

Документ подписан простой электронной подписью
 Информация о владельце:
 ФИО: ЧУМАЧЕНКО ТАТЬЯНА АЛЕКСАНДРОВНА
 Должность: РЕКТОР
 Дата подписания: 24.10.2022 14:01:23
 Уникальный программный ключ:
 9c9f7aaffa4840d284abe156657b8f85432bdb16




МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
(ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА)



Шифр	Наименование дисциплины (модуля)
Б1.В	Основы теоретической физики (квантовая механика)

Код направления подготовки	44.03.05
Направление подготовки	Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)
Наименование (я) ОПОП (направленность / профиль)	Физика. Математика
Уровень образования	бакалавр
Форма обучения	очная

Разработчики:

Должность	Учёная степень, звание	Подпись	ФИО
Доцент	кандидат физико-математических наук, доцент		Свирская Людмила Моисеевна

Рабочая программа рассмотрена и одобрена (обновлена) на заседании кафедры (структурного подразделения)

Кафедра	Заведующий кафедрой	Номер протокола	Дата протокола	Подпись
Кафедра физики и методики обучения физике	Беспаль Ирина Ивановна	10	15.06.2019	
Кафедра физики и методики обучения физике	Беспаль Ирина Ивановна	1	10.09.2020	

Раздел 1. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения образовательной программы с указанием этапов их формирования

Таблица 1 - Перечень компетенций, с указанием образовательных результатов в процессе освоения дисциплины (в соответствии с РПД)

Формируемые компетенции			
Индикаторы ее достижения	Планируемые образовательные результаты по дисциплине		
	знать	уметь	владеть
ПК-1 способен осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по преподаваемому предмету в профессиональной деятельности			
ПК.1.1 Знает содержание, особенности и современное состояние, понятия и категории, тенденции развития соответствующей профилю научной (предметной) области; закономерности, определяющие место соответствующей науки в общей картине мира; принципы проектирования и реализации общего и (или) дополнительного образования по предмету в соответствии с профилем обучения	3.1 понятия, фундаментальные принципы, уравнения и основные результаты нерелятивистской квантовой механики, позволяющие понимать и анализировать физические явления и процессы микромира		
ПК.1.2 Умеет применять базовые научно-теоретические знания по предмету и методы исследования в предметной области; осуществляет отбор содержания, методов и технологий обучения предмету (предметной области) в различных формах организации образовательного процесса		У.1 анализировать содержание физических теорий и законов, выводить и решать основные уравнения квантовой механики, вскрывать их физический смысл	
ПК.1.3 Владеет практическими навыками в предметной области, методами базовых научно-теоретических представлений для решения профессиональных задач			В.1 методами применения принципов, уравнений и законов квантовой механики для объяснения явлений микромира и квантовых эффектов, способами изложения изучаемых вопросов на доступном для обучающихся уровне

Компетенции связаны с дисциплинами и практиками через матрицу компетенций согласно таблице 2.

Таблица 2 - Компетенции, формируемые в результате обучения

Код и наименование компетенции	
Составляющая учебного плана (дисциплины, практики, участвующие в формировании компетенции)	Вес дисциплины в формировании компетенции (100 / количество дисциплин, практик)
ПК-1 способен осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по преподаваемому предмету в профессиональной деятельности	
Дискретная математика	2,38

Математическая логика	2,38
Математический анализ	2,38
Численные методы	2,38
производственная практика (преддипломная)	2,38
Электротехника	2,38
Алгебра	2,38
Астрономия	2,38
Геометрия	2,38
Математическая физика	2,38
Методика обучения и воспитания (математика)	2,38
Методика обучения и воспитания (физика)	2,38
Общая и экспериментальная физика (квантовая физика)	2,38
Общая и экспериментальная физика (механика)	2,38
Общая и экспериментальная физика (оптика)	2,38
Общая и экспериментальная физика (электричество и магнетизм)	2,38
Основания геометрии	2,38
Основы теоретической физики (квантовая механика)	2,38
Основы теоретической физики (классическая механика)	2,38
Основы теоретической физики (статистическая физика и термодинамика)	2,38
Основы теоретической физики (СТО)	2,38
Основы теоретической физики (физика атомного ядра и элементарных частиц)	2,38
Основы теоретической физики (физика твердого тела)	2,38
Основы теоретической физики (электродинамика)	2,38
Теория чисел	2,38
Школьный физический кабинет	2,38
Элементарная математика	2,38
Вводный курс математики	2,38
Дифференциальные уравнения	2,38
Практикум по тригонометрии	2,38
Практикум по элементарной алгебре	2,38
Практикум по элементарной геометрии	2,38
Проективная геометрия	2,38
Методы статистической обработки информации	2,38
Образовательная электроника	2,38
Общая и экспериментальная физика (молекулярная)	2,38
Основы электроники	2,38
Теория функций комплексного и действительного переменного	2,38
учебная практика (по математике)	2,38
учебная практика (по физике)	2,38
учебная практика (проектно-исследовательская)	2,38
Химия	2,38

Таблица 3 - Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОПОП

Код компетенции	Этап базовой подготовки	Этап расширения и углубления подготовки	Этап профессионально-практической подготовки
-----------------	-------------------------	---	--

ПК-1	<p>Дискретная математика, Математическая логика, Математический анализ, Численные методы, производственная практика (преддипломная), Электротехника, Алгебра, Астрономия, Геометрия, Математическая физика, Методика обучения и воспитания (математика), Методика обучения и воспитания (физика), Общая и экспериментальная физика (квантовая физика), Общая и экспериментальная физика (механика), Общая и экспериментальная физика (оптика), Общая и экспериментальная физика (электричество и магнетизм), Основания геометрии, Основы теоретической физики (квантовая механика), Основы теоретической физики (классическая механика), Основы теоретической физики (статистическая физика и термодинамика), Основы теоретической физики (СТО), Основы теоретической физики (физика атомного ядра и элементарных частиц), Основы теоретической физики (физика твердого тела), Основы теоретической физики (электродинамика), Теория чисел, Школьный физический кабинет, Элементарная математика, Вводный курс математики, Дифференциальные уравнения, Практикум по тригонометрии, Практикум по элементарной алгебре, Практикум по элементарной геометрии, Проективная геометрия, Методы статистической обработки информации, Образовательная электроника, Общая и экспериментальная физика (молекулярная), Основы электроники, Теория функций комплексного и действительного переменного, учебная практика (по математике), учебная практика (по физике), учебная практика</p>		<p>производственная практика (преддипломная), учебная практика (по математике), учебная практика (по физике), учебная практика (проектно-исследовательская)</p>
------	---	--	---

Раздел 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Таблица 4 - Показатели оценивания компетенций на различных этапах их формирования в процессе освоения учебной дисциплины (в соответствии с РПД)

№	Раздел	
Формируемые компетенции		
	Показатели сформированности (в терминах «знать», «уметь», «владеть»)	Виды оценочных средств
1	Экспериментальные основы и математический аппарат квантовой механики	
ПК-1		
	Знать понятия, фундаментальные принципы, уравнения и основные результаты нерелятивистской квантовой механики, позволяющие понимать и анализировать физические явления и процессы микромира	Задача Коллоквиум Конспект по теме
	Уметь анализировать содержание физических теорий и законов, выводить и решать основные уравнения квантовой механики, вскрывать их физический смысл	Задача Коллоквиум Конспект по теме Контрольная работа по разделу/теме
	Владеть методами применения принципов, уравнений и законов квантовой механики для объяснения явлений микромира и квантовых эффектов, способами изложения изучаемых вопросов на доступном для обучающихся уровне	Задача Коллоквиум Контрольная работа по разделу/теме
2	Точно решаемые задачи квантовой механики	
ПК-1		
	Знать понятия, фундаментальные принципы, уравнения и основные результаты нерелятивистской квантовой механики, позволяющие понимать и анализировать физические явления и процессы микромира	Задача Коллоквиум Контрольная работа по разделу/теме Отчет по лабораторной работе
	Уметь анализировать содержание физических теорий и законов, выводить и решать основные уравнения квантовой механики, вскрывать их физический смысл	Задача Коллоквиум Контрольная работа по разделу/теме Отчет по лабораторной работе
	Владеть методами применения принципов, уравнений и законов квантовой механики для объяснения явлений микромира и квантовых эффектов, способами изложения изучаемых вопросов на доступном для обучающихся уровне	Задача Коллоквиум Контрольная работа по разделу/теме
3	Теория возмущений и системы тождественных частиц	
ПК-1		
	Знать понятия, фундаментальные принципы, уравнения и основные результаты нерелятивистской квантовой механики, позволяющие понимать и анализировать физические явления и процессы микромира	Задача Коллоквиум
	Уметь анализировать содержание физических теорий и законов, выводить и решать основные уравнения квантовой механики, вскрывать их физический смысл	Задача Коллоквиум
	Владеть методами применения принципов, уравнений и законов квантовой механики для объяснения явлений микромира и квантовых эффектов, способами изложения изучаемых вопросов на доступном для обучающихся уровне	Задача Коллоквиум

