

**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**



ТВЕРЖДАЮ
Декаан ФФ, д.ф.-м.н.
В.Е.Блинов
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины
Лазерная спектроскопия**

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	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	72	14	16		20	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И.Б. Логашенко

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

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

В результате освоения дисциплины «Лазерная спектроскопия» у студентов физического факультета должно сформироваться представление о фундаментальных принципах лазерной спектроскопии, о методах 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.

Цель курса – овладение базовыми понятиями и основными теоретическими и экспериментальными методами современной лазерной спектроскопии.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>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.</p>	<p>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.</p> <p>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.</p>	<p>Знать методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области лазерной спектроскопии, основные теоретические принципы описания взаимодействия лазерного излучения с квантовыми системами, основные экспериментальные методы линейной и нелинейной лазерной спектроскопии, особенности двухуровневых и трехуровневых систем, взаимодействующих с лазерным излучением.</p> <p>Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области лазерной спектроскопии с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий, использовать аппарат матрицы плотности для описания динамики квантовых состояний систем, взаимодействующих с лазерным излучением, применять полученные знания при решении задач и чтения оригинальных статей по лазерной спектроскопии, физике лазеров и квантовой оптике, представлять перед аудиторией результаты современных научных работ в области лазерной спектроскопии.</p> <p>Владеть навыками постановки и</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		решения задач научных исследований в области лазерной спектроскопии с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований, понятиями матрицы плотности для многоуровневых атомов, взаимодействующих с излучением, методами спектроскопии поглощения, нелинейной лазерной спектроскопии, спектроскопии с временным разрешением.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина реализуется в весеннем 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. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким дисциплинам как основы математического анализа, функциональный анализ, методы математической физики электродинамики, квантовой механики, статистической физики, а также оптики и физики лазеров. Курс предшествует выполнению квалификационной работы студента по данной специализации, 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

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
2	72	14	16		20	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, 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.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов и ее контроль преподавателем с помощью заданий, консультации, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: выборочный опрос по темам предыдущих лекций, проверка домашних заданий.

Промежуточная аттестация: – экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 72 часа, 2 зачетных единицы:

- занятия лекционного типа – 14 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение года, не включая период сессии – 20 часов.
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации, экзамен) – 22 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия групповые консультации, экзамен) составляет 34 часа.

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 сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Введение в лазерную спектроскопию	1	2	1	1		
2	Теория элементарных радиационных процессов	2 - 3	6	2	2	2	
3	Спектроскопия поглощения	4 - 6	8	3	3	2	
4	Нелинейная лазерная спектроскопия	7 - 10	12	4	4	4	
5	Когерентная лазерная спектроскопия	11-13	10	3	3	4	
6	Спектроскопия с временным разрешением	14	4	1	1	2	
7	Приложения лазерной спектроскопии	15–16	8		2	6	
	Групповая консультация		2				2
9	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		18				18
11	Экзамен		2				2
ВСЕГО			72	14	16	20	24

Программа и основное содержание лекций (16 часов)

1. Введение в лазерную спектроскопию (1 час)

- 1.1. Новые возможности в лазерной спектроскопии.
- 1.2. Нобелевские премии в лазерной спектроскопии.
- 1.3. Уширение оптических спектральных линий в газе.
- 1.4. Методы оптической спектроскопии без доплеровского уширения.
- 1.5. Лазерная спектроскопия насыщения.

2. Теория элементарных радиационных процессов (2 часа)

- 2.1. Спектр теплового излучения. Теория излучения Эйнштейна. Соотношения между коэффициентами Эйнштейна.
- 2.2. Полуклассическое описание взаимодействия излучения с веществом. Возбуждение широкополосным излучением. Классическая модель излучателя. Поглощение и дисперсия. Лоренцевский контур. Сила осциллятора.
- 2.3. Резонансное взаимодействие светового поля с двухуровневыми атомами. Дипольное приближение. Приближение слабого поля. Решение задачи Раби.
- 2.4. Стационарные и нестационарные задачи. Формализм Дирака. Представление взаимодействия. Матрица плотности и ее свойства. Уравнения для матрицы плотности в резонансном поле.

