

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Мурманский арктический государственный университет»
в г. Апатиты

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.ОД.7 Квантовая механика

(шифр дисциплины и название в строгом соответствии
с федеральным государственным образовательным стандартом и учебным планом)

**образовательной программы
по направлению подготовки бакалавриата**

**14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика
Профиль Теплофизика
Академический бакалавриат**

(код и наименование направления подготовки
с указанием профиля (наименования магистерской программы))

очная форма обучения

форма обучения

Составитель:

Шейко Е.М., ст. преподаватель кафедры
физики, биологии и инженерных
технологий

Утверждено на кафедре физики, биологии
и инженерных технологий
(протокол № 1 от «24» января 2017 г.)

Зав. кафедрой



Николаев В. Г.

подпись

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ). Б1.В.ОД.7 Квантовая

механика

2. АННОТАЦИЯ К ДИСЦИПЛИНЕ

В современной науке квантовая механика занимает особое место, поскольку формирует основные идеи современного подхода к описанию микромира и дает язык такого описания, который является единственно возможным для целого ряда разделов физики. Курс квантовой механики занимает особое место среди различных разделов физики, входящих в программу обучения физиков, как теоретиков, так и экспериментаторов. А для студентов-физиков, работа которых будет связана с ядерной физикой, физикой элементарных частиц, а также для специалистов в области ядерной энергетики этот курс представляет собой основное «орудие труда».

В предлагаемом курсе излагаются физические основы и математические методы нерелятивистской квантовой механики. С точки зрения содержания предлагаемый курс традиционен для подготовки физиков в рамках стандартных университетских программ. Изложение включает операторный и матричный методы квантовой механики, квантование простейших физических систем, теорию момента и спина, квазиклассическое приближение, теорию возмущений и переходов, задачу рассеяния. Особенностью предлагаемого курса является включение во все его разделы большого количества тестовых задач и примеров (то есть простейших задач с выбором ответа из нескольких предлагающихся), которые, во-первых, позволят преподавателю организовать эффективный и постоянный контроль текущей успеваемости студентов, а также могут быть использованы для самоконтроля.

Целью данного курса является ознакомление студентов с основными понятиями и принципами квантовой механики и ее математическим аппаратом. Студенты научатся пользоваться математическим аппаратом квантовой механики, будут способны применять его к исследованию простейших квантовых систем: атома водорода, ротатора, осциллятора и др., а также для решения простейших задач. Овладение квантовой механикой в таком объеме позволит студентам в будущем изучать другие разделы современной физики.

Знать:

основные положения квантовой механики, элементы теории представлений, решение простейших задач квантовой механики, основы теории атомов и молекул.

Уметь:

использовать математический аппарат квантовой механики в нерелятивистском и релятивистском случаях, физически интерпретировать квантовые процессы.

Владеть:

основными методами научных исследований, навыками проведения физического (лабораторного) эксперимента, статистической обработкой экспериментальных данных с помощью современных информационных технологий

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

способностью к участию в разработке методов прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик (ПК-1)

4. УКАЗАНИЕ МЕСТА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.

Дисциплина «Квантовая механика» относится к вариативной части базовых дисциплин и является обязательной.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных в рамках базового курса физики и математики. Предполагается также, что студенты, слушающие данный курс, знают математический анализ, линейную алгебру, теорию вероятностей и теоретическую механику в объеме стандартной программы обучения. «Квантовая механика» является дисциплиной, закладывающей базу для последующего изучения специальных предметов и разделов современной физики, таких как, «Теория теплофизических свойств веществ», «Экспериментальные методы исследования», «Физика ядерных реакторов» и др.

Для успешного освоения дисциплины студенты должны проявить способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения;

способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

5. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ИЛИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетные единицы или 216 часов.
(из расчета 1 ЗЕТ= 36 часов).

Курс	Семестр	Трудоемкость в ЗЕТ	Общая трудоемкость (час)	Контактная работа			Всего контактных часов	Из них в интерактивных формах	Кол-во часов на СРС	Форма контроля
				ЛК	ПР	ЛБ				
3	5	6	216	32	32	-	64	-	152 (из них 36ч для подготовки к экзамену)	экзамен

6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ИЛИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ.