Таблица 5 - Описание уровней и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Код	Содержание компетенции			
Уровни освоения компетенции	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня (критерии оценки сформированности)	Пятибалльная шкала (академическая оценка)	% освоения (рейтинговая оценка)
ПК-1	ПК-1 способен осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по преподаваемому предмету в профессиональной деят...			

Раздел 3. Типовые контрольные задания и (или) иные материалы, необходимые для оценки планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

1. Оценочные средства для текущего контроля

Раздел: Экспериментальные основы и математический аппарат квантовой механики

Задания для оценки знаний

1. Задача:

Задачи самостоятельной работы № 1

1. Разъяснение вопросов школьных учебников, решение задач по материалам ЕГЭ по квантовой физике.
2. Показать, что формула Планка устраняет «ультрафиолетовую катастрофу» и позволяет получить экспериментально наблюдаемые законы: закон Стефана-Больцмана и закон смещения Вина.
3. Заполнить таблицу «Решающие эксперименты в становлении квантовой теории».
4. В чём заключается «революционный» характер теории фотонов Эйнштейна? Покажите, что принципиальные затруднения классической теории в объяснении законов А.Г. Столетова для фотоэффекта устраняются на основе теории фотонов А. Эйнштейна.
5. Оцените частоту колебаний электрона в модели атома Томсона (модель упруго-связанного электрона). Почему эта модель оказалась неудовлетворительной? Каким экспериментальным фактам она противоречила?
6. Опишите опыты Франка и Герца, подтвердившие справедливость постулатов Бора.
7. Построить полярную диаграмму эффекта Комптона.
8. Сформулируйте принцип соответствия и проиллюстрируйте его выполнение на следующих примерах:
 - а) предельный переход формулы Планка в формулы Рэлея-Джинса и Михельсона-Вина.
 - б) в теории атома водорода по Бору.
9. В камере Вильсона, облучаемой рентгеновскими лучами с длиной волны 0.14 \AA , зарегистрировано два электрона. Один из них вылетел под углом 90° к направлению полёта фотонов и имеет энергию 12.3 кэВ . Второй вылетел под тем же углом и имеет энергию 82 кэВ . Проведя необходимые вычисления, установите, в результате каких эффектов были зарегистрированы эти электроны.
10. Разбор мысленного эксперимента, предложенного А. Эйнштейном в 1930 г. во время V Сольвеевского конгресса с целью опровержения соотношения неопределённостей для энергии и времени.

Задачи самостоятельной работы № 2

1. Составить таблицу основных операторов в декартовой и сферической системах координат.
2. Определить энергию свободно движущейся частицы.
3. Доказать ряд соотношений математического аппарата квантовой механики.
4. Вычислить коммутаторы.
5. Определить плотность тока вероятности для ряда квантовых состояний.
6. Доказать теоремы Эренфеста.
7. Доказать связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени.

2. Коллоквиум:

1. Формула Планка.
2. Теория фотонов Эйнштейна.
3. Дискретность атомных состояний. Теория водородоподобного атома по Бору.
4. Волновые свойства частиц. Гипотеза де Бройля.
5. Описание состояния с помощью волновой функции. Статистическая интерпретация волновой функции.
6. Уравнение Э. Шрёдингера.
7. Стационарные состояния.
8. Плотность тока вероятности.
9. Сопоставление операторов физическим величинам в квантовой механике.
10. Собственные функции и собственные значения операторов.
11. Принцип суперпозиции состояний и линейность операторов в квантовой механике.
12. Самосопряжённые операторы. Вещественность их собственных значений.
13. Ортогональность и нормировка собственных функций.
14. Средние значения физических величин.
15. Коммутация операторов. Условие совместной определенности физических величин.
16. Неравенство Гейзенберга. Принцип дополнительности.
17. Изменение во времени средних значений физических величин. Дифференцирование операторов по времени.
18. Законы сохранения в квантовой механике.

19. Связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени.
20. Теоремы Эренфеста. Принцип причинности в квантовой механике.

3. Конспект по теме:

Составить конспект по основным теоремам математического аппарата квантовой механики.

Задания для оценки умений

1. Задача:

Задачи самостоятельной работы № 1

1. Разъяснение вопросов школьных учебников, решение задач по материалам ЕГЭ по квантовой физике.
2. Показать, что формула Планка устраняет «ультрафиолетовую катастрофу» и позволяет получить экспериментально наблюдаемые законы: закон Стефана-Больцмана и закон смещения Вина.
3. Заполнить таблицу «Решающие эксперименты в становлении квантовой теории».
4. В чём заключается «революционный» характер теории фотонов Эйнштейна? Покажите, что принципиальные затруднения классической теории в объяснении законов А.Г. Столетова для фотоэффекта устраняются на основе теории фотонов А. Эйнштейна.
5. Оцените частоту колебаний электрона в модели атома Томсона (модель упруго-связанного электрона). Почему эта модель оказалась неудовлетворительной? Каким экспериментальным фактам она противоречила?
6. Опишите опыты Франка и Герца, подтвердившие справедливость постулатов Бора.
7. Построить полярную диаграмму эффекта Комптона.
8. Сформулируйте принцип соответствия и проиллюстрируйте его выполнение на следующих примерах:
 - а) предельный переход формулы Планка в формулы Рэлея-Джинса и Михельсона-Вина.
 - б) в теории атома водорода по Бору.
9. В камере Вильсона, облучаемой рентгеновскими лучами с длиной волны 0.14 \AA , зарегистрировано два электрона. Один из них вылетел под углом 90° к направлению полёта фотонов и имеет энергию 12.3 кэВ . Второй вылетел под тем же углом и имеет энергию 82 кэВ . Проведя необходимые вычисления, установите, в результате каких эффектов были зарегистрированы эти электроны.
10. Разбор мысленного эксперимента, предложенного А. Эйнштейном в 1930 г. во время V Сольвеевского конгресса с целью опровержения соотношения неопределённостей для энергии и времени.

Задачи самостоятельной работы № 2

1. Составить таблицу основных операторов в декартовой и сферической системах координат.
2. Определить энергию свободно движущейся частицы.
3. Доказать ряд соотношений математического аппарата квантовой механики.
4. Вычислить коммутаторы.
5. Определить плотность тока вероятности для ряда квантовых состояний.
6. Доказать теоремы Эренфеста.
7. Доказать связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени.

2. Коллоквиум:

1. Формула Планка.
2. Теория фотонов Эйнштейна.
3. Дискретность атомных состояний. Теория водородоподобного атома по Бору.
4. Волновые свойства частиц. Гипотеза де Бройля.
5. Описание состояния с помощью волновой функции. Статистическая интерпретация волновой функции.
6. Уравнение Э. Шрёдингера.
7. Стационарные состояния.
8. Плотность тока вероятности.
9. Сопоставление операторов физическим величинам в квантовой механике.
10. Собственные функции и собственные значения операторов.
11. Принцип суперпозиции состояний и линейность операторов в квантовой механике.
12. Самосопряженные операторы. Вещественность их собственных значений.
13. Ортогональность и нормировка собственных функций.
14. Средние значения физических величин.
15. Коммутация операторов. Условие совместной определенности физических величин.
16. Неравенство Гейзенберга. Принцип дополнительности.
17. Изменение во времени средних значений физических величин. Дифференцирование операторов по времени.

