

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 электроники

академик РАН



ПОДПИСАЮ

Декан ФФ

А. Е. Бондарь

2020 г.

Рабочая программа дисциплины
МЕХАНИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АТОМЫ

Направление подготовки 03.04.02 Физика Курс 1, семестр 1
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
1	72	20	14		36				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часа - в интерактивных формах 14 часов										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Разработчик:
чл.-к. РАН д.ф.-м.н., профессор каф. КвЭл ФФ НГУ

Заведующий кафедрой КвЭл ФФ НГУ
академик РАН

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

А.В. Тайченачев

С.Н. Багаев

И.Б. Логашенко

Новосибирск 2020

Содержание

Аннотация	3
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	5
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	6
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем ..	7
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	8
5. Перечень учебной литературы.	11
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	12
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	12
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	12
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	13
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	13

Аннотация

к рабочей программе дисциплины «Механическое действие лазерного излучения на атомы»

Направление: 03.04.02 Физика

Направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика

Программа дисциплины «Механическое действие лазерного излучения на атомы» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню магистратуры по направлению подготовки 03.04.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика», а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) кафедрой квантовой электроники в качестве дисциплины по выбору. Дисциплина изучается студентами первого курса физического факультета в осеннем семестре.

Цель курса – овладение базовыми понятиями, моделями и методами физики лазерно-охлажденных атомов, понимание основных типов сил, действующих на атомы в поле резонансного лазерного излучения, а также основных механизмов лазерного охлаждения атомов до сверхнизких температур (10^{-6} – 10^{-3} К).

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника профессиональных компетенций:

ПК-1 – способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

ПК-2 - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области механического действия лазерного излучения на атомы, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований в области механического действия лазерного излучения на атомы, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований в области механического действия лазерного излучения на атомы, базовые разделы общей и теоретической физики в части воздействия лазерного излучения на атомы: основные понятия, модели, законы и теории, теоретические и методологические основы общей и теоретической физики и способы их использования при решении научно-инновационных задач;

- **Уметь:** самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области механического действия лазерного излучения на атомы с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий, решать типовые учебные задачи по основным разделам общей и теоретической физики в части воздействия лазерного излучения на атомы; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач в области механического действия лазерного излучения на атомы, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов общей и теоретической физики в части механического действия лазерного излучения на атомы, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов общей и теоретической физики в области механического действия лазерного излучения на атомы для

решения научно-инновационных задач, применять знания базовых дисциплин по общей и теоретической физике в области механического действия лазерного излучения на атомы для анализа и обработки результатов физических экспериментов, проводить анализ научной и технической информации в области механического действия лазерного излучения на атомы и смежных с ней дисциплин;

- **Владеть:** навыками постановки и решения задач научных исследований в области механического действия лазерного излучения на атомы с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований, навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам общей и теоретической физики в области механического действия лазерного излучения на атомы; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов общей и теоретической физики механического действия лазерного излучения на атомы; навыками решения базовых задач по общей и теоретической физике в области механического действия лазерного излучения на атомы; основными методами научных исследований, навыками проведения физического (лабораторного) эксперимента; навыками использования теоретических основ базовых разделов общей и теоретической физики в области механического действия лазерного излучения на атомы при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области механического действия лазерного излучения на атомы и смежных с ней дисциплин.

Курс рассчитан на один семестр (1-й). Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студентов, дифференцированный зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: выборочный опрос по темам предыдущих лекций, проверка решения задач;

Промежуточная аттестация: дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **72** академических часа / **2** зачетных единицы.

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

Дисциплина «**Механическое действие лазерного излучения на атомы**» необходима для ознакомления обучающихся основными представлениями о взаимодействии лазерного излучения с веществом, с методами описания взаимодействия лазерного излучения с квантовыми системами и подходах, используемых при анализе типичных экспериментальных условий. Методы лазерной спектроскопии широко используются для лазерного охлаждения, прецизионных метрологических работ, важны для биомедицинской физики, составляют основу квантовой информатики с нейтральными атомами. Этим определяется глубокая взаимосвязь данного курса с другими курсами, изучаемыми магистрантами кафедры квантовой электроники.

Цель курса – овладение базовыми понятиями, моделями и методами физики лазерно-охлажденных атомов, понимание основных типов сил, действующих на атомы в поле резонансного лазерного излучения, а также основных механизмов лазерного охлаждения атомов до сверхнизких температур ($10^{-6} - 10^{-3}$ К).

