

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

ОДОБРЕНО

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**РАДИОФОТОНИКА**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
3	3	108	8	40	0	24	0	Э
Итого	3	108	8	40	0	24	0	

## АННОТАЦИЯ

Рассматриваются основы современной радиофотоники, обсуждаются принципы работы радиофотонных устройств и перспективы развития радиофотоники. Радиофотонику можно определить как область знания, которая изучает взаимодействие между оптическими и микроволновыми полями в различных нелинейных средах и устройствах с целью создания новых методов генерации, управления, приема, обработки и анализа СВЧ сигналов средствами фотоники. Появление радиофотоники явилось закономерным следствием развития сверхскоростных (до 100 Гб/сек и выше) линий связи. Лекционный курс включает в себя обзор характеристик основных элементов радиофотонных устройств, включая шумовые параметры, а также их математические модели, применяемые в численном моделировании радиофотонных узлов и систем. Излагаются основы функционирования радиофотонных преобразователей частоты, волоконно-оптических линий передачи, оптоэлектронных генераторов, радиофотонных аналого-цифровых преобразователей, радиофотонных зондирующих систем, рассматриваются технологии радиофотонного формирования сигналов СВЧ диапазона, радиофотонной фильтрации СВЧ сигналов и радиофотонного измерения характеристик СВЧ сигналов. Таким образом, курс формирует практические компетенции, необходимые для разработки и исследования радиофотонных систем.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель преподавания данной дисциплины состоит в получении студентами необходимых знаний и формировании у них фундаментальных и практических компетенций в области современных радиофотонных технологий, необходимых для разработки и создания перспективных радиофотонных микроволновых устройств и систем.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина связана с курсами, формирующими фундаментальные компетенции - Физическая оптика и основы фотоники, Генерация, прием и обработка широкополосных СВЧ сигналов, Перспективные радиолокационные системы. Освоение данной дисциплины базируется на изучении студентом следующих дисциплин: Математики, Общей физики, Теории поля, Статистической радиофизики, Физики полупроводников, Волоконной оптики, Лазерной оптики, Радиоэлектронные устройства и системы микроволнового диапазона.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	------------------------------------------------------

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача	Объект или область	Код и наименование	Код и
--------	--------------------	--------------------	-------

профессиональной деятельности (ЗПД)	знания	профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
<p>выполнение математического (компьютерного) моделирования и оптимизации параметров объектов фотоники и оптоинформатики на базе разработанных и имеющихся средств исследования и проектирования, включая стандартные и специализированные пакеты прикладных программ</p>	<p>научно-исследовательский элементная база, системы и технологии интегральной, волоконной и градиентной оптики, а также микрооптики; элементная база полупроводниковых, волоконных и планарных лазеров элементная база, системы, материалы, методы и технологии, обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации; элементная база и системы преобразования и отображения информации; элементная база и системы на основе наноразмерных и фотоннокристаллических структур; системы оптических и квантовых вычислений и оптические компьютеры; оптические системы искусственного интеллекта устройства и системы компьютерной фотоники</p>	<p>ПК-1 [1] - способен владеть навыками компьютерного моделирования информационных сигналов и систем, синтеза кодов, количественного анализа характеристик информационных систем</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>З-ПК-1[1] - Знать: основные понятия, математический аппарат и алгоритмы обработки и анализа характеристик информационных сигналов; базовые и современные схемные и алгоритмические решения оптических и фотонных систем обработки и хранения информации ; У-ПК-1[1] - Уметь: использовать современные компьютеры для решения научно-исследовательских задач; строить простые и средней сложности математические модели информационных сигналов и систем; ; В-ПК-1[1] - Владеть: способами создания моделей для описания и прогнозирования различных явлений, осуществления их качественного и количественного анализа; практическими навыками численного</p>

			<p>моделирования типовых задач в своей предметной области с требуемой степенью точности;</p>
<p>построение математических моделей, объектов исследования и выбор численного метода их моделирования, разработка алгоритма решения задачи</p>	<p>элементная база, системы и технологии интегральной, волоконной и градиентной оптики, а также микрооптики; элементная база полупроводниковых, волоконных и планарных лазеров; элементная база, системы, материалы, методы и технологии, обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации; элементная база и системы преобразования и отображения информации; элементная база и системы на основе наноразмерных и фотоннокристаллических структур</p>	<p>ПК-2 [1] - способен пользоваться математическим аппаратом в области теории информации, кодирования, теории информационных систем и сигналов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.016</p>	<p>3-ПК-2[1] - Знать: основы теории сигналов, теории информации и кодирования; фундаментальные информационные свойства оптических систем ; У-ПК-2[1] - Уметь: решать типичные модельные математические задачи теории информации, кодирования, теории информационных систем и сигналов ; В-ПК-2[1] - Владеть: методами программирования алгоритмов теории информации и кодирования, теории сигналов.</p>

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>3 Семестр</i>						
1	Основные элементы радиофотонных устройств, их характеристики и математические модели	1-8	4/20/0		25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1

2	Базовые радиофотонные устройства и системы	9-16	4/20/0		25	КИ-16	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-4.3, У-ПК-4.3, В-ПК-4.3
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		8/40/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 3 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-4.3, У-ПК-4.3, В-ПК-4.3

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
--------	---------------------------	------------	----------------	------------