18. Законы сохранения в квантовой механике.
19. Связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени.
20. Теоремы Эренфеста. Принцип причинности в квантовой механике.

3. Конспект по теме:

Составить конспект по основным теоремам математического аппарата квантовой механики.

4. Контрольная работа по разделу/теме:

1. Вычислить коммутаторы:

а) $[z, K_x]_- = ?$

б) $[z, K_y]_- = ?$

в) $[z, K_z]_- = ?$

Сформулируйте выводы.

2. Определить энергию свободно движущейся частицы.

3. Из условия нормировки определить амплитуду заданной волновой функции.

4. Вычислив коммутатор $[p, K_z]_-$, установите неравенство Гейзенберга для азимутального угла и проекции момента импульса на ось z . Оператор момента импульса взять в сферической системе координат.

5. Определить среднее значение проекции скорости частицы для заданного квантового состояния.

Задания для оценки владений

1. Задача:

Задачи самостоятельной работы № 1

1. Разъяснение вопросов школьных учебников, решение задач по материалам ЕГЭ по квантовой физике.
2. Показать, что формула Планка устраняет «ультрафиолетовую катастрофу» и позволяет получить экспериментально наблюдаемые законы: закон Стефана-Больцмана и закон смещения Вина.
3. Заполнить таблицу «Решающие эксперименты в становлении квантовой теории».
4. В чём заключается «революционный» характер теории фотонов Эйнштейна? Покажите, что принципиальные затруднения классической теории в объяснении законов А.Г. Столетова для фотоэффекта устраняются на основе теории фотонов А. Эйнштейна.
5. Оцените частоту колебаний электрона в модели атома Томсона (модель упруго-связанного электрона). Почему эта модель оказалась неудовлетворительной? Каким экспериментальным фактам она противоречила?
6. Опишите опыты Франка и Герца, подтвердившие справедливость постулатов Бора.
7. Построить полярную диаграмму эффекта Комптона.
8. Сформулируйте принцип соответствия и проиллюстрируйте его выполнение на следующих примерах:
 - а) предельный переход формулы Планка в формулы Рэлея-Джинса и Михельсона-Вина.
 - б) в теории атома водорода по Бору.
9. В камере Вильсона, облучаемой рентгеновскими лучами с длиной волны 0.14 \AA , зарегистрировано два электрона. Один из них вылетел под углом 90° к направлению полёта фотонов и имеет энергию 12.3 кэВ . Второй вылетел под тем же углом и имеет энергию 82 кэВ . Проведя необходимые вычисления, установите, в результате каких эффектов были зарегистрированы эти электроны.
10. Разбор мысленного эксперимента, предложенного А. Эйнштейном в 1930 г. во время V Сольвеевского конгресса с целью опровержения соотношения неопределённостей для энергии и времени.

Задачи самостоятельной работы № 2

1. Составить таблицу основных операторов в декартовой и сферической системах координат.
2. Определить энергию свободно движущейся частицы.
3. Доказать ряд соотношений математического аппарата квантовой механики.
4. Вычислить коммутаторы.
5. Определить плотность тока вероятности для ряда квантовых состояний.
6. Доказать теоремы Эренфеста.
7. Доказать связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени.

2. Коллоквиум:

1. Формула Планка.
2. Теория фотонов Эйнштейна.
3. Дискретность атомных состояний. Теория водородоподобного атома по Бору.
4. Волновые свойства частиц. Гипотеза де Бройля.

5. Описание состояния с помощью волновой функции. Статистическая интерпретация волновой функции.
6. Уравнение Э. Шрёдингера.
7. Стационарные состояния.
8. Плотность тока вероятности.
9. Сопоставление операторов физическим величинам в квантовой механике.
10. Собственные функции и собственные значения операторов.
11. Принцип суперпозиции состояний и линейность операторов в квантовой механике.
12. Самосопряженные операторы. Вещественность их собственных значений.
13. Ортогональность и нормировка собственных функций.
14. Средние значения физических величин.
15. Коммутация операторов. Условие совместной определенности физических величин.
16. Неравенство Гейзенберга. Принцип дополнительности.
17. Изменение во времени средних значений физических величин. Дифференцирование операторов по времени.
18. Законы сохранения в квантовой механике.
19. Связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени.
20. Теоремы Эренфеста. Принцип причинности в квантовой механике.

3. Контрольная работа по разделу/теме:

1. Вычислить коммутаторы:
 - а) $[z, K_x]_- = ?$
 - б) $[z, K_y]_- = ?$
 - в) $[z, K_z]_- = ?$
 Сформулируйте выводы.
2. Определить энергию свободно движущейся частицы.
3. Из условия нормировки определить амплитуду заданной волновой функции.
4. Вычислив коммутатор $[L_z, K_z]_-$, установите неравенство Гейзенберга для азимутального угла и проекции момента импульса на ось z. Оператор момента импульса взять в сферической системе координат.
5. Определить среднее значение проекции скорости частицы для заданного квантового состояния.

Раздел: Точно решаемые задачи квантовой механики

Задания для оценки знаний

1. Задача:

Задачи самостоятельной работы № 3

1. Используя условие нормировки, найти амплитуду волновой функции для частицы в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l .
2. Вычислить вероятность того, что в состоянии частица будет обнаружена в определенной области прямоугольного потенциального ящика.
3. Определить энергетический спектр микрочастицы в потенциальной яме конечной глубины.
4. Найти волновые функции и уровни энергии частицы в сферически симметричной потенциальной яме с идеально отражающими стенками.
5. Определить коэффициент прозрачности потенциального барьера заданного профиля.
6. Найти наиболее вероятные положения ЛГО в основном состоянии.
7. Найти наиболее вероятные положения ЛГО в первом и во втором возбужденных состояниях.
9. Покажите, что для барьера произвольной формы выполняется соотношение $R(E) + D(E) = 1$.
10. Покажите, что для потенциального барьера произвольной формы коэффициенты прохождения и отражения частиц с данной энергией не зависят от того, с какой стороны частицы падают на барьер.

Задачи самостоятельной работы № 4

1. Запишите уравнение Шрёдингера в сферической системе координат. Представьте волновую функцию в виде произведения угловой и радиальной частей. Докажите, что в поле центральной силы появляются три интеграла движения (энергия, момент импульса и его проекция на ось Z).
2. Составьте таблицу угловых функций и соответствующих плотностей вероятности для нескольких низших состояний. Докажите тождественность двух форм представления угловых функций (через присоединенные полиномы Лежандра и полученные методом последовательного понижения магнитного квантового числа).
3. Что такое пространственное квантование момента импульса? Сравните правило квантования круговых орбит в теории Бора с соответствующим поведением момента импульса и его проекций в теории Шрёдингера.
4. Запишите радиальное уравнение Шрёдингера. Приведите формулу для радиальных волновых функций

- в общем виде. Поясните, какова роль каждого из трёх сомножителей, входящих в радиальную функцию; В чём состоит физический смысл радиального квантового числа?
- Опишите, как изменился «портрет» атома, начиная от модели Томсона до квантово-механических представлений по Шрёдингеру.
 - Заполните таблицу угловых волновых функций электрона в центрально-симметричном поле для случая f -состояния (орбитальное квантовое число равно 3). Постройте полярные диаграммы плотности вероятности.
 - Определите возможные значения проекции момента импульса K_z и квадрата момента K^2 для
 - s и f - состояний ;
 - p и d - состояний.
 - Найти наиболее вероятные расстояния электрона от ядра в атоме водорода в состоянии
 - $2p$;
 - $3d$.
 Построить графики радиальной плотности вероятности для указанных состояний.
 - Определить кратность вырождения уровня энергии электрона в атоме водорода для случая
 - $n = 2$;
 - $n = 3$.
 - Найти уровни энергии оптического (валентного) электрона в атомах щелочных металлов. Чем объясняется снятие вырождения по орбитальному квантовому числу? Нарисуйте для сравнения уровни энергии в атоме водорода и в атоме лития.

