

**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**



**Рабочая программа дисциплины
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2**

Направление подготовки **03.03.02 Физика**
Направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения **Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-2										

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

С.В. Цыбуля

Новосибирск 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы:	4
3. Трудоёмкость 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.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ...	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	8

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

Курс «Экспериментальные методы квантовой электроники 2» является базовой дисциплиной в образовательной бакалаврской программе по оптике.

Целью курса является овладение студентами базовыми знаниями методов и приборов, используемых при проведения экспериментальных исследований в области квантовой электроники, ознакомление с методами измерения и методами управления параметрами излучения лазеров, их использования при проведении физических экспериментов.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-2 Способность использовать специализированные знания в области физики при решении научных и практических задач в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>ПК -2.2. Применяет теоретические основы и базовые представления научного исследования в выбранной области фундаментальной и/или экспериментальной физики в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p>ПК -2.3. Использует специализированные знания в области физики при выборе методов расчета, проведении статистического анализа экспериментальных данных в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать основные принципы работы лазеров, методы селекции мод лазерных резонаторов, методы анализа спектрального состава излучения лазера, типы и принципы работы фотоприемных устройств, основные характеристики непрерывного и импульсного режимов работы лазеров, методы анализа и управления поляризацией лазерного излучения, основные типы и параметры современных лазеров, основные закономерности формирования результатов эксперимента в области квантовой электроники.</p> <p>Уметь оптимизировать параметры лазерного резонатора для оптимизации параметров излучения и селекции мод, рассчитывать прохождение гауссовского пучка через сложные оптические системы, рассчитывать поляризацию излучения при прохождении набора анизотропных оптических элементов, выбирать приемники излучения и схемы их включения в зависимости от реальной экспериментальной задачи, правильно выбирать спектральные приборы для анализа спектра лазерного излучения, выбрать наиболее подходящий источник лазерного излучения в зависимости от поставленной задачи;</p> <p>Владеть методами проведения измерений и исследований, обработки полученных результатов, методами работы в различных операционных системах, с базами данных, доступными</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		по сети Internet, способами создания моделей для описания и прогнозирования экспериментов в области квантовой электроники, осуществления их качественного и количественного анализа; компьютерными методами сбора, обработки и хранения информации проводимых экспериментов; культурой мышления, умением в письменной и устной форме оформить результаты научных исследований в области квантовой электроники.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы:

Курс «Экспериментальные методы квантовой электроники 2» реализуется в 8 семестре 4-го курса бакалавриата. Преподавание дисциплины опирается на знание студентами классической электродинамики, квантовой механики, статистической физики, физической оптики, начала векторного анализа; обеспечена логическая связь курса «Экспериментальные методы квантовой электроники 2» с курсами «Прикладная оптика», «Современные проблемы лазерной физики» и «Статистическая оптика».

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
8	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции 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: лекции, практические занятия, домашние задания, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателем с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: домашние задания, расчетно-графическая работа, задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы:

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестров, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к экзамену, консультации, экзамен) – 22 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, консультация, экзамен) составляет 36 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 трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	10
1	Измерение поляризации излучения	1-5	15	5	5	5	
2	Методы модуляции и сканирования лазерного излучения	6-9	13	4	4	5	
3	Основные типы лазеров <i>Расчетно-графическая работа</i>	10-14	15	5	5	5	
4	Нелинейная и волоконная оптика	15–16	7	2	2	3	
5	Групповая консультация		2				2
6	Подготовка к экзамену		18				18
7	Экзамен		2				2
Всего за семестр			72	16	16	18	2

Программа и основное содержание лекций (16 часов)

1. Измерение поляризации излучения. (5 часов)

Поляризационные свойства лазерного излучения. Методы описания произвольной поляризации света, разложение по базисным векторам. Изменение поляризации при отражении/преломлении света, полном внутреннем отражении, прохождении света через анизотропные оптические среды. Расчет оптических поляризационных схем – метод матриц Джонса; Основные элементы поляризационной оптики: поляризаторы, фазосдвигающие пластинки $\lambda/2$ и $\lambda/4$, компенсаторы; Оптическая активность и эффект Фарадея – наведенная оптическая активность.

2. Методы модуляции и сканирования лазерного излучения. (4 часа)

Модуляторы света на основе электрооптического эффекта Акустооптические модуляторы света.

