

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор института нано-, био-,
информационных, когнитивных
и социогуманитарных наук и
технологий**

П.А. Форш

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Общая физика: квантовая физика
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Суперкомпьютерное моделирование ядерных процессов и технологий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра физики и физического материаловедения
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: М.Г. Ситников, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и физического материаловедения 20.03.2020

Аннотация

Целью данной дисциплины является знакомство с базовыми экспериментальными фактами в области квантовой физики. Знакомство обучающегося с предметом начинается с изложения экспериментальных и теоретических результатов, положенных в основания квантовой механики. Далее студент последовательно знакомится с математическим формализмом дисциплины и основными результатами его применения при решении ряда практически важных задач таких, как энергетические спектры водородоподобных атомов, вращательные спектры жестких ротаторов, колебательные спектры гармонических осцилляторов, прохождение частиц через потенциальные барьеры и т.д. В заключительной части программы излагаются общепризнанные на сегодняшний день элементы теорий строения и взаимодействий андронной материи.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- освоение студентами физики основ квантовой физики.

Задачи дисциплины

- усвоение основных концепций квантовой физики;
- решение задач, охватывающих основные приложения квантовой физики.

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-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

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- численные порядки величин, характеризующие явления микромира;
- основы теории теплового излучения;
- явления интерференции волн де Бройля;
- понятие спина электрона;
- основные модели электронной оболочки атома;
- эффект Зеемана, ЭПР, ЯМР;
- элементарные ядерные модели;
- законы радиоактивных распадов;
- понятие ядерных реакций, сечения ядерных реакций;
- элементарные ядерные модели;
- понятие сильного и слабого взаимодействия.

уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- находить безразмерные параметры, определяющие изучаемое явление;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- обеспечить достоверность получаемых результатов;
- видеть в технических задачах физическое содержание.

владеть:

- методами решения физических задач по электродинамике;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории, библиотеке и Интернете;
- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования физических задач.

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	Атом в магнитном поле.	6	6		12
2	Волны де Бройля. Соотношение неопределённости.	6	6		
3	Законы радиоактивных распадов. Ядерные реакции.	4	4		9
4	Опыты Штерна–Герлаха, Эйнштейна–де Газа. Спин электрона.	4	4		
5	Строение атома.	4	4		9
6	Фотоэффект. Эффект Комптона. Тепловое излучение.	6	6		
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 5 (Осенний)

1. Атом в магнитном поле.

Эффект Зеемана (слабое и сильное магнитное поле) на примере $3P-3S$ -переходов. Ядерный и электронный магнитный резонанс.

2. Волны де Бройля. Соотношение неопределённости.

Гипотеза де Бройля о волновых свойствах частиц, волновая функция свободной частицы (волна де Бройля). Опыты Девиссона–Джермера и Томсона по дифракции электронов. Связь волновых свойств частиц с ее механическими характеристиками. Длина волны де Бройля нерелятивистской частицы. Критерий квантовости системы. Вероятностная интерпретация волновой функции.

3. Законы радиоактивных распадов. Ядерные реакции.

Радиоактивность. Закон радиоактивного распада, константа распада, период полураспада, среднее время жизни, вековое уравнение. Альфа-распад, закон Гейгера–Нэттола и его вывод (формула Гамова). Гамма-излучение, изомерия ядер. Бета-распад, энергетический спектр бета-распада, гипотеза нейтрино. Ядерные реакции: экзотермические и эндотермические реакции, порог реакции, сечение реакции (полное и парциальные сечения). Потенциальное рассеяние, амплитуда и длина рассеяния. Составное ядро. Нерезонансная теория – классическое сечение, поправки на волновой характер частиц, коэффициент проникновения частицы в прямоугольную яму, закон Бете. Резонансные реакции – формула Брейта–Вигнера. Эффект Мессбауэра. Реакции под действием нейтронов. Классификация нейтронов. Замедление быстрых нейтронов в среде, длина замедления. Когерентные явления (дифракция нейтронов). Деление ядер под действием нейтронов, мгновенные и запаздывающие нейтроны, цепная реакция деления. Роль запаздывающих нейтронов в работе ядерного реактора. Схема реактора на тепловых нейтронах. Йодная яма. Возможные схемы реакторов термоядерного синтеза.

4. Опыты Штерна–Герлаха, Эйнштейна–де Газа. Спин электрона.