3. Спектроскопия поглощения (3 часа)

- 3.1. Оптические уравнения Блоха. Релаксационные процессы. Стационарный режим. Насыщение перехода. Полевое уширение. Взаимодействие с сильным полем. Уравнения Лиувилля. Взаимодействие с резервуаром. Усреднение по ансамблю.
- 3.2. Спектроскопия поглощения. Поглощение неподвижными атомами. Стационарное решение. Поглощение в среде. Линейное и нелинейное поглощение. Экспериментальные методы спектроскопии поглощения. Спектроскопия времени затухания резонатора. Спектроскопия возбуждения. Оптоакустическая спектроскопия. Оптермическая спектроскопия. Ионизационная спектроскопия. Оптогальваническая спектроскопия.
- 3.3. Уширение спектральных линий. Эффект Доплера. Контур Фойгта. Поглощение газом движущихся атомов. Столкновительное уширение. Пролетное уширение. Кривизна волнового фронта. Однородное и неоднородное уширение.
- 3.4. Лазерная спектроскопия в молекулярных пучках. Уменьшение доплеровской ширины. Адиабатическое охлаждение в сверхзвуковых пучках. Лазерная спектроскопия в быстрых ионных пучках. Лазерная спектроскопия в молекулярных пучках и масс-спектроскопия.
- 3.5. Оптическая накачка и двойной резонанс. Ориентация и выстраивание. Лазерный магнитный резонанс. Двойной оптический резонанс. Оптический радиочастотный резонанс. Оптический микроволновый резонанс.

4. Нелинейная лазерная спектроскопия (4 часа)

- 4.1. Спектроскопия насыщения. Эффекты насыщения. Перекрестные резонансы. Нелинейные резонансы в спектроскопии. Ширина нелинейных резонансов. Экспериментальные исследования резонансов в пролетной области. Лазерные спектрометры для спектроскопии сверхвысокого разрешения.
- 4.2. Профиль резонанса в поляризационной спектроскопии. Чувствительность поляризационной спектроскопии. Достоинства поляризационной спектроскопии. Многофотонная спектроскопия. Профили линии двухфотонных переходов. Бездоплеровское многофотонное поглощение. Многофотонная ионизационная спектроскопия.
- 4.3. Лазерная спектроскопия комбинационного рассеяния. Вынужденное комбинационное рассеяние. Спектроскопия когерентного антистоксова комбинационного рассеяния света (КАРС). Гиперкомбинационное рассеяние.

Экспериментальные методы и приложения лазерной спектроскопии комбинационного рассеяния.

5. Когерентная лазерная спектроскопия (3 часа)

5.1. Спектроскопия пересечения уровней. Спектроскопия квантовых биений. Возбуждение и детектирование волновых пакетов в атомах и молекулах. Фотонное эхо. Оптические нутации.

5.2. Когерентное пленение населенностей. Темные состояния. Электромагнитно индуцированная прозрачность. Медленный свет. Стимулированное рамановское адиабатическое прохождение.

5.3. Метод разнесенных полей в микроволновом диапазоне. Двухфотонные резонансы. Резонансы в двухуровневой системе.

6. Спектроскопия с временным разрешением (1 час)

6.1. Генерация сверхкоротких лазерных импульсов. Измерение времен жизни с использованием лазеров. Пикосекундная, фемтосекундная, аттосекундная спектроскопия.

Программа практических занятий (16 часов)

1. Введение в лазерную спектроскопию (1 час)

1.1. Сравнение методов классической оптической спектроскопии и лазерной спектроскопии.

1.2. Анализ основных схем экспериментов по лазерной спектроскопии.

2. Теория элементарных радиационных процессов (2 часа)

2.3. Решение задач по резонансному взаимодействию светового поля с двухуровневыми атомами. Решение задачи Раби в случае точного резонанса и при отстройке от резонанса. Инвертирование и площадь импульса. Спектр перехода при когерентном возбуждении. Вероятности перехода в резонансном поле. Полевое расщепление уровней.

2.4. Полуклассические одетые состояния. Адиабатическое прохождение. Матрица плотности и ее свойства. Уравнения для матрицы плотности в резонансном поле.

