

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра квантовой оптики**



ПРЕДТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ, д.ф.-м.н.
В.Е.Блинов
2022 г.

Рабочая программа дисциплины

СПЕКТРОСКОПИЯ 1

направление подготовки: **03.03.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	36	32			2			2		
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,
д.ф.-м.н., проф.

С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	4
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	8

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Спектроскопия 1» представляет собой начальный курс атомной спектроскопии, предназначенный для обучения студентов-физиков, специализирующихся в области нелинейной и квантовой оптики. Целью курса является получение студентами базовых знаний по основам теории атомных спектров.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Знать основы систематики спектров атомов, основные спектральные эффекты в атомах при наложении внешних полей, основы систематики спектров многоэлектронных атомов для различных типов связи угловых моментов;</p> <p>Уметь пользоваться схемами уровней атомов и молекул для поиска переходов с заданными свойствами симметрии;</p> <p>Владеть понятиями электронных конфигураций, спектральных термов, основами теоретико-группового подхода к анализу атомных спектров.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина (курс) «Спектроскопия 1» представляет собой полугодовой курс, читаемый в 7-м семестре ФФ НГУ и является базовой дисциплиной в образовательной бакалаврской программе со специализацией в области оптики; изложение материала опирается на знание студентами основ электромагнитной теории света и квантовой механики, а также необходимых математических дисциплин (теории групп и линейной алгебры); обеспечена логическая связь «Спектроскопии 1» с курсами «Физика лазеров» и «Нелинейная спектроскопия».

Курс предназначен для бакалавров, область будущей профессиональной деятельности которых включает:

- исследования процессов взаимодействия оптического излучения с веществом;
- научные исследования и метрология с использованием лазерного излучения и спектроскопических методов;
- разработку, исследование, модификацию и применение лазерных систем, а также устройств для управления лазерным излучением;
- научная, техническая, технологическая и инженерная деятельность в области квантовой и нелинейной оптики, а также оптоэлектроники.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	36	32			2			2		
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, самостоятельная работа студента, зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: выборочный опрос.

Промежуточная аттестация: зачет.

Общая трудоемкость программы составляет 1 зачетную единицу/36 академических часов:

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 2 часа;
- промежуточная аттестация (сдача зачета) – 2 часа.

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, зачет) составляет 34 часа.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина (курс) «Спектроскопия 1» представляет собой полугодовой курс, читаемый в 7-м семестре ФФ НГУ. Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачётную единицу, 36 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	История развития спектроскопии. Основы теории Бора.	1	2	2			
2	Основы теории групп. <i>Форма контроля: выборочный опрос.</i>	2-3	4	4			
3	Движение в центральном поле. Атом водорода.	4	2	2			
4	Систематика спектров многоэлектронных атомов. <i>Форма контроля: выборочный опрос.</i>	5-8	8	8		2	
5.	Периодическая система элементов. <i>Форма контроля: выборочный опрос.</i>	9-10	4	4			
6.	Атом во внешних полях <i>Форма контроля: выборочный опрос.</i>	11-13	6	6			
7.	Сверхтонкая структура спектральных линий <i>Форма контроля: выборочный опрос.</i>	14	2	2			
8.	Интенсивности спектральных линий <i>Форма контроля: выборочный опрос.</i>	15-16	4	4			
10.	Зачёт	17	2				2
Всего			36	32		2	2

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. История развития спектроскопии. Основы теории Бора. (2 часа)

Исторический обзор – этимология, возникновение понятия спектра. Основные электромагнитные диапазоны – длины волн и чему они соответствуют. Спектры испускания и поглощения. Линейчатые и непрерывные спектры. История исследования спектра водорода, линии Лаймана и Бальмера, сериальные закономерности, соотношение Ридберга. Понятие спектрального термина. Модель Бора, понятие стационарного состояния атома. Вычисление стационарных орбит, вывод квантования углового момента и его проекции. Проблемы теории Бора, гипотеза об электронном спине.

Уравнение Шредингера. Симметрии конфигурационного пространства. Идея теоретико-группового подхода к анализу физических систем.

Раздел 2. Основные теоремы теории групп. Группы Ли. (4 часа)

Краткие сведения из теории дискретных групп. Свойства представлений, леммы Шура. Теорема Вигнера. Классификация энергий и функций стационарных состояний на основе представлений группы симметрий конфигурационного пространства. Непрерывные группы, группы Ли. Связь генераторов групп Ли с законами сохранения в уравнении Шредингера. Группа чистых вращений

трехмерного пространства $SO(3)$, полная группа вращений $O(3)$, группа $SU(2)$, изоморфизм $SU(2) \rightarrow SO(3)$. Связь генераторов групп $SO(3)$ и $SU(2)$ с операторами углового момента. Неприводимые представления групп $SO(3)$ и $SU(2)$.

Раздел 3. Движение в центральном поле. Атом водорода. (2 часа)

Классификация собственных состояний и собственных энергий уравнения Шредингера в центральном поле. Понятие четности состояния. Атом водорода и водородоподобные ионы, уравнение Шредингера в кулоновском поле. Спектр атома водорода, природа случайного вырождения (наводящие соображения).

Прямое произведение групп. Представление прямого произведения, разложение Клебша-Гордана, правило сложения угловых моментов. Тензорные представления. Неприводимые тензорные операторы, сферические тензоры. Теорема Вигнера-Эккарта.

