

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор  
по образовательной деятельности

А.А. Гинфилов

« 30 08 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ»**

Направление подготовки 44.03.05 – Педагогическое образование

Профиль/программа подготовки Физика. Математика

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоёмкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Формы промежуточной аттестации (экзамен/зачёт/зачёт с оценкой)
7	6/216	18	54		108	ЭКЗАМЕН (36)
Итого	6/216	18	54		108	ЭКЗАМЕН (36)

Владимир, 2019

*А.А. Гинфилов*

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели:

1. Формировать физическое мышление у студентов;
2. Дать научные знания по квантовой механике на уровне высшей школы, достаточные для освоения соответствующих разделов теоретической физики, а также для понимания и изучения технических дисциплин таких как, например, физическая электроника и элетрорадиотехника;
3. Дать основные знания и умения, которые будут необходимы при работе в средней школе в качестве учителя физики;
4. Развить навыки самостоятельной работы студентов.

Задачи дисциплины:

- освоить теоретический материал, предусмотренный программой курса;
- научиться применять законы квантовой механики для решения конкретных физических задач;
- научиться использовать основные методы и приемы исследования микромира.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Основы теоретической физики» относится к вариативной части.

Пререквизиты дисциплины: Введение в общую и экспериментальную физику, Общая и экспериментальная физика, Методы математической физики, Практикум по решению школьных физических задач, Методика обучения физике, Основы теоретической физики, Электрорадиотехника, Физический эксперимент в школе.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	частично	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- социальную значимость физики как науки и своей будущей профессии учителя физики;</li><li>- место физики в системе естественных наук и в жизни человеческого общества, тесную взаимосвязь физики с математикой;</li><li>- основные понятия физики: физическое тело и физические явления, а так же их характеристик – физических величин;</li><li>- понятий измерения физических величин, систем физических величин, их размерности и единиц измерения;</li><li>- классификацию погрешностей измерения физических величин.</li></ul>

		<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выделять конкретное физическое содержание в прикладных задачах и использовать основные законы физики в профессиональной деятельности;</li> <li>- применять физические законы для решения практических задач.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методологией организации, планирования, проведения измерений и обработки результатов экспериментальных исследований.</li> </ul>
ОПК-8. Способен осуществлять педагогическую деятельность на основе специальных научных знаний	частично	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- предмет и объект физики как науки;</li> <li>- теоретические основы и природу основных физических явлений;</li> <li>- фундаментальные понятия, законы и теории классической и современной физики;</li> <li>- основные достижения физической науки в практической жизни.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выделять конкретное физическое содержание в прикладных задачах и использовать основные законы физики в профессиональной деятельности;</li> <li>- применять физические законы для решения практических задач.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками работы с научной литературой разного уровня (научно-популярные издания, периодические журналы, монографии, учебники, справочники);</li> <li>- навыками оценки результатов научного эксперимента или исследования.</li> </ul>
ПК-4. Способен формировать развивающую образовательную среду для достижения личностных, предметных и метапредметных результатов обучения средствами преподаваемых учебных предметов	частично	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- возможности инновационной образовательной среды для достижения личностных, метапредметных и предметных результатов, закономерности становления способности к межкультурной коммуникации как средства воспитания поликультурной личности.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обеспечить высокое качество учебно-воспитательного процесса средствами преподаваемого предмета, применять инновационные методики и технологии обучения физике на разных уровнях и стадиях.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>инновационными методами и технологиями обучения физике), новыми информаци-</li> </ul>

		онными и телекоммуникационными технологиями в обучении физике.
ПК-8. Способен проектировать содержание образовательных программ и их элементов	частично	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основы и этапы педагогического проектирования;</li> <li>- принципы проектирования новых образовательных программ и разработки инновационных методик организации образовательного процесса.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- осваивать ресурсы образовательных систем и проектировать их развитие;</li> <li>- проектировать образовательную среду, образовательные программы</li> <li>- применять знания для организации образовательного процесса;</li> <li>- адаптировать современные достижения науки и наукоемких технологий к образовательному процессу.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методикой педагогического проектирования.</li> </ul>
ПК-9. Способен проектировать индивидуальные образовательные маршруты обучающихся по преподаваемым учебным предметам	частично	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- современные методы диагностирования учебных достижений обучающихся, определение психолого-педагогических основ их индивидуальных образовательных маршрутов.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-проводить диагностику учебных достижений обучающихся, выявлять психолого-педагогические основы их индивидуальных образовательных маршрутов.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способностью использовать результаты диагностики достижений обучающихся при проектировании их индивидуальных образовательных маршрутов.</li> </ul>

