

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Факультет наук о материалах

УТВЕРЖДАЮ
Зам. декана ФНМ по учебной
работе
_____/А.В. Кнотько /
«__» _____ 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Квантовая физика

Уровень высшего образования:

бакалавриат

Направление подготовки:

04.03.02 Химия, физика и механика материалов

Направленность (профиль)/специализация ОПОП:

общий

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Методической комиссией факультета наук о материалах
(протокол №_____, дата)

Москва 2016

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Химия, физика и механика материалов» (программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки) в редакции приказа МГУ от _____20__ г.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО: Базовая часть, блок общенаучной подготовки, модуль «Физика», курс предназначен для студентов факультета наук о материалах 2-го года обучения (4-й семестр), курс является обязательным

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия (если есть):

Математический анализ
Высшая алгебра и аналитическая геометрия
Дифференциальные уравнения
Уравнения математической физики
Теория функций комплексной переменной
Теория вероятностей и математическая статистика
Общая физика

3. Результаты обучения по дисциплине:

Знать: основные понятия и теоретические основы и логическое построение квантовой физики

Уметь: решать задачи, связанные с основами элементами квантовой физики

Владеть: основным понятийным и математическим аппаратом квантовой физики

Иметь опыт: решения типовых задач квантовой физики

4. Объем дисциплины составляет 5 з.е. (180 ак.ч.)

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

5.1. Структура дисциплины по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Вид работы	Семестр				Всего
	4				
Общая трудоёмкость, акад. Часов	180				180
Аудиторная работа:	112				112
Лекции, акад. Часов	64				64
Семинары, акад. Часов	48				48
Лабораторные работы, акад. часов					
Самостоятельная работа, акад. часов	68				68
Вид итогового контроля (зачёт, экзамен)	Экз.				

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

1. ФОРМИРОВАНИЕ КВАНТОВЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ (лекции-4 часа, семинары-4 часа)

Введение: о квантовой природе материи. Излучение черного тела. Формула Планка. Фотоэффект. Уравнение Эйнштейна. Строение атома. Атомные спектры, комбинационный принцип Ритца. Опыты Резерфорда, ядерная модель атома. Квантовые постулаты Бора. Опыты Франка и Герца. Корпускулярно-волновой дуализм микрообъектов. Развитие понятия светового кванта Эйнштейном, эффект Комптона. Волны де Бройля, опыты Девиссона и Джермера по дифракции электронов. Принцип неопределенности Гейзенберга.

2. ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ (лекции-14 часов, семинары-14 часов)

Волновая функция. Волновая функция свободно движущейся частицы. Статистическая интерпретация волновой функции. Принцип суперпозиции состояний.

Операторы физических величин. Некоторые основные свойства квантовомеханических операторов. Собственные функции и собственные значения операторов. Операторы координаты, импульса, углового момента и полной энергии. Коммутируемость квантовомеханических операторов. Соотношение неопределенностей для физических величин некоммутирующих операторов. Собственные значения и собственные функции операторов проекции импульса, квадрата углового момента, проекции углового момента.

Уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Интегралы квантовых уравнений движения. Интегралы движения и условия симметрии.

Простейшие случаи движения микрочастиц. Свободное движение частицы. Частица в одномерной прямоугольной потенциальной яме: бесконечно глубокая яма; яма конечной глубины. Прохождение микрочастиц через потенциальный барьер. Частица в потенциале линейного гармонического осциллятора. Движение частицы в поле центральных сил.

Приближенное решение уравнения Шредингера методами теории возмущений. Теория возмущений для стационарных задач с дискретным спектром в случае невырожденной невозмущенной системы. Теория возмущений для стационарных задач с дискретным спектром при наличии вырождения в невозмущенной системе. Теория нестационарных возмущений. Квантовые переходы под влиянием периодического возмущения.

3. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА АТОМОВ (лекции-14 часа, семинары-12 часов)

Атом водорода и водородоподобные ионы. Решение уравнения Шредингера для кулоновского потенциала. Энергетический спектр атома водорода. Волновые функции электрона в атоме водорода. Пространственное распределение плотности вероятности электрона в атоме водорода.

Особенности энергетических спектров атомов щелочных элементов. Движение электрона в поле, отличном от кулоновского. Правила отбора при дипольных переходах. Сложение угловых моментов. Тонкая структура спектров; спин электрона как дополнительная степень свободы.

Релятивистское уравнение Дирака. Собственный угловой момент электрона – спин. Нерелятивистское приближение, уравнение Паули. Собственный магнитный момент электрона.

Релятивистские поправки к движению электрона в центральном электрическом поле.

Энергетический спектр водородоподобного атома с учетом релятивистских поправок. Лэмбовский сдвиг.

Взаимодействие атома с электромагнитным полем. Атом во внешнем магнитном поле, эффект Зеемана. Атом во внешнем электрическом поле, эффект Штарка. Магнитный резонанс.