Магнитный орбитальный момент электронов, гиромагнитное отношение, g -фактор, магнетон Бора. Опыты Штерна–Герлаха – демонстрация дискретности магнитного момента, обнаружение магнитных дублетов. Гипотеза Уленбека и Гаудсмита о спине электрона, спиновый g -фактор. Опыты Эйнштейна и де Газа (спиновая природа магнетизма твердых тел). Векторная модель сложения спинного и орбитального моментов электрона, фактор Ланде.

5. Строение атома.

Закономерности оптических спектров атомов, формула Бальмера. Открытие атомного ядра и планетарная модель атома Резерфорда. Постулаты Бора, боровский радиус, формула для энергии электронов атома водорода. Характеристическое рентгеновское излучение (закон Мозли). Классификация водородоподобных атомов: главное, радиальное и орбитальное квантовые числа. Вырождение уровней в кулоновском поле (кратность вырождения). Правило Хунда. Качественное объяснение закономерностей таблицы Менделеева (до аргона), спектроскопическая запись состояния атома, электронная конфигурация элементов, последовательность заполнения состояний. Скачкообразное изменение химических свойств при заполнении p -оболочки, магические числа (инертные газы). Спин-орбитальное взаимодействие, тонкая и сверхтонкая структура атомных уровней.

6. Фотоэффект. Эффект Комптона. Тепловое излучение.

Основные экспериментальные результаты по внешнему фотоэффекту. Уравнение Эйнштейна, гипотеза квантов света. Эксперимент Комптона по рассеянию рентгеновских лучей на легких ядрах, вывод изменения длины волны квантов при рассеянии на свободных электронах, комптоновская длина волны. Уравнения, описывающие взаимодействие фотона с произвольной системой как обмен энергией и импульсом путем рождения и уничтожения квантов. Интерпретация плотности энергии электромагнитной волны как вероятность обнаружения фотона в заданном элементе пространства.

Плотность состояний, фазовый объем, приходящийся на одно квантовое состояние. Вывод формулы Планка для равновесного излучения абсолютно черного тела. Закон смещения Вина. Анализ формулы Планка в предельных случаях больших частот (квантовый предел) и малых частот (формула Рэлея–Джинса). Классическая интерпретация формулы Рэлея–Джинса. Интегральные характеристики равновесного теплового излучения – плотность энергии равновесного излучения, интенсивность излучения, светимость. Законы Кирхгофа, Ламберта, Стефана–Больцмана. Цветовая, яркостная и радиационная температуры тела. Двухуровневая квантовая система в поле равновесного излучения, принцип детального равновесия, спонтанные и индуцированные переходы. Прохождение излучения через среду, условие усиления (инверсная заселенность уровней). Принципы создания инверсной заселенности в трехуровневой и четырехуровневой системах.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиа проектором и экраном.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Квантовая микро- и макрофизика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Ципенюк .— М. : Физматкнига, 2006 .— 640 с.
 2. Введение в квантовую физику систем многих частиц [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. А. Иванов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Изд-во МФТИ, 2007 .— 163 с.
 3. Основы физики [Текст] : Курс общей физики : в 2 т. Т. 2 : учебник для вузов. Квантовая и статистическая физика. Термодинамика / В. Е. Белонучкин, Д. А. Заикин, Ю. М. Ципенюк ; под ред. Ю. М. Ципенюка .— 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2007 .— 608 с.
 4. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 5 : Атомная и ядерная физика : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 2-е изд., стереотип. — М : Физматлит : МФТИ, 2002, 2006, 2008 .— 784 с.
- Фонд литературы кафедры

5. Крылов И.П. Основы квантовой физики и строение вещества: учебное пособие. – М.: МФТИ, 1989.

Дополнительная литература

1. Квантовая физика. Основные законы [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / И. Е. Иродов .— 5-е изд., стереотип. — М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2013, 2014 .— 256 с.
 2. Фейнмановские лекции по физике [Текст]. Вып. 3 : [учеб. пособие для вузов]. Излучение. Волны. Кванты / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского .— 7-е изд., испр. — М. : Едиториал УРСС, 2012 .— 240 с.
 3. Задачи по общей физике [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. Е. Иродов .— 9-е изд. — М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2012 .— 431 с.
- Фонд литературы кафедры

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

<http://www.compadre.org/quantum/search/search.cfm?b=1&SS=11902>
http://www.scholarpedia.org/article/Encyclopedia_of_physics

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

На лекционных занятиях демонстрируются презентации с помощью мультимедийных технологий.

