

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Высшая школа управления и инноваций



УТВЕРЖДАЮ
и.о.декана
/В.В.Печковская /
«12» февраля 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ И КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

БАКАЛАВРИАТ

27.03.05 "ИННОВАТИКА"

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Советом факультета

(протокол № 2, 12 февраля 2019 г.)

Москва 2019

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 27.03.05 «Инноватика» , 27.04.05 "Инноватика" (программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение 2016, 2017, 2018, 2019.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО относится к естественно-научному блоку дисциплин вариативной части ОПОП В, реализуется на II году обучения.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть): освоение дисциплин математика, физика, теоретическая механика

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины (модуля):

УК-1.Б.Способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации.

УК-5.Б.Способность в контексте профессиональной деятельности использовать знания об основных понятиях, объектах изучения и методах естествознания .

ОПК-3.Б Способностью применять знания математики, физики и естествознания, химии и материаловедения, теории управления и информационные технологии в инновационной деятельности.

ПК-6.Б Способностью использовать когнитивный подход и воспринимать (обобщать)научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования

ПК-8.Б Способностью готовить презентации, научно-технические отчеты по результатам выполненной работы, оформлять результаты исследований в виде статей и докладов

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать:

- Основные сведения из курса общей физики, Проблемы классической физики.
- Элементы специальной теории относительности.
- Основы стандартной модели.
- Понятие о корпускулярно-волновом дуализме. Уравнение Шредингера. Вероятностный характер квантовой механики.
- Понятие о спине. Запутанные состояния. Парадоксы квантовой механики. Квантовая телепортация.
- Вопросы полноты квантовой механики. Основы квантовых вычислений и квантовой криптографии

Уметь

- Использовать основные формулы квантовой механики (уравнение Шредингера, формула длины волны де Бройля, соотношения Гейзенберга) для решения простейших задач

Владеть:

- Дифференциальным и интегральным исчислением,
- Преобразованием Фурье.
- Решением дифференциальных уравнений первого и второго порядка
- Основными тригонометрическими формулами.
- Криволинейными ортогональными системами координат
- Основами теории функции комплексной переменной
- Основами обобщенных функций.
- Основами теории линейных операторов
- Основами теории матриц.
- Основами теории вероятностей.

Иметь опыт

- Контринтуитивных результатов эксперимента.

4. Формат обучения: очный

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе 32 академических часов, 40 отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы			Самостоятельная работа обучающегося, часы (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)					
		о	к	ц		и	о	н	и	н
Тема 1 Основные сведения из курса общей физики 1.1 Механика 1.2 Молекулярная физика. 1.3 Основы электродинамики 1.4 Колебания и волны 1.5 Оптика 1.6 Световые кванты	12	12			12	17				
Тема 2 Основы квантовой теории 2.1 Модель атома по Бору Строение ядра. 2.2 Элементы специальной теории относительности. 2.3 Основы стандартной модели. 2.4 Корпускулярно-волновой дуализм 2.5 Уравнение Шредингера. 2.6 Операторы в квантовой механике. 2.7 Спин. Запутанные состояния 2.8 Квантовый компьютер Квантовые вычисления. 2.9 Парадоксы квантовой механики.	18	18			18	23				
Промежуточная аттестация зачет	2									
Итого	32									

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Вопросы для текущего контроля и самостоятельной работы студентов:

Математика

- Производная. Ее физический и геометрический смысл. Полная и частная производная функции нескольких переменных. Таблица производных элементарных функций. Интеграл. Таблица интегралов. Преобразование Фурье.
- Дифференциальные уравнения первого и второго порядка. Решение некоторых видов этих уравнений. Уравнение колебаний. Решение уравнения колебаний.
- Основные тригонометрические формулы. Решение простейших тригонометрических уравнений Преобразование суммы и разности тригонометрических функций.
- Системы координат. Сферическая система координат, ее связь с декартовой системой.
- Комплексные числа. Мнимая единица. Формула Эйлера. Комплексное сопряжение. Описание колебаний с помощью комплексных чисел.
- Дельта-функция, определение и основные свойства.
- Операторы. Линейные операторы Пространство векторов. Собственное значение и собственная функция оператора.
- Матрицы 2×2 , нахождение их собственных векторов и собственных значений. Базис пространства состояний. Прямое произведение пространств, общий базис.
- Вероятность. Вычисление вероятности независимых событий.
- Двоичная система исчисления. Логические операции "и", "или", "не" "не и"