При освоении курса у обучающегося формируются следующие профессиональные компетенции:

ПК-1 – способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

ПК-2 - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать

- методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области механического действия лазерного излучения на атомы, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований в области механического действия лазерного излучения на атомы, возможности, методы и систем компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований в области механического действия лазерного излучения на атомы (ПК–1.1);
- базовые разделы общей и теоретической физики в части воздействия лазерного излучения на атомы: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы общей и теоретической физики и способы их использования при решении научно-инновационных задач (ПК–2.1);

уметь

- самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области механического действия лазерного излучения на атомы с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий (ПК-1.2)
- решать типовые учебные задачи по основным разделам общей и теоретической физики в части воздействия лазерного излучения на атомы; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач в области механического действия лазерного излучения на атомы, грамотно работать с научной

литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов общей и теоретической физики в части механического действия лазерного излучения на атомы, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов общей и теоретической физики в области механического действия лазерного излучения на атомы для решения научно-инновационных задач; применять знания базовых дисциплин по общей и теоретической физике в области механического действия лазерного излучения на атомы для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области механического действия лазерного излучения на атомы и смежных с ней дисциплин (ПК-2.2)

владеть

- навыками постановки и решения задач научных исследований в области механического действия лазерного излучения на атомы с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований (ПК-1.3)
- навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам общей и теоретической физики в области механического действия лазерного излучения на атомы; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов общей и теоретической физики механического действия лазерного излучения на атомы; навыками решения базовых задач по общей и теоретической физике в области механического действия лазерного излучения на атомы; основными методами научных исследований, навыками проведения физического (лабораторного) эксперимента; навыками использования теоретических основ базовых разделов общей и теоретической физики в области механического действия лазерного излучения на атомы при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области механического действия лазерного излучения на атомы и смежных с ней дисциплин (ПК-2.3)

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «**Механическое действие лазерного излучения на атомы**» реализуется в 1 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 электроники. Изложение материала опирается на знание студентами основ электромагнитной теории света и квантовой механики; обеспечивается логическая связь дисциплины «**Механическое действие лазерного излучения на атомы**» с курсами «Основы квантовой оптики», «Атомная и молекулярная спектроскопия», «Лазерная спектроскопия», «Нелинейная спектроскопия», «Современная квантовая лазерная метрология», «Квантовые стандарты частоты и квантовые сенсоры на базе ультрахолодных атомов». Курс предшествует выполнению квалификационной работы студента, так как дает ему необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения научных исследований в рамках подготовки его квалификационной работы.

3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем

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
1	72	20	14		36				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов - в интерактивных формах 14 часов										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

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

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов и ее контроль преподавателями с помощью заданий, дифференцированный зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: выборочный опрос по темам предыдущих лекций, проверка решения задач.

Промежуточная аттестация: – дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **72** академических часа / **2** зачетных единицы:

- занятия лекционного типа – 20 часов;
- практические занятия – 14 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение года, не включая период сессии – 36 часов.
- промежуточная аттестация (дифференцированный зачет) – 2;

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, дифференцированный зачет) составляет 36 часов.

Работа с обучающимися в интерактивных формах (практические занятия) составляет 14 часов.

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

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)					Групповая консультация (часов)	Промежуточная аттестация (дифференцированный зачет)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Введение.	1	6	2		4			
2	Сила резонансного светового давления.	2-3	8	2	2	4			
3	Лазерное охлаждение двухуровневых атомов.	4-6	10	4	2	4			
4	Магнитооптическая ловушка.	7-8	8	2	2	4			
5	Субдоплеровское лазерное охлаждение атомов.	9-10	8	2	2	4			
6	Охлаждение ниже энергии отдачи.	11-12	8	2	2	4			
7	Оптические решетки ультрахолодных атомов.	13-14	8	2	2	4			
8	Научно-технические приложения лазерно охлажденных атомов.	15-16	14	4	2	8			
9	Дифференцированный зачет	17	2						2
ВСЕГО			72	20	14	36			2

Программа и основное содержание лекций (20 часов)

1. Введение (2 часа)

Световое давление в долазерную эпоху. Гипотеза светового давления – Кеплер и Ньютон.