№ п/п	Наименование раздела, темы	Контактная работа			Всего контактных часов	Из них в интерактивной форме	Кол-во часов на СРС
		ЛК	ПР	ЛБ			
1.	Математический аппарат квантовой механики	4	4	-	8	-	16
2.	Основные положения квантовой механики	8	8	-	16	-	20
3.	Одномерные задачи квантовой механики.	8	8	-	16	-	20
4.	Движение в центрально-симметричном поле	4	4	-	8	-	20
5.	Спин и системы тождественных частиц	4	4	-	8	-	20
6.	Атомы и молекулы	4	4	-	8	-	20
	Итого:	32	32	-	64	-	116
	Экзамен						36

Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Математический аппарат квантовой механики Введение. Место квантовой механики на карте науки. Основные этапы становления квантовой теории. Квантовая теория как важнейшая составная часть общечеловеческой культуры.

Математический аппарат квантовой механики. Понятие о волновой функции квантово-механической системы. Статистическое толкование волн де Бройля. Вероятностный характер законов квантовой механики Соотношения коммутации. Линейные операторы и действия над ними. Собственные функции линейных операторов. Ортогональные системы функций и их ряды

Тема 2. Основные положения квантовой механики

Экспериментальные основы квантовой механики. Квантование круговых орбит в атоме водорода. Уровни энергии и спектральные серии водородоподобного атома. Трудности теории Бора. Уравнение Шрёдингера для свободной частицы и частицы во внешнем потенциальном поле. Стационарные состояния. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний. Уравнение непрерывности в квантовой механике. Вектор плотности потока вероятности. Операторы координаты, импульса, момента количества движения, энергии. Теоремы о собственных функциях и собственных значениях линейных самосопряженных операторов. Соотношение неопределенностей для координаты и импульса. Дифференцирование операторов по времени и законы сохранения в квантовой механике. Связь законов сохранения с симметрией пространства и времени. Взаимосвязь квантовой и классической механики. Обобщение уравнения Гамильтона-Якоби в квантовой механике. Предельный переход к классической механике. Теоремы Эренфеста. Принцип причинности в квантовой механике

Тема 3. Одномерные задачи квантовой механики.

Одномерные квантово-механические задачи. Задача о частице в одномерном, абсолютно непроницаемом ящике. Линейный гармонический осциллятор, его энергетический спектр и волновые функции. Взаимодействие микрочастицы с потенциальной ступенькой. Надбарьерное рассеяние. Прохождение частицы через потенциальный барьер прямоугольной и произвольной формы. Туннельный эффект.

Общие свойства одномерного движения микрочастицы.

Тема 4. Движение в центрально-симметричном поле

Движение в центрально-симметричных полях. Проблема двух тел в квантовой механике и ее сведение к задаче о движении одной частицы в центрально-симметричном поле. Операторы момента импульса, их собственные функции и собственные значения. Радиальное уравнение Шредингера. Поведение радиальной волновой функции на больших и малых расстояниях от центра поля. Водородоподобный атом (энергетические уровни и структура волновых функций дискретного спектра; «случайное» вырождение; радиальная и угловая плотности электронного облака; спектроскопическая классификация состояний; круговые токи в атоме и магнитный момент орбитального движения электрона).

Тема 5. Спин и системы тождественных частиц

Принцип тождественности одинаковых микрочастиц. Оператор перестановки частиц. Симметричные и асимметричные состояния. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Приближенная теория атома гелия. Обменное взаимодействие. Понятие о методе самосогласованного поля; правила сложения моментов; типы связей электронов в атомах. Спектроскопическая классификация состояний.

Тема 6. Атомы и молекулы

Многоэлектронные атомы. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева. Заполнение оболочек в атомах. Молекула водорода и природа химических сил. Границы применимости нерелятивистской квантовой механики. Формальная схема квантовой механики. Некоторые концептуальные вопросы квантовой механики Молекула водорода и природа химических сил. Атом водорода в электрическом поле. Молекула водорода. Атом в поле электромагнитной волны. Излучение и поглощение света атомами

7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

1. Квантовая механика: учебное пособие / Ю.С. Ефремов. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 457 с. - Электронный ресурс: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=273446
2. Квантовая механика и квантовая химия. В 2 ч. Часть 1: учебник и практикум для академического бакалавриата / А.И. Ермаков. М.: Издательство Юрайт, 2017. – 183 с. Электронный ресурс: <https://www.biblio-online.ru/viewer/F55EE297-33DF-4B10-B7F7-E9197C0F1490>

8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ).

