

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

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, экс./зач./КР/КП
3	3	108	16	32	0		24	0	Э
Итого	3	108	16	32	0	0	24	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются физические методы, применяемые при работе в области экспериментальной физики микро- и наносистем, наноэлектроники и нанофотоники. Рассматриваются физические принципы работы и характеристики базовых и современных средств измерений. Отдельное внимание уделяется корректной постановке эксперимента и анализу экспериментальных данных, а также ограничениям, возникающим при работе на экспериментальном оборудовании. Рассматриваются принципы постановки экспериментальных исследований на примере хромато-масс-спектрометрии и спектрометрии ионной подвижности.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дать основные представления об основных физических закономерностях, лежащих в основе экспериментальных методов анализа физических сигналов, о параметрах измерительной аппаратуры и ограничениях, возникающих при работе с ней, познакомить с аналитическими методами на основе хромато-масс-спектрометрии и спектрометрии ионной подвижности.

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

Профессиональный модуль, дисциплина по выбору

### 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 профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
организация и проведение экспериментальных исследований, технологических и измерительных операций, необходимых для создания и изучения	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования.	ПК-4 [1] - способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	З-ПК-4[1] - Знать: современные экспериментальные методы в области физики конденсированного состояния, электроники и наноэлектроники ;

<p>свойств материалов, элементной базы и приборов электроники и нанoeлектроники</p>	<p>Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>	<p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>У-ПК-4[1] - Уметь: проводить экспериментальные исследования в электронике и нанoeлектронике с применением современных средств и методов.; В-ПК-4[1] - Владеть: компьютерными технологиями в применении к экспериментальным исследованиям в электронике и нанoeлектронике</p>
<p>анализ результатов научных исследований, формулирование научно-обоснованных выводов, подготовка научных публикаций и защита результатов интеллектуальной деятельности в области электроники и нанoeлектроники,</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области</p>	<p>ПК-5 [1] - способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-5[1] - Знать: современные теоретические и экспериментальные достижения в области электроники и нанoeлектроники ; У-ПК-5[1] - Уметь: делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем.; В-ПК-5[1] - Владеть: навыками подготовки</p>

	<p>электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>		<p>научных публикаций и заявок на изобретения</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	Первый раздел	1-8	8/16/0		25	КИ-8	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
2	Второй раздел	9-16	8/16/0		25	КИ-16	З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		16/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 3 Семестр</b>				50	Э	З-ПК-4, У-

							ПК-4, В- ПК-4, З-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5
--	--	--	--	--	--	--	--

\* – 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>	16	32	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	8	16	0
1 - 2	<b>1</b> Тема 1 Косвенный характер экспериментальных данных. Обратные задачи. Стохастичность окружающего мира. Плотность вероятности и функция распределения вероятности. Математическое ожидание и дисперсия генеральной совокупности. Выборочное стандартное отклонение. Стандартное отклонение выборочного среднего. Примеры распределений вероятностей. Свойства Гауссова распределения. Доверительный интервал и доверительная вероятность для распределений Стюдента и Гаусса. Порядок обработки и представления экспериментальных данных. Методы исследований: теоретические, эмпирические. Методы измерений: отклонений, разностный, нулевой. Основные свойства линейных измерительно-регистрирующих систем: коэффициент передачи, чувствительность, динамический диапазон. Понятие о разрешении, селективности, времени анализа, времени экспозиции, пределе обнаружения для различных задач физического экспериментального анализа.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>2</b> Динамические свойства линейных измерительно-регистрирующих систем. Аппаратная функция. Переходная	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		

	функция. Интеграл Дюамеля и уравнение свертки. Частотный метод исследования свойств линейных систем. Коэффициент передачи, амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики, связь входного и выходного сигналов в Фурье-пространстве.	0	0	0
5 - 6	<b>3</b> Передаточные характеристики электрических линий. Телеграфное уравнение. Статический коэффициент передачи. Динамические передаточные свойства идеального проводника. Волновое сопротивление. Согласованная и несогласованная линия. Способы согласования линии и нагрузки. Реальная линия с потерями.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>4</b> Шумы и помехи как источник погрешности измерений. Помехи резистивного, емкостного и индуктивного характера и методы борьбы с ними. Классификация шумов. Тепловой шум. Формула Найквиста. Дробовой шум. Генерационно-рекомбинационный шум. Фликкер-шум. Зависимость амплитуды шумов от частоты	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Второй раздел</b>	8	16	0
9 - 10	<b>6</b> Характеристики тепловых приемников излучения и особенности их исполнений. Термопары. Болотметры. Ячейка Голея. Пирозлектрические детекторы. Примеры применения болометрических матриц для высокочувствительного анализа в ИК и ТГц диапазоне	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	<b>7</b> Вакуумные фотоэлементы: ВАХ, линейность, спектральная чувствительность. Интегральная светочувствительность. Сравнение с глазом человека. Полоса частот вакуумных фотоэлементов. Дробовой, тепловой и темновой шум вакуумных фотоэлементов. Соотношение сигнал/шум. Фотоэлектронный умножитель. Линейность, коэффициент усиления, спектральная чувствительность, частотная характеристика и шумы ФЭУ. Виды исполнения ФЭУ. Фотосопротивления. Полупроводниковые фотоэлементы и фотодиоды. Приборы с зарядовой связью. КМОП-структуры	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	<b>8</b> Спектрометрия ионной подвижности и спектрометрия приращения ионной подвижности как методы анализа в реальном времени. Связь подвижности и коэффициента диффузии. Самофокусировка. Источники ионизации, механизмы ионизации при атмосферном давлении. Селективность ионизации. Метод SALDI. Применение спектрометрии для высокочувствительного анализа органических соединений в воздухе	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	<b>9</b> Масс-спектрометрия как аналитический метод состава и структуры вещества. Ионизаторы и анализаторы в масс-спектрометрии. Хромато-масс-спектрометрия. Примеры	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

реализации комплексных методов исследований в физике микро- и наносистем, нанофотонике с применением хромато-масс-спектрометрии			
---	--	--	--

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 - 2	<b>1</b> Косвенный характер экспериментальных данных. Обратные задачи. Стохастичность окружающего мира. Плотность вероятности и функция распределения вероятности. Математическое ожидание и дисперсия генеральной совокупности. Выборочное стандартное отклонение. Стандартное отклонение выборочного среднего. Примеры распределений вероятностей. Свойства Гауссова распределения. Доверительный интервал и доверительная вероятность для распределений Стьюдента и Гаусса. Порядок обработки и представления экспериментальных данных. Методы исследований: теоретические, эмпирические. Методы измерений: отклонений, разностный, нулевой. Основные свойства линейных измерительно-регистрирующих систем: коэффициент передачи, чувствительность, динамический диапазон. Понятие о разрешении, селективности, времени анализа, времени экспозиции, пределе обнаружения для различных задач физического экспериментального анализа.
3 - 4	<b>2</b> Динамические свойства линейных измерительно-регистрирующих систем. Аппаратная функция. Переходная функция. Интеграл Дюамеля и уравнение свертки. Частотный метод исследования свойств линейных систем. Коэффициент передачи, амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики, связь входного и выходного сигналов в Фурье-пространстве.
5 - 6	<b>3</b>

	<p>Передаточные характеристики электрических линий. Телеграфное уравнение. Статический коэффициент передачи. Динамические передаточные свойства идеального проводника. Волновое сопротивление. Согласованная и несогласованная линия. Способы согласования линии и нагрузки. Реальная линия с потерями.</p>
7 - 8	<p><b>4</b></p> <p>Шумы и помехи как источник погрешности измерений. Помехи резистивного, емкостного и индуктивного характера и методы борьбы с ними. Классификация шумов. Тепловой шум. Формула Найквиста. Дробовой шум. Генерационно-рекомбинационный шум. Фликкер-шум. Зависимость амплитуды шумов от частоты</p>
9 - 10	<p><b>5</b></p> <p>Характеристики тепловых приемников излучения и особенности их исполнений. Термопары. Боллометры. Ячейка Голяя. Пирозлектрические детекторы. Примеры применения боллометрических матриц для высокочувствительного анализа в ИК и ТГц диапазоне</p>
11 - 12	<p><b>6</b></p> <p>Вакуумные фотоэлементы: ВАХ, линейность, спектральная чувствительность. Интегральная светочувствительность. Сравнение с глазом человека. Полоса частот вакуумных фотоэлементов. Дробовой, тепловой и темновой шум вакуумных фотоэлементов. Соотношение сигнал/шум. Фотоэлектронный умножитель. Линейность, коэффициент усиления, спектральная чувствительность, частотная характеристика и шумы ФЭУ. Виды исполнения ФЭУ. Фотоспротивления. Полупроводниковые фотоэлементы и фотодиоды. Приборы с зарядовой связью. КМОП-структуры.</p>
13 - 14	<p><b>7</b></p> <p>Спектрометрия ионной подвижности и спектрометрия приращения ионной подвижности как методы анализа в реальном времени. Связь подвижности и коэффициента диффузии. Самофокусировка. Источники ионизации, механизмы ионизации при атмосферном давлении. Селективность ионизации. Метод SALDI. Применение спектрометрии для высокочувствительного анализа органических соединений в воздухе</p>
15 - 16	<p><b>8</b></p> <p>Тема 8 Масс-спектрометрия как аналитический метод состава и структуры вещества. Ионизаторы и анализаторы в масс-спектрометрии. Хромато-масс-спектрометрия. Примеры реализации комплексных методов исследований в физике микро- и наносистем, нанофотонике с применением хромато-масс-спектрометрии.</p>



## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения используются современные предметно-ориентированные и лично-ориентированные образовательные технологии. При проведении лекций используются наглядные формы демонстрации учебного материала в виде презентаций, а также выступления приглашенных сотрудников кафедры физики микро- и наносистем и других подразделений НИЯУ МИФИ, занимающихся исследованиями в области спектральных исследований конденсированных сред и наноструктур. Проведение семинаров предусматривает проведение дискуссий и выступления студентов с докладами по темам занятий.

## 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-4	З-ПК-4	Э, КИ-8
	У-ПК-4	Э, КИ-8
	В-ПК-4	Э, КИ-8
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-16
	У-ПК-5	Э, КИ-16
	В-ПК-5	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 твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская
75-84		C	
70-74		D	

			существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			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	3 – «удовлетворительно»	Е	
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	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. ЭИ П 84 Анализ результатов измерений в экспериментальной физике : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. 001 Г 82 История науки в 100 экспериментах : монография, Москва: Лