

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**

Квантовая радиотехника

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

09.04.02 - Информационные системы и технологии

---

Направленность образовательной программы

Информационные технологии в системах космической связи и дистанционного зондирования Земли

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.01 Квантовая радиотехника 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-13: Способен понимать и применять в научно-исследовательской и прикладной деятельности современный математический аппарат, основные законы естествознания, современные языки программирования, программное обеспечение, операционные системы, сетевые технологии	ПК-13.1: Знает: современный математический аппарат, основные законы естествознания, современные языки программирования и программное обеспечение ПК-13.2: Умеет: проводить разработку алгоритмического и программного обеспечения в области информационных технологий в научных исследованиях ПК-13.3: Имеет: практический опыт владения существующими методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов, опыт работы с научными источниками	ПК-13.1: ЗНАТЬ: современный математический аппарат, основные законы естествознания в области физических исследований с использованием квантового подхода, современные языки программирования и программное обеспечение  ПК-13.2: УМЕТЬ: Использовать алгоритмическое и программное обеспечение в области информационных технологий в задачах в области физических исследований с использованием квантового подхода.  ПК-13.3: ВЛАДЕТЬ: навыками использования научно-технической информации и решения задач в области физических исследований с использованием квантового подхода, полученной из литературных источников в своей профессиональной деятельности.	Индивидуальное устное собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы

--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>5</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>180</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>16</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>16</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>101</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>45</b>
	<b>Экзамен</b>

#### 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	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1. Общие представления о проблемах классической физики при измерениях физических величин, а также при возникновении квантовых явлений. Физические парадоксы, возникающие в классической радиотехнике	12	1	1	2	10
Тема 2. Общие сведения об измерении сигналов, стабильных по частоте. Кварцевые генераторы частоты. Стандарты частоты	16	2	2	4	12
Тема 3. Стандартные квантовые пределы (СКП). Принцип и примеры косвенных измерений. Квантовое невозмущающее измерение и вопросы его реализуемости. Измерение импульса и координаты материального тела, а также энергии гармонического осциллятора	14	2	2	4	10
Тема 4. Явление сверхпроводимости. Сверхпроводники 1 и 2 рода. Стационарный и нестационарный эффект Джозефсона. Сквид. Стандарты физических величин на основе квантовых явлений (эффект Джозефсона).	14	2	2	4	10
Тема 5. Квантовый эффект Холла. Стандарты физических величин на основе квантовых явлений (эффект Холла)	18	2	2	4	14
Тема 6. Одноэлектроника	18	1	1	2	16
Тема 7. Предельная пропускная способность канала связи.	14	2	2	4	10

Тема 8. Предел время-частотного разрешения при анализе нестационарных сигналов.	16	2	2	4	12
Тема 9. Квантовая оптика	11	2	2	4	7
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	180	16	16	34	101

### Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Общие представления о проблемах классической физики при измерениях физических величин, а также при возникновении квантовых явлений. Физические парадоксы, возникающие в классической радиотехнике

Тема 2. Общие сведения об измерении сигналов, стабильных по частоте. Кварцевые генераторы частоты. Стандарты частоты

Тема 3. Стандартные квантовые пределы (СКП). Принцип и примеры косвенных измерений. Квантовое невозмущающее измерение и вопросы его реализуемости. Измерение импульса и координаты материального тела, а также энергии гармонического осциллятора

Тема 4. Явление сверхпроводимости. Сверхпроводники 1 и 2 рода. Стационарный и нестационарный эффект Джозефсона. Сквид. Стандарты физических величин на основе квантовых явлений (эффект Джозефсона).

Тема 5. Квантовый эффект Холла. Стандарты физических величин на основе квантовых явлений (эффект Холла)

Тема 6. Одноэлектроника

Тема 7. Предельная пропускная способность канала связи.

Тема 8. Предел время-частотного разрешения при анализе нестационарных сигналов.

Тема 9. Квантовая оптика

### 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.

Не используются

### 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 - Индивидуальное устное собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-13:**

Тематика собеседования соответствует темам лекций:

1. Измерение сигналов, стабильных по частоте. Кварцевые генераторы частоты. Стандарты частоты
2. Стандартные квантовые пределы (СКП). Принцип и примеры косвенных измерений. Квантовое невозмущающее измерение и вопросы его реализуемости. Измерение импульса и координаты материального тела, а также энергии гармонического осциллятора
3. Явление сверхпроводимости. Сверхпроводники 1 и 2 рода. Стационарный и нестационарный эффект Джозефсона. Сквид. Стандарты физических величин на основе квантовых явлений (эффект Джозефсона).
4. Квантовый эффект Холла
5. Одноэлектроника
6. Предельная пропускная способность канала связи.
7. Предел время-частотного разрешения при анализе нестационарных сигналов.
8. Квантовая оптика

### Критерии оценивания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент дал полные ответы по тематике собеседования
не зачтено	Студент проявил затруднение в ответе на вопросы по тематике собеседования или отказался от ответов

### 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	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены

	обучающегося от ответа	ошибки	ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	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	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован 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-13**

1. Общие представления о проблемах классической физики при измерениях физических величин, а также при возникновении квантовых явлений. Физические парадоксы, возникающие при классическом рассмотрении (УФ катастрофа).
2. Общие сведения об измерении сигналов, стабильных по частоте
3. Стандарты частоты на основе квантовых генераторов дискриминаторов (общие принципы)
4. Квантовый генератор на аммиаке
5. Стандарты частоты на основе квантовых дискриминаторов (общие принципы)
6. Атомно-лучевая трубка на цезии
7. Стандартные квантовые пределы (СКП). Принцип и примеры косвенных измерений. Квантовое невозмущающее измерение и вопросы его реализуемости. Измерение импульса и координаты материального тела, а также энергии гармонического осциллятора
8. Явление сверхпроводимости
9. Квантовый магнитометр («сквид»). Понятие «кванта» магнитного потока.
10. Стандарт напряжения на основе эффекта Джозефсона
11. Квантовый эффект Холла и стандарт сопротивления. Связь холловского сопротивления и постоянной тонкой структуры
12. Явление «одноэлектроники» и перспективы его использования
13. Эффект кулоновской блокады и туннелирование электронов через разрыв проводника. Возникновение одноэлектронных колебаний и их частота.
14. Использование одноэлектроники в радиоэлектронных системах.
15. Количество информации и энтропия. Парадокс Шэннона. Матрица плотности и описание потоков фотонов. Разрешение парадокса Шэннона
16. Методы анализа на основе аналитического сигнала: функция Рихачека, функция неопределенности Вудворда–Девиса и др. Преобразование Вигнера–Вилля
17. Измерение поляризационных состояний фотона.
18. Запутанные состояния и манипуляции с ними
19. Квантовое распределение ключа

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить

Оценка	Критерии оценивания
	полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа

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

Основная литература:

1. Теоретическая физика: Т. III. Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. - Москва : Физматлит, 2002., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=634781&idb=0>.
2. Брагинский Владимир Борисович. Физические эксперименты с пробными телами. - М. : Наука, 1970. - 136 с. : черт. - 0.43., 1 экз.
3. Гавриленко В. И. Квантовый эффект Холла : учебно-методическое пособие / В. И. Гавриленко, А. В. Иконников ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. - 13 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=877462&idb=0>.
4. Штыков Виталий Васильевич. Квантовая радиофизика : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Радиотехники" специальности 210301 "Радиофизика и электроника". - М. : Академия, 2009. - 336 с. - (Высшее профессиональное образование). - ISBN 978-5-7695-5311-0 : 486.20., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Кисляков Альберт Григорьевич. Введение в радиоастрономию : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности "Радиофизика и электроника" : в 2 ч. Ч. 2. Техника радиоастрономии / ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Физматлит, 1996. - 196 с. - ISBN 5-230-03872-1 : 12000.00., 15 экз.
2. Кисляков Альберт Григорьевич. Предельная чувствительность радиометров и вопросы ее реализации : учеб. пособие / ГГУ им. Н. И. Лобачевского. - Горький, 1988. - 76 с. - 0.00., 4 экз.
3. Долوماتов М. Ю. Физические основы наноэлектроники : учебное пособие / М. Ю. Долوماتов, Р. З. Бахтизин, Т. И. Шарипов. - Москва : Юрайт, 2023. - 173 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-14924-1. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=841948&idb=0>.

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

Интернет-ресурсы в соответствии с содержанием дисциплины

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

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

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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 09.04.02 - Информационные системы и технологии.

Автор(ы): Черняева Мария Борисовна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Морозов Олег Александрович, доктор физико-математических наук.

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