3. Спектроскопия поглощения (3 часа)

3.1. Оптические уравнения Блоха. Учет релаксационных процессов. Решение задачи о взаимодействии излучения с атомами в стационарном режиме. Насыщение перехода. Полевое уширение. Вектор Блоха. Сфера Блоха. Адиабатическое прохождение на сфере Блоха.

3.2. Решение задач о поглощении лазерного излучения в среде. Линейное и нелинейное поглощение. Коэффициент поглощения. Скоростные уравнения. Учет движения атомов.

3.3. Оценка уширения спектральных линий. Эффект Доплера.

4. Нелинейная лазерная спектроскопия (4 часа)

4.1. Рассмотрение методов наблюдения нелинейных резонансов в спектроскопии. Ширина нелинейных резонансов. Анализ параметров лазерных спектрометров для спектроскопии сверхвысокого разрешения.

4.2. Анализ чувствительности поляризационной спектроскопии.

4.3. Изучение экспериментальных методов лазерной спектроскопии комбинационного рассеяния.

5. Когерентная лазерная спектроскопия (3 часа)

5.1. Спектроскопия пересечения уровней. Спектроскопия квантовых биений. Возбуждение и детектирование волновых пакетов в атомах и молекулах. Фотонное эхо. Оптические нутации.

5.2. Математическое описание когерентного пленения населенностей и условий его наблюдения. Расчет параметров темных состояний. Анализ условий наблюдения

электромагнитно индуцированной прозрачности. Медленный свет. Стимулированное рамановское адиабатическое прохождение.

5.3. Изучение схемы реализации метода разнесенных полей в микроволновом диапазоне.

6. Спектроскопия с временным разрешением (1 час)

6.1. Генерация сверхкоротких лазерных импульсов методом синхронизации мод.

6.2. Измерение времен жизни с использованием лазеров.

7. Приложения лазерной спектроскопии. (2 час)

7.1. Изучение новейших достижений лазерной спектроскопии. Спектроскопия одиночных ионов. Мазер на одном атоме. Оптические стандарты. Спектроскопия ридберговских состояний. Дипольная блокада. Квантовая информатика.

7.2. Приложения лазерной спектроскопии. Наблюдение эффектов теории относительности. Наблюдение эффектов гравитации и космологии. Лазерная фотохимия. Лазерная спектроскопия в биологии и медицине.

Самостоятельная работа студентов (38 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка домашних заданий	8
Подготовка домашней расчетно-графической работы	6
Изучение материалов лекций	6
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Салех, Бахаа Е. А. Оптика и фотоника. Принципы и применения: [учебное пособие: в 2 т.] / Б. Салех, М. Тейх; пер. с англ. В.Л. Дербова Долгопрудный: Интеллект, 2012. 25 см. Пер. изд.: *Fundamentals of Photonics / Bahaa E. A. Saleh, Malvin Carl Teich.* - 2nd ed. - John Wiley & Sons, 2012 Салех, Бахаа Е. А. Тейх, Малвин Карл Дербов, В. Л. Ред. (Т1- ISBN 978-5-91559-038-9 (3 экз.), Т2- ISBN 978-5-91559-135-5 (3 экз.))
2. Ф. Риле, Стандарты частоты: принципы и приложения, М.: Физматлит, 2009 (электронные ресурсы, издательство "Лань"), ISBN 978-5-9221-1096-9 (1 экз.)
3. **Летохов В.С., Чеботаев В.П.** Нелинейная лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения. М.: Наука, 1990, ISBN 5-02-014040-6 (2 экз.)