Физика

- Механика Основная задача механики. Системы отсчета. Относительность движения. Сложение скоростей. Законы Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея. 4 вида взаимодействия в природе. Законы сохранения в механике. Теорема Нетер
- Молекулярная физика. Основные положения молекулярно-кинетической теории. Строение вещества, характер движения молекул в жидких, твердых и газообразных веществах. Характерные размеры атомов и молекул. Внутренняя энергия и температура. Первый закон термодинамики Необратимость процессов. 2 закон термодинамики. Энтропия.
- Основы электродинамики Электрический заряд. Создание и обнаружение электрического и магнитного поля. Концепции дальнего действия и ближнего действия. Электромагнитная индукция
- Колебания и волны. Гармонические колебания. Уравнение гармонических колебаний и его решение. Амплитуда, период и частота колебаний. Превращение энергии при гармонических колебаниях. Распространение механических волн в упругих средах. Скорость распространения волны. Длина волны. Уравнение бегущей волны. Стоячие волны. Поперечные и продольные волны. Электромагнитные колебания и волны
- Оптика Скорость света и ее опытное определение. Дисперсия. Спектральный анализ. Интерференция света. Дифракция света. Поляризация света. Поперечность световых волн.
- Световые кванты Фотоэффект и его законы. Кванты света. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Постоянная Планка.
- Модель атома по Бору. Проблемы классической физики: стабильности атома, дискретность атомных спектров, излучение абсолютно черного тела. Модель атома Томсона. Опыт Резерфорда по рассеянию α -частиц. Планетарная модель атома. Постулаты Бора. Испускание и поглощение света атомом.

-Строение ядра. Радиоактивность. Альфа-, бета- и гамма-излучения. Изотопы. Энергия связи атомных ядер. Ядерные реакции.

-Элементы специальной теории относительности. Опыт Майкельсона-Морли. Постоянство скорости света. Постулаты специальной теории относительности. Интервал. Преобразования Лоренца. Связь между массой и энергией. Относительность расстояний и промежутков времени. Релятивистский закон сложения скоростей.

-Основы стандартной модели. Зоопарк частиц. Истинно элементарные частицы: кварки, лептоны. Конфаймент. Асимптотическая свобода. Поколения кварков. Состав протонов и нейтронов. Переносчики взаимодействий: фотоны, глюоны, W^+ , W^- и Z -векторные бозоны. Гравитоны. Тождественность частиц. Бозон Хиггса. Теория струн.

-Корпускулярно-волновой дуализм. Свет как волна. Свет как поток частиц. Эксперимент с двумя щелями. Роль наблюдателя. Волны де Бройля. Свободная частица. Волновой пакет. Соотношения неопределенностей Гейзенберга и преобразование Фурье. Соотношения неопределенностей для координаты и импульса и энергии и времени

-Уравнение Шредингера. Вероятностный характер квантовой механики. Волновая функция и ее физический смысл. Вычисление средних значений физических величин. Нестационарное уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера. Виды потенциальных ям. Решение уравнения Шредингера для кусочно-постоянных потенциалов. Дискретные уровни энергии частиц в потенциальных ямах и вид волновых функций. Прохождение через потенциальный барьер. Квантовое тунеллирование.

-Операторы в квантовой механике. Линейные операторы. Собственные функции и собственные значения операторов. Коммутатор двух операторов. Операторы координаты и импульса. Гамильтониан. Координатное представление.

-Спин. Эффект Зеемана. Опыт Штерна и Герлаха. Спин $1/2$. Чистое и смешанное состояние. Оператор спина в квантовой механике. Описание состояний "спин по и против оси n ". Система из двух спинов. Базис пространства состояний системы из двух спинов.

-Запутанные состояния. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена. Квантовая телепортация. Вопросы полноты квантовой механики. Неравенства Белла Эксперимент Аспекта.

Классический компьютер: бит информации. Логические операции. Квантовый компьютер. Кубит. Квантовые вычисления.

Классическая криптография. Ключ как случайная последовательность. Квантовая криптография. Протокол BB84. Невозможность взлома.

-Парадоксы квантовой механики. Кот Шредингера. Мышь Эйнштейна. Квантовый парадокс Зенона. Копенгагенская интерпретация квантовой механики. Многомировая интерпретация Эверетта.

Задачи:

-Оценить длину волны де Бройля для макроскопической пылинки 1 мкм , $m=10^{-15} \text{ кг}$, $v = 1 \text{ мм/с}$.

-Оценить длину волны де Бройля теплового нейтрона.

-Оценить длину волны де Бройля электронов, ускоренных разностью потенциалов 100 В .

-Оценить неопределенность импульса пылинки, если ее положение измеряется с точностью до $0,01 \text{ мкм}$

-С помощью соотношения неопределенностей оценить, для каких орбит справедливо квантование по Бору

-С помощью соотношения неопределенностей оценить радиус первой боровской орбиты и энергию основного состояния атома водорода.