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)	Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах/ %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)

				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Трудности классической физики, приведшие к созданию квантовой механики.	7	1-2	1	8		11	2/20	
2	Модели строения атома.	7	3-4	2	6		10	2/20	
3	Математический аппарат квантовой механики.	7	5-6	2	6		10	3/25	РК-1
4	Основные положения квантовой механики.	7	7	2	4		9	2/33	
5	Линейный гармонический квантовый осциллятор.	7	8-9	2	6		10	2/20	
6	Частица в одномерном и трехмерном потенциальном ящике. Преодоление частицей потенциального барьера.	7	10-11	2	4		10	2/25	
7	Квантовая теория атома водорода.	7	12-13	2	4		10	3/25	РК-2
8	Многоэлектронные квантовые системы. Строение электронных оболочек.	7	14-15	2	4		10	2/25	
9	Атомные и молекулярные орбитали. Теория ЛКАО	7	16	1	8		18	2/33	
10	Основы теории представлений.	7	17-18	2	4		10	2/25	РК-3
Всего за 7 семестр:				18	54		108	22/24	ЭКЗАМЕН (36)
Наличие в дисциплине КП/КР			2						
Итого по дисциплине				18	54		108	22/24	ЭКЗАМЕН (36)

### Содержание лекционных занятий по дисциплине

#### Тема 1. Трудности классической физики, приведшие к созданию квантовой механики.

1. Модель абсолютно черного тела.
2. Формула Рэлея-Джинса. Формула Вина.
3. Формула Планка, гипотеза Планка.
4. Успехи гипотезы Планка

#### Тема 2. Модели строения атома.

1. Строение атома – ключевая проблема.
2. Атом атома Томсона.
3. Опыты Резерфорда.
4. Модель атома Бора.
5. Опыты Франка-Герца.

#### Тема 3. Математический аппарат квантовой механики.

1. Пространство состояний и пространственное квантование.
2. Соотношение неопределенности Гейзенберга.
3. Операторы и их свойства.

4. Принципы построения математического аппарата квантовой механики.

#### **Тема 4. Основные положения квантовой механики.**

1. Соотношение неопределенности и измерения физических величин в микромире.
2. Функция состояния и ее физический смысл. Основные положения квантовой механики.
3. Операторы импульса и энергии.
4. Нестационарное и стационарное уравнения Шредингера.

#### **Тема 5. Линейный гармонический квантовый осциллятор.**

1. Уравнение Шредингера для линейного гармонического осциллятора.
2. Вывод волновой функции.
3. Квантование состояний и энергии.

#### **Тема 6. Частица в одномерном и трехмерном потенциальном ящике. Преодоление частицей потенциального барьера.**

1. Постановка задачи частицы в одномерном потенциальном ящике.
2. Уравнение Шредингера и его решение.
3. Функция плотности вероятности для квантового и классического случаев.
4. Трехмерный потенциальный ящик.
5. Уравнение Шредингера и метод разделения переменных.

#### **Тема 7. Квантовая теория атома водорода.**

1. Уравнение Шредингера для электрона в центральном поле протона.
2. Разделение переменных.
3. Триада уравнений.
4. Квантование проекции момента импульса и модуля момента импульса.
5. Функция состояния атома водорода.
6. Пространственное квантование.
7. Квантование энергии.

#### **Тема 8. Многоэлектронные квантовые системы. Строение электронных оболочек.**

1. Взаимодействие орбитального магнитного момента с магнитным полем.
2. Нормальный эффект Зеемана.
3. Аномальный эффект Зеемана. Спин электрона. Опыты Штерна-Герлаха.
4. Электронные оболочки и слои. Электронная структура атомов.
5. Периодическая система элементов.

