

**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**



УТВЕРЖДАЮ  
Декан ФФ, д.ф.-м.н.  
В.Е.Блинов  
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины  
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2**

Направление подготовки: **03.03.02 Физика**  
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
6	108	32	32		22	18	2			2
<b>Всего</b>	<b>108</b>	<b>32</b>	<b>32</b>		<b>22</b>	<b>18</b>	<b>2</b>			<b>2</b>
Всего 108 часов / 3 зачетные единицы										
из них:										
- контактная работа 68 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 .....	3
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. ....	4
5. Перечень учебной литературы. ....	6
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	6
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	6
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	7

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

Курс «Теоретические основы квантовой электроники 2» является базой, необходимой для изучения всех специальных курсов кафедры квантовой электроники: «статистическая оптика», «нелинейная фотоника», «лазерная спектроскопия», «оптоэлектроника», «экспериментальные методы квантовой электроники», «прикладная оптика».

Целью учебного курса «Теоретические основы квантовой электроники 2» является дать студентам углубленные знания тех разделов электродинамики и квантовой механики, которые являются базовыми в квантовой электронике:

- научить студентов основным методам, применяемым в задачах квантовой электроники;
- подготовить студентов к освоению специальных дисциплин в области квантовой электроники, квантовой оптики и лазерной физики;
- подготовить студентов к исследовательской работе в этих областях.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-2</b> 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><b>ПК -2.2.</b> 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><b>ПК -2.3.</b> 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><b>Знать</b> основные представления о распространении волн в анизотропных и диссипативных средах, основы нелинейной оптики (генерация второй гармоники и самофокусировка), теоретические основы и базовые представления научного исследования в области квантовой электроники, теоретические основы и базовые представления научного исследования в области квантовой электроники, основные современные методы расчета объекта научного исследования, использующие передовые инфокоммуникационные технологии.</p> <p><b>Уметь</b> решать задачи распространению волн в анизотропных, нелинейных и диссипативных средах, проводить научные изыскания в области квантовой электроники, уметь проводить научные изыскания в области квантовой, оценивать изменения в области квантовой электроники в связи с новыми разработками.</p> <p><b>Владеть</b> методами работы с необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников в области квантовой электроники.</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Теоретические основы квантовой электроники 2» представляет собой годовой курс,

читаемый на 3-ом курсе физического факультета НГУ в 6 семестре. Программа обучения на кафедре квантовой электроники предусматривает получение студентами базовых знаний по физике и технике лазерных систем, а также необходимых умений и навыков практической работы в области современных высоких технологий. Особое внимание при этом делается основам квантовой электроники, статистической и квантовой оптике, нелинейной оптике, лазерной спектроскопии, оптоэлектронике, экспериментальным методам квантовой электроники, прикладной оптике.

При изучении теоретических основ квантовой электроники из физических дисциплин является обязательным знание основ классической и квантовой механики, электродинамики и статистической физики. Все эти дисциплины изучаются на младших курсах в рамках цикла общих естественнонаучных дисциплин.

### 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
6	108	32	32		22	18	2			2
<b>Всего</b>	<b>108</b>	<b>32</b>	<b>32</b>		<b>22</b>	<b>18</b>	<b>2</b>			<b>2</b>
Всего 108 часов / 3 зачетные единицы										
из них:										
- контактная работа 68 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, самостоятельная работа студента, консультации, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: работа обучающегося на практических занятиях.

Промежуточная аттестация: – экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 3 зачетных единиц:

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 22 часа;
- самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации (консультации, экзамен) – 22 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (лекции, практические занятия, зачет) составляет 68 часов.

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

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)

		Неделя семестра	Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	Промежуточная аттестация (в часах)
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Квантовая механика атома.	1-2	10	4	4	2	
2	Кинетические уравнения.	3-5	12	6	4	2	
4	Атом в электромагнитном поле.	6-8	18	6	6	6	
5	Генерация лазерного излучения	9-10	12	4	4	4	
6	Взаимодействие оптических полей с газом.	11-13	16	6	4	6	
7	Уширение линии. Домашняя расчетная работа	14-16	18	6	6	6	
8	Самостоятельная подготовка к экзамену		18				18
9	Групповая консультация		20				2
10	Экзамен		2				2
	<b>ВСЕГО</b>		<b>108</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>22</b>	<b>2</b>

### Программа курса лекций (32 часа)

#### 1. Квантовая механика атома (4 часа)

Описание квантовой системы, уровни энергии, собственные состояния. Оператор взаимодействия с внешним полем, матричные элементы. Радиационная вероятность перехода. Взаимодействие атома с внешним электромагнитным полем.

#### 2. Кинетические уравнения (6 часа)

Описание квантовой системы с помощью уравнений для матрицы плотности. Диагональные и недиагональные элементы матрицы плотности. Релаксация и возбуждение уровней. Кинетические уравнения при взаимодействии атома с внешним электромагнитным полем.