3. Основные типы лазеров. (5 часов)

Твердотельные лазеры: лазеры на основе ионов Nd³⁺ и Cr³⁺, лазеры с диодной накачкой; Непрерывные газовые лазеры: гелий-неоновый, CO₂ и CO, ионные лазеры, гелий-кадмиевый лазер; Импульсные газовые лазеры: на само ограниченных переходах, медный лазер, ТЕА – CO₂ лазер, эксимерные лазеры; Перестраиваемые лазеры – лазер на красителях, титан-сапфировый, лазеры на центрах окраски. Полупроводниковые лазеры.

4. Нелинейная и волоконная оптика. (2 часа)

Расширение спектрального диапазона основных типов лазеров с использованием нелинейных кристаллов. Распространение света в оптических волокнах – световодах.

Программа практических занятий (16 часов)

На практических занятиях студенты применяют полученные на лекциях теоретические знания для решения конкретных задач, требующих аналитических вычислений, рассматривают конкретные оптические и электронные схемы. Решение задач – важная составная часть курса.

1. Особенности прямого и гетеродинного детектирования излучения – расчет предельной обнаружительной способности. (4 час)
2. Определение погрешности измерения. (2 час)
3. Расчет мощности Nd:YVO₄ лазера. (2 час)
4. Расчет поляризационных свойств оптической системы матричным методом. (2 час)
5. Определение полуволнового напряжения электрооптического модулятора на основе кристалла DKDP. (4 час)
6. Определение оптимальной фокусировки излучения в нелинейный кристалл при генерации второй гармоники. (2 час)

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
выполнение расчетно-графических работ (РГР), подготовке к защите РГР	6
решении индивидуальных домашних заданий, подготовке к защитах индивидуальных домашних заданий	6
В самостоятельном изучении материалов теоретических занятий, подготовке к практическим занятиям (решение задач)	6
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

Основная литература:

1. В. Демтрёдер, Современная лазерная спектроскопия, Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2014.
2. 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, 2007 Салех, Бахаа Е. А. Тейх, Малвин Карл Дербов, В. Л. Ред.

5.2. Дополнительная литература:

3. Ахманов С.А., Никитин С.Ю., Физическая оптика, Учебник. 2-е изд. М.:Изд-во МГУ Наука, 2004 (есть электронная версия)
4. Звелто О. Физика лазеров. М.: Мир, 1979.
5. Ярив А. Квантовая электроника. М.: Советское радио, 1980.
6. Карлов Н. В. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука, 1988.
7. Зайдель А. Н. Техника и практика спектроскопии. М.: Наука, 1972, 1976
8. Кунце Х.-И. Методы физических измерений. М.: Мир, 1989.
9. Бетеров И. М. Физика лазеров. Учебное пособие НГУ, Новосибирск, 1980.
10. Справочник по лазерам Т.1-2, под редакцией А.М. Прохорова. М.: Советское радио, 1978.
11. Аш Ж. Датчики измерительных систем, Т. 1. М.: Мир, 1992.

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

Дополнительные учебно-методические материалы не требуются.

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.

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

Для реализации дисциплины «Экспериментальные методы квантовой электроники2» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, 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.

Реализация дисциплины осуществляется с применением электронного обучения (платформа ZOOM), где обучение проводится на виртуальных аналогах, позволяющим достигать запланированных результатов по дисциплине.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины (используется PowerPoint);

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

Оценочным средством для текущего контроля успеваемости в части самостоятельной работы является регулярная сдача-приемка домашних заданий и расчетно-графических работ. Успешная сдача домашних заданий и РГР учитывается при прохождении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-2 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области экспериментальных методов квантовой электроники в профессиональной деятельности.

Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции 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.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<p>ПК -2.2. Применяет теоретические основы и базовые представления научного исследования в выбранной области фундаментальной и/или экспериментальной физики в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать основные принципы работы лазеров, методы селекции мод лазерных резонаторов, методы анализа спектрального состава излучения лазера, типы и принципы работы фотоприемных устройств, основные характеристики непрерывного и импульсного режимов работы лазеров, методы анализа и управления поляризацией лазерного излучения, основные типы и параметры современных лазеров, основные закономерности формирования результатов эксперимента в области квантовой электроники.</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>
<p>ПК-2.3. Использует специализированные знания в области физики при выборе методов расчета, проведении статистического анализа экспериментальных данных в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Уметь оптимизировать параметры лазерного резонатора для оптимизации параметров излучения и селекции мод, рассчитывать прохождение гауссовского пучка через сложные оптические системы, рассчитывать поляризацию излучения при прохождении набора анизотропных оптических элементов, выбирать приемники излучения и схемы их включения в зависимости от реальной экспериментальной задачи, правильно выбирать спектральные приборы для анализа спектра лазерного излучения, выбрать наиболее подходящий источник лазерного излучения в зависимости от поставленной задачи;</p> <p>Владеть методами проведения измерений и исследований, обработки полученных результатов, методами работы в различных операционных системах, с базами данных, доступными по сети Internet, способами создания моделей для описания и прогнозирования экспериментов в области квантовой электроники, осуществления их качественного и количественного анализа; компьютерными методами сбора, обработки и хранения информации проводимых экспериментов; культурой мышления, умением в письменной и устной форме оформить результаты научных</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>

	исследований в области квантовой электроники.	
--	---	--

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Экспериментальные методы квантовой электроники 2».