2. Коллоквиум:

Коллоквиум № 2

- Частица в потенциальном ящике.
- Линейный гармонический осциллятор.
- Взаимодействие микрочастицы с прямоугольной потенциальной ступенькой.
- Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
- Движение в центрально-симметричном поле. Разделение переменных в уравнении Шрёдингера.
- Собственные функции и собственные значения оператора момента импульса.
- Распределение плотности вероятности по углам. Полярные диаграммы.
- Радиальное уравнение Шрёдингера. Радиальные волновые функции и энергетический спектр водородоподобного атома.
- Радиальная плотность вероятности в водородоподобном атоме
- Классификация состояний в атоме водорода.

3. Контрольная работа по разделу/теме:

- В каких точках пространства линейный гармонический осциллятор можно обнаружить с наибольшей вероятностью в случае второго возбужденного состояния?
- Микрочастица в одномерном прямоугольном потенциальном ящике находится в третьем возбужденном состоянии с энергией $0,9$ эВ. Определить энергию основного состояния и ширину этого ящика, если микрочастицей является протон.
- Определить вероятность прохождения электрона через потенциальный барьер прямоугольной формы шириной 1 \AA , если его энергия равна 3 эВ, высота потенциального барьера 6 эВ.
- Электрон в атоме водорода находится в состоянии $4f$. Определить:
 - набор квантовых чисел, характеризующих электрон в данном состоянии;
 - энергию электрона;
 - наиболее вероятное расстояние электрона от ядра атома;
 - возможные значения момента импульса (K), его проекции (K_z) на ось Z , проекции магнитного момента (μ_z), проекции спина (S_z).
 - наиболее вероятные направления нахождения электрона относительно оси Z в случае минимальной и максимальной проекций момента импульса на ось Z .
- Определить электронную конфигурацию атома европия ($Z=63$).

4. Отчет по лабораторной работе:

Проанализировать результаты компьютерного эксперимента и ответить на контрольные вопросы:

- Что такое потенциальный барьер и потенциальная яма?
- Что такое коэффициент прозрачности и коэффициент отражения частицы от области действия потенциала?
- Как влияют на коэффициент прозрачности потенциального барьера следующие параметры:
 - высота барьера;
 - толщина барьера;
 - начальная ширина волнового пакета ?
- Какую картину можно наблюдать при движении частицы в поле прямоугольного потенциального барьера, если полная энергия частицы меньше потенциальной (слева, справа и внутри барьера)? Что означает «застревание» частицы в области действия потенциала?
- Какие эффекты можно наблюдать при движении микрочастицы в поле потенциальной ямы ?

6. Чем обусловлен эффект отражения частицы от потенциальной ямы? Влияет ли знак потенциала на возможность туннелирования частицы?
7. Какие эффекты возникают при движении частицы через потенциальную ступеньку в зависимости от соотношения между энергией частицы E и высотой ступеньки, с классической и квантовой точек зрения?
8. В начальный момент времени волновой пакет локализован в параболической квантовой яме (КЯ), переходящей в экспоненциально убывающий потенциал. Как зависит вероятность обнаружить частицу вне КЯ в зависимости от
- а) высоты барьера;
 - б) ширины начального волнового пакета?
- Что можно сказать о вероятности обнаружения частицы внутри КЯ в зависимости от времени?
9. При каких условиях возникают резонансы прозрачности в двухбарьерной структуре, содержащей квантовую яму (два потенциальных барьера, разделяющих КЯ и области инфинитного движения частицы)?
10. Запишите стационарное уравнение Шрёдингера. Почему оно оказывается недостаточным для изучения барьерных квантовых эффектов? Запишите нестационарное уравнение Шрёдингера. В чём состоит его преимущество в решении барьерных задач?

Задания для оценки умений

1. Задача:

Задачи самостоятельной работы № 3

1. Используя условие нормировки, найти амплитуду волновой функции для частицы в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l .
2. Вычислить вероятность того, что в состоянии частица будет обнаружена в определенной области прямоугольного потенциального ящика.
3. Определить энергетический спектр микрочастицы в потенциальной яме конечной глубины.
4. Найти волновые функции и уровни энергии частицы в сферически симметричной потенциальной яме с идеально отражающими стенками.
5. Определить коэффициент прозрачности потенциального барьера заданного профиля.
6. Найти наиболее вероятные положения ЛГО в основном состоянии.
7. Найти наиболее вероятные положения ЛГО в первом и во втором возбуждённых состояниях.
9. Покажите, что для барьера произвольной формы выполняется соотношение $R(E) + D(E) = 1$.
10. Покажите, что для потенциального барьера произвольной формы коэффициенты прохождения и отражения частиц с данной энергией не зависят от того, с какой стороны частицы падают на барьер.

Задачи самостоятельной работы № 4

1. Запишите уравнение Шрёдингера в сферической системе координат. Представьте волновую функцию в виде произведения угловой и радиальной частей. Докажите, что в поле центральной силы появляются три интеграла движения (энергия, момент импульса и его проекция на ось Z).
2. Составьте таблицу угловых функций и соответствующих плотностей вероятности для нескольких низших состояний. Докажите тождественность двух форм представления угловых функций (через присоединённые полиномы Лежандра и полученные методом последовательного понижения магнитного квантового числа).
3. Что такое пространственное квантование момента импульса? Сравните правило квантования круговых орбит в теории Бора с соответствующим поведением момента импульса и его проекций в теории Шрёдингера.
4. Запишите радиальное уравнение Шрёдингера. Приведите формулу для радиальных волновых функций в общем виде. Поясните, какова роль каждого из трёх множителей, входящих в радиальную функцию; В чём состоит физический смысл радиального квантового числа?
5. Опишите, как изменился «портрет» атома, начиная от модели Томсона до квантово-механических представлений по Шрёдингеру.
6. Заполните таблицу угловых волновых функций электрона в центрально-симметричном поле для случая f -состояния (орбитальное квантовое число равно 3). Постройте полярные диаграммы плотности вероятности.
7. Определить возможные значения проекции момента импульса K_z и квадрата момента K^2 для
 - а) s и f - состояний ; б) p и d - состояний.
8. Найти наиболее вероятные расстояния электрона от ядра в атоме водорода в состоянии
 - а) $2p$; б) $3d$.
 Построить графики радиальной плотности вероятности для указанных состояний.
9. Определить кратность вырождения уровня энергии электрона в атоме водорода для случая
 - а) $n = 2$; б) $n = 3$.
10. Найти уровни энергии оптического (валентного) электрона в атомах щелочных металлов. Чем объясняется снятие вырождения по орбитальному квантовому числу? Нарисуйте для сравнения уровни энергии в атоме водорода и в атоме лития.

2. Коллоквиум:

Коллоквиум № 2

1. Частица в потенциальном ящике.
2. Линейный гармонический осциллятор.
3. Взаимодействие микрочастицы с прямоугольной потенциальной ступенькой.
4. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
5. Движение в центрально-симметричном поле. Разделение переменных в уравнении Шрёдингера.
6. Собственные функции и собственные значения оператора момента импульса.
7. Распределение плотности вероятности по углам. Полярные диаграммы.
8. Радиальное уравнение Шрёдингера. Радиальные волновые функции и энергетический спектр водородоподобного атома.
9. Радиальная плотность вероятности в водородоподобном атоме
10. Классификация состояний в атоме водорода.

3. Контрольная работа по разделу/теме:

1. В каких точках пространства линейный гармонический осциллятор можно обнаружить с наибольшей вероятностью в случае второго возбужденного состояния?
2. Микрочастица в одномерном прямоугольном потенциальном ящике находится в третьем возбужденном состоянии с энергией 0,9 эВ. Определить энергию основного состояния и ширину этого ящика, если микрочастицей является протон.
3. Определить вероятность прохождения электрона через потенциальный барьер прямоугольной формы шириной 1 \AA , если его энергия равна 3 эВ, высота потенциального барьера 6 эВ.
4. Электрон в атоме водорода находится в состоянии $4f$. Определить:
 - 1) набор квантовых чисел, характеризующих электрон в данном состоянии;
 - 2) энергию электрона;
 - 3) наиболее вероятное расстояние электрона от ядра атома;
 - 4) возможные значения момента импульса (K), его проекции (K_z) на ось Z , проекции магнитного момента (μ_z), проекции спина (S_z).
 - 5) наиболее вероятные направления нахождения электрона относительно оси Z в случае минимальной и максимальной проекций момента импульса на ось Z .
5. Определить электронную конфигурацию атома европия ($Z=63$).

