

**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**



Рабочая программа дисциплины

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕЛИНЕЙНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Направление подготовки: **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика. Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения **Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Итоговая аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная ра- бота, не включая пе- риод сессии	Самостоятельная подготовка к итого- вой аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные за- нятия			Консультации	Зачет	Дифференциро- ванный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	24	8		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н., проф.

И. Б. Логашенко

Новосибирск 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
3. Трудоемкость 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.	5
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	5
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	5
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	6
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	6
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и итоговой аттестации по дисциплине.	6

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

Дисциплина (курс) «Кинетические проблемы нелинейной спектроскопии» имеет своей целью дать обучающимся знания о кинетических явлениях в нелинейной лазерной спектроскопии газов, знание основ влияния процессов столкновений на нелинейное взаимодействие лазерного излучения с частицами газа.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих профессиональных Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать аппарат матрицы плотности, квантовое кинетическое уравнение для матрицы плотности с интегралом столкновений; свойства интеграла столкновений и ядра интеграла столкновений; основные закономерности формирования неравновесностей в распределении заселенностей уровней по скоростям и их деформации вследствие упругих столкновений; основные идеи применения моделей интеграла столкновений. Уметь решать простейшие задачи с моделями интеграла столкновений по формированию распределений заселенностей по скоростям; решать простейшие задачи светоиндуцированной газовой кинетики; делать оценки в простейших экспериментальных ситуациях. Владеть аппаратом матрицы плотности, аппаратом функции Грина, кинетическими уравнениями с интегралом столкновений; навыками работы с современными литературными источниками в области светоиндуцированной газовой кинетики.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Кинетические проблемы нелинейной спектроскопии» реализуется в осеннем семестре 1-го курса для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки **03.04.02 Физика**. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой квантовой оптики.

Изложение материала опирается на знание студентами общей физики, основ электромагнитной теории света и квантовой механики, знание основ газовой кинетики.

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

- исследования процессов взаимодействия оптического излучения с веществом;
- научные исследования и метрологию с использованием лазерного излучения и нелинейно-спектроскопических методов;

- разработку, исследование, модификацию и применение лазерных систем, а также устройств для управления лазерным излучением;
- научную, техническую, технологическую и инженерную деятельность в области квантовой и нелинейной оптики.

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.

Трудоёмкость дисциплины составляет: 2 зачётные единицы, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации: 1 семестр – экзамен.

№		Вид деятельности	Семестр
			1
1		Лекции, ч	24
2		Практические занятия, ч	8
3		Лабораторные занятия, ч	-
4		Занятия в контактной форме, ч из них	36
5		аудиторных занятий, ч	32
6		в электронной форме, ч	-
7		консультаций, час.	2
8		промежуточная аттестация, ч	2
9		Самостоятельная работа, час.	36
10		Всего, ч	72

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

Программа лекций (24 часа)

Раздел 1. Кинетические уравнения для матрицы плотности с интегралом столкновений. (5 часов)

Частоты столкновений и ядра интегралов столкновений. Общие свойства. Одномерные ядра.

Раздел 2. Фазовая память при столкновениях. (5 часов)

Деформация распределения заселенностей по скоростям вследствие столкновений с изменением скорости. Общие закономерности, «теорема площадей».

Раздел 3. Модель сильных столкновений. Модель слабых столкновений. (3 часа)

Модель разностного ядра и ядра Килсона-Сторера.

Раздел 4. Работа поля в модели сильных столкновений и других специальных случаях. (1 час)

Влияние столкновений на простейшие нелинейные резонансы.

Раздел 5. Новые способы генерации излучения за счет столкновений. (3 часа)

Раздел 6. Светоиндуцированные газокинетические явления. (4 часа)

Эффект фотоиндуцированного дрейфа и эффект фотоиндуцированного втягивания-выталкивания. Демон Максвелла.

Раздел 7. Уравнения переноса в поле лазерного излучения. (3 часа)

Примеры известных фотоиндуцированных газокINETических явлений; главные закономерности.

Программа практических занятий (8 часов)

Занятие 1. Анализ квантовых кINETических уравнений для матрицы плотности с интегралом столкновений. (2 часа)

Занятие 2. Анализ уравнения для Функции Грина и его формального решения. (2 часа)

Занятие 3. Анализ простейших моделей интеграла столкновений. Решение уравнений для матрицы плотности в модели сильных столкновений. (1 час)

Занятие 4. Анализ физической сущности эффекта фотоиндуцированного дрейфа и других фотоиндуцированных газокINETических эффектов. (1 час)

Занятие 5. Анализ Эффекта СИД как реализацию демона Максвелла. (1 час)

Занятие 6. Анализ возможностей столкновительно обусловленной лазерной генерации. (1 час)

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	6
Подготовка к контрольным работам	6
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

- [1] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.: Наука, 1969.(160 экз.)
- [2] Шалагин А.М. Основы нелинейной спектроскопии. Новосибирск: НГУ, 2008., ISBN 978-5-94356-624-0 (6 экз.)
- [3] Раутиан С.Г., Смирнов Г.И., Шалагин А.М. Нелинейные резонансы в спектрах атомов и молекул. Новосибирск: Наука, 1979. (73 экз.)