В процессе самостоятельной работы обучающиеся могут использовать программные средства MATLAB, Mathcad, WolframMathematica

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

Для успешного освоения курса от студента требуется большой объем самостоятельной работы, который включает чтение и конспектирование рекомендованной литературы, проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях, – подготовку к проверочным мероприятиям. Показателем владения материалом служит умение решать задачи, а также умение изложить теоретический материал дисциплины. При решении задачи необходимо уметь построить модель, выбрать разумные приближения, выбрать удобную систему координат и использовать удобные обозначения. Значительно облегчить решение задачи может хорошо выполненный чертеж, если он соответствует условию задачи. В начале занятия проводится короткий тест по материалу прошедших занятий в письменной форме. Обязательным требованием является выполнение домашних работ, которые оформляются в специально отведённой для этого тетради и систематически сдаются на проверку. В течение семестра проводятся две контрольные работы.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Суперкомпьютерное моделирование ядерных процессов и технологий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра физики и физического материаловедения
курс:	3
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	М.Г. Ситников, канд. физ.-мат. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
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

2. Показатели оценивания компетенций

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

знать:

- численные порядки величин, характеризующие явления микромира;
- основы теории теплового излучения;
- явления интерференции волн де Бройля;
- понятие спина электрона;
- основные модели электронной оболочки атома;
- эффект Зеемана, ЭПР, ЯМР;
- элементарные ядерные модели;
- законы радиоактивных распадов;
- понятие ядерных реакций, сечения ядерных реакций;
- элементарные ядерные модели;
- понятие сильного и слабого взаимодействия.

уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- находить безразмерные параметры, определяющие изучаемое явление;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- обеспечить достоверность получаемых результатов;
- видеть в технических задачах физическое содержание.

владеть:

- методами решения физических задач по электродинамике;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории, библиотеке и Интернете;
- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования физических задач.

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

В целях текущего контроля успеваемости предусмотрен краткий опрос по темам предыдущих занятий по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Общая физика: квантовая физика» осуществляется в форме дифференцированного зачета. Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

Контрольные вопросы к зачёту:

1. Квантовая природа света. Внешний фотоэффект. Уравнение Эйнштейна. Эффект Комптона.
2. Спонтанное и вынужденное излучение. Инверсная заселенность уровней. Принцип работы лазера.
3. Излучение абсолютно черного тела. Формула Планка, законы Вина и Стефана-Больцмана.
4. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны де Бройля. Опыты Девиссона-Джермера и Томсона по дифракции электронов.
5. Волновая функция. Операторы координаты и импульса. Средние значения физических величин. Соотношение неопределенности для координаты и импульса. Уравнение Шредингера.
6. Постулаты Бора. Энергетический спектр водородоподобных атомов. Характеристическое излучение, закон Мозли.
7. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона. Орбитальный и спиновый магнитные моменты электрона.
8. Тождественность частиц. Симметрия волновой функции относительно перестановки частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Электронная структура атомов. Таблица Менделеева.
9. Тонкая и сверхтонкая структура оптических спектров. Правила отбора при поглощении и испускании фотонов атомами.
10. Эффект Зеемана в слабых магнитных полях.
11. Эффект Зеемана в сильных магнитных полях.
12. Ядерный и электронный магнитный резонансы.
13. Закон радиоактивного распада. Период полураспада и время жизни.
14. Туннелирование частиц сквозь потенциальный барьер. Альфа-распад. Закон Гейгера-Нэттола и его объяснение.
15. Виды бета-распадов. Объяснение непрерывности энергетического спектра электронов. Нейтрино.
16. Ядерные реакции. Составное ядро. Сечение нерезонансных реакций. Закон Бете.
17. Резонансные ядерные реакции, формула Брейта-Вигнера.
18. Деление ядер под действием нейтронов. Принцип работы ядерного реактора на тепловых нейтронах.
19. Соотношение неопределенностей для энергии и времени. Оценка времени жизни виртуальных частиц, радиусов сильного и слабого взаимодействий.

20. Фундаментальные взаимодействия и фундаментальные частицы (лептоны, кварки и переносчики взаимодействий). Кварковая структура адронов.

4. Критерии оценивания

Оценка	Баллы	Критерии
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.
	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.
	8	Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.
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.
	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.
	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.
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.
	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.
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.
	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.

Проведение зачета осуществляется путем опроса, оценка включает в себя кроме результатов опроса, текущую успеваемость, результаты сдачи контрольных и иных работ предусмотренных настоящей программой. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется не менее 40 минут на подготовку. Опрос по билету и ответы на дополнительные вопросы не должен превышать двух астрономических часов. По завершении отведенного на опрос времени, экзаменатор должен выставить обучающемуся оценку в соответствии с вышеприведенными критериями.