#### **Тема 9. Атомные и молекулярные орбитали. Теория ЛКАО**

1. Атомная орбиталь – функция плотности вероятности атомного электрона.
2. Визуализация атомных орбиталей. Симметрия s-, p-, d-орбиталей.
3. Взаимодействие атомных орбиталей. Связывающие и разрыхляющие молекулярные орбитали.
4. Молекула воды. Гибридизация орбиталей.
5.  $sp^3$ -гибридизация, молекула метана.
6.  $sp^2$ -гибридизация, молекула этилена.
7.  $sp$ -гибридизация, молекула ацетилена.

#### **Тема 10. Основы теории представлений.**

1. Разложение функций состояния по собственным функциям оператора.
2. Евклидово  $n$ -мерное пространство.
3. Обозначения Дирака.
4. Основные положения квантовой механики.
5. Примеры различных представлений.

### **Содержание практических занятий по дисциплине**

#### **Тема 1. Трудности классической физики, приведшие к созданию квантовой механики.**

Модель абсолютно черного тела. Формула Рэлея-Джинса. Формула Вина. Формула Планка, гипотеза Планка. Успехи гипотезы Планка

### **Тема 2. Модели строения атома.**

Строение атома – ключевая проблема. Атом атома Томсона. Опыты Резерфорда. Модель атома Бора. Опыты Франка-Герца.

### **Тема 3. Математический аппарат квантовой механики.**

Пространство состояний и пространственное квантование. Соотношение неопределенности Гейзенберга. Операторы и их свойства. Принципы построения математического аппарата квантовой механики.

### **Тема 4. Основные положения квантовой механики.**

Соотношение неопределенности и измерения физических величин в микромире. Функция состояния и ее физический смысл. Основные положения квантовой механики. Операторы импульса и энергии. Нестационарное и стационарное уравнения Шредингера.

### **Тема 5. Линейный гармонический квантовый осциллятор.**

Уравнение Шредингера для линейного гармонического осциллятора. Вывод волновой функции. Квантование состояний и энергии.

### **Тема 6. Частица в одномерном и трехмерном потенциальном ящике. Преодоление частицей потенциального барьера.**

Постановка задачи частицы в одномерном потенциальном ящике. Уравнение Шредингера и его решение. Функция плотности вероятности для квантового и классического случаев. Трехмерный потенциальный ящик. Уравнение Шредингера и метод разделения переменных.

### **Тема 7. Квантовая теория атома водорода.**

Уравнение Шредингера для электрона в центральном поле протона. Разделение переменных. Триада уравнений. Квантование проекции момента импульса и модуля момента импульса. Функция состояния атома водорода. Пространственное квантование. Квантование энергии.

### **Тема 8. Многоэлектронные квантовые системы. Строение электронных оболочек.**

Взаимодействие орбитального магнитного момента с магнитным полем. Нормальный эффект Зеемана. Аномальный эффект Зеемана. Спин электрона. Опыты Штерна-Герлаха. Спин электрона. Электронные оболочки и слои. Электронная структура атомов. Периодическая система элементов.

### **Тема 9. Атомные и молекулярные орбитали. Теория ЛКАО**

Атомная орбиталь – функция плотности вероятности атомного электрона. Визуализация атомных орбиталей. Симметрия s-, p-, d-орбиталей. Взаимодействие атомных орбиталей. Связывающие и разрыхляющие молекулярные орбитали. Молекула воды. Гибридизация орбиталей. sp<sup>3</sup>-гибридизация, молекула метана. sp<sup>2</sup>-гибридизация, молекула этилена. sp-гибридизация, молекула ацетилена.