Таблица 10.2

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 2.2	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 2.3	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 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.

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

Расчетно-графическая работа (6 часов)

1. Анализ спектрального прибора на основе интерферометра и дифракционной решетки, дисперсионной призмы.

Темы индивидуальных домашних заданий (6 часов)

1. Расчет области свободной дисперсии и разрешающей способности интерферометра Фабри-Перо и дифракционной решетки.
2. Расчет оптимального сопротивления нагрузки фотодиода.
3. Определение поляризации света после прохождения через набор анизотропных оптических элементов.

Задачи для индивидуальных домашних заданий по курсу "ЭМКЭ 2" (18 часов)

1. Рассчитать разность толщин пластинок из кристаллического кварца для создания пластинки $\lambda/2$ на длине волны 633 нм, данные по коэффициентам преломления для обыкновенной и необыкновенной волны взять из справочника.
2. Рассчитать угол в основании призмы из кальцита, для создания поляроида Глана-Томпсона на длине волны 633 нм. Рассчитать диапазон длин волн в котором будет работать этот поляроид.
3. Может ли работать лазер с неустойчивым резонатором?
4. При каком типе уширения линии генерации (однородная, неоднородная) при том же параметре насыщения и коэффициенте ненасыщенного усиления мощность лазера будет больше?
5. Почему резонаторы перестраиваемых одночастотных лазеров делают кольцевыми.

Экзаменационные билеты к экзамену (8 семестр).

Билет 1

1. Физические особенности (механизмы) получения инверсной заселенности в газовых и твердотельных лазерах (трех и четырех уровневые схемы лазеров).
2. Гелий-неоновый лазер, механизм накачки рабочих уровней.

Билет 2

1. Оптическая активность, эффект фарадея (наведенная оптическая активность)
2. Перестраиваемые лазеры (лазер на красителях, титан сапфировый лазер).

Билет 3

1. Фазовая и амплитудная модуляция лазерного излучения
2. Ag^+ -лазер – особенности конструкции, типичные параметры излучения.

Билет 4

1. Акустооптический модулятор (АОМ) – режимы его работы (модулятор на стоячей и бегущей акустической волне, АОМ – дефлектор)
2. Эксимерные лазеры, особенности работы, основные параметры.

Билет 5

1. Пространственная неоднородность усиления в активных средах, влияние на режим работы лазера, оптические диоды в кольцевых лазерах.
2. Твердотельные лазеры, лазеры на $3d$ и $4f$ незаполненных оболочках ионов в прозрачных матрицах.

Билет 6

1. Поляризационные свойства лазерного излучения, базисные вектора для описания поляризации света, методы анализа поляризации лазерного излучения.
2. Лазеры на основе ионов Nd^{+3} , в том числе с диодной накачкой.

Билет 7

1. Электрооптический эффект в кристаллах 42m класса симметрии (KDP, DKDP).
2. Лазеры на самоограниченных переходах, механизмы создания инверсной заселенности на фронтах импульса накачки.

Билет 8

1. Модуляторы на основе поперечного и продольного электрооптического эффекта в кристалле KDP. Полуволновое напряжение.
2. Перестраиваемые лазеры (титан-сапфировый и лазеры на красителях), особенности их конструкции.

Билет 9

1. Акустооптические модуляторы лазерного излучения.
2. Гелий - кадмиевый лазер, механизм создания инверсной заселенности.

Билет 10

1. Изменение состояния поляризации света при отражении и преломлении - поляроид на основе стопы брюстеровских пластин и ромб Френеля.
2. Ионные лазеры, основные параметры, особенности работы.

Билет 11

1. Изменение состояния поляризации в анизотропных средах, призма Глана –Тейлора и фазосдвигающие пластинки $\lambda/4$ и $\lambda/2$.
2. Лазеры на свободных электронах.

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

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Экспериментальные методы квантовой электроники 2»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

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