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

1. **T.M. Brzozowski, M. Brzozowska, J. Zachorowski, M. Zawada, W. Gawlik,** Probe spectroscopy in an operating magneto-optical trap: the role of Raman transitions between discrete and continuum atomic states. *Phys. Rev. A* 71, 013401, 2005.
2. **P. Del'Haye, O. Arcizet, M.L. Gorodetsky, R. Holzwarth, T.J. Kippenberg,** Frequency Comb Assisted Diode Laser Spectroscopy for Measurement of Microcavity Dispersion, *Nature Photonics* 3, 529, 2009
3. **S. Blatt, J.W. Thomsen, G.K. Campbell, A.D. Ludlow, M.D. Swallows, M.J. Martin, M.M. Boyd, J. Ye,** Rabi Spectroscopy and Excitation Inhomogeneity in a 1D Optical Lattice Clock, *Phys. Rev. A* 80, 052703, 2009.
4. **N. Bouloufa, E. Favilla, M. Viteau, A. Chotia, A. Fioretti C. Gabbanini, M. Allegrini, M. Aymar, D. Comparat, O. Dulieu, and P. Pillet,** Photoionization spectroscopy of excited states of cold cesium dimers, arXiv:1005.3283v1, 2010.
5. **O. Katz, J.M. Levitt, E. Grinvald, Y. Silberberg,** Single-Beam Coherent Raman Spectroscopy and Microscopy via Spectral Notch Shaping, arXiv:1002.1064v1, 2010.

6. **M.J. Thorpe, J. Ye**, Cavity-enhanced direct frequency comb spectroscopy, Appl. Phys. B 91, 397, 2008
7. **C.C. Neacsu, S. Berweger, M.B. Raschke**, Tip-enhanced Raman imaging and spectroscopy: sensitivity, symmetry and selection rules, arXiv:0803.4464v1, 2008
8. **M. Auzinsh, R. Ferber, F. Gahbauer, A. Jarmola, and L. Kalvans**, Detailed studies of non-linear magneto-optical resonances at D_1 excitation of ^{85}Rb and ^{87}Rb for partially resolved hyperfine F -levels, Phys. Rev. A 79, 053404, 2009.
9. Paul R. Berman, Vladimir S. Malinovsky, Principles of laser Spectroscopy and Quantum Optics, Princeton University Press .Princeton And Oxford (2011)

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 статистической оптики в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию в устной форме в виде научного семинара, где обучающиеся представляют реферативные доклады по современным научным публикациям.

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 лазерной спектроскопии, основные теоретические принципы описания взаимодействия лазерного излучения с квантовыми системами, основные экспериментальные методы линейной и нелинейной лазерной спектроскопии, особенности двухуровневых и трехуровневых систем, взаимодействующих с лазерным излучением.	Опрос в начале каждой лекции, проверка домашних заданий, экзамен.

<p>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.</p>	<p>Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области лазерной спектроскопии с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий, использовать аппарат матрицы плотности для описания динамики квантовых состояний систем, взаимодействующих с лазерным излучением, применять полученные знания при решении задач и чтения оригинальных статей по лазерной спектроскопии, физике лазеров и квантовой оптике, представлять перед аудиторией результаты современных научных работ в области лазерной спектроскопии.</p> <p>Владеть навыками постановки и решения задач научных исследований в области лазерной спектроскопии с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований, понятиями матрицы плотности для многоуровневых атомов, взаимодействующих с излучением, методами спектроскопии поглощения, нелинейной лазерной спектроскопии, спектроскопии с временным разрешением.</p>	<p>Опрос в начале каждой лекции, проверка домашних заданий, экзамен.</p>
---	---	--

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Лазерная спектроскопия».

Таблица 10.2

Критери и оценива ния результ атов обучени я	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	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	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированн о отвечает на дополнительные вопросы.

				вопросы.	
Наличие умений	ПК 1.2	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 1.2	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 задачи для домашнего задания

1. Двухуровневый атом первоначально находится в нижнем состоянии. Атом взаимодействует с импульсом лазерного излучения, имеющим гауссову форму. Частота лазерного излучения настроена точно в резонанс с атомным переходом. Длительность импульса по уровню интенсивности $1/e$ составляет 1 мкс, частота Раби в максимуме интенсивности составляет 400 кГц. В каком состоянии окажется атом после взаимодействия с импульсом? Спонтанным распадом пренебречь.

Пример темы реферата к экзамену

1. Двухфотонная спектроскопия высокого разрешения рубидия в ограниченной геометрии по статье: **C. Perrella, P. S. Light, J. D. Anstie, T. M. Stace, F. Benabid, and A. N. Luiten**, High-resolution two-photon spectroscopy of rubidium within a confined geometry. Phys. Rev. A 87, 013818 (2013).

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.