Общие сведения

1.	Кафедра	физики, биологии и инженерных технологий
2.	Направление подготовки	14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика профиль Теплофизика
3.	Дисциплина (модуль)	Б1.В.ОД.7 Квантовая механика

Перечень компетенций

- способностью к участию в разработке методов прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик (ПК-1)

Критерии и показатели оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Этап формирования компетенции (разделы, темы дисциплины)	Формируемая компетенция	Критерии и показатели оценивания компетенций			Формы контроля сформированности компетенций
		Знать:	Уметь:	Владеть:	
Математический аппарат квантовой механики	ПК-1	основные положения квантовой механики, элементы теории представлений, решение простейших задач квантовой механики, основы теории атомов и молекул.	использовать математический аппарат квантовой механики в нерелятивистском и релятивистском случаях, физически интерпретировать квантовые процессы.	основными методами научных исследований, навыками проведения физического (лабораторного) эксперимента, статистической обработкой экспериментальных данных с помощью современных информационных технологий	Тест Решение задач Домашнее задание Выступление на семинаре с презентацией
Основные положения квантовой механики					
Одномерные задачи квантовой механики.					
Движение в центрально-симметричном поле					
Спин и системы тождественных частиц					
Атомы и молекулы					

Критерии и шкалы оценивания

1. Тест

Процент правильных ответов	До 60	61-80	81-100
Количество баллов за решенный тест	3	4	5

2. Решение задач

5 баллов выставляется, если студент решил все рекомендованные задачи, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

4 балла выставляется, если студент решил не менее 85% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

3 балла выставляется, если студент решил не менее 65% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

2 баллов - если студент выполнил менее 50% задания, и/или неверно указал варианты решения.

3. Домашнее задание

10 баллов выставляется, если студент решил все рекомендованные задачи, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

7 баллов выставляется, если студент решил не менее 85% рекомендованных задач,

правильно изложил все варианты решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

5 баллов выставляется, если студент решил не менее 65% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

3 балла - если студент выполнил менее 50% задания, и/или неверно указал варианты решения.

4. Критерии оценки выступления студентов с презентацией на семинаре

<i>Структура презентации</i>	Максимальное количество баллов
Содержание	
Сформулирована цель работы	1
Понятны задачи и ход работы	1
Информация изложена полно и четко	1
Иллюстрации усиливают эффект восприятия текстовой части информации	1
Сделаны выводы	1
Оформление презентации	
Единый стиль оформления	1
Текст легко читается, фон сочетается с текстом и графикой	1
Все параметры шрифта хорошо подобраны, размер шрифта оптимальный и одинаковый на всех слайдах	1
Ключевые слова в тексте выделены	1
Эффект презентации	
Общее впечатление от просмотра презентации	1
Мах количество баллов	10

Типовые контрольные задания и методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

1. Тема семинара

- Нужна ли физике квантовая механика или «Кому все это надо....?»

1. Типовые тестовые задания

1. Гипотеза Планка состоит в том, что

- электромагнитные волны излучаются в виде отдельных порций (квантов), энергия которых зависит от частоты
- Электромагнитные волны поперечны
- Нельзя одновременно точно определить значение координаты и импульса
- электромагнитные волны излучаются зарядами движущимися с ускорением
- скорость света постоянна во всех инерциальных системах отсчета

2. Что выражают соотношения неопределённостей в квантовой механике.

- А) Соотношения между погрешностями в определении координаты и импульса частицы
 Б) Координаты и импульс микрочастицы
 В) Квантовые ограничения применимости классических понятий "координата и импульс" к микрообъектам отсутствуют
 Г) Корпускулярные свойства вещества
 Д) Квантовые свойства излучения
3. Какие частицы обладают волновыми свойствами?
 А) Любые частицы
 Б) Только заряженные частицы
 В) Электрически нейтральные частицы
 Г) Частицы, движущиеся с большими скоростями
 Д) Частицы, движущиеся с ускорением.
4. Какое из приведенных утверждений является верным в теории Бора?
 А) Разрешенными орбитами для электронов являются такие, для которых момент импульса электронов кратен целому числу величин h .
 Б) Энергия электрона на орбите и ее радиус могут быть произвольными.
 В) Радиус орбиты электрона с течением времени увеличивается.
 Г) При движении электронов по орбите происходит непрерывной излучение энергии.
 Д) Радиус орбиты электрона с течением времени уменьшается.
5. Под квантованием в физике понимается ...
 А) дискретность допустимых для частицы значений энергии, момента импульса, проекций магнитного и собственного
 Б) удовлетворение принципу Паули
 В) описание механического состояния частицы с помощью волновой функции
 Г) движение частицы, не подчиняющейся законам классической физики
 Д) не удовлетворение принципу Паули
6. Длина волны, на которую приходится максимум излучательной способности в спектре абсолютно черного тела, при повышении температуры ...
 А) изменяется как $1/T$
 Б) линейно возрастает с T
 В) не зависит от температуры
 Г) имеет сложную зависимость от температуры
 Д) Не измениться
7. Согласно гипотезе де Бройля не только фотон, но и каждый объект обладает ... свойствами.
 А) корпускулярными и волновыми
 Б) электрическими
 В) корпускулярными
 Г) световыми
 Д) волновыми

КЛЮЧ: 1-а; 2-а; 3-а; 4-а; 5-а; 6-а; 7-а

2. Примерные задачи

- 1) Определите красную границу фотоэффекта для металла с работой выхода 2 эВ.