Многоэлектронные атомы. Принцип тождественности частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции, фермионы и бозоны. Принцип Паули. Обменное взаимодействие в двухэлектронном атоме. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока. Статистический метод Томаса-Ферми. Периодическая система элементов (общие принципы).

4. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА МОЛЕКУЛ (лекции-8 часов, семинары-4 часа)

Адиабатическое приближение.

Молекула водорода. Решение уравнения Шредингера методом теории возмущений. Интеграл перекрывания волновых функций, интеграл кулоновского взаимодействия, обменная энергия. Энергия взаимодействия атомов водорода при различных спиновых состояниях электронов.

Некоторые свойства ковалентной химической связи атомов в молекулах, спаривание электронов.

Энергетические уровни молекул. Энергия электронных, колебательных, вращательных состояний.

Молекулярные спектры.

5. ЭЛЕКТРОНЫ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ (лекции-6 часа, семинары-2 часа)

Зонный характер энергетического спектра электронов (качественное рассмотрение). Уравнение Шредингера в адиабатическом и одноэлектронном приближениях. Электрон в периодическом поле кристаллической решетки. Энергетические зоны.

6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ И ИЗЛУЧЕНИЙ С ВЕЩЕСТВОМ (лекции-8 часов, семинары-6 часов)

Прохождение тяжелых заряженных частиц через вещество. Ионизационные потери энергии. Пробег в веществе. Многократное рассеяние на ядрах. Ориентационные явления при прохождении тяжелых заряженных частиц через монокристаллы: эффект каналирования, эффект теней.

Прохождение электронов через вещество. Ионизационные потери энергии. Радиационные потери энергии. Понятие экстраполированного пробега в веществе.

Взаимодействие гамма-квантов с веществом. Фотоэффект. Эффект Комптона. Образование электронно-позитронных пар. Суммарное эффективное сечение взаимодействия гамма-квантов с веществом. Изменение интенсивности пучка гамма-квантов с толщиной слоя вещества.

Взаимодействие нейтронов с веществом. Быстрые и медленные нейтроны.

Понятие о радиационных дефектах в твердых телах.

7. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА АТОМНЫХ ЯДЕР (лекции-8 часов, семинары-6 часов)

Основные характеристики атомных ядер.

Характеристики ядерных состояний: энергия, спин, четность, магнитный момент.

Оболочечная структура атомных ядер. Магические числа. Физические основы модели ядерных оболочек. Энергетические уровни нуклона в осцилляторной потенциальной яме. Спин-орбитальное взаимодействие в ядрах. Заполнение одночастичных состояний нуклонами и магические числа. Спины основных состояний ядер.

Гамма-излучение ядер. Дискретный характер гамма-спектров. Мультипольность гамма-квантов. Правила отбора при гамма-переходах в ядрах. Вероятности переходов. Естественная ширина спектральной линии гамма-излучения. Ядерный гамма-резонанс. Эффект Мессбауэра.

8. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ (лекции-2 часа)

Фундаментальные частицы – лептоны и кварки. Античастицы. Фундаментальные взаимодействия и поля. Кварковая структура адронов. Основные свойства кварков.

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

Пример задания контрольной работы:

Вариант 1

1. Определить де-бройлевский длины волн мюонов (масса мюона $m_\mu = 207m_e$), ускоренных до энергий $W_1 = 1\text{КэВ}$ и $W_2 = 10\text{ГэВ}$.
2. Пользуясь условием квантования момента импульса Бора, найти уровни энергии и радиусы орбит в потенциале

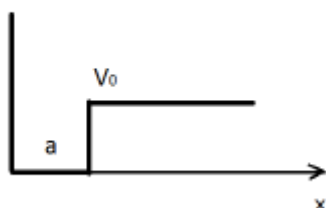
$$U(r) = \alpha r^2.$$

Орбиты считать круговыми.

3. А) В некотором состоянии гармонического осциллятора средняя энергия равна $\frac{4}{3} \hbar \omega$. Записать хотя бы одну волновую функцию, описывающую такое состояние.

Б) Частица массы m находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме ширины a в состоянии, описываемом волновой функцией $\psi(x) = \sqrt{\frac{8}{5a}} \cos^2\left(\frac{\pi x}{a}\right) - \sqrt{\frac{2}{5a}} + \sqrt{\frac{8}{5a}} \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right)$. Какие и с какой вероятностью значения энергии могут быть измерены в этом случае. Определить среднее значение энергии.

4. Вычислить матричные элементы: $\langle 2|Q^2|3 \rangle$, $\langle 6|P^3|4 \rangle$.
5. Частица находится в одномерном потенциале с параметрами V_0 и a . Определить число связанных состояний в яме, если а) $V_0 a^2 = 75 \frac{\hbar^2}{m}$, б) $V_0 a^2 = \frac{\hbar^2}{m}$. Нарисовать волновую функцию основного состояния.