### **Тема 10. Основы теории представлений.**

Разложение функций состояния по собственным функциям оператора. Евклидово n-мерное пространство. Обозначения Дирака. Основные положения квантовой механики. Примеры различных представлений.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В преподавании дисциплины «*Основы теоретической физики*» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- *Интерактивная лекция (тема №1, тема №4, тема №9);*
- *Разбор конкретных ситуаций (тема №2, тема №3, тема №6);*
- *Проблемная лекция (тема №5);*
- *Анализ ситуаций (тема №8, тема №10)*
- *Применение имитационных моделей (тема №7).*

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Текущий контроль успеваемости

### Вопросы к рейтинг-контролю №1

1. В некоторый момент времени нормированная волновая функция системы имеет вид

$$\Psi(x) = \frac{1}{\sqrt{3}} \varphi_{A=1}(x) + \sqrt{\frac{2}{3}} \varphi_{A=3}(x),$$
 где  $\varphi_{A=1}(x)$  и  $\varphi_{A=3}(x)$  - нормированные собственные функции оператора физической величины  $\hat{A}$ , отвечающие собственным значениям  $A=1$  и  $A=3$ , соответственно. Среднее значение величины физической величины  $\bar{A}$  в этот момент равно

а.  $7/3$                       б.  $2$                       в.  $5/3$                       г.  $4/3$

2. Квантовая система описывается нормированной волновой функцией  $\Psi(x,t)$ . Физической величине  $A$  отвечает квантово-механический оператор  $\hat{A}$ . По какой формуле – а., б., в. или г. – можно вычислить среднее значение результатов многих измерений величины  $A$  над ансамблем тождественных квантовых систем?

а.  $\int \Psi^*(x,t) \hat{A} \Psi(x,t) dx$       б.  $\int \hat{A} |\Psi(x,t)|^2 dx$       в.  $\int |\Psi(x,t)|^2 \hat{A} dx$       г.  $\hat{A} \int |\Psi(x,t)|^2 dx$

3. Физическая величина  $A$  имеет в состоянии с волновой функцией  $\Psi(x,t)$  определенное значение, если

а.  $\Psi$  не зависит от времени

б.  $\Psi(x,t)$  совпадает с одной из собственных функций оператора этой физической величины  $\hat{A}$ ,

в.  $\Psi(x,t)$  является собственной функцией оператора Гамильтона системы

г.  $\Psi$  не зависит от координат

4. Собственные значения и отвечающие им нормированные собственные функции оператора некоторой физической величины  $A$  равны:  $a_1 = 1$  и  $f_1(x) = B \sin(x/a)$  (первое собственное значение и отвечающая ему собственная функция),  $a_2 = 2$  и  $f_2(x) = B \sin(2x/a)$ ,  $a_3 = 3$  и  $f_3(x) = B \sin(3x/a)$ ,

.... (где  $a$  и  $B$  - некоторые числа, одинаковые для всех функций). Волновая функция частицы в некоторый момент времени равна  $\Psi(x) = C \sin(2x/a) \cos(5x/a)$ . Какие значения величины  $A$  можно обнаружить при измерениях в этот момент времени?

а.  $1$  и  $2$       б. любое целое положительное число      в.  $2$  и  $5$       г.  $3$  и  $7$

5. Собственные значения и отвечающие им нормированные собственные функции оператора некоторой физической величины  $A$  равны:  $a_1 = 1$  и  $f_1(x) = B \sin(x/a)$  (первое собственное значение и отвечающая ему собственная функция),  $a_2 = 2$  и  $f_2(x) = B \sin(2x/a)$ ,  $a_3 = 3$  и  $f_3(x) = B \sin(3x/a)$ ,

.... (где  $a$  и  $B$  - некоторые числа, одинаковые для всех функций). Волновая функция частицы в некоторый момент времени равна  $\Psi(x) = C \sin(2x/a) \cos(5x/a)$ . Чему равно среднее значение величины  $A$  в этот момент времени?

а.  $5$                       б.  $6$                       в.  $7$                       г.  $8$

### Вопросы к рейтинг-контролю №2

1. Какой формулой определяются собственные функции гамильтониана гармонического осциллятора массой  $m$  и частотой  $\omega$  ( $x = \sqrt{\hbar/m\omega}$  - безразмерная координата осциллятора)?

- а.  $P_n(x)\exp(-x^2/2)$  ( $P_n$  - полиномы Лежандра)      б.  $L_n(x)\exp(-x^2/2)$  ( $L_n$  - полиномы Лагерра)
- в.  $P_n^{|m|}(x)\exp(-x^2/2)$  ( $P_n^{|m|}$  - присоединенные полиномы Лежандра)
- г.  $H_n(x)\exp(-x^2/2)$  ( $H_n$  - полиномы Эрмита), ( $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ).

