бозонные теории. -М.: 2005.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика в 10 томах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
3. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М.: 2007. ФМЛ.

Дополнительная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика
2. Миронова Г.А. Конденсированное состояние вещества: от структурных единиц до живой материи. Том 1. 2004. том 2. 2006. М.: Физический факультет МГУ.
3. Киржниц Д.А. Лекции по физике. М.: 2006. Физматлит.
4. Ципенюк Ю.М. Квантовая макро- и микрофизика. М.: 2006. Физматлит.
5. . М.: Физматлит, 2001.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М.: Наука, 1988.
7. Давыдов А. С. Квантовая механика. М.: Наука, 1973.
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М.: Физматлит, 2001.
9. Шифф Л. Квантовая механика. М. Изд-во иностр. лит., 1957.
10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2001.

11. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Квантовая электродинамика. М.: Физматлит, 2001.
12. Дж.Д. Бьёркен, С.Д. Дрелл. Релятивистская квантовая теория поля. Т. 1, 2. М.: «Наука», 1978. 296 с., 408 с.
13. Ициксон К., Зюбер Ж.-Б. Квантовая теория поля. В 2 т. М.: Мир, 1984.
14. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1. М.: Физматлит, 2001.
15. Румер Ю.Б., Рывкин С.М. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. М.: Наука, 1971.
16. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. М.: Изд-во МГУ, 1991.
17. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Теория неравновесных систем. М.: Изд-во МГУ, 1987.
18. Кубо Р. Статистическая механика. М.: Мир, 1967.
19. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Статистическая физика. Ч.2. М.: Наука, 2000.
20. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. М.: Наука, 1979.
21. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Физматлит, 2001.
22. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Квантовые поля. М.: Наука, 1993.

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

Организационно-методическое построение курса.

Курс состоит из лекций, практических занятий (семинаров), предусмотрено проведение консультаций. Лекции проводятся в интерактивном режиме – слушатели вовлекаются в дискуссию методом постановки вопросов по представленному материалу, а также по материалу, отвечающему базовому уровню подготовки. Вопросы формулируются в форме, провоцирующей активную реакцию слушателей.

Формат семинара – разбор материала, данного слушателям для самостоятельной проработки с целью лучшего усвоения и закрепления полученных знаний, а также для получения опыта их практического использования. Материал имеет форму практических задач, решение которых требует как аналитических, выкладок так иногда и ограниченного компьютерного моделирования. Семинар проходит в дискуссионной форме и носит характер мастер-класса.

Промежуточная аттестация в течение семестра проводится в виде теста по пройденному материалу. В конце семестра – экзамен в письменной форме. Экзаменационная задание содержит только задачи, решение которых требует активного использования полученных в течение семестра знаний. После собеседования выставляется итоговая оценка.

12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Материалы для оценки уровня освоения учебного материала дисциплины «Теоретическая физика» (оценочные материалы), включающие в себя перечень компетенций с указанием этапов их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания, типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций,

разработаны в полном объеме и доступны для обучающихся на странице дисциплины в ТУИС РУДН.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

Руководитель направления 03.06.01 «Физика и астрономия»

Директор института физических исследований и технологий,

д.ф.-м.н., профессор



О.Т. Лоза