6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

Вопросы экзамена

Билет N1

Вопрос N1 Гильбертовы пространства. Базис. Унитарные преобразования.

Вопрос N2 Фундаментальные частицы и взаимодействия.

Билет N2

Вопрос N1 Эрмитовы операторы и их свойства. Операторы физических величин.

Вопрос N2 Нормальный и аномальный эффект Зеемана.

Билет N3

Вопрос N1 Вывод уравнения Дирака.

Вопрос N2 Соотношение неопределенностей Гейзенберга и Бора-Гейзенберга.

Билет N4

Вопрос N1 Экспериментальные доказательства волновой и квантовой природы света. Вопрос N2 Эффект Пашена-Бака.

Билет N5

Вопрос N1 Гипотеза корпускулярно-волнового дуализма и ее экспериментальные подтверждения.

Вопрос N2 Метод Томаса-Ферми.

Вопрос N1 Символы измерения Швингера и их использование для формулировки основных математических постулатов квантовой механики.

Вопрос N2 Метод самосогласованного поля Хартри-Фока.

Билет N7

Вопрос N1 Принцип суперпозиции и физический смысл коэффициентов разложения. Теорема о невозможности клонирования чистого состояния.

Вопрос N2 Эксперимент LHC.

Билет N8

Вопрос N1 Релятивистские поправки в спектр водородоподобного атома. Вопрос N2 Планетарная модель атома Резерфорда и ее доказательства.

Билет N9

Вопрос N1 Общие формулы теории представлений.

Вопрос N2 Решения уравнения Дирака в стандартном представлении для частиц и античастиц.

Билет N10

Вопрос N1 Обоснование стационарного уравнения Шредингера в координатном представлении. Явный вид операторов координаты и импульса в координатном представлении.

Вопрос N2 Квантовая физика молекул.

Билет N11

Вопрос N1 Одномерный гармонический осциллятор в координатном представлении и представлении чисел заполнения.

Вопрос N2 Стационарная теория рассеяния. Борновское приближение.

Билет N12

Вопрос N1 Нестационарное уравнение Шредингера. Вопрос

N2 Эффект Штарка.

Билет N13

Вопрос N1 Молекула водорода.

Вопрос N2 Теория атома водорода по Н.Бору.

Билет N14

Вопрос N1 Квантование полного момента.

Вопрос N2 Прохождение тяжелых заряженных частиц через вещество. Приближение Н.Бора.

Билет N15

Вопрос N1 Формулы сложения моментов количества движения. Коэффициенты Клебша-Гордона.

Вопрос N2 Прохождение электронов и гамма-квантов через вещество.

Билет N16

Вопрос N1 Временные представления в квантовой теории.

Вопрос N2 Спин $1/2$. Матрицы Паули и их свойства.

Билет N17

Вопрос N1 Частица в поле центральных сил. Атома водорода.

Вопрос N2 Тожественные частицы. Принцип Паули. Обменное взаимодействие.

Билет N18

Вопрос N1 Стационарная теория возмущений для невырожденного и вырожденного спектров.

Вопрос N2 Квантовомеханическое объяснение периодической системы элементов.

Билет N19

Вопрос N1 Нестационарная теория возмущений и нестационарная теория рассеяния. Золотое правило Ферми.

Вопрос N2 Основные характеристики ядра: масса, энергия связи, спин, четность, электрические и магнитные моменты.

Билет N20

Вопрос N1 Правила отбора в атомах и ядрах.

Вопрос N2 Производная оператора по времени. Теоремы Эренфеста.

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература:

1. А.С.Давыдов, “Квантовая механика”, М. “Наука”, 1973 и более поздние издания.
2. А.Мессиа, “Квантовая механика”, т.1 М. “Наука”, 1978; т.2 М. “Наука”, 1979 и более поздние издания.
3. З.Флюгге, “Задачи по квантовой механике”, в 2-х т. М. “Мир”, 1974 и более поздние издания.

Дополнительная литература

1. Д.Гринштейн, А.Зайонц, “Квантовый вызов”, Д. “Интеллект”, 2008.
2. М.Г.Иванов, “Как понимать квантовую механику”, М-И, “РХД”, 2012.
3. А.В.Гуляев, С.С.Красильников, А.М.Попов, О.В.Тихонова, В.Ю.Харин, “Сто одна-дцать задач по атомной физике”, Издательство МГУ, 2012.
4. А.М.Попов, О.В.Тихонова, “Атомная физика”, М, “Нобель Пресс”, 2013.

7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства (подлежит обновлению при необходимости)

Не требуется

7.3. Описание материально-технического обеспечения.

аудитория с доской, компьютерный проектор

8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

9. Разработчик (разработчики) программы.

к.ф.-м.н., проф. Н.В. Никитин