2. Какой формулой определяются собственные функции гамильтониана гармонического осциллятора массой  $m$  и частотой  $\omega$  ( $x = \sqrt{\hbar/m\omega}$  - безразмерная координата осциллятора)?

- а.  $H_n(x)\exp(-x^2/2)$       б.  $H_n(x)\exp(-x^4/2)$       в.  $H_n(x)\exp(-x/2)$
- г.  $H_n(x)\exp(-x^2)$  ( $H_n$  - полиномы Эрмита,  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ).

3. Волновая функция гармонического осциллятора в некоторый момент времени имеет вид  $(1 + 2x)\exp(-x^2/2)$  ( $x = \sqrt{\hbar/m\omega}$  - безразмерная координата осциллятора). Какие значения энергии осциллятора могут быть обнаружены при измерениях?

- а.  $\hbar\omega/2$  и  $3\hbar\omega/2$       б.  $3\hbar\omega/2$  и  $5\hbar\omega/2$       в. только  $3\hbar\omega/2$       г. только  $\hbar\omega/2$

4. Волновая функция гармонического осциллятора в некоторый момент времени является четной функцией координаты. Можно ли при измерениях энергии осциллятора в этом состоянии обнаружить значение  $3\hbar\omega/2$ ?

- а. да      б. нет      в. зависит от способа измерения      г. зависит от волновой функции

5. При измерении энергии осциллятора были обнаружены два значения  $\hbar\omega/2$  с вероятностью  $1/4$  и  $3\hbar\omega/2$  с вероятностью  $3/4$ . Средняя энергия осциллятора в этом состоянии равна

- а.  $\bar{E} = 5\hbar\omega/2$  б.  $\bar{E} = 5\hbar\omega/4$  в.  $\bar{E} = 5\hbar\omega/3$  г.  $\bar{E} = 5\hbar\omega/6$

### Вопросы к рейтинг-контролю №3

1. Будет ли гамильтониан частицы, движущейся в центральном поле, коммутировать с оператором проекции момента на ось  $x$ ?

- а. да      б. нет      в. зависит от поля      г. зависит от состояния, в котором находится частица

2. Что можно сказать о зависимости волновой функции стационарных состояний частицы от полярного  $\vartheta$  и азимутального  $\varphi$  углов в некотором центрально-симметричном поле.

- а. не зависят от углов  $\vartheta$  и  $\varphi$
- б. зависимость от углов  $\vartheta$  и  $\varphi$  всегда сводится к некоторой сферической функции
- в. эти функции можно выбрать так, что их зависимость от углов  $\vartheta$  и  $\varphi$  сводится к некоторой сферической функции
- г. это зависит от вида поля

3. Что можно сказать об интеграле  $\int_0^\infty \chi_1(r)\chi_2(r)dr$ , где  $\chi_1(r)$  и  $\chi_2(r)$  - радиальные волновые функции ( $\chi(r) = rR(r)$ ) стационарных состояний дискретного спектра

- а. он равен нулю, если эти функции отвечают разным радиальным квантовым числам и разным моментам
- б. он равен нулю, если эти функции отвечают разным радиальным квантовым числам, но одинаковому моменту
- в. он равен нулю, если эти функции отвечают одинаковым радиальным квантовым числам, но разным моментам
- г. он равен нулю, если эти функции отвечают одинаковым радиальным квантовым числам и одинаковым моментам

4. Что такое вырождение уровней энергии частицы в центрально-симметричном поле по проекции момента?