Решение:

Из уравнения Эйнштейна $E_K = h\nu - A$ для фотоэффекта при условии $E_K=0$ имеем:
 $h\nu_{\min}=A$

Частота ν света связана с его скоростью c и длиной волны λ выражением $\nu = \frac{c}{\lambda}$

Из этих двух формул получаем: $\frac{hc}{\lambda_{MAX}} = A \Rightarrow \lambda_{MAX} = \frac{hc}{A} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3,2 \cdot 10^{-19}} = 620 \text{ нм}$

Ответ 620 нм

2) Найдите максимальную скорость электронов, освобождаемых при фотоэффекте светом с длиной волны $4 \cdot 10^{-7}$ с поверхности материала с работой выхода 1,9 эВ.

Решение:

Для решения задачи воспользуемся уравнением Эйнштейна для фотоэффекта $E_K = h\nu - A$, подставив в него выражение $E_K = \frac{mv^2}{2}$

для максимальной кинетической энергии электронов.

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2 \frac{hc}{\lambda} - 2A}{m}} \approx 6,5 \cdot 10^5 \text{ м/с}$$

Ответ: $6,5 \cdot 10^5 \text{ м/с}$

3) Кинетическая энергия электрона 1кэВ. Определить длину волны де Бройля.

Решение:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}; \quad E_K = \frac{mv^2}{2}; \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_K}} = 38,8 \text{ нм}$$

Ответ: 38,8 нм.

3. Примерное домашнее задание.

1) Воспользовавшись соотношением неопределенностей, оцените размытость энергетического уровня ΔE для основного состояния и для возбужденного состояния со временем жизни 10^{-8} с.

Решение:

Из соотношений неопределенностей $\Delta E \Delta t \geq h$

для $n=1$ получим: $\Delta t = \infty \Rightarrow \Delta E = 0$

для $n>1$ получим: $\Delta E = \frac{h}{\Delta t} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{10^{-8}} = 414 \text{ нэВ}$

Ответ: $\Delta E = 414 \text{ нэВ}$

2) Заполните следующую таблицу:

№	Квантовые числа	Возможные значения	Что определяют (формулы)
1.	главное, n		
2.	орбитальное, l		
3.	магнитное, m		
4.	спиновое, l_s		
5.	магнитное спиновое, m_s		

3) Электрон с энергией $E=5\text{эВ}$ встречает на своем пути прямоугольный потенциальный барьер высотой $U=10\text{эВ}$ и шириной $l=0.1$ нм. Определить коэффициент прозрачности потенциального барьера.

$$D = \exp\left[-\frac{2l}{\hbar}\sqrt{2m(U-E)}\right] = 0.1$$

Ответ: $D=0.1$

4) Электрон находится в d -состоянии. Определите: 1) момент импульса L_i ; 2) максимальное значение проекции момента импульса $L_{iz\max}$

Решение:

$$L_i = \hbar\sqrt{l(l+1)}; l = 2$$

$$L_i = \hbar\sqrt{6} = 2.45\hbar$$

$$m_l = 0; \pm 1; \pm 2$$

$$m_{l\max} = 2$$

$$L_{iz\max} = 2\hbar$$

Ответ: $L_i = 2.45\hbar$; $L_{iz\max} = 2\hbar$

4. Вопросы к экзамену

1. Формула Планка.
2. Теория фотонов Эйнштейна.
3. Дискретность атомных состояний. Теория водородоподобного атома по Бору.
4. Волновые свойства частиц.
5. Гипотеза де Бройля.
6. Описание состояния с помощью волновой функции.
7. Волновая функция де Бройля для свободной частицы.
8. Статистическая интерпретация волновой функции.
9. Уравнение Э. Шредингера.
10. Стационарные состояния.
11. Плотность тока вероятности.
12. Сопоставление операторов физическим величинам в квантовой механике.
13. Принцип суперпозиции состояний и линейность операторов в квантовой механике.
14. Собственные функции и собственные значения операторов.
15. Самосопряженные операторы. Вещественность их собственных значений.
16. Ортогональность и нормировка собственных функций.
17. Средние значения физических величин.
18. Коммутация операторов. Условие совместной определенности физических величин.
19. Неравенство Гейзенберга. Соотношение неопределенностей.
20. Изменение во времени средних значений физических величин.
21. Дифференцирование операторов по времени.
22. Законы сохранения в квантовой механике и их связь со свойствами симметрии пространства и времени.
23. Теоремы Эренфеста. Принцип причинности в квантовой механике.
24. Обобщение уравнения Гамильтона-Якоби в квантовой механике.
25. Предельный переход к классической механике.
26. Частица в потенциальном ящике.
27. Линейный гармонический осциллятор.
28. Взаимодействие микрочастицы с прямоугольной потенциальной ступенькой.
29. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
30. Движение в центрально-симметричном поле. Разделение переменных в

уравнении Шрёдингера.