Корпускулярная и волновая интерпретации. Световое давление как одно из следствий теории электромагнетизма Максвелла. Эксперименты Лебедева, Никольса и Хулла. Эффект отдачи и тепловое равновесие атомов и излучения – Эйнштейн. Эксперименты Фриша по наблюдению резонансного светового давления.

Лазерная эра. Основные этапы развития теории и эксперимента резонансного светового давления. Идея локализации атомов в минимумах оптического потенциала - Летохов. Идея доплеровского охлаждения – Хэнш, Шавлов, Вайнлэнд, Демельт. Эксперименты по замедлению и охлаждению атомных пучков – Балыкин и др., Филлипс и др. Эксперименты по охлаждению

ионов в электромагнитных ловушках – Вайнлэнд и др., Демельт и др. Теория охлаждения двухуровневых атомов, доплеровский предел – Миногин и др., Казанцев и др., Кук, Гордон и др.

Реализация оптической патоки и оптической ловушки – Чу и др. Идея магнитооптической ловушки (МОЛ) – Причард, Далибард. Реализация МОЛ в экспериментах Чу и др.

Открытие субдоплеровского охлаждения в оптической патоке – Филлипс. Теория субдоплеровского охлаждения – Далибард и Коэн-Таннуджи. Охлаждение ниже энергии отдачи – Аспект и др., Чу и др. Идея и экспериментальная реализация оптической решетки - Далибард, Гринбер, Филлипс и др. Современное состояние.

Основные достижения и физико-технические приложения лазерно охлажденных атомов – МОЛ, оптические решетки и ловушки, элементы для оптики и интерферометрии атомных волн – спектроскопия, стандарты частоты и времени, нелинейная и квантовая оптика, конденсация Бозе-Эйнштейна, приготовление и контролируемая эволюция квантовых состояний, столкновения при сверхнизких энергиях и проч.

2. Сила резонансного светового давления (2 часа)

Двухуровневый атом – базисная модель – основной физический образ. Резонансное и дипольное приближения. Когерентный и некогерентный пределы резонансного взаимодействия.

Эффект отдачи. Оценки. Квантовое и квазиклассическое описание поступательных степеней свободы атома.

Матрица плотности и квантовое кинетическое уравнение для двухуровневого атома в вигнеровском представлении. Общее выражение для силы светового давления.

Фундаментальные процессы и два типа сил светового давления.

Сила спонтанного светового давления в поле бегущей волны. Аналитическое выражение - интерпретация. Оценки. Основные свойства.

Сила вынужденного светового давления в поле стоячей волны. Случай слабых полей – возможные интерпретации. Произвольные насыщения – логарифмический потенциал. Оценки. Основные свойства.

Сила светового давления на неподвижный атом в общем случае.

3. Лазерное охлаждение двухуровневых атомов (4 часа)

Доплеровский механизм охлаждения. Слабая стоячая волна – встречные бегущие волны равной амплитуды (независимое действие). Качественная картина и коэффициент трения. Квантовые флуктуации сил светового давления. Диффузия в пространстве импульсов в поле бегущей волны. Спонтанная и вынужденная диффузия. Качественная интерпретация и приближенная формула.

Точные формулы для трения и диффузии в поле стоячей волны. Оценка температуры охлаждения на основе уравнения Фоккера-Планка. Доплеровский предел лазерного охлаждения.

Сизифовский механизм охлаждения. Изменение знака силы трения в поле сильной стоячей волны. Базис «одетых» состояний – качественная интерпретация. Трение и диффузия в секулярном приближении. Температура охлаждения в сильном поле.

Охлаждение локализованных атомов (ионов) в слабом световом поле в условиях спектрального разрешения боковых колебательных полос. Режим Лэмба-Дикке – качественная интерпретация. Температура и время охлаждения. Охлаждение до основного колебательного состояния.

4. Магнитооптическая ловушка (МОЛ) (2 часа)

Проблема стабильной пространственной локализации атомов. Оптическая теорема Ирншоу и ее преодоление.

Неоднородно поляризованное поле, образованное циркулярно поляризованными встречными волнами. Одномерная модель поля в МОЛ. Многоуровневая модель атома. Принцип действия магнитооптической ловушки.

Магнитооптический потенциал. Оценки глубины потенциала, температуры охлаждения и размера локализации в одноатомном приближении (низкая плотность).

Загрузка МОЛ из паров. Оценка критической скорости атома и числа атомов в МОЛ.