- а. совпадение проекций момента у состояний с разными энергиями

- б. совпадение проекций у состояний с разными моментами
  - в. совпадение моментов у состояний с разными проекциями
  - г. совпадение энергий у состояний с разными проекциями момента
5. Что такое «случайное» вырождение уровней энергии в центрально-симметричном поле?
- а. Совпадение энергий у частиц, движущихся в разных потенциалах
  - б. совпадение энергий у состояний с разными моментами
  - в. случайное столкновение частиц, имеющих одинаковые энергии
  - г. совпадение моментов у состояний с разными энергиями

*Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен)*

### **Вопросы к экзамену**

1. Трудности классической физики при объяснении спектра излучения твердого тела. Формула Рэлея-Джинса. Формула Планка.
2. Квантовая гипотеза Планка. Основы квантовой теории света. Фотоэффект. Эффект Комптона.
3. Квантовая гипотеза Планка. Давление света.
4. Модель атома Томсона. Рассеяние  $\alpha$ -частиц электроном.
5. Модель атома Томсона. Рассеяние  $\alpha$ -частиц равномерно распределенным шарообразным положительным зарядом.
6. Опыт Резерфорда. Рассеяние  $\alpha$ -частиц массивным положительным ядром атома Резерфорда.
7. Модель атома Резерфорда. Формула рассеяния Резерфорда.
8. Модель атома водорода по Бору. Гипотеза Де Бройля. Квантование радиуса орбит электрона.
9. Экспериментальные подтверждения модели атома Бора. Опыт Франка и Герца.
10. Теория Бора-Зоммерфельда. Пространственное квантование.
11. Соотношение неопределенности Гейзенберга. Объяснение соотношения неопределенности на примере дифракции электронов.
12. Соотношение неопределенности Гейзенберга. Объяснение соотношения неопределенности на основе взаимодействия микрочастицы с фотоном при измерении.
13. Волновой пакет - модель фотона. Соотношение неопределенности в волновом пакете.
14. Соотношение неопределенности Гейзенберга. Естественная ширина спектральных линий.
15. Математический аппарат квантовой механики: Операторы и их свойства.
16. Волновая функция – функция состояния. Среднее значение величины в квантовой механике.
17. Волновая функция – функция состояния. Вывод оператора проекции импульса. Оператор кинетической энергии.
18. Оператор полной энергии – гамильтониан - в квантовой механике. Стационарное и нестационарное уравнения Шредингера.
19. Основные принципы квантовой механики. Самосопряженность операторов в квантовой механике.
20. Соответствие классических и квантово-механических величин и понятий. Отношение коммутативности операторов и его физический смысл.
21. Одномерный бесконечно глубокий "потенциальный ящик". Квантование состояний и энергии.
22. Трехмерный бесконечно глубокий "потенциальный ящик". Квантование состояний и энергии.
23. Квантово-механический гармонический линейный осциллятор. Решение уравнения Шредингера.
24. Квантово-механический гармонический линейный осциллятор. Квантование энергии и состояний. Сравнение с классическим гармоническим осциллятором.
25. Преодоление микрочастицей потенциального барьера бесконечной ширины.
26. Преодоление микрочастицей потенциального барьера конечной ширины. Туннельный эффект.
27. Квантовая модель атома водорода. Уравнение Шредингера в сферической системе координат. Триада уравнений.
28. Квантовая модель атома водорода. Квантование проекции момента импульса и модуля момента импульса.
29. Атом водорода. Квантовые числа. Нормальный эффект Зеемана.

30. Многоэлектронные атомы. Спин электрона. Опыт Штерна и Герлаха. Аномальный эффект Зеемана.
31. Многоэлектронные атомы. Принцип Паули. Строение электронных оболочек атомов. Периодическая система элементов.
32. Атомные орбитали. Взаимодействие атомных орбиталей. Молекулярные орбитали на примере молекулы  $H_2O$ .
33.  $sp^3$ -гибридизация атома углерода. Молекула метана.
34.  $sp^2$ -гибридизация атома углерода. Молекула этилена.
35.  $sp$ -гибридизация атома углерода. Молекула ацетилена.

### Задания для самостоятельной работы студентов

1. Получить уравнение, определяющее энергетические уровни дискретного спектра для частицы в потенциальной яме

$$U(x) = \begin{cases} -u_0, & |x| < a \\ 0, & |x| > a \end{cases}$$

где  $u_0 > 0$ . Каково условие появления новых состояний дискретного спектра при углублении ямы?

Найти энергетические уровни нижней части спектра в случае глубокой ямы  $u_0 \gg \hbar^2 / ma^2$ . Рассмотреть яму малой глубины  $u_0 \ll \hbar^2 / ma^2$ . Показать, что в такой яме имеется один уровень дискретного спектра.