31. Собственные функции и собственные значения оператора момента импульса.
32. Радиальное уравнение Шрёдингера.
33. Энергетический спектр водородоподобного атома.
34. Радиальные волновые функции стационарных состояний водородоподобного атома и радиальная плотность вероятности.
35. Классификация состояний в атоме водорода.
36. Стационарная теория возмущений невырожденного уровня.
37. Стационарная теория возмущений при наличии вырождения.
38. Теория возмущения, зависящего от времени. Квантовые переходы под влиянием возмущения, периодически зависящего от времени.
39. Вероятность электрических дипольных переходов при взаимодействии заряженной частицы с электрическим полем электромагнитной волны.
40. Коэффициенты Эйнштейна.
41. Правила отбора для орбитального и магнитного квантовых чисел.
42. Спин электрона. Экспериментальные факты.
43. Операторы спина. Матрицы Паули.
44. Полный момент количества движения электрона.
45. Спин - орбитальное взаимодействие.
46. Тонкая структура спектров водородоподобных атомов.
47. Нормальный эффект Зеемана.
48. Аномальный эффект Зеемана.
49. Принцип неразличимости одинаковых микрочастиц.
50. Симметричные и антисимметричные состояния. Бозоны и фермионы.
51. Принцип Паули.
52. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.
53. Атом гелия. Пара- и ортогелий. Обменное взаимодействие.
54. Молекула водорода. Природа ковалентной химической связи.
55. Спин и валентность

5. Вопросы к семинару

1. Градиентная инвариантность в квантовой механике.
2. Сложение моментов в квантовой механике.
3. Построение волновых функций с определенным суммарным спином
4. Построение волновых функций для двух спинов $\frac{1}{2}$.
5. Квазиклассическое приближение.
6. Вероятность альфа-распада в квазиклассическом приближении
7. Атом водорода в постоянном электрическом поле,
8. Эффект Штарка.
9. Движение заряженной частицы в магнитном поле.
10. Теория нестационарных возмущений.
11. Адиабатические и внезапные возмущения.
12. Периодические возмущения.
13. Резонансное приближение.
14. Вторичное квантование. Бозоны
15. Вторичное квантование. Фермионы
16. Наблюдаемые физические величины и линейные самосопряжённые операторы. Собственные функции и собственные значения линейных самосопряжённых операторов.
17. Волновая функция и принцип суперпозиции.
18. Оператор Гамильтона. Уравнение Шрёдингера.
19. Коммутация операторов и её физический смысл.

20. Соотношение неопределённостей Гейзенберга.
21. Оператор импульса. Собственные значения и собственные функции.
22. Координатное и импульсное представления волновой функции.
23. Оператор производной физической величины по времени. Законы сохранения.
24. Плотность потока вероятности. Уравнение непрерывности.
25. Общее решение уравнения Шредингера в стационарном случае. Стационарные состояния.
26. Общие свойства стационарных состояний одномерного движения.
27. Бесконечно глубокая потенциальная яма.
28. Энергетический спектр и стационарные состояния.
29. Одномерный гармонический осциллятор.
30. Операторы уничтожения и рождения.
31. Отражение и прохождение частицы через одномерный потенциальный барьер.
32. Оператор момента импульса.
33. Коммутационные соотношения.
34. Общие свойства собственных функции.
35. Оператор момента импульса. Решение уравнений на собственные значения.
36. Сферические функции.
37. Оператор момента импульса. Повышающий и понижающий операторы.
38. Матричная теория момента.
39. Задача двух тел. Движение в центральном поле. Общие свойства.
40. Классификация состояний дискретного спектра.
41. Уравнение для радиальной волновой функции.
42. Водородоподобный атом.
43. Уровни энергии и волновые функции состояний дискретного спектра.
44. Случайное вырождение.
45. Спин элементарных частиц. Спиновые операторы и спиновые функции.
46. Коммутационные соотношения.
47. Матрицы спина $\frac{1}{2}$. Свойства матриц Паули.
48. Волновая функция частицы со спином $1/2$.
49. Уравнение Паули. Движение заряженной частицы в магнитном поле. Уровни Ландау.
50. Градиентная инвариантность в квантовой механике.
51. Сложение моментов в квантовой механике.
52. Квазиклассическое приближение. Волновые функции и условия сшивки. Условия применимости квазиклассического приближения.
53. Правило квантования Бора-Зоммерфельда. Пример нахождения энергетического спектра с помощью правила квантования.
54. Квазиклассический коэффициент прохождения через потенциальный барьер.
55. Вероятность альфа-распада в квазиклассическом приближении
56. Метод Томаса-Ферми.
57. Теория стационарных возмущений для состояний дискретного спектра без вырождения.
58. Теория стационарных возмущений для состояний дискретного спектра с вырождением.
59. Атом водорода в постоянном электрическом поле, эффект Штарка.
60. Вероятность перехода между состояниями дискретного спектра под влиянием возмущения, действующего конечное время. Теория нестационарных возмущений.
61. Адиабатические и внезапные возмущения. Вычисление вероятности перехода под действием внезапного возмущения без использования теории возмущений.
62. Периодические возмущения. Резонансное приближение.
63. Вероятность перехода из состояния дискретного спектра в состояния непрерывного спектра под действием периодического возмущения.