-Найти уровни энергии и волновые функции частицы в бесконечной прямоугольной потенциальной яме ширины a .

-Найти уровни энергии и волновые функции частицы в конечной прямоугольной потенциальной яме ширины a и глубиной U .

-Найти коэффициенты прохождения и отражения от конечного скачка потенциала U при $E > U$

-Найти коэффициенты прохождения и отражения от конечного скачка потенциала U при $E < U$

-Найти коэффициенты прохождения и отражения от потенциального барьера высотой U и шириной a при $E < U$

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Типовые билеты для зачета

Билет N1

Механика Основная задача механики. Системы отсчета. Относительность движения. Сложение скоростей. Законы Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея. 4 вида взаимодействия в природе. Законы сохранения в механике. Теорема Нетер

Модель атома по Бору. Проблемы классической физики: стабильности атома, дискретность атомных спектров, излучение абсолютно черного тела. Модель атома Томсона. Опыт Резерфорда по рассеянию α -частиц. Планетарная модель атома. Постулаты Бора. Испускание и поглощение света атомом.

Задача Оценить длину волны де Бройля для макроскопической пылинки 1 мкм , $m=10^{-15} \text{ кг}$, $v = 1 \text{ мм/с}$

Билет N2

Молекулярная физика. Основные положения молекулярно-кинетической теории. Строение вещества, характер движения молекул в жидких, твердых и газообразных веществах. Характерные размеры атомов и молекул. Внутренняя энергия и температура. Первый закон термодинамики Необратимость процессов. 2 закон термодинамики. Энтропия.

Световые кванты Фотоэффект и его законы. Кванты света. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Постоянная Планка.

Строение ядра. Радиоактивность. Альфа-, бета- и гамма-излучения. Изотопы. Энергия связи атомных ядер. Ядерные реакции

Задача Оценить длину волны де Бройля теплового нейтрона

Билет N3

Основы электродинамики Электрический заряд. Создание и обнаружение электрического и магнитного поля. Концепции дальнего действия и ближнего действия. Электромагнитная индукция

Элементы специальной теории относительности. Опыт Майкельсона-Морли. Постоянство скорости света. Постулаты специальной теории относительности. Интервал. Преобразования Лоренца. Связь между массой и энергией. Относительность расстояний и промежутков времени. Релятивистский закон сложения скоростей.

Задача Оценить длину волны де Бройля электронов, ускоренных разностью потенциалов 100 В

Билет N4

Колебания и волны. Гармонические колебания. Уравнение гармонических колебаний и его решение. Амплитуда, период и частота колебаний. Превращение энергии при гармонических колебаниях. Распространение механических волн в упругих средах. Скорость распространения волны. Длина волны. Уравнение бегущей волны. Стоячие волны. Поперечные и продольные волны. Электромагнитные колебания и волны

Основы стандартной модели. Зоопарк частиц. Истинно элементарные частицы: кварки, лептоны. Конфаймент. Асимптотическая свобода. Поколения кварков. Состав протонов и нейтронов. Переносчики взаимодействий: фотоны, глюоны, W^+ , W^- и Z -векторные бозоны. Гравитоны. Тождественность частиц. Бозон Хиггса. Теория струн.

Задача Оценить неопределенность импульса пылинки, если ее положение измеряется с точностью до $0,01$ мкм

Билет N5

Оптика Скорость света и ее опытное определение. Дисперсия. Спектральный анализ. Интерференция света. Дифракция света. Поляризация света. Поперечность световых волн. Корпускулярно-волновой дуализм. Свет как волна. Свет как поток частиц. Эксперимент с двумя щелями. Роль наблюдателя. Волны де Бройля. Свободная частица. Волновой пакет. Соотношения неопределенностей Гайзенберга и преобразование Фурье. Соотношения неопределенностей для координаты и импульса и энергии и времени

Задача С помощью соотношения неопределенностей оценить, для каких орбит справедливо квантование по Бору

Билет N6

Механика Основная задача механики. Системы отсчета. Относительность движения. Сложение скоростей. Законы Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея. 4 вида взаимодействия в природе. Законы сохранения в механике. Теорема Нетер

Уравнение Шредингера. Вероятностный характер квантовой механики. Волновая функция и ее физический смысл. Вычисление средних значений физических величин. Нестационарное уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера.