#### 3. Атом в электромагнитном поле. (6 часов)

Эффект насыщения. Поляризуемость. Вероятность перехода под действием поля. Поглощение из основного состояния.

#### 4. Генерация лазерного излучения (4 часа)

Определение условия генерации. Мощность генерации. Затягивание частоты. Многомодовый режим генерации. Режим синхронизации мод.

#### 5. Взаимодействие оптических полей с газом (6 часов)

Слабая бегущая волна, поглощение в слабой бегущей волне. Сильное поле, коэффициент поглощения сильной бегущей волны. Резонанс насыщенного поглощения.

#### 6. Уширение линии поглощения (6 часов)

Однородное уширение линии. Неоднородное уширение линии.

### Программа практических занятий (32 часа)

1. Уровни энергии (2 часа)
2. Радиационная вероятность перехода (2 часа)

3. Уравнения для матрицы плотности (2 часа)
4. Релаксация и возбуждение уровней (2 часа)
5. Атом в электромагнитном поле (2 часа)
6. Эффект насыщения (2 часа)
7. Поляризуемость (2 часа)
8. Вероятность перехода под действием поля (2 часа)
9. Условие генерации лазера (2 часа)
10. Мощность генерации (2 часа)
11. Многомодовый режим генерации (2 часа)
12. Режим синхронизации мод (2 часа)
13. Слабая бегущая волна в газе (2 часа)
14. Сильное поле (2 часа)
15. Резонанс насыщенного поглощения (2 часа)
16. Уширение линии (2 часа)

### Самостоятельная работа студентов (40 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка домашних расчетных работ	4
Самостоятельное изучение материалов теоретических занятий, подготовка к практическим занятиям	18
Самостоятельная подготовка к экзамену	18

#### 5. Перечень учебной литературы.

##### 5.1. Основная литература:

1. Бакланов Е. В. Физические основы теории лазеров. Новосибирск: НГТУ, 2011.

##### 5.2. дополнительная литература:

2. Ахманов С. А., Никитин С. Ю. Физическая оптика. М., Наука, 2004.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. М., Физматлит, 2003.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. М., Физматлит, 2002.
5. Риле Ф. Стандарты частоты. Принципы и приложения. М., Физматлит, 2009
6. Ярив А. Квантовая электроника. М., Сов. Радио, 1980
7. Звелто О. Принципы лазеров. М., Мир, 1990

#### 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

NIST Atomic Spectra Database [https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines\\_form.html](https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html)

##### 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, MathLab.

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

Для реализации дисциплины «Теоретические основы квантовой электроники 2» 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.**

### **Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### ***Текущий контроль***

Оценочным средством для текущего контроля успеваемости в части самостоятельной работы является работа обучающихся на практических занятиях и сдача домашнего задания.

#### ***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.

**10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Теоретические основы квантовой электроники 2».**

**Таблица 10.2**

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Несформирован (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 грубые 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 Темы домашних расчетных работ:**

1. Найти стационарное решение атомной матрицы плотности для атомов, взаимодействующих с полем, резонансным замкнутому оптическому переходу. Естественная ширина линии  $\gamma$ , амплитуда ЭМ поля  $E_0$ , дипольный момент перехода  $d$ , отстройка частоты светового поля от частоты атомного перехода  $\delta$ .
2. Используя базу данных ( $6^2S_{1/2} \rightarrow 6^2P_{3/2}$  длина волны 852 нм) определите интенсивность насыщения атомного перехода D<sub>2</sub>-линии цезия-133.
3. Найти спектральную ширину линии поглощения атомов, которые, как примеси, включены в кристаллическую решетку из другого вещества. Считать, что частоты переходов сдвигаются относительно невозмущенного перехода случайным образом из-за эффекта Штарка.

**Пример экзаменационного билета, 6 семестр**

1. Орты круговых поляризации. Эллиптическая поляризация.



2. Вероятность перехода. Релаксация и возбуждение уровней. Релаксация в трехуровневой системе.
3. Задача из списка контрольных задач для экзамена по выбору преподавателя

### **Пример задачи для экзамена, 6 семестр**

Для атомов Rb найти скорость, при которой доплеровский сдвиг частоты D2 линии соответствует радиационной ширине уровня  $P_{3/2}$ . Найти скорость, при которой импульс атома равен импульсу отдачи  $\hbar k$ . Найти отношение энергии отдачи к радиационной ширине уровня.

**Форма экзаменационного билета представлена на рисунке**

<b>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</b>
<b>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</b>
<b>Физический факультет</b>
<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</b>
1. .... 2. .... 3. ....
Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/  (подпись)
« _____ » _____ 20 ____ г.

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 «Теоретические основы 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