

**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**

Согласовано, декан ФФ
Влинов В.Е.
подпись
«04» 04 2026 г.

**Рабочая программа дисциплины
МЕХАНИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АТОМЫ**

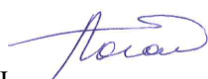
Направление подготовки **03.04.02 Физика**

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	Дифференциро- ванный 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										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.



И.Б. Логащенко

Новосибирск, 2026

Содержание

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

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых 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).

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 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

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		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

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		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.

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

Трудоёмкость дисциплины составляет: 2 зачётные единицы, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации: 1 семестр – экзамен.

№		Вид деятельности	Семестр
			1
1		Лекции, ч	20
2		Практические занятия, ч	14
3		Лабораторные занятия, ч	-
4		Занятия в контактной форме, ч из них	36

5		аудиторных занятий, ч	34
6		в электронной форме, ч	-
7		консультаций, час.	-
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.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период освоения)	
				Лекции	Практически е занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
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	
11	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 патоке. 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. Зеемановский 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 МОЛ 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.

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., ISBN 978-5-91559-114-0 (7 экз.)
2. Д. Будкер, Д. Кимбелл, Д. ДеМилль, Атомная физика: освоение через задачи, Гл. 6 «Холодные атомы», М.: Физматлит, 2010., ISBN 978-5-9221-1083-9 (1 экз.)
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, ISBN 978-5-9221-1096-9 (1 экз.)

4. Ф. Барду, Ж. Бушо, А. Аспе, К. Козн-Таннуджи, Статистика Леви и лазерное охлаждение: как редкие события останавливают атомы, М.: Физматлит, 2006., ISBN 5-9221-0670-8 (5 экз.)
5. В.Г. Миногин, В.С. Летохов, Давление лазерного излучения на атомы, М: Наука, 1986. (1 экз.)
6. А.П. Казанцев, Г.И. Сурдутович, В.П. Яковлев, Механическое действие света на атомы, М: Наука, 1991., ISBN 5-02-000178-3 (2 экз.)
7. Ф. Кайе, Р. Лафлам, М. Моска, Введение в квантовые вычисления, М. – Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2009, ISBN 978-5-93972-766-2 (1 экз.)

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

8. A.P. Kazantsev, G.I. Surdutovich, V.P. Yakovlev, Mechanical action of light on atoms, World Scientific, Singapore, 1990.
9. 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 заявленная компетенция ПК-1 сформирована 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 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 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 решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	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.	Опрос в начале каждой лекции, дифференцированный зачет.
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 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,	Опрос в начале каждой лекции, дифференцированный зачет.

	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.	
--	---	--

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

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
<u>Дифференцированный зачет:</u> – 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>
<u>Дифференцированный зачет:</u> – 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>
<u>Дифференцированный зачет:</u> – 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>
<u>Дифференцированный зачет:</u> – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	<i>Неудовлетворительно</i>

10.3 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.