Задача С помощью соотношения неопределенностей оценить радиус первой боровской орбиты и энергию основного состояния атома водорода

Билет N7

Молекулярная физика. Основные положения молекулярно-кинетической теории. Строение вещества, характер движения молекул в жидких, твердых и газообразных веществах. Характерные размеры атомов и молекул. Внутренняя энергия и температура. Первый закон термодинамики Необратимость процессов. 2 закон термодинамики. Энтропия.

Уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера. Виды потенциальных ям. Решение уравнения Шредингера для кусочно-постоянных потенциалов. Дискретные уровни энергии частиц в потенциальных ямах и вид волновых функций. Прохождение через потенциальный барьер. Квантовое тунелирование.

Задача Найти уровни энергии и волновые функции частицы в бесконечной прямоугольной потенциальной яме ширины a .

Билет N8

Основы электродинамики Электрический заряд. Создание и обнаружение электрического и магнитного поля. Концепции дальнего действия и ближнего действия. Электромагнитная индукция

Спин. Эффект Зеемана. Опыт Штерна и Герлаха. Спин $\frac{1}{2}$. Чистое и смешанное состояние. Оператор спина в квантовой механике. Описание состояний "спин по и против оси n ". Система из двух спинов. Базис пространства состояний системы из двух спинов.

Задача Найти уровни энергии и волновые функции частицы в конечной прямоугольной потенциальной яме ширины a и глубиной U .

Билет N9

Операторы в квантовой механике. Линейные операторы. Собственные функции и собственные значения операторов. Коммутатор двух операторов. Операторы координаты и импульса. Гамильтониан. Координатное представление.

Колебания и волны. Гармонические колебания. Уравнение гармонических колебаний и его решение. Амплитуда, период и частота колебаний. Превращение энергии при гармонических колебаниях. Распространение механических волн в упругих средах. Скорость распространения волны. Длина волны. Уравнение бегущей волны. Стоячие волны. Поперечные и продольные волны. Электромагнитные колебания и волны
Задача Найти коэффициенты прохождения и отражения от конечного скачка потенциала U при $E > U$

Билет N10

Оптика Скорость света и ее опытное определение. Дисперсия. Спектральный анализ. Интерференция света. Дифракция света. Поляризация света. Поперечность световых волн. Запутанные состояния. Парадокс Эйнштейна–Подольского–Розена. Квантовая телепортация. Вопросы полноты квантовой механики. Неравенства Бэлла Эксперимент Аспекта.

Классический компьютер: бит информации. Логические операции. Квантовый компьютер. Кубит. Квантовые вычисления.

Классическая криптография. Ключ как случайная последовательность. Квантовая криптография. Протокол ББ84. Невозможность взлома.

Задача Найти коэффициенты прохождения и отражения от конечного скачка потенциала U при $E < U$

Билет N11

Колебания и волны. Гармонические колебания. Уравнение гармонических колебаний и его решение. Амплитуда, период и частота колебаний. Превращение энергии при гармонических колебаниях. Распространение механических волн в упругих средах. Скорость распространения волны. Длина волны. Уравнение бегущей волны. Стоячие волны. Поперечные и продольные волны. Электромагнитные колебания и волны

Парадоксы квантовой механики. Кот Шредингера. Мышь Эйнштейна. Квантовый парадокс Зенона. Копенгагенская интерпретация квантовой механики. Многомировая интерпретация Эверетта.

Задача Найти коэффициенты прохождения и отражения от потенциального барьера высотой U и шириной a при $E < U$

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)

Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	2	3	4	5
Знания <i>Устные опросы</i>	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения <i>Решение задач</i>	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных	В целом, сформированные	Сформированные навыки

деятельности) Обоснование использования соотношений и формул для вычислений	(владений, опыта)	навыков (наличие фрагментарного опыта)	навыки (владения), но используемые не в активной форме	(владения), применяемые при решении задач
---	----------------------	---	--	--

8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной литературы,
-Яворский Б.М. Селезнев Ю.А. Справочник по физике для поступающих в вузы
-Корн Г. Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров
-Ландау Л.Д. Лифшиц Е.М. Механика
-Ландау Л.Д. Лифшиц Е.М. Теория поля
-Окунь Л.Б. Элементарное введение в физику элементарных частиц.
-Елютин П.В. Кривченков В.Д. Квантовая механика
-Киселев В.В.Квантовая механика
-Мессиа А. Квантовая механика
-К.Коэн-Таннунджи, Б Диу, Ф.Лалоз Квантовая механика т 1,2
-М.Н.Иванов Как понимать квантовую механику
-Б.Грин Элегантная вселенная

9. Язык преподавания.

Русский

10. Преподаватель (преподаватели).

к.ф.-м.н. доц Останина М.В.

11. Автор (авторы) программы.

к.ф.-м.н. доц Останина М.В.