	<i>3 Семестр</i>	8	40	0
<b>1-8</b>	<b>Основные элементы радиодифракционных устройств, их характеристики и математические модели</b>	4	20	0
1 - 4	<b>Основные элементы радиодифракционных устройств и их характеристики</b> Основные параметры аналоговых радиочастотных систем. Источники шума в радиодифракционных системах. Искажения сигнала в радиодифракционных системах. Искажения сигнала при распространении в волоконно-оптических линиях.	Всего аудиторных часов		
		2	10	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 8	<b>Численное моделирование работы радиодифракционных систем и оценка их характеристик</b> Математическая модель лазера. Математическая модель модулятора. Математическая модель фотодетектора.	Всего аудиторных часов		
		2	10	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Базовые радиодифракционные устройства и системы</b>	4	20	0
9 - 12	<b>Базовые радиодифракционные устройства и технологии</b> Преобразование частоты. Оптоэлектронные генераторы. Радифракционные аналого-цифровые преобразователи. Радифракционное формирование сигналов СВЧ диапазона. Радифракционная фильтрация СВЧ сигналов. Радифракционные измерения характеристик СВЧ сигналов.	Всего аудиторных часов		
		2	10	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 16	<b>Перспективные радиодифракционные системы.</b> Волоконно-оптические линии передачи. Радифракционные зондирующие системы.	Всего аудиторных часов		
		2	10	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

#### ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>3 Семестр</i>
1	<b>Волоконно-оптические линии передачи и их основные компоненты</b> Волоконно-оптические линии передачи и их основные компоненты.
2	<b>Основные параметры аналоговых радиочастотных систем</b> Основные параметры аналоговых радиочастотных систем.

3	<b>Источники шума в радиофотонных системах</b> Источники шума в радиофотонных системах.
4	<b>Искажения сигнала в радиофотонных системах</b> Искажения сигнала в радиофотонных системах.
5	<b>Искажения сигнала при распространении в волоконно-оптических линиях</b> Искажения сигнала при распространении в волоконно-оптических линиях.
6 - 7	<b>Численное моделирование работы радиофотонных систем и оценка их характеристик</b> Численное моделирование работы радиофотонных систем и оценка их характеристик.
8	<b>Преобразование частоты в радиофотонных системах</b> Преобразование частоты в радиофотонных системах.
9	<b>Волоконно-оптические линии передачи</b> Волоконно-оптические линии передачи.
10	<b>Оптоэлектронные генераторы</b> Оптоэлектронные генераторы.
11	<b>Радиофотонное формирование сигналов СВЧ диапазона</b> Радиофотонное формирование сигналов СВЧ диапазона.
12	<b>Радиофотонная фильтрация СВЧ сигналов</b> Радиофотонная фильтрация СВЧ сигналов.
13	<b>Радиофотонные аналого-цифровые преобразователи (АЦП)</b> Радиофотонные аналого-цифровые преобразователи (АЦП).
14	<b>Радиофотонные измерения характеристик СВЧ сигналов</b> Радиофотонные измерения характеристик СВЧ сигналов.
15 - 16	<b>Радиофотонные зондирующие системы</b> Радиофотонные зондирующие системы.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы используются следующие технологии:

- лекции по курсу традиционного типа, на некоторых лекциях применяется компьютерный проектор для иллюстраций сложных устройств, систем и процессов;
- самостоятельная работа: обзор предлагаемой темы;
- посещение лабораторий НОЦ «Нанотехнологии» НИЯУ МИФИ.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	Э, КИ-8
	У-ПК-1	Э, КИ-8
	В-ПК-1	Э, КИ-8
ПК-2	З-ПК-2	Э, КИ-16
	У-ПК-2	Э, КИ-16
	В-ПК-2	Э, КИ-16

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.



## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.38 У 69 Основы микроволновой фотоники : монография, Москва: Техносфера, 2016
2. 621.37 С56 Современные лазерно-информационные технологии : , Москва: Наука, 2015
3. ЭИ П 16 Физические основы фотоники : , Санкт-Петербург: Лань, 2022

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 537 А95 Введение в статистическую радиофизику и оптику : Учеб. пособие для вузов, С. А. Ахманов, Ю. Е. Дьяков, А. С. Чиркин, М.: Наука, 1981

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Студентам рекомендуется исправно посещать занятия, внимательно слушать преподавателя и при необходимости задавать вопросы, стараясь добиться полного и ясного понимания материала. Требуется тщательно конспектировать лекционный материал в удобной и доступной для восприятия форме. Необходимо уделять время самостоятельной работе, изучению рекомендуемой литературы и при необходимости поиску дополнительных источников информации. Рекомендуется также повторить материал, изученный в бакалавриате, в особенности по теории поля, электродинамике, статистической радиофизике, волоконной оптике, лазерной оптике, радиоэлектронным устройствам и системам микроволнового диапазона.

Дополнительно рекомендуемая литература по курсу:

S. L. Pan and J. P. Yao, "Photonics-based broadband microwave measurement," *J. Lightw. Technol.*, vol. 35, no. 16, pp. 3498–3513, Aug. 2017.

Р.С. Стариков. Фотонные АЦП. "Успехи современной радиоэлектроники", 2015 г., № 2.

J. Capmany, B. Ortega, and D. Pastor, "A tutorial on microwave photonic filters," *J. Lightw. Technol.*, vol. 24, no. 1, pp. 201–229, Jan. 2006.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Преподавателю рекомендуется активно взаимодействовать со студентами, отвечать на разумные вопросы и обеспечить по возможности полное понимание излагаемого материала. При этом стоит учитывать предварительно приобретенные в бакалавриате знания и умения, при необходимости делать акцент на наименее знакомых большинству студентов темах курса. Особое внимание при изложении материала следует уделять вопросам практического и приборного применения затрагиваемых физических процессов, с целью повышения мотивации студентов к его усвоению.

Автор(ы):

Васильевский Иван Сергеевич, к.ф.-м.н., доцент