4. Отчет по лабораторной работе:

Проанализировать результаты компьютерного эксперимента и ответить на контрольные вопросы:

1. Что такое потенциальный барьер и потенциальная яма?
2. Что такое коэффициент прозрачности и коэффициент отражения частицы от области действия потенциала?
3. Как влияют на коэффициент прозрачности потенциального барьера следующие параметры:
 - а) высота барьера;
 - б) толщина барьера;
 - в) начальная ширина волнового пакета ?
4. Какую картину можно наблюдать при движении частицы в поле прямоугольного потенциального барьера, если полная энергия частицы меньше потенциальной (слева, справа и внутри барьера)? Что означает «застывание» частицы в области действия потенциала?
5. Какие эффекты можно наблюдать при движении микрочастицы в поле потенциальной ямы ?
6. Чем обусловлен эффект отражения частицы от потенциальной ямы? Влияет ли знак потенциала на возможность туннелирования частицы?
7. Какие эффекты возникают при движении частицы через потенциальную ступеньку в зависимости от соотношения между энергией частицы E и высотой ступеньки, с классической и квантовой точек зрения?
8. В начальный момент времени волновой пакет локализован в параболической квантовой яме (КЯ), переходящей в экспоненциально убывающий потенциал. Как зависит вероятность обнаружить частицу вне КЯ в зависимости от
 - а) высоты барьера;
 - б) ширины начального волнового пакета?Что можно сказать о вероятности обнаружения частицы внутри КЯ в зависимости от времени?
9. При каких условиях возникают резонансы прозрачности в двухбарьерной структуре, содержащей квантовую яму (два потенциальных барьера, разделяющих КЯ и области инфинитного движения частицы)?
10. Запишите стационарное уравнение Шрёдингера. Почему оно оказывается недостаточным для изучения барьерных квантовых эффектов? Запишите нестационарное уравнение Шрёдингера. В чём состоит его преимущество в решении барьерных задач?

Задания для оценки владений

1. Задача:

Задачи самостоятельной работы № 3

1. Используя условие нормировки, найти амплитуду волновой функции для частицы в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l .
2. Вычислить вероятность того, что в состоянии частица будет обнаружена в определенной области прямоугольного потенциального ящика.
3. Определить энергетический спектр микрочастицы в потенциальной яме конечной глубины.
4. Найти волновые функции и уровни энергии частицы в сферически симметричной потенциальной яме с идеально отражающими стенками.
5. Определить коэффициент прозрачности потенциального барьера заданного профиля.
6. Найти наиболее вероятные положения ЛГО в основном состоянии.
7. Найти наиболее вероятные положения ЛГО в первом и во втором возбуждённых состояниях.
9. Покажите, что для барьера произвольной формы выполняется соотношение $R(E) + D(E) = 1$.
10. Покажите, что для потенциального барьера произвольной формы коэффициенты прохождения и отражения частиц с данной энергией не зависят от того, с какой стороны частицы падают на барьер.

Задачи самостоятельной работы № 4

1. Запишите уравнение Шрёдингера в сферической системе координат. Представьте волновую функцию в виде произведения угловой и радиальной частей. Докажите, что в поле центральной силы появляются три интеграла движения (энергия, момент импульса и его проекция на ось Z).
 2. Составьте таблицу угловых функций и соответствующих плотностей вероятности для нескольких низших состояний. Докажите тождественность двух форм представления угловых функций (через присоединённые полиномы Лежандра и полученные методом последовательного понижения магнитного квантового числа).
 3. Что такое пространственное квантование момента импульса? Сравните правило квантования круговых орбит в теории Бора с соответствующим поведением момента импульса и его проекций в теории Шрёдингера.
 4. Запишите радиальное уравнение Шрёдингера. Приведите формулу для радиальных волновых функций в общем виде. Поясните, какова роль каждого из трёх сомножителей, входящих в радиальную функцию; В чём состоит физический смысл радиального квантового числа?
 5. Опишите, как изменился «портрет» атома, начиная от модели Томсона до квантово-механических представлений по Шрёдингеру.
 6. Заполните таблицу угловых волновых функций электрона в центрально-симметричном поле для случая f -состояния (орбитальное квантовое число равно 3). Постройте полярные диаграммы плотности вероятности.
 7. Определить возможные значения проекции момента импульса K_z и квадрата момента K^2 для
а) s и f - состояний ; б) p и d - состояний.
 8. Найти наиболее вероятные расстояния электрона от ядра в атоме водорода в состоянии
а) $2p$; б) $3d$.
- Построить графики радиальной плотности вероятности для указанных состояний.
9. Определить кратность вырождения уровня энергии электрона в атоме водорода для случая
а) $n = 2$; б) $n = 3$.
 10. Найти уровни энергии оптического (валентного) электрона в атомах щелочных металлов. Чем объясняется снятие вырождения по орбитальному квантовому числу? Нарисуйте для сравнения уровни энергии в атоме водорода и в атоме лития.

2. Коллоквиум:

Коллоквиум № 2

1. Частица в потенциальном ящике.
2. Линейный гармонический осциллятор.
3. Взаимодействие микрочастицы с прямоугольной потенциальной ступенькой.
4. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
5. Движение в центрально-симметричном поле. Разделение переменных в уравнении Шрёдингера.
6. Собственные функции и собственные значения оператора момента импульса.
7. Распределение плотности вероятности по углам. Полярные диаграммы.
8. Радиальное уравнение Шрёдингера. Радиальные волновые функции и энергетический спектр водородоподобного атома.
9. Радиальная плотность вероятности в водородоподобном атоме
10. Классификация состояний в атоме водорода.

3. Контрольная работа по разделу/теме:

1. В каких точках пространства линейный гармонический осциллятор можно обнаружить с наибольшей вероятностью в случае второго возбужденного состояния?
2. Микрочастица в одномерном прямоугольном потенциальном ящике находится в третьем возбужденном состоянии с энергией 0,9 эВ. Определить энергию основного состояния и ширину этого ящика, если микрочастицей является протон.
3. Определить вероятность прохождения электрона через потенциальный барьер прямоугольной формы шириной 1 \AA , если его энергия равна 3 эВ, высота потенциального барьера 6 эВ.
4. Электрон в атоме водорода находится в состоянии $4f$. Определить:
 - 1) набор квантовых чисел, характеризующих электрон в данном состоянии;
 - 2) энергию электрона;
 - 3) наиболее вероятное расстояние электрона от ядра атома;
 - 4) возможные значения момента импульса (K), его проекции (K_z) на ось Z , проекции магнитного момента (μ_z), проекции спина (S_z).
 - 5) наиболее вероятные направления нахождения электрона относительно оси Z в случае минимальной и максимальной проекций момента импульса на ось Z .
5. Определить электронную конфигурацию атома европия ($Z=63$).

Раздел: Теория возмущений и системы тождественных частиц

Задания для оценки знаний

1. Задача:

Задачи самостоятельной работы № 5

1. Вычислите поправку первого порядка малости к невозмущенным уровням энергии и к волновым функциям электрона в центрально-симметричном поле при включении однородного магнитного поля, направленного вдоль оси Z .
2. В чём заключается физический смысл поправки второго порядка малости к невозмущенным уровням энергии? Что такое виртуальные квантовые переходы? Что происходит с энергией основного состояния во втором порядке теории возмущений?
3. В рамках стационарной теории возмущений определите энергетический спектр системы с первоначально двукратно вырожденными уровнями при включении внешнего воздействия.
4. Вычислите поправку первого порядка к уровням энергии частицы в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме при наличии заданного возмущения.
5. Найти поправку к энергии основного состояния линейного гармонического осциллятора в первом приближении теории возмущений за счёт ангармонических членов в потенциальной энергии.
6. Линейный гармонический осциллятор с зарядом e помещен в однородное электрическое поле напряженностью E , направленное вдоль оси колебаний. Рассматривая действие электрического поля как возмущение, найти поправки первого и второго порядка к энергии осциллятора. Что происходит с уровнями энергии осциллятора при включении внешнего электрического поля?
7. Чем обусловлено уширение линий в спектрах испускания атомов? Рассмотрите этот вопрос в рамках теории квантовых переходов, покажите, что полученный результат согласуется с соотношением неопределенностей для энергии и времени.
8. Атом водорода находится в однородном электрическом поле с напряженностью E , направленной вдоль оси Z . Найти расщепление уровня энергии, характеризующегося главным квантовым числом $n = 2$ (эффект Штарка).
9. Атом водорода, находящийся в состоянии $2p$, помещен в полость с равновесным излучением. При какой температуре вероятности спонтанного и вынужденного излучения будут одинаковыми?
10. Получить формулу Резерфорда для дифференциального эффективного сечения рассеяния, используя приближение Борна в теории упругих столкновений.