Раздел 4. Систематика спектров многоэлектронных атомов. (8 часов)

Спинорное представление группы $SU(2)$, связь с оператором спина. Спиноры высших порядков. Многоэлектронный атом, принцип Паули. Приближение самосогласованного поля. Группа перестановок - неприводимые представления, техника диаграмм Юнга. Симметрии спиновой и координатной частей волновой функции. Электронная конфигурация и спектральные термы. Спин-орбитальное взаимодействие, тонкая структура термов. Нахождение спектральных термов по конфигурации (LS - и jj -связь). Правило интервалов Ланде. Нормальный и обращенный мультиплет.

Раздел 5. Периодическая система элементов. (4 часа)

Периодическая система элементов, общая картина заполнения оболочек. Спектры щелочных металлов, поправка Ридберга. Термы гелия и гелиеподобных ионов. Спектры более сложных конфигураций. Модель Томаса-Ферми, метод Хартри-Фока.

Раздел 6. Атом во внешних полях (6 часов)

Атом во внешних полях. Применение методов теории групп в теории возмущений, построение правильных волновых функций нулевого приближения. Расщепление спектральных линий в электрическом поле (квадратичный эффект Штарка). Эффект Штарка в атоме водорода (линейный эффект Штарка). Эффект Штарка в периодическом поле. Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана (слабое поле, LS -связь), эффект Пашена-Бака (сильное поле).

Раздел 7. Сверхтонкая структура спектральных линий (2 часа).

Спин ядра. Оценка его взаимодействия с электронами атома. Ядерные спиновые модификации молекул.

Раздел 8. Интенсивности спектральных линий (4 часа).

Понятие о правилах отбора. Правила отбора для дипольного и квадрупольного излучения. Силы осцилляторов. Вычисление матричных элементов переходов.

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. И.И. Собельман «Введение в теорию атомных спектров». М.-Л.: Физматгиз, 1977
2. М.И. Петрашень, Е.А. Трифонов «Применения теории групп в квантовой механике». М.: Эдиториал УРСС, 2000.

5.2. Дополнительная литература

1. Е.Вигнер «Теория групп и ее приложения в квантовомеханической теории атомных спектров». М.: ИЛ, 1961.
2. Д.А. Варшалович, А.Н. Москалёв, В.К. Херсонский «Квантовая теория углового момента». Л.: Наука, 1975.
3. С.Е. Фриш «Оптические спектры атомов». М.-Л.: Физматгиз, 1963

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Не используется.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины «Спектроскопия 1» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Реализация дисциплины может осуществляться с применением электронного обучения на платформе Zoom с использованием презентаций.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости студента проводится следующими видами контроля: контрольные вопросы по пройденному на лекциях материалу, задания для самостоятельного решения с последующим разбором на практических занятиях.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Зачет по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области структуры атомных спектров в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на зачёте. Зачёт проводится в конце семестра в зачётную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценка «зачёт» означает успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	Знать основы систематики спектров атомов, основные спектральные эффекты в атомах при наложении внешних полей, основы систематики спектров многоэлектронных атомов для различных типов связи угловых моментов.	Проведение контрольных работ, зачет.

ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области	Уметь пользоваться схемами уровней атомов и молекул для поиска переходов с заданными свойствами симметрии.	Проведение контрольных работ, зачет.
ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	Владеть понятиями электронных конфигураций, спектральных термов, основами теоретико-группового подхода к анализу атомных спектров.	Проведение контрольных работ, зачет.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Спектроскопия 1».

Таблица 10.2

Критери и оценива ния результат ов обучени я	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстриру ет общие знания базовых понятий по темам/раздел ам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/ несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированн о отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстр ированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстриро ваны все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстриро ваны все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.

Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.
-----------------------------------	--------	--	--	--	---

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Пример задания для самостоятельного решения

Найти термы конфигураций p^2 и p^3 .

Вопросы, выносимые на зачёт

- №1. Электростатическое и спин-орбитальное взаимодействие.
- №2. Систематика состояний в центрально-симметричном поле. Классификация по неприводимые представления группы вращений.
- №3. Тонкая структура атома водорода.
- №4. Модель Томаса- Ферми.
- №5. $j-j$ связь, область применимости, примеры.
- №6. Спектры щелочных металлов. Поправка Ридберга.
- №7. Термы He и гелий-подобных ионов.
- №8. Теорема Вигнера.
- №9. Спектры инертных газов. Тип связи.
- №10. Правила отбора для оптических переходов.
- №11. L-S связь. Нахождение термов конфигураций.
- №12. Штарк-эффект (не атом водорода)
- №13. Штарк-эффект в атоме водорода.
- №14. Эффект Штарка в переменном поле; предельные случаи.
- №15. Эффект Зеемана в слабых полях.
- №16. Эффект Зеемана в сильных полях.
- №17. Влияние ядра на атомный спектр.
- №18. Классификация многоэлектронных волновых функций по перестановочной симметрии.
- №19. Тензорные представления. Сферические тензоры. Теорема Вигнера-Эккарта.

Пример билета на зачёт

1. Систематика состояний в центрально-симметричном поле. Классификация по неприводимые представления группы вращений.
2. Связь симметрий спиновой и координатной частей волновой функции многоэлектронного атома.
3. Найти термы конфигурации d^3 в приближении LS-связи.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Спектроскопия 1»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного