

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Квантовая и оптическая электроника

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы

Медицинская физика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.1.08 Квантовая и оптическая электроника относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-3: Способен проводить научные исследования с помощью современной приборной базы, сложного физического оборудования и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ИД ПК-3: Демонстрация способности проводить научные исследования с помощью современной приборной базы, сложного физического оборудования и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ИД ПК-3: Знать современную приборную базу физического оборудования для исследования в области квантовой и оптической электроники. Уметь проводить исследования с помощью сложного физического оборудования Владеть опытом анализа полученных результатов с применением информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	Конструкторское задание Допуск к лабораторной работе Отчет по лабораторным работам	Экзамен: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	42
Промежуточная аттестация	36

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
Введение.	9	2	2	4	5
Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и молекулами	17	6	6	12	5
Усиление и генерация электромагнитного излучения	17	6	6	12	5
Свойства, распространение и преобразование лазерных пучков	14	4	4	8	6
Газовые, твердотельные и жидкостные лазеры, светоизлучающие диоды и полупроводниковые лазеры, мазеры	13	4	4	8	5
Фотоприемники	9	2	2	4	5
Оптические методы передачи и обработки информации	18	6	6	12	6
Заключение	9	2	2	4	5
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	32	32	66	42

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Предмет дисциплины и ее задачи. Особенности оптической электроники. Стандартная терминология, основные понятия и определения. Краткий исторический очерк. Классификация приборов наноэлектроники, квантовой и оптической электроники. Их роль в современной науке и технике.
2. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и молекулами. Способы описания электромагнитного излучения. Энергетические состояния атомов и молекул. Квантовые числа. Квантовые переходы. Вероятность перехода. Спонтанное и вынужденное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Уширение спектральных линий. Однородное и не-однородное уширению Оптические характеристики вещества. Соотношения Крамерса-Кронига.
3. Усиление и генерация электромагнитного излучения. Принцип работы лазеров и ма-зеров. Инверсия населенности. Возбуждение активного вещества – накачка. Методы накач-ки. Кинетические уравнения. Двух-, трех- и четырехуровневые схемы работы. Оптические резонаторы. Потери и добротность. Собственные типы колебаний – моды. Типы резонато-ров. Конфокальные резонаторы. Селекция типов колебаний. Условие самовозбуждения ла-зеров. Пороговые энергии накачки по инверсии и по генерации. Насыщение усиления. Од-номодовая и многомодовая генерация. Нестационарная генерация. Модуляция добротности. Синхронизация мод и сверхкороткие лазерные импульсы.
4. Свойства, распространение и преобразование лазерных пучков. Монохроматич-ность. Поляризация.

Когерентность. Направленность лазерного излучения. Яркость. Гаус-совы пучки. Пространственное, амплитудное и фазовое преобразования лазерных пучков. Нелинейные оптические явления. Генерация гармоник и частотные преобразования лазерного излучения. Параметрические преобразования.

5. Газовые, твердотельные и жидкостные лазеры, светоизлучающие диоды и полу-проводниковые лазеры, мазеры. Общая характеристика и особенности газовых, твердо-тельных и жидкостных лазеров. Газоразрядные лазеры. Активные материалы для твердо-тельных лазеров. Матрицы и активаторы. Перестройка частоты твердотельных и жидкост-ных лазеров. Правила отбора и законы сохранения при оптических переходах в полупро-водниковых соединениях A3B5, A2B6 и A4B6. Квазиуровни Ферми. Квантовый выход и эффективность излучательной рекомбинации. Электролюминесценция. Общая характери-стика и особенности полупроводниковых лазеров и светодиодов. Эффект односторонней и сверхинжекции. Эффект широкозонного окна. Волноводный эффект. Условие инверсии в полупроводниках. Лазеры на двойных гетероструктурах и гетероструктурах с распреде-ленной обратной связью. Лазеры с использованием квантоворазмерных эффектов. Особен-ности квантовых приборов радиодиапазона. Мазеры.

6. Фотоприемники. Классификация и технические характеристики приемников оптиче-ского излучения. Полупроводниковые фотоприемники. P-i-n фотодиоды и лавинные фото-диоды. Фотодиоды на основе барьера Шоттки.