2. Бесконечно глубокая яма шириной  $a$  занимает положение от  $-a/2$  до  $a/2$ . Частица находится в состоянии, в котором ее энергия может принимать значения  $E_1 = \pi^2 \hbar^2 / 2ma^2$  с вероятностью  $1/4$ ,  $E_2 = 4\pi^2 \hbar^2 / 2ma^2$  с вероятностью  $1/2$  и  $E_3 = 9\pi^2 \hbar^2 / 2ma^2$ , с вероятностью  $1/4$ . Чему равно среднее значение оператора четности в указанном состоянии? Как эта величина зависит от времени?

3. В момент времени  $t = 0$  нормированная волновая функция одномерного осциллятора имеет вид

$$\Psi(x, t = 0) = \frac{2}{\sqrt{5\pi^{1/4}}} (x + x^2) \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad x = \frac{x}{\sqrt{\hbar / m\omega}}$$

Какие значения может принимать энергия осциллятора в момент времени  $t$  и с какими вероятностями? Найти среднюю энергию частицы как функцию времени. Какова средняя четность указанного состояния? Как средняя четность зависит от времени?

4. В момент времени  $t = 0$  нормированная волновая функция одномерного осциллятора имеет вид

$$\Psi(x, t = 0) = \sqrt{\frac{2}{3\pi^{1/2}}} (1 - x) \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad x = \frac{x}{\sqrt{\hbar / m\omega}}$$

Найти среднюю координату осциллятора в этом состоянии как функцию времени. Найти также поток вероятности при  $x = 0$  как функцию времени. Дать физическую интерпретацию полученных результатов.

5. Волновая функция частицы имеет вид  $\exp(-3i\varphi)$ . Найти вероятность того, что при измерении квадрата момента импульса частицы будут обнаружены значения  $6\hbar^2$ ,  $7\hbar^2$ .

6. Частица находится в состоянии с определенными значениями  $L^2 = 2\hbar^2$  и  $L_z = \hbar$ . Какие значения проекции момента импульса на ось  $x$  можно обнаружить в результате измерений в этом состоянии и с какими вероятностями?

7. Пусть  $E_N$  значение энергии  $N$ -го уровня энергии дискретного спектра частицы в центральном поле (для основного состояния  $N = 1$ ). Какими могут быть максимально возможные значения момента частицы для состояний этого уровня? Каким может быть максимально возможное значение кратности вырождения уровня?

8. Найти энергии и волновые функции стационарных состояний частицы в бесконечно глубокой сферической потенциальной яме радиуса  $a$ , в которых момент импульса имеет значение  $l = 0$ . Получить уравнение для энергий состояний с моментом  $l = 1$ .

9. Провести классификацию пяти нижних уровней сферического осциллятора по значениям квантовых чисел  $n_r$ ,  $l$  и  $m$ , исходя только из кратности вырождения уровней

10. В начальный момент времени сферический осциллятор находится в состоянии с «декартовыми» квантовыми числами  $n_x = 1$ ,  $n_y = 2$ ,  $n_z = 3$ . Найти вероятности различных значений четности осциллятора и среднюю четность в этом состоянии. Как эта величина зависит от времени? Какие значения может принимать момент импульса осциллятора в этом состоянии?

11. Сферический осциллятор находится в стационарном состоянии с «декартовыми» квантовыми числами  $n_x = 0$ ,  $n_y = 0$ ,  $n_z = 3$ . Найти вероятности различных значений проекции момента импульса осциллятора на ось  $z$ .

12. Построить примеры волновых функций состояний свободной частицы, в которых: а) энергия частицы, квадрат ее момента импульса имеют определенные значения, а проекция момента на ось  $z$  может принимать два различных значения; б) энергия частицы, импульс и проекция момента на ось  $z$  имеют определенные значения; в) энергия частицы и проекция момента на ось  $z$  имеют определенные значения, а импульс и квадрат момента импульса определенных значений не имеют;

13. Найти коэффициенты отражения и прохождения частицы с энергией  $E$  через прямоугольный потенциальный барьер

$$U(x) = \begin{cases} u_0, & 0 < x < a \\ 0, & x > a, \quad x < 0 \end{cases}$$

где  $u_0 > 0$ .