Задачи самостоятельной работы № 6

1. Перечислите основные экспериментальные факты, подтверждающие гипотезу о спине электрона.
2. Заполните таблицу квантовых чисел с учетом спина.
3. Сформулируйте принцип Паули. Докажите, что этот фундаментальный принцип является следствием антисимметричности волновой функции фермионов.
4. Найти выражения для операторов повышения и понижения проекции спина в матричной форме, и определить их действие на волновые функции.
5. Запишите электронные конфигурации следующих атомов:
 - а) ванадий ($Z=23$); б) цирконий ($Z=40$); в) церий ($Z=58$); г) рений ($Z=75$); д) оганесон ($Z=118$).
 Объясните принцип заполнения электронных оболочек.
6. Найти максимальное число электронов в атоме, имеющих следующие одинаковые квантовые числа: а) n, l, m ; б) n, l ; в) n .
7. Найдите расстояние между отклоненными пучками в опыте Штерна и Герлаха для водорода, если задана скорость движения атомов, градиент поля вдоль оси z и длина пути.

8. Построить схему возможных квантовых переходов между заданными термами в слабом магнитном поле и вычислить смещение частоты спектральных линий в аномальном эффекте Зеемана.
9. Зная экспериментальные значения энергии парасостояния $E_{\text{пара}} = -58,37$ Эв и ортосостояния $E_{\text{орто}} = -59,16$ Эв атома гелия с заданной электронной конфигурацией, найдите обменную A и кулоновскую K энергии взаимодействия электронов.
10. Используя правила Хунда, определить полный момент импульса (J), суммарный орбитальный момент (L), суммарный спиновый момент (S) электронной системы атома, основной терм и g -фактор (множитель Ланде) для следующих ионов:
 - а) медь $\text{Cu}^{(2+)}$;
 - б) иттербий $\text{Yb}^{(3+)}$.

2. Коллоквиум:

Коллоквиум № 3

ТЕОРИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ

1. Стационарная теория возмущений невырожденного уровня. Примеры применения этой теории.
 2. Стационарная теория возмущений при наличии вырождения. Примеры применения данной теории.
 3. Теория возмущения, зависящего от времени. Квантовые переходы под влиянием возмущения, периодически зависящего от времени.
 4. Вероятность электрических дипольных переходов при взаимодействии заряженной частицы с электрическим полем электромагнитной волны.
 5. Коэффициенты Эйнштейна.
 6. Правила отбора для орбитального и магнитного квантовых чисел.
 7. Естественная ширина энергетического уровня и уширение спектральных линий.
 8. Приближение Борна в теории упругих столкновений.
 9. Формула Резерфорда. Квантово-механический вывод на основе теории возмущений.
- #### СПИН И СИСТЕМЫ ТОЖДЕСТВЕННЫХ ЧАСТИЦ

1. Спин электрона. Экспериментальные факты, доказывающие необходимость введения дополнительного квантового числа.
2. Операторы спина. Матрицы Паули.
3. Полный момент количества движения электрона. Спин - орбитальное взаимодействие.
4. Тонкая структура спектров водородоподобных атомов.
5. Нормальный эффект Зеемана. Снятие вырождения по магнитному квантовому числу.
6. Аномальный эффект Зеемана. Снятие вырождения по магнитному квантовому числу полного момента импульса.
7. Принцип неразличимости одинаковых микрочастиц.
8. Симметричные и антисимметричные состояния. Бозоны и фермионы.
9. Принцип Паули.
10. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.
11. Атом гелия. Пара- и ортогелий. Обменное взаимодействие.
12. Молекула водорода. Природа ковалентной химической связи.
13. Спин и валентность.

Задания для оценки умений

1. Задача:

Задачи самостоятельной работы № 5

1. Вычислите поправку первого порядка малости к невозмущенным уровням энергии и к волновым функциям электрона в центрально-симметричном поле при включении однородного магнитного поля, направленного вдоль оси z .
2. В чём заключается физический смысл поправки второго порядка малости к невозмущенным уровням энергии? Что такое виртуальные квантовые переходы? Что происходит с энергией основного состояния во втором порядке теории возмущений?
3. В рамках стационарной теории возмущений определите энергетический спектр системы с первоначально двукратно вырожденными уровнями при включении внешнего воздействия.
4. Вычислить поправку первого порядка к уровням энергии частицы в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме при наличии заданного возмущения.
5. Найти поправку к энергии основного состояния линейного гармонического осциллятора в первом приближении теории возмущений за счёт ангармонических членов в потенциальной энергии.

6. Линейный гармонический осциллятор с зарядом e помещен в однородное электрическое поле напряженностью E , направленное вдоль оси колебаний. Рассматривая действие электрического поля как возмущение, найти поправки первого и второго порядка к энергии осциллятора. Что происходит с уровнями энергии осциллятора при включении внешнего электрического поля?
7. Чем обусловлено уширение линий в спектрах испускания атомов? Рассмотрите этот вопрос в рамках теории квантовых переходов, покажите, что полученный результат согласуется с соотношением неопределенностей для энергии и времени.
8. Атом водорода находится в однородном электрическом поле с напряженностью E , направленной вдоль оси Z . Найти расщепление уровня энергии, характеризующегося главным квантовым числом $n = 2$ (эффект Штарка).
9. Атом водорода, находящийся в состоянии $2p$, помещен в полость с равновесным излучением. При какой температуре вероятности спонтанного и вынужденного излучения будут одинаковыми?
10. Получить формулу Резерфорда для дифференциального эффективного сечения рассеяния, используя приближение Борна в теории упругих столкновений.

Задачи самостоятельной работы № 6

1. Перечислите основные экспериментальные факты, подтверждающие гипотезу о спине электрона.
2. Заполните таблицу квантовых чисел с учетом спина.
3. Сформулируйте принцип Паули. Докажите, что этот фундаментальный принцип является следствием антисимметричности волновой функции фермионов.
4. Найти выражения для операторов повышения и понижения проекции спина в матричной форме, и определить их действие на волновые функции.
5. Запишите электронные конфигурации следующих атомов:
а) ванадий ($Z=23$); б) цирконий ($Z=40$); в) церий ($Z=58$); г) рений ($Z=75$); д) оганесон ($Z=118$).
Объясните принцип заполнения электронных оболочек.
6. Найти максимальное число электронов в атоме, имеющих следующие одинаковые квантовые числа: а) n, l, m ; б) n, l ; в) n .
7. Найдите расстояние между отклоненными пучками в опыте Штерна и Герлаха для водорода, если задана скорость движения атомов, градиент поля вдоль оси z и длина пути.
8. Построить схему возможных квантовых переходов между заданными термами в слабом магнитном поле и вычислить смещение частоты спектральных линий в аномальном эффекте Зеемана.
9. Зная экспериментальные значения энергии парасостояния $E_{\text{пара}} = -58,37$ Эв и ортосостояния $E_{\text{орто}} = -59,16$ Эв атома гелия с заданной электронной конфигурацией, найдите обменную A и кулоновскую K энергии взаимодействия электронов.
10. Используя правила Хунда, определить полный момент импульса (J), суммарный орбитальный момент (L), суммарный спиновый момент (S) электронной системы атома, основной терм и g -фактор (множитель Ланде) для следующих ионов:
а) медь Cu^{2+} ;
б) иттербий Yb^{3+} .