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

- [1] Шалагин А.М. Фотоиндуцированный дрейф. Физическая энциклопедия. В 5-ти томах. — М.: Советская энциклопедия. Главный редактор А. М. Прохоров.1988.
- [2] Хохлова В.Л. Химически пекулярные звезды. Физическая энциклопедия. В 5-ти томах. — М.: Советская энциклопедия. Главный редактор А. М. Прохоров.1988.
- [3] Rautian S.G., Shalagin A.M. RINETIC Problems of Non-Linear Spectroscopy. North-Holland. 1991.

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 «Кинетические проблемы нелинейной спектроскопии» используются специальные помещения:

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

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

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.

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 итоговой аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и итоговой аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости студента проводится путем проведения коротких самостоятельных работ в начале каждого практического занятия с решением типовых задач, разобранных на предыдущем занятии. Студентам необходимо успешно выполнить 1 контрольную работу.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка 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 нелинейной лазерной спектроскопии в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение итоговой 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 решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать аппарат матрицы плотности, квантовое кинетическое уравнение для матрицы плотности с интегралом столкновений; свойства интеграла столкновений и ядра интеграла столкновений; основные закономерности формирования неравновесностей в распределении заселенностей уровней по скоростям и их деформации вследствие упругих столкновений; основные идеи применения моделей интеграла столкновений.	Опрос в начале каждой лекции, экзамен.
ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Уметь решать простейшие задачи с моделями интеграла столкновений по формированию распределений заселенностей по скоростям; решать простейшие задачи светоиндуцированной газовой кинетики; делать оценки в простейших экспериментальных ситуациях. Владеть аппаратом матрицы плотности, аппаратом функции Грина, кинетическими уравнениями с интегралом столкновений; навыками работы с современными литературными источниками в области светоиндуцированной газовой кинетики.	Опрос в начале каждой лекции, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Кинетические проблемы нелинейной спектроскопии».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
Экзамен: – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить не принципиальные неточности.	<i>Отлично</i>

Экзамен: – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.	<i>Хорошо</i>
Экзамен: – самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, а также затруднений при формулировке собственных суждений, – корректность применения терминов и понятий, с множественными ошибками, – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.	<i>Удовлетворительно</i>
Экзамен: – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	<i>Неудовлетворительно</i>

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

Примеры задания для самостоятельного решения и контрольных работ

1. Вычислить спектр поглощения при наличии фазовой памяти в модели сильных столкновений (эффект Дике).
2. Вычислить заселенности уровни в трехуровневой V-схеме в условиях, когда сильное монохроматическое излучение резонансно более коротковолновому переходу и существует интенсивный столкновительный обмен между верхними уровнями.
3. Найти критерий возникновения инверсии заселенностей в двухуровневой системе при поглощении интенсивного излучения в крыле спектральной линии.
4. Вывести выражение для плотности силы внутреннего трения через поток частиц и транспортную частоту столкновений.
5. Вывести формулу для скорости светоиндуцированного дрейфа в модели сильных столкновений при большом доплеровском уширении.
6. Вывести формулу для изменения концентрации в эффекте светоиндуцированного вытягивания (выталкивания) при большом однородном уширении.
7. Доказать, что ядро Килсона-Сторера удовлетворяет необходимым требованиям к ядрам интегралов столкновений.
8. На примере ядра Килсона-Сторера выявить условия применимости модели разностного ядра интеграла столкновений.

9. Вывести выражение, связывающее одномерные ядра интеграла столкновений с трехмерными.

Вопросы, выносимые на экзамен

1. Частоты столкновений и ядра интегралов столкновений. Общие свойства. Одномерные ядра и частоты столкновений.
2. Особенности взаимодействия частиц газа с излучением в крыле спектральной линии. Возникновение инверсии заселенностей.
3. Деформация распределения по скоростям вследствие столкновений с изменением скорости. Функция Грина. Представление в виде ряда, сходимость, теорема «площадей».
4. Эффект светоиндуцированного дрейфа. Физическая основа и проявления.
5. Модель сильных столкновений. Функция Грина для нее.
6. Лазерная генерация в трехуровневой системе с двумя близко расположенными возбужденными состояниями, между которыми происходит интенсивное столкновительное перемешивание.
7. Работа поля для бегущей монохроматической волны при произвольной заданной функции Грина (селективное по скоростям взаимодействие).
8. Эффект втягивания (выталкивания) частиц световым пучком.
9. Вычисление работы поля бегущей монохроматической волны в модели сильных столкновений.
10. Функция Грина для экспоненциального и произвольного разностного ядра.
11. Уравнения переноса в поле лазерного излучения (уравнения непрерывности и уравнения Эйлера). Условия, при которых эти уравнения становятся замкнутыми.
12. Светоиндуцированная анизотропия давления.
13. Возникновение неравновесностей в газовой системе в поле лазерного излучения. Общий случай. Демон Максвелла.
14. «Стеночный» светоиндуцированный дрейф.
15. Общее кинетическое уравнение с интегралом столкновений. Последовательные упрощения.
16. Светоиндуцированное вязкое течение.
17. Ядро Килсона-Сторера для интеграла столкновений. Его свойства. Ядра k -го порядка для этой модели.
18. Получение из уравнений переноса общего выражения для потока поглощающих частиц, включающего в себя эффект светоиндуцированного дрейфа и эффект втягивания (выталкивания)

Пример экзаменационного билета

1. Уравнения переноса в поле лазерного излучения (уравнения непрерывности и уравнения Эйлера). Условия, при которых эти уравнения становятся замкнутыми.
2. Светоиндуцированная анизотропия давления.

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