### Проектная деятельность

1. Создание школьных виртуальных лабораторных работ по фотоэффекту.
2. Компьютерная визуализация атомных орбиталей.
3. Компьютерное моделирование взаимодействия атомных орбиталей.

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор,	Год	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
---------------------------------	-----	---------------------

название, вид издания, издательство	издания	Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
Основная литература			
1. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Иродов И.Е.— Электрон.текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний.— 259 с.	2014		<a href="http://www.iprbookshop.ru/6551">http://www.iprbookshop.ru/6551</a>
2. Элементы квантовой механики и физики атомного ядра: Учебное пособие/А.Г.Браун, И.Г.Левитина - М.: НИЦ ИНФРА-М. - 84 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование:Бакалавриат) (Обложка) ISBN 978-5-16-010384-6	2015		<a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=486392">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=486392</a>
3. Квантовая механика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. - 2-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ.	2015		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996329892.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996329892.html</a>
4. Иродов И.Е. Задачи по квантовой физике [Электронный ресурс]/ Иродов И.Е.— Электрон.текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний.— 215 с.	2013		<a href="http://www.iprbookshop.ru/6550">http://www.iprbookshop.ru/6550</a>
Дополнительная литература			
1. Квантовая механика. Курс лекций. [Электронный ресурс]: учебное пособие / Киселев В.В. - М.: МЦНМО. - Учебное пособие – 222 с.	2009		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940574972.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940574972.html</a>
2. Ведринский Р.В. Квантовая механика [Электронный ресурс]: учебник/ Ведринский Р.В.— Электрон.текстовые данные.— Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет,.— 384 с.	2009		<a href="http://www.iprbookshop.ru/46976">http://www.iprbookshop.ru/46976</a>
3. Толмачёв В.В. Квазиклассическая и квантовая теория атома водорода [Электронный ресурс]/ Толмачёв В.В., Скрипник Ф.В.— Электрон.текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований.— 132 с.	2008		<a href="http://www.iprbookshop.ru/16538">http://www.iprbookshop.ru/16538</a>
4. Краснопевцев Е.А. Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Краснопевцев Е.А.— Электрон.текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический универси-	2010		<a href="http://www.iprbookshop.ru/45097">http://www.iprbookshop.ru/45097</a>

тет.— 354 с.			
5. Вильф Ф.Ж. Опусы теоретической физики (Opera postuma) [Электронный ресурс]/ Вильф Ф.Ж.— Электрон.текстовые данные.— М.: Когито-Центр.— 688 с.	2010		<a href="http://www.iprbookshop.ru/15562">http://www.iprbookshop.ru/15562</a>

## 7.2. Периодические издания

«Земля и вселенная». М.: Наука;  
«Природа» М.: Изд. РАН;  
«Физика в школе» М.: Школьная пресса;  
«Успехи физических наук» М.: Изд. РАН;  
«Физика» М.: Первое сентября.

## 7.3. Интернет-ресурсы

CourseLab 2.7;  
Открытая физика (часть I)  
<http://physics.ru/courses/op25part1/content/content.html#.V80iwVuLTcs>  
Открытая физика (часть II)  
<http://physics.ru/courses/op25part2/content/content.html#.V80jOVuLTcs>  
Физика, химия, математика студентам и школьникам  
<http://www.ph4s.ru/>  
Физика в анимациях  
<http://physics.nad.ru/>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий *лекционного типа, занятий практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.*

Практические работы проводятся в Аудит. 121-7. Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: Лицензии на Microsoft Windows/Office: Microsoft Open License 49487346



Рабочую программу составил \_\_\_\_\_  зав. кафедрой А.В. Малеев

Рецензент  директор МАО СОШ №2 А.В. Беянина

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры общей и теоретической физики  
Протокол № 1 от 30.08.19 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  А.В. Малеев

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направ-  
ления 44.03.05 – Педагогическое образование

Протокол № 1 от 30.08.19 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_  М.В. Артамонова

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