64. Принцип неразличимости тождественных частиц, бозоны и фермионы. Обменное взаимодействие, принцип запрета Паули.
65. Вторичное квантование. Бозоны, операторы уничтожения и рождения, коммутационные соотношения.
66. Вторичное квантование. Фермионы, операторы уничтожения и рождения, коммутационные соотношения.
67. Задача рассеяния. Квантово-механическая постановка и принципы решения. Амплитуда и сечение рассеяния. Оптическая теорема.
68. Борновское приближение в задаче рассеяния. Условия применимости борновского приближения. Предельные случаи медленных и быстрых частиц.
69. Разложение волновой функции задачи рассеяния по состояниям с определенным моментом.
70. Фазовая теория рассеяния. Фазы и матрица рассеяния.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ).

Основная литература:

1. Квантовая механика: учебное пособие / Ю.С. Ефремов. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 457 с. – Электронный ресурс: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=273446

Дополнительная литература:

2. Квантовая механика и квантовая химия. В 2 ч. Часть 1: учебник и практикум для академического бакалавриата / А.И. Ермаков. М.: Издательство Юрайт, 2017. – 183 с. Электронный ресурс: <https://www.biblio-online.ru/viewer/F55EE297-33DF-4B10-B7F7-E9197C0F1490>

Электронно-образовательные ресурсы (ЭОР):

1. Университетская библиотека ONLINE <http://biblioclub.ru/>
2. Электронно-библиотечная система Юрайт <https://biblio-online.ru/>

10. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ "ИНТЕРНЕТ" (ДАЛЕЕ - СЕТЬ "ИНТЕРНЕТ"), НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ).

1. Российская государственная библиотека - www.rsl.ru, www.leninka.ru

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.

Приступая к изучению дисциплины, студенту необходимо внимательно ознакомиться с тематическим планом занятий, списком рекомендованной литературы. Следует уяснить последовательность выполнения индивидуальных учебных заданий. Самостоятельная работа студента предполагает работу с научной и учебной литературой, умение создавать тексты. Уровень и глубина усвоения дисциплины зависят от активной и систематической работы на лекциях, изучения рекомендованной литературы, выполнения письменных заданий.

При изучении дисциплины студенты выполняют следующие задания:

- изучают рекомендованную научно-практическую и учебную литературу;
- выполняют задания, предусмотренные для самостоятельной работы.

Основными видами аудиторной работы студентов являются лекции и практические занятия.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на семинарское занятие и указания на самостоятельную работу.

Семинарские занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков в решении задач по пройденной теме, подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, а также для контроля преподавателем степени подготовленности студентов по изучаемой дисциплине.

Семинар (коллоквиум) предполагает свободный обмен мнениями по избранной тематике. Он начинается со вступительного слова преподавателя, формулирующего цель занятия и характеризующего его основную проблематику. Затем, как правило, заслушиваются сообщения студентов. Обсуждение сообщения совмещается с рассмотрением намеченных вопросов. Сообщения, предполагающие анализ публикаций по отдельным вопросам семинара, заслушиваются обычно в середине занятия. Поощряется выдвижение и обсуждение альтернативных мнений. В заключительном слове преподаватель подводит итоги обсуждения и объявляет оценки выступавшим студентам. В целях контроля подготовленности студентов и привития им навыков краткого письменного изложения своих мыслей преподаватель в ходе семинарских занятий может осуществлять текущий контроль знаний в виде тестовых заданий.

