

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики  
А.С. Батурин**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Квантовая радиофизика
<b>по направлению:</b>	Электроника и нанoeлектроника
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электроники
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: С.Е. Банков, д-р техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры электроники 12.02.2024

## Аннотация

Курс посвящен изучению современных методов электродинамического моделирования сложных структур

Курс включает следующие разделы:

1. Общая характеристика граничных задач прикладной электродинамики. Интегральные соотношения электродинамики.
2. Среда в прикладной электродинамике, материальные параметры, магнито-диэлектрики, проводники, гиротропные среды.
3. Поверхности в прикладной электродинамике, граничные условия.
4. Симметрия в электродинамике, виды симметрии, принцип зеркального изображения.
5. Электродинамика периодических структур, теорема Флоке.
6. Источники электромагнитного поля, волновые и сосредоточенные порты
7. Излучение электромагнитных волн и антенны, параметры антенн.
8. Задачи на собственные волны и собственные колебания.
9. Методы решения граничных задач электродинамики.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- изучение основ квантовой радиофизики.

#### Задачи дисциплины

- изучение основ классической и квантовой обработки информации;
- изучение методов описания взаимодействия электромагнитных волн с поляризующимися и намагничивающимися средами;
- изучение базовых принципов построения квантовых компьютеров, квантовых систем связи и квантовых сенсоров.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- методы классической и квантовой обработки информации: спектрального и корреляционного анализа, основные законы лежащие в основе взаимодействия электромагнитных волн с веществом, а также различные платформы квантовых технологий.

уметь:

- количественно рассчитывать спектральные и корреляционные характеристики классических и квантовых сигналов.

владеть:

- теоретическими моделями и методами описания, используемыми в квантовых технологиях.

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

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основы теории сигналов	6			10
2	Операторные методы описания радиотехнических цепей	4			10
3	Экскурс в квантовую теорию	2			10
4	Нелинейное взаимодействие ЭМ-волн с веществом	6			15
5	Квантовые технологии	12			15
Итого часов		30			60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

##### 1. Основы теории сигналов

Классические и квантовые технологии. Функциональные блоки классической и квантовой систем связи. Теория сигналов. Спектральное представление сигналов. Примеры вычисления спектров сигналов. Теорема Котельникова.

Основы теории цепей и четырехполюсников. Операторные методы в теории цепей. Анализ переходных процессов в цепях с  $1/2$  степенью свободы. Анализ переходных процессов. Примеры применения качественных методов в системах с  $1/2$  степенями свободы.

Анализ переходных процессов в цепях с 1, 1.5 и 2 степенями свободы. Фазовые траектории динамических систем. Автоколебания. Хаотические колебания.

##### 2. Операторные методы описания радиотехнических цепей

Анализ систем с распределенными параметрами. Телеграфное уравнение. Волновое уравнение. Дисперсия. Распространение волн в линейных и нелинейных средах.

Статистические методы анализа колебательных процессов. Корреляционный анализ сигналов. Прохождение детерминированных и случайных сигналов через цепи с сосредоточенными и распределенными параметрами.

### 3. Экскурс в квантовую теорию

Основы квантовой радиофизики. Постулаты квантовой механики. Свойства операторов наблюдаемых величин. Описание ансамблей частиц с помощью матрицы плотности. Зонная теория твердого тела.

Электрические дипольные переходы. Уравнение для матрицы плотности. Линейное взаимодействие электромагнитного поля с веществом. Квантовые усилители и генераторы.

Магнитные дипольные переходы. Уравнения Блоха. Пара-, ферро-, ферри- и антиферромагнетики. Магнитный резонанс. Кривая гистерезиса. Эффект Фарадея.

### 4. Нелинейное взаимодействие ЭМ-волн с веществом

Плазма. Кинетические уравнения. Плотность тока и средняя энергия носителей заряда в плазме. Электродинамические параметры намагниченной плазмы. Циклотронный резонанс.

Нелинейные радиофизические эффекты и их применение. Кубические и квадратичные нелинейные эффекты. Нелинейные явления в плазменных средах.

### 5. Квантовые технологии

Основы квантовых вычислений. Простейшие квантовые вентили. Кубиты и курегистры. Интерферометры. Перепутанные состояния. Декогеренция.

Теория квантовых измерений. Проекционные измерения. Квантовые вычисления. Обзор различных реализация квантовых кубитов.

Квантовые алгоритмы. Квантовая телепортация. Квантовый параллелизм. Квантовое преобразование Фурье и его применение.

Квантово-усиленные решения проблем в системах связи. Квантовый аналог теоремы Котельникова. Поиск в неупорядоченной базе данных. Квантовое многопользовательское кодирование. Квантовый взлом кода. Квантовое распределение ключа.

Квантовые сенсоры. Обзор основных тенденций квантовых технологий. Заключение.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиа проектором, меловой или маркерной доской.

## 6.Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

Литература выдается на базовой кафедре:

1. Власов Б.И., Кунаев А.С. «Квантовая радиофизика: Практикум по специальности "Радиофизика и электроника"». Изд-во ВГУ, 2005, 39 с.

### Дополнительная литература

Литература выдается на базовой кафедре:

1. Ш. Имре, Ф. Балаж «Квантовые вычисления и связь. Инженерный подход». М., Физматлит, 2008, 319 с.

**7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Не предусмотрены

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Электроника и нанoeлектроника
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электроники
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	С.Е. Банков, д-р техн. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Квантовая радиофизика» обучающийся должен:

### знать:

- методы классической и квантовой обработки информации: спектрального и корреляционного анализа, основные законы лежащие в основе взаимодействия электромагнитных волн с веществом, а также различные платформы квантовых технологий.

### уметь:

- количественно рассчитывать спектральные и корреляционные характеристики классических и квантовых сигналов.

### владеть:

- теоретическими моделями и методами описания, используемыми в квантовых технологиях.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В начале каждого занятия проводится краткий опрос по теме предыдущего занятия.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к дифференцированному зачету:

1. Элементы общей теории радиотехнических сигналов.
2. Спектральные представления сигналов.
3. Энергетические спектры сигналов. Принципы корреляционного анализа.
4. Сигналы с ограниченным спектром.
5. Основы теории случайных сигналов.

6. Воздействие детерминированных сигналов на линейные стационарные системы.
7. Активные цепи с обратной связью и автоколебательные системы.
8. Анализ переходных процессов.
9. Волновое уравнение. Дисперсия. Распространение волн в линейных и нелинейных средах.
10. Цепи с различными степенями свободы. Фазовые траектории динамических систем.
11. Простейшие квантовые вентили. Кубиты и курегистры. Интерферометры.
12. Квантовые вычисления. Различные реализации квантовых кубитов.
13. Квантовые алгоритмы. Квантовая телепортация. Квантовый параллелизм.
14. Квантовый аналог теоремы Котельникова. Квантовое многопользовательское кодирование. Квантовый взлом кода. Квантовое распределение ключа.
15. Квантовые сенсоры. Основные тенденции квантовых технологий.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

#### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**



Оценка за семестр выставляется по результатам устного дифференцированного зачета, проводимого в конце семестра. Опрос студента не должен превышать 40 минут.