2. Коллоквиум:

Коллоквиум № 3

ТЕОРИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ

1. Стационарная теория возмущений невырожденного уровня. Примеры применения этой теории.
2. Стационарная теория возмущений при наличии вырождения. Примеры применения данной теории.
3. Теория возмущения, зависящего от времени. Квантовые переходы под влиянием возмущения, периодически зависящего от времени.
4. Вероятность электрических дипольных переходов при взаимодействии заряженной частицы с электрическим полем электромагнитной волны.
5. Коэффициенты Эйнштейна.
6. Правила отбора для орбитального и магнитного квантовых чисел.
7. Естественная ширина энергетического уровня и уширение спектральных линий.
8. Приближение Борна в теории упругих столкновений.
9. Формула Резерфорда. Квантово-механический вывод на основе теории возмущений.

СПИН И СИСТЕМЫ ТОЖДЕСТВЕННЫХ ЧАСТИЦ

1. Спин электрона. Экспериментальные факты, доказывающие необходимость введения дополнительного квантового числа.
2. Операторы спина. Матрицы Паули.
3. Полный момент количества движения электрона. Спин - орбитальное взаимодействие.
4. Тонкая структура спектров водородоподобных атомов.
5. Нормальный эффект Зеемана. Снятие вырождения по магнитному квантовому числу.

6. Аномальный эффект Зеемана. Снятие вырождения по магнитному квантовому числу полного момента импульса.
7. Принцип неразличимости одинаковых микрочастиц.
8. Симметричные и антисимметричные состояния. Бозоны и фермионы.
9. Принцип Паули.
10. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.
11. Атом гелия. Пара- и ортогелий. Обменное взаимодействие.
12. Молекула водорода. Природа ковалентной химической связи.
13. Спин и валентность.

Задания для оценки владений

1. Задача:

Задачи самостоятельной работы № 5

1. Вычислите поправку первого порядка малости к невозмущенным уровням энергии и к волновым функциям электрона в центрально-симметричном поле при включении однородного магнитного поля, направленного вдоль оси z .
2. В чём заключается физический смысл поправки второго порядка малости к невозмущенным уровням энергии? Что такое виртуальные квантовые переходы? Что происходит с энергией основного состояния во втором порядке теории возмущений?
3. В рамках стационарной теории возмущений определите энергетический спектр системы с первоначально двукратно вырожденными уровнями при включении внешнего воздействия.
4. Вычислите поправку первого порядка к уровням энергии частицы в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме при наличии заданного возмущения.
5. Найти поправку к энергии основного состояния линейного гармонического осциллятора в первом приближении теории возмущений за счёт ангармонических членов в потенциальной энергии.
6. Линейный гармонический осциллятор с зарядом e помещен в однородное электрическое поле напряженностью E , направленное вдоль оси колебаний. Рассматривая действие электрического поля как возмущение, найти поправки первого и второго порядка к энергии осциллятора. Что происходит с уровнями энергии осциллятора при включении внешнего электрического поля?
7. Чем обусловлено уширение линий в спектрах испускания атомов? Рассмотрите этот вопрос в рамках теории квантовых переходов, покажите, что полученный результат согласуется с соотношением неопределенностей для энергии и времени.
8. Атом водорода находится в однородном электрическом поле с напряженностью E , направленной вдоль оси Z . Найти расщепление уровня энергии, характеризующегося главным квантовым числом $n = 2$ (эффект Штарка).
9. Атом водорода, находящийся в состоянии $2p$, помещен в полость с равновесным излучением. При какой температуре вероятности спонтанного и вынужденного излучения будут одинаковыми?
10. Получить формулу Резерфорда для дифференциального эффективного сечения рассеяния, используя приближение Борна в теории упругих столкновений.

Задачи самостоятельной работы № 6

1. Перечислите основные экспериментальные факты, подтверждающие гипотезу о спине электрона.
2. Заполните таблицу квантовых чисел с учетом спина.
3. Сформулируйте принцип Паули. Докажите, что этот фундаментальный принцип является следствием антисимметричности волновой функции фермионов.
4. Найти выражения для операторов повышения и понижения проекции спина в матричной форме, и определить их действие на волновые функции.
5. Запишите электронные конфигурации следующих атомов:
а) ванадий ($Z=23$); б) цирконий ($Z=40$); в) церий ($Z=58$); г) рений ($Z=75$); д) оганесон ($Z=118$).
Объясните принцип заполнения электронных оболочек.
6. Найти максимальное число электронов в атоме, имеющих следующие одинаковые квантовые числа: а) n, l, m ; б) n, l ; в) n .
7. Найдите расстояние между отклоненными пучками в опыте Штерна и Герлаха для водорода, если задана скорость движения атомов, градиент поля вдоль оси z и длина пути.
8. Построить схему возможных квантовых переходов между заданными термами в слабом магнитном поле и вычислить смещение частоты спектральных линий в аномальном эффекте Зеемана.
9. Зная экспериментальные значения энергии парасостояния $E_{\text{пара}} = -58,37$ Эв и ортосостояния $E_{\text{орто}} = -59,16$ Эв атома гелия с заданной электронной конфигурацией, найдите обменную A и кулоновскую K энергии взаимодействия электронов.
10. Используя правила Хунда, определить полный момент импульса (J), суммарный орбитальный момент (L), суммарный спиновый момент (S) электронной системы атома, основной терм и g -фактор (множитель Ланде) для следующих ионов:

- а) медь $\text{Cu}^{(2+)}$;
б) иттербий $\text{Yb}^{(3+)}$.

2. Коллоквиум:

Коллоквиум № 3

ТЕОРИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ

1. Стационарная теория возмущений невырожденного уровня. Примеры применения этой теории.
2. Стационарная теория возмущений при наличии вырождения. Примеры применения данной теории.
3. Теория возмущения, зависящего от времени. Квантовые переходы под влиянием возмущения, периодически зависящего от времени.
4. Вероятность электрических дипольных переходов при взаимодействии заряженной частицы с электрическим полем электромагнитной волны.
5. Коэффициенты Эйнштейна.
6. Правила отбора для орбитального и магнитного квантовых чисел.
7. Естественная ширина энергетического уровня и уширение спектральных линий.
8. Приближение Борна в теории упругих столкновений.

9. Формула Резерфорда. Квантово-механический вывод на основе теории возмущений.

СПИН И СИСТЕМЫ ТОЖДЕСТВЕННЫХ ЧАСТИЦ

1. Спин электрона. Экспериментальные факты, доказывающие необходимость введения дополнительного квантового числа.
2. Операторы спина. Матрицы Паули.
3. Полный момент количества движения электрона. Спин - орбитальное взаимодействие.
4. Тонкая структура спектров водородоподобных атомов.
5. Нормальный эффект Зеемана. Снятие вырождения по магнитному квантовому числу.
6. Аномальный эффект Зеемана. Снятие вырождения по магнитному квантовому числу полного момента импульса.
7. Принцип неразличимости одинаковых микрочастиц.
8. Симметричные и антисимметричные состояния. Бозоны и фермионы.
9. Принцип Паули.
10. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.
11. Атом гелия. Пара- и ортогелий. Обменное взаимодействие.
12. Молекула водорода. Природа ковалентной химической связи.
13. Спин и валентность.

2. Оценочные средства для промежуточной аттестации

1. Экзамен

Вопросы к экзамену:

1. Формула Планка.
2. Теория фотонов Эйнштейна.
3. Дискретность атомных состояний. Теория водородоподобного атома по Бору.
4. Волновые свойства частиц. Гипотеза де Бройля.
5. Описание состояния с помощью волновой функции. Волновая функция де Бройля для свободной частицы.
6. Статистическая интерпретация волновой функции.
7. Уравнение Э. Шредингера.
8. Стационарные состояния.
9. Плотность тока вероятности.
10. Сопоставление операторов физическим величинам в квантовой механике.
11. Принцип суперпозиции состояний и линейность операторов в квантовой механике.
12. Собственные функции и собственные значения операторов.
13. Самосопряженные операторы. Вещественность их собственных значений.
14. Ортогональность и нормировка собственных функций.
15. Средние значения физических величин.
16. Коммутация операторов. Условие совместной определенности физических величин.
17. Неравенство Гейзенберга. Соотношение неопределенностей.
18. Изменение во времени средних значений физических величин. Дифференцирование операторов по времени.
19. Законы сохранения в квантовой механике и их связь со свойствами симметрии пространства и времени.