При подготовке к семинару студенты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя. Кроме указанных тем студенты вправе, по согласованию с преподавателем, избирать и другие интересующие их темы.

Качество учебной работы студентов преподаватель оценивает с использованием технологической карты дисциплины, размещенной на сайте МАГУ.

План практических занятий

Тема 1. Математический аппарат квантовой механики

План:

1. Математический аппарат квантовой механики. Соотношения коммутации.
2. Линейные операторы и действия над ними
3. Собственные функции линейных операторов
4. Ортогональные системы функций и их ряды

Литература: [1, с. 7-44]

Вопросы для самоконтроля

- Что такое математический аппарат квантовой механики?
- Назовите собственные линейные операторы
- Приведите примеры линейных операторов

Задание для самостоятельной работы

[2, с. 43-45], дидактический материал преподавателя

Тема 2. Основные положения квантовой механики

План:

1. Экспериментальные основы квантовой механики.
2. Квантование круговых орбит в атоме водорода.
3. Уровни энергии и спектральные серии водородоподобного атома.
4. Уравнение Шрёдингера для свободной частицы и частицы во внешнем потенциальном поле.
5. Стационарные состояния. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний.
6. Уравнение непрерывности в квантовой механике.
7. Соотношение неопределенностей для координаты и импульса. Дифференцирование операторов по времени и

8. Законы сохранения в квантовой механике. Связь законов сохранения с симметрией пространства и времени.

Литература: [1, с. 45-109]

Вопросы для самоконтроля

- Квантование круговых орбит в атоме водорода.
- Уровни энергии и спектральные серии водородоподобного атома.
- Уравнение Шрёдингера для свободной частицы и частицы во внешнем потенциальном поле.
- Стационарные состояния. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний.
- Уравнение непрерывности в квантовой механике.
- Соотношение неопределенностей для координаты и импульса.
- Законы сохранения в квантовой механике.

Задание для самостоятельной работы

[2, с. 77-79], дидактический материал преподавателя

Тема 3. Одномерные задачи квантовой механики.

План:

1. Одномерные квантово-механические задачи.
2. Задача о частице в одномерном, абсолютно непроницаемом ящике.
3. Линейный гармонический осциллятор, его энергетический спектр и волновые функции.
4. Взаимодействие микрочастицы с потенциальной ступенькой.
5. Прохождение частицы через потенциальный барьер прямоугольной и произвольной формы.
6. Туннельный эффект.
7. Общие свойства одномерного движения микрочастицы.

Литература: [1, с. 111-164]

Вопросы для самоконтроля

- Одномерные квантово-механические задачи.
- Задача о частице в одномерном, абсолютно непроницаемом ящике.
- Линейный гармонический осциллятор, его энергетический спектр.
- Взаимодействие микрочастицы с потенциальной ступенькой
- Прохождение частицы через потенциальный барьер прямоугольной и произвольной формы.
- Туннельный эффект.
- Общие свойства одномерного движения микрочастицы.

Задание для самостоятельной работы

[2, с. 104-107], дидактический материал преподавателя

Тема 4. Движение в центрально-симметричном поле

План:

1. Движение в центрально-симметричных полях.
2. Операторы момента импульса, их собственные функции и собственные значения.
3. Радиальное уравнение Шрёдингера.
4. Поведение радиальной волновой функции на больших и малых расстояниях от центра поля.
5. Водородоподобный атом (энергетические уровни и структура волновых функций дискретного спектра; «случайное» вырождение; радиальная и угловая

плотности электронного облака; спектроскопическая классификация состояний; круговые токи в атоме и магнитный момент орбитального движения электрона).

Литература: [1, с.164-207]

Вопросы для самоконтроля

- Движение в центрально-симметричных полях.
- Операторы момента импульса, их собственные функции и собственные значения.
- Радиальное уравнение Шредингера.
- Поведение радиальной волновой функции на больших и малых расстояниях от центра поля.
- Водородоподобный атом и его энергетические уровни
- Структура волновых функций дискретного спектра; «случайное» вырождение;
- Радиальная и угловая плотности электронного облака;
- Круговые токи в атоме и магнитный момент орбитального движения электрона.

Задание для самостоятельной работы

[2, с. 124-127], дидактический материал преподавателя

Тема 5. Спин и системы тождественных частиц

План:

1. Принцип тождественности одинаковых микрочастиц.
2. Оператор перестановки частиц.
3. Симметричные и асимметричные состояния.
4. Бозоны и фермионы.
5. Принцип Паули.