5. Субдоплеровское лазерное охлаждение атомов (2 часа)

Доплеровский предел – ограничения двухуровневой модели атома.

Экспериментальное открытие субдоплеровского охлаждения в оптической палочке. Необходимые ингредиенты субдоплеровского охлаждения: атомы с вырожденным основным состоянием (щелочные металлы), поля с пространственным градиентом поляризации – базовые одномерные модели.

Сизифовский механизм субдоплеровского охлаждения. Качественная картина – приближенные выражения для трения и диффузии в слабом поле. Температура субдоплеровского охлаждения.

Альтернативные механизмы охлаждения ниже доплеровского предела.

Трение и диффузия в общем трехмерном случае. Разложения по пространственным градиентам поля. Перекрестные члены ответственные за «аномальную» силу трения.

Анализ симметрии. Поля, образованные эллиптически поляризованными волнами.

6. Охлаждение ниже энергии отдачи (2 часа)

Экспериментальное наблюдение охлаждения ниже энергии отдачи на переходе $1 \rightarrow 1$ в гелии.

Эффект когерентного пленения населенностей (КПН) в поле сонаправленных волн в газе трехуровневых атомов. Темные состояния. Вероятность возбуждения как функция двухфотонной отстройки.

Селективное по скорости КПН в поле встречных волн. Качественная полуклассическая картина. Квантовый подход р-семейства состояний. Локальный базис. Вероятность возбуждения как функция квазиимпульса атома.

Диффузионный механизм охлаждения – три этапа эволюции атомного ансамбля. Основные особенности.

Эффекты пространственной локализации в условиях КПН в неоднородном поле.

Геометрические (калибровочные) потенциалы атомов в темном состоянии – скалярный и векторный вклады.

7. Оптические решетки (ОР) (2 часа)

Определение оптической решетки – дальний пространственный порядок.

Диссипативные ОР. Охлаждение и локализация в минимумах оптического потенциала. Режим Лэмба-Дикке. Скорость туннелирования. Населенность нижних колебательных зон. Яркие и темные (серые) ОР – основные особенности. Магнитооптические ОР.

Диагностика атомов в ОР. Наблюдение колебательной структуры в спектрах пробного поля и в спектре резонансной флуоресценции.

Проблема фазовой стабильности многомерных ОР и три способа ее решения. Применения диссипативных ОР.

Недиссипативные ОР. Оценки параметров оптического потенциала при большой отстройке от резонанса. Загрузка недиссипативных ОР. Применения недиссипативных ОР.

Охлаждение до основного колебательного состояния оптического потенциала в условиях спектрального разрешения колебательной структуры. Вырожденный и невырожденный варианты. Оператор оптического сдвига для атомов щелочных металлов. Зеemanовский и штарковский способы охлаждения. Населенность и время охлаждения – зависимость от параметров задачи.

8. Научно-технические приложения лазерно охлажденных атомов (4 часа)

Современные атомные стандарты частоты и времени. Цезиевый фонтан. Стандарт на ультрахолодных свободных атомах кальция. Одиночные ионы в ловушках. Нейтральные атомы в оптических решетках.

Атомная интерферометрия. Интерференция в пространственно разнесенных стоячих волнах (Дубецкий-Казанцев-Чеботаев-Яковлев). Схема Борде. Интерференция внутренних

состояний - оптический стандарт частоты (кальций, магний). Атомные гироскоп и гравиметр.

Конденсация Бозе-Эйнштейна (БЭК) атомов щелочных металлов и атомов гелия. Магнитная ловушка для БЭК. Испарительное охлаждение в магнитных ловушках. Атомный лазер. БЭК в оптической решетке. Квантовые фазовые переходы.

Ферми газы ниже температуры вырождения. Испарительное охлаждение в дипольной ловушке. Управление амплитудой рассеяния вблизи резонансов Фешбаха. Управление кинематической размерностью в оптических решетках.

Квантовые вычисления. Физическая реализация элементов квантовой логики на лазерно охлажденных атомах и ионах в ловушках и решетках. Квантовые биты и их инициализация. Реализация основных квантовых ключей (вентилей). Проблемы создания масштабируемого квантового компьютера-симулятора.