7. Оптические методы передачи и обработки информации. Характеристика и особен-ности оптической связи. Структурные элементы оптоэлектроники. Оптроны. Передача оп-тических сигналов по световодам. Волоконно-оптические линии связи. Элементы интегральной оптики и нанооптики. Принципы голографии. Оптические методы обработки ин-формации.

8. Заключение. Основные тенденции и направления развития квантовой электроники и оптоэлектроники.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа включает в себя теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы, подготовку к лабораторным работам, обработку полученных на лабораторных занятиях результатов, оформление отчетов.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

Критерии оценивания (оценочное средство - Конструкторское задание)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	
отлично	
очень хорошо	

Оценка	Критерии оценивания
хорошо	
удовлетворительно	
неудовлетворительно	
плохо	

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Описать принцип действия волоконных световодов.
2. Основные типы волоконных световодов: одномодовый световод; многомодовый градиентный световод; многомодовый световод со ступенчатым профилем показателя преломления.
3. Дать определение критической частоты и длины волны волоконного световода. Понятие числовой апертуры.
4. Какие типы волн (мод) возможны в световоде?
5. Методы измерения профиля показателя преломления заготовок и волокон.

Критерии оценивания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	
не зачтено	

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Отчет по лабораторной работе должен носить аналитический характер и состоять из двух частей. Первая часть должна отражать краткие теоретические основы, позволившие получить и произвести анализ экспериментальных результатов, необходимые для проведения эксперимента оценки.

Вторая часть содержит описание результатов по экспериментальному получению образца, по измерениям его макроскопических свойств согласно заданию. Приводятся результаты анализа, оценки,

обоснования и объяснения возможных отклонений от ожидаемых результатов. Студент так же должен дать рекомендации по улучшению проведения процесса напыления.

Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	
не зачтено	

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие	При решении	Имеется	Продemonс	Продemonс	Продemonс	Продemonс

	базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	трированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	трированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	трированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	ирован творческий подход к решению нестандартных задач
--	---	---	--	---	---	---	--

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Когерентность. Корреляционная функция. Степень когерентности светового пучка.
2. Методы измерения пространственной и временной когерентности.
3. Спекл. Спекл-фотография, спекл-интерферометрия.
4. Принцип квантового усиления электромагнитных волн. Инверсия населенностей, отрицательная температура.

5. Спонтанное и индуцированное излучение. Коэффициенты Эйнштейна.
6. Равновесные и неравновесные системы микрочастиц. Процессы релаксации.
7. Методы описания динамики процессов в квантовых усилителях и генераторах. Вероятностный метод. Необходимые условия самовозбуждения квантового генератора.
8. Особенности оптического диапазона. Открытые оптические резонаторы. Классификация оптических резонаторов.
9. Основные особенности твердотельных лазеров. Трехуровневая и четырехуровневая схемы реализации состояния инверсии населенностей.
10. Зонная диаграмма барьера Шоттки. Механизм разделения неравновесных носителей заряда, возникающий при его освещении.
11. Спектральные зависимости коэффициента поглощения в случае собственного поглощения прямозонными и непрямозонными полупроводниками.
12. Описать принцип действия волоконных световодов.
13. Основные типы волоконных световодов: одномодовый световод; многомодовый градиентный световод; многомодовый световод со ступенчатым профилем показателя преломления.
14. Оптоэлектронные гибридные вычислительные системы.
15. Фазовое преобразование тонких линз.
16. Критическая частота и длина волны волоконного световода. Понятие числовой апертуры.
17. Фазово-контрастный микроскоп Цернике.
18. Когерентная система оптической обработки информации. Когерентный оптический спектральный анализ.
19. Синтез в области пространственных частот. Эксперимент Аббе-Портера.
20. Основные некогерентные системы оптической обработки информации.
21. Синтез в пространственной области.
22. Условие полного внутреннего отражения. Распределение поля при полном внутреннем отражении.