Литература: [1, с.208-226]

Вопросы для самоконтроля

- Расскажите про опыты Штерна и Герлаха
- Операторы спина
- В чем заключается принцип тождественности?
- В чем суть принципа Паули?

Задание для самостоятельной работы

[2, с. 135-136], дидактический материал преподавателя

Тема 6. Атомы и молекулы

План:

1. Многоэлектронные атомы.
2. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева.
3. Заполнение оболочек в атомах.
4. Молекула водорода и природа химических сил.
5. Атом водорода в электрическом поле
6. Молекула водорода
7. Атом в поле электромагнитной волны
8. Излучение и поглощение света атомами
9. Правило отбора

Литература: [1, с.227-333]

Вопросы для самоконтроля

- Многоэлектронные атомы.
- Периодическая система элементов Д. И. Менделеева.

- Заполнение оболочек в атомах.
- Молекула водорода и природа химических сил.
- Атом водорода в электрическом поле.
- Атом в поле электромагнитной волны.
- Излучение и поглощение света атомами
- В чем суть правила отбора

Задание для самостоятельной работы

[2, с. 142-143; 153-156] дидактический материал преподавателя

Составить таблицу заполнения оболочек в атоме

Гл. кв. число n	1	2	3	4	5
Символ оболочки	K	L	M	N	O
Мах. число электронов	2	8	18	32	50
Орбит. квантовое число l					
Символ подоболочки					
Мах. число электронов в подоболочке					

12. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)

Тренажеры: В целях обучения студентов, усвоения и контроля полученных знаний используется собственная тестовая база.

Программное обеспечение:

1. MS Windows;
2. Офисный пакет LibreOffice;
3. Web-браузер.

13. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения занятий с перечнем основного оборудования	Фактический адрес учебных кабинетов и объектов, номер ауд.
1.	<p><i>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации</i></p> <p>Мебель аудиторная (столы, стулья, доска аудиторная), мультимедийное оборудование (проектор, экран)</p>	<p>184209, Мурманская область, город Апатиты, улица Энергетическая, дом 19, здание Учебного корпуса № 3, ауд. 319</p>
2.	<p><i>Помещение для самостоятельной работы студентов</i></p> <p>Доска аудиторная, столы компьютерные, стулья «Контакт» Мультимедийный проектор Toshiba TLP-X2000 – 1 шт., экран проекционный матовый – 1 шт. 13 ПЭВМ, монитор Acer AL 1917 19" – 13 шт., клавиатура – 13 шт., мышь – 13 шт.</p>	<p>184209, Мурманская область, город Апатиты, улица Энергетическая, дом 19, здание Учебного корпуса № 5, ЛИТ 3</p>

14. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ.

ОСНОВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА

14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

профиль – Теплофизика

Академический бакалавриат

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

Шифр дисциплины по РУП	Б1.В.ОД.7		
Дисциплина	Квантовая механика		
Курс	3	семестр	5
Кафедра	физики, биологии и инженерных технологий		
Ф.И.О. преподавателя, звание, должность	Шейко Е. М., ст. преподаватель кафедры физики, биологии и инженерных технологий		
Общ. трудоемкость ^{час/ЗЕТ}	216/6	Кол-во семестров	1
Интерактивные формы ^{общ./тек. сем.}	-/-		
ЛК ^{общ./тек. сем.}	32/32	ПР/СМ ^{общ./тек. сем.}	32/32
ЛБ ^{общ./тек. сем.}	-/-		Форма контроля
			Экзамен

Формируемая компетенция	Содержание задания	Количество мероприятий	Максимальное количество баллов	Срок предоставления
Вводный блок				
Не предусмотрен				
Основной блок				
	Решение задач	4	20	На практических занятиях
	Тест	4	20	На практических занятиях
	Домашняя работа	1	10	По согласованию с преподавателем
	Выступление с презентацией на семинаре	1	10	На практических занятиях
	Всего:		60	
	Экзамен	Вопрос 1	20	В сроки сессии
		Вопрос 2	20	В сроки сессии
	Всего:		40	
	Итого:		100	
Дополнительный блок				
Не предусмотрен				

Шкала оценивая в рамках балльно-рейтинговой системы МАГУ: «2» - 60 баллов и менее, «3» - 61-80 баллов, «4» - 81-90 баллов, «5» - 91-100 баллов.

15. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ НА УСМОТРЕНИЕ ВЕДУЩЕЙ КАФЕДРЫ.

Не предусмотрено.

16. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ

Для обеспечения образования инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья реализация дисциплины Б1.В.ОД.7 «Квантовая механика» может осуществляться в адаптированном виде, с учетом специфики освоения и дидактических требований, исходя из индивидуальных возможностей и по личному заявлению обучающегося.