Программа практических занятий (14 часов)

1. Исходя из уравнения Шредингера для двухуровневого атома в резонансном монохроматическом поле, получить аналитическое выражение для силы вынужденного светового давления в поле слабой стоячей волны (теория возмущений). (2 часа)
2. На основе оптических уравнений Блоха для двухуровневого атома в монохроматическом неоднородном поле общего вида получить аналитические выражения для силы светового давления, коэффициентов трения и диффузии в виде разложений по градиентам вещественных параметров поля (вещественная амплитуда и фаза). (2 часа)
3. Получить приближенное выражение для коэффициента вынужденной диффузии в поле слабой бегущей волны, исходя из представлений о процессе поглощения фотонов поля как случайном пуассоновском процессе. (2 часа)
4. В приближении медленных атомов вычислить время необходимое для охлаждения двухуровневых атомов до доплеровского предела в поле слабой стоячей волны. (2 часа)
5. Найти темное (КПН) состояние атомов с переходом $1 \rightarrow 1$ в неоднородно поляризованном поле общего вида. Найти пространственное распределение атомов в этом состоянии. (2 часа)
6. Оценить глубину магнитооптического потенциала МОП для атомов магния. (2 часа)
7. Оценить вероятность туннелирования между соседними минимумами оптического потенциала для нижнего колебательного состояния в зависимости от глубины оптической решетки. (2 часа)

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение материала лекций	20
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	2
Решение задач	14

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература:

1. С В. Демтрёдер, Современная лазерная спектроскопия, Разделы 14.1 «Оптическое охлаждение и пленение атомов», 14.2 «Спектроскопия одиночных ионов», 14.4 «Атомная интерферометрия», Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2014.
2. Д. Будкер, Д. Кимбелл, Д. ДеМилль, Атомная физика: освоение через задачи, Гл. 6 «Холодные атомы», М.: Физматлит, 2010.

3. Ф. Риле, Стандарты частоты: принципы и приложения, Разделы 6.3 «Охлаждение», 6.4 «Атомные ловушки», 10.1 «Принцип действия ионных ловушек», 10.2 «Практическая реализация ионных ловушек», 10.3 «Ионные стандарты частоты микроволнового и оптического диапазонов», 14.2 «Новые принципы», М.: Физматлит, 2009

5.2. Дополнительная литература:

4. Ф. Барду, Ж. Бушо, А. Аспе, К. Коэн-Таннуджи, Статистика Леви и лазерное охлаждение: как редкие события останавливают атомы, М.: Физматлит, 2006.
5. В.Г. Миногин, В.С. Летохов, Давление лазерного излучения на атомы, М: Наука, 1986.
6. А.П. Казанцев, Г.И. Сурдутович, В.П. Яковлев, Механическое действие света на атомы, М: Наука, 1991.
7. Д. Боумейстер, А. Экерт, А. Цайлингер (ред.), Физика квантовой информации, М.: ПИИ СО РАН, 2002.
8. Ф. Кайе, Р. Лафлам, М. Моска, Введение в квантовые вычисления, М. – Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2009

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

9. A.P. Kazantsev, G.I. Surdutovich, V.P. Yakovlev, Mechanical action of light on atoms, World Scientific, Singapore, 1990.
10. H.J. Metcalf, P. van der Straten, Laser cooling and trapping, 2-d edition, Springer, New York, Berlin, Heidelberg, 2002.

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 MSOffice.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

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

Для реализации дисциплины 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.

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 промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем выборочного опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, проверки выполнения домашних заданий.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции ПК-1 и ПК-2 сформированы не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области воздействия лазерного излучения на атомы в профессиональной деятельности.

По итогам завершения курса проводится дифференцированный зачет по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенций ПК-1 и ПК-2.

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 промежуточной аттестации.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Механическое действие лазерного излучения на атомы».

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1 ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. 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 аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2 ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3 ПК 2.3	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.

Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Пример задачи для домашней работы

Получить приближенное выражение для коэффициента вынужденной диффузии в поле слабой бегущей волны, исходя из представлений о процессе поглощения фотонов поля как случайном пуассоновском процессе.

Пример билета для дифференцированного зачета

1. Доплеровский механизм лазерного охлаждения двухуровневых атомов. Трение и диффузия. Доплеровский предел температуры охлаждения.
2. Оптические стандарты частоты на основе ультрахолодных атомов в оптических решетках на магической длине волны.
3. Оценить глубину оптической решетки и скорость спонтанного рассеяния фотонов решетки атомами (Na, K, Rb, Cs, Sr, Mg) в основном состоянии. Параметры поля решетки: отстройка 100 ГГц, интенсивность 1 кВт/см².

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