23. Фазовый сдвиг и сдвиг Гооса-Генхена при полном внутреннем отражении.
24. Фурье-преобразующие свойства линз
25. Новые возможности оптической системы при использовании обратной связи.
26. Когерентная оптическая комплексная пространственная фильтрация.
27. Физические принципы голографии. Основные типы голограмм.
28. Голограммы Габора, Лейта–Упатниекса, Денисюка.
29. Свойства двух восстановленных изображений.
30. Амплитудные и фазовые голограммы.
31. Голограммы Фраунгофера, Френеля и Фурье.
32. Максимальная эффективность плоских голограмм.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	
отлично	
очень хорошо	
хорошо	
удовлетворительно	
неудовлетворительно	
плохо	

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Бутиков Евгений Иванович. Оптика : учеб. пособие для вузов / под ред. Н. И. Калитеевского. - М. : Высшая школа, 1986. - 512 с. - 1.70., 15 экз.
2. Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника / Игнатов А. Н. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2020. - 596 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-8114-5149-4.,

<https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=707934&idb=0>.

3. Сороко Лев Маркович. Основы голографии и когерентной оптики. - М. : Наука, 1971. - 616 с. : ил. - 2.50., 13 экз.
4. Лебедев Александр Иванович. Физика полупроводниковых приборов. - М., 2008. - Библиогр.: с. 463 - 477. - Предм. указ.: с. 478 - 487. - ISBN 978-5-9221-0995-6 : 145.00., 1 экз.
5. Привалов Вадим Евгеньевич. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы : учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистров "Техн. физика". - СПб. : Лань, 2013. - 288 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1370-6 : 280.00., 1 экз.
6. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС. - Москва : ДМК-пресс, 2009., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=636566&idb=0>.
7. Оптомеханика волоконных световодов / Черненко В.Д. - Москва : Политехника, 2011., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=638588&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Калитеевский Николай Иванович. Волновая оптика : учеб. пособие для физ. специальностей университетов. - Изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Высшая школа, 1978. - 383 с. : ил. - 1.20., 28 экз.
2. Ярив А. Введение в оптическую электронику / пер. с англ. Г. Киселева ; под ред. О. В. Богданкевича. - М. : Высшая школа, 1983. - 398 с. - 1.90., 12 экз.
3. Пихтин Александр Николаевич. Физические основы квантовой электроники и оптоэлектроники : [учеб. пособие для вузов по специальности "Полупроводники и диэлектрики", "Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы"]. - М. : Высшая школа, 1983. - 304 с. : ил. - 0.90., 2 экз.
4. Звелто Орацио. Принципы лазеров / пер. с англ. под ред. Т. А. Шмаонова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Мир, 1984. - 395 с. : ил. - 2.00., 2 экз.
5. Адаптивные методы обработки спекл-модулированных оптических полей. - М. : Физматлит, 2009. - 288 с. - ISBN 978-5-9221-1194-2 : 230.00., 1 экз.
6. Богданов А. В. Волоконные технологические лазеры и их применение / Богданов А. В., Голубенко Ю. В. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 236 с. - Допущено УМО вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 150700 — «Машиностроение» (№ 05.03.01-06/151 от 18.06.13). - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-507-44917-0., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=805760&idb=0>.
7. Пространственная структура излучения волноводных и волоконных технологических лазеров / Григорьянц А.Г., Васильцов В.В. - Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=643370&idb=0>.
8. Волновая оптика : Учебное пособие для вузов / Михельсон А. В., Папушина Т. И., Повзнер А. А., Гофман А. Г. - Москва : Юрайт, 2020. - 118 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-08091-9 : 239.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=592924&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Не используется

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории.

Для выполнения лабораторных работ:

1. Изучение отражения, преломления и взаимодействия электромагнитного поля на плоской границе раздела сред.

2. Определение профиля показателя преломления заготовок и изготовленных из них оптических волокон.

3. Внутренний фотоэффект в полупроводниках.

4. Изучение принципов работы твердотельного лазера на рубине. используется современное оборудование:

- голографическая установка с твердотельным лазером.

- установка для исследования параметров оптического волокна на базе монохроматора МДР-204.

- установка для исследования оптических свойств массивных материалов на базе лазера ЛГН-223-1 и системы поворотных столиков Standa.

- установка для исследования электрооптических характеристик полупроводников на базе монохроматора МДР-204.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Нежданов Алексей Владимирович, кандидат физико-математических наук
Машин Александр Иванович, доктор физико-математических наук, профессор.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 09.01.2024, протокол № б/н.