

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 Ученого совета ННГУ

протокол № 4 от 26.04.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы квантовой оптики

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Направленность образовательной программы

Квантовые и нейроморфные технологии

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.06.01 Основы квантовой оптики 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-1: Способен обоснованно выбирать и применять теоретические и экспериментальные методы научных и научно-технических исследований в области нанотехнологии, нанoeлектроники и квантовых технологий	<p>ПК-1.1: Знаком с теоретическими и экспериментальными методами научных и научно-технических исследований в области нанотехнологии, нанoeлектроники и квантовых технологий</p> <p>ПК-1.2: Анализирует и выбирает теоретические и экспериментальные методы научных и научно-технических исследований в области нанотехнологии, нанoeлектроники и квантовых технологий</p> <p>ПК-1.3: Применяет теоретические и экспериментальные методы научных и научно-технических исследований в области нанотехнологии, нанoeлектроники и квантовых технологий</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знать основные физические принципы описания явлений в квантовой оптике.</p> <p>Уметь решать типовые задачи квантовой оптики.</p> <p>Владеть навыками решения основных типов задач квантовой оптики.</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Знать теоретические методы квантовой оптики.</p> <p>Уметь выбирать подходящий теоретический метод при решении задач квантовой оптики.</p> <p>Владеть навыками теоретического анализа явлений квантовой оптики.</p> <p>ПК-1.3:</p> <p>Знать экспериментальные методы квантовой оптики.</p> <p>Уметь выбирать подходящий экспериментальный метод при решении задач квантовой оптики.</p> <p>Владеть навыками анализа экспериментальных данных,</p>	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы

		полученных при изучении явлений квантовой оптики.		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	38
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

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/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
1. Классическая и квантовая теория излучения.	6	2	2	4	2
2. Квантовые состояния света. Фоковские и когерентные состояния.	8	2	2	4	4
3. Классическая и квантовая теория взаимодействия излучения с веществом.	8	2	2	4	4
4. Оптические уравнения Блоха.	8	2	2	4	4
5. Волноводы, резонаторы и их взаимодействие с квантовыми системами.	10	2	2	4	6
6. Теория Вайскопфа-Вигнера спонтанного излучения.	10	2	2	4	6
7. Перепутанные состояния.	10	2	2	4	6
8. Диссипация в квантовой механике.	10	2	2	4	6
Аттестация	36				
КСР	2			2	

Итого	108	16	16	34	38
-------	-----	----	----	----	----

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Классическая и квантовая теория излучения.

Уравнения Максвелла. Распространение электромагнитных волн в вакууме. Квантование электромагнитного поля.

2. Квантовые состояния света. Фоковские и когерентные состояния.

Оптическая когерентность. Когерентные состояния и их свойства. Сжатые состояния.

3. Классическая и квантовая теория взаимодействия излучения с веществом.

Распространение электромагнитных волн в веществе. Поглощение излучения. Взаимодействие света с двухуровневыми системами.

4. Оптические уравнения Блоха.

Матрица плотности для состояний света. Уравнение Лиувилля для матрицы плотности. Учет потерь. Оптические уравнения Блоха.

5. Волноводы, резонаторы и их взаимодействие с квантовыми системами.

Классическая теория распространения и локализации света в волноводах и резонаторах. Типы волноводов и резонаторов. Потери. Добротность резонатора. Квантовая теория взаимодействия двухуровневых атомов с модами резонатора.

6. Теория Вайскопфа-Вигнера спонтанного излучения.

Теория Вайскопфа-Вигнера спонтанного излучения двухуровневого атома. Двухфотонное каскадное излучение.

7. Перепутанные состояния.

Понятие квантовой запутанности. Виды состояний квантовых систем. Чистые, смешанные и запутанные состояния. Виды запутанных состояний.

8. Диссипация в квантовой механике.

Общая теория резервуара. Уравнение для матрицы плотности. Релаксация атома, вызванная тепловым и сжатым вакуумным резервуаром. Понятие декогеренции.

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.

Авторские презентации по материалам лекций.

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:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Найти выражение для стационарного состояния моды в диссипативном резонаторе при внешнем классическом источнике в виде монохроматически колеблющегося диполя.
2. Определить распределений различных наблюдаемых для различных квантовых состояний.
3. Найти стационарное состояние квантованной моды поля при совместном действии двухфотонного источника и ухода фотонов из резонатора.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	обучающийся успешно показал умения и навыки выполнения заданий базового уровня сложности
не зачтено	обучающийся не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения заданий

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	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные	Продемонстрированы все основные умения. Решены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи.

	отказа обучающегося от ответа	место грубые ошибки	негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован 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-1

1. Классическая теория излучения.
2. Поляризация света.
3. Классическая теория взаимодействия излучения с веществом. Отражение, поглощение и преломление света.
4. Квантование электромагнитного поля.
5. Взаимодействие классического поля с квантовыми системами. Осцилляции Раби.
6. Квантовая теория взаимодействия излучения с веществом.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности
отлично	обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности
очень хорошо	обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий
хорошо	обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий
удовлетворительно	обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности
неудовлетворительно	обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий
плохо	обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий

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

Основная литература:

1. Белоусов Ю. И. Инфракрасная фотоника : учебное пособие для вузов / Белоусов Ю. И., Постников Е. С.; Постников Е. С. - 2-е изд., стер. (полноцветная печать). - Санкт-Петербург :

Лань, 2023. - 340 с. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-507-46496-8., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=860965&idb=0>.

2. Прилипко В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита : монография / Прилипко В. К., Коваленко И. И.; Коваленко И. И. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2024. - 216 с. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-507-50139-7., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=898325&idb=0>.

3. Фотоника и оптоинформатика. Основы волоконной оптики: лабораторный практикум / Азанова И. С., Вотинов Г. Н., Кирчанов В. С., Булатов М. И., Григорьев Н. С., Мальков Н. А. - Пермь : ПНИПУ, 2023. - 101 с. - Утвержден Редакционно-издательским советом университета. - Книга из коллекции ПНИПУ - Физика. - ISBN 978-5-398-03006-8., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=899231&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Чуканов С. Н. Квантовая теория информации : учебное текстовое электронное издание локального распространения / Чуканов С. Н., Чуканов И. С., Белик А. Г. - Омск : ОмГТУ, 2023. - 164 с. - Рекомендовано редакционно-издательским советом Омского государственного технического университета. - Книга из коллекции ОмГТУ - Информатика. - ISBN 978-5-8149-3680-6., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=900290&idb=0>.

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

- 1) Visual Studio Community Edition с бесплатным расширением Python;
- 2) интернет-ресурс справочной и математической литературы со свободным доступом www.eqworld.ipmnet.ru;
- 3) интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru/>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

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 28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника.

Автор(ы): Баestraкова Марина Валерьевна, кандидат физико-математических наук
Конаков Антон Алексеевич, кандидат физико-математических наук.

Рецензент(ы): Ежевский Александр Александрович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Конаков Антон Алексеевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 15.04.2024, протокол № б/н.