20. Теоремы Эренфеста. Принцип причинности в квантовой механике.
21. Обобщение уравнения Гамильтона-Якоби в квантовой механике.
22. Предельный переход к классической механике.
23. Частица в потенциальном ящике.
24. Линейный гармонический осциллятор.
25. Взаимодействие микрочастицы с прямоугольной потенциальной ступенькой.
26. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
27. Движение в центрально-симметричном поле. Разделение переменных в уравнении Шрёдингера.
28. Собственные функции и собственные значения оператора момента импульса.
29. Радиальное уравнение Шрёдингера. Энергетический спектр водородоподобного атома.
30. Радиальные волновые функции стационарных состояний водородоподобного атома и радиальная плотность вероятности.
31. Классификация состояний в атоме водорода.
32. Стационарная теория возмущений невырожденного уровня.
33. Стационарная теория возмущений при наличии вырождения.
34. Теория возмущения, зависящего от времени. Квантовые переходы под влиянием возмущения, периодически зависящего от времени.
35. Вероятность электрических дипольных переходов при взаимодействии заряженной частицы с электрическим полем электромагнитной волны.
36. Коэффициенты Эйнштейна.
37. Правила отбора для орбитального и магнитного квантовых чисел.
38. Спин электрона. Экспериментальные факты.
39. Операторы спина. Матрицы Паули.
40. Полный момент количества движения электрона. Спин - орбитальное взаимодействие.
41. Тонкая структура спектров водородоподобных атомов.
42. Нормальный эффект Зеемана.
43. Аномальный эффект Зеемана.
44. Принцип неразличимости одинаковых микрочастиц.
45. Симметричные и антисимметричные состояния. Бозоны и фермионы.
46. Принцип Паули.
47. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.
48. Атом гелия. Пара- и ортогелий. Обменное взаимодействие.
49. Молекула водорода. Природа ковалентной химической связи.
50. Спин и валентность.

Раздел 4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

1. Для текущего контроля используются следующие оценочные средства:

1. Задача

Задачи позволяют оценивать и диагностировать знание фактического материала (базовые понятия, алгоритмы, факты) и умение правильно использовать специальные термины и понятия, узнавание объектов изучения в рамках определенного раздела дисциплины;

умения синтезировать, анализировать, обобщать фактический и теоретический материал с формулированием конкретных выводов, установлением причинно-следственных связей.

Алгоритм решения задач:

1. Внимательно прочитайте условие задания и уясните основной вопрос, представьте процессы и явления, описанные в условии.
2. Повторно прочтите условие для того, чтобы чётко представить основной вопрос, проблему, цель решения, заданные величины, опираясь на которые можно вести поиск решения.
3. Произведите краткую запись условия задания.
4. Если необходимо, составьте таблицу, схему, рисунок или чертёж.
5. Установите связь между искомыми величинами и данными; определите метод решения задания, составьте план решения.
6. Выполните план решения, обосновывая каждое действие.
7. Проверьте правильность решения задания.
8. Произведите оценку реальности полученного решения.
9. Запишите ответ.

2. Коллоквиум

Коллоквиум - вид учебно-теоретических занятий, представляющий собой групповое обсуждение под руководством преподавателя достаточно широкого круга проблем, например, относительно самостоятельного большого раздела лекционного курса.

Подготовка к данному виду учебных занятий осуществляется в следующем порядке: преподаватель даёт список вопросов, ответы на которые следует получить при изучении определенного перечня научных источников; студентам во внеаудиторное время необходимо прочитать специальную литературу, выписать из нее ответы на вопросы, которые будут обсуждаться на коллоквиуме, мысленно сформулировать свое мнение по каждому из вопросов, которое они выскажут на занятии.

Коллоквиум содержит три части: проверка знания основных формул и терминологического минимума, ответ на теоретический вопрос с представлением письменной домашней самостоятельной работы. Знание основных формул и терминов является «допуском» к обсуждению теоретических вопросов (студент допускается к дальнейшему собеседованию при условии знания не менее 75 % формул). В процессе собеседования студент должен уметь выводить все основные формулы, уравнения, соотношения и давать объяснение физического смысла всех получаемых результатов.

3. Конспект по теме

Конспект – это систематизированное, логичное изложение материала источника.

Различаются четыре типа конспектов.

План-конспект – это развернутый детализированный план, в котором достаточно подробные записи приводятся по тем пунктам плана, которые нуждаются в пояснении.

Текстуальный конспект – это воспроизведение наиболее важных положений и фактов источника.

Свободный конспект – это четко и кратко сформулированные (изложенные) основные положения в результате глубокого осмысливания материала. В нем могут присутствовать выписки, цитаты, тезисы; часть материала может быть представлена планом.

Тематический конспект – составляется на основе изучения ряда источников и дает более или менее исчерпывающий ответ по какой-то теме (вопросу).

В процессе изучения материала источника, составления конспекта нужно обязательно применять различные выделения, подзаголовки, создавая блочную структуру конспекта. Это делает конспект легко воспринимаемым, удобным для работы.

Этапы выполнения конспекта:

1. определить цель составления конспекта;
2. записать название текста или его части;
3. записать выходные данные текста (автор, место и год издания);
4. выделить при первичном чтении основные смысловые части текста;
5. выделить основные положения текста;
6. выделить понятия, термины, которые требуют разъяснений;
7. последовательно и кратко изложить своими словами существенные положения изучаемого материала;
8. включить в запись выводы по основным положениям, конкретным фактам и примерам (без подробного описания);
9. использовать приемы наглядного отражения содержания (абзацы «ступеньками», различные способы подчеркивания, шрифт разного начертания, ручки разного цвета);
10. соблюдать правила цитирования (цитата должна быть заключена в кавычки, дана ссылка на ее источник, указана страница).

4. Контрольная работа по разделу/теме

Контрольная работа выполняется с целью проверки знаний и умений, полученных студентом в ходе лекционных и практических занятий и самостоятельного изучения дисциплины. Написание контрольной работы призвано установить степень усвоения студентами учебного материала раздела/темы и формирования соответствующих компетенций.

Подготовку к контрольной работе следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данному разделу/теме и конспектов лекций.

Контрольная работа выполняется студентом в срок, установленный преподавателем в письменном (печатном или рукописном) виде.

При оформлении контрольной работы следует придерживаться рекомендаций, представленных в документе «Регламент оформления письменных работ».

5. Отчет по лабораторной работе

При составлении и оформлении отчета следует придерживаться рекомендаций, представленных в методических указаниях по выполнению лабораторных работ по дисциплине.

2. Описание процедуры промежуточной аттестации

Оценка за зачет/экзамен может быть выставлена по результатам текущего рейтинга. Текущий рейтинг – это результаты выполнения практических работ в ходе обучения, контрольных работ, выполнения заданий к лекциям (при наличии) и др. видов заданий.

Результаты текущего рейтинга доводятся до студентов до начала экзаменационной сессии.

Экзамен преследует цель оценить работу обучающегося за определенный курс: полученные теоретические знания, их прочность, развитие логического и творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умения анализировать и синтезировать полученные знания и применять их для решения практических задач.

Экзамен проводится в устной или письменной форме по билетам, утвержденным заведующим кафедрой (или в форме компьютерного тестирования). Экзаменационный билет включает в себя два вопроса и задачи. Формулировка вопросов совпадает с формулировкой перечня вопросов, доведенного до сведения обучающихся не позднее чем за один месяц до экзаменационной сессии.

В процессе подготовки к экзамену организована предэкзаменационная консультация для всех учебных групп.

При любой форме проведения экзаменов по билетам экзаменатору предоставляется право задавать студентам дополнительные вопросы, задачи и примеры по программе данной дисциплины. Дополнительные вопросы также, как и основные вопросы билета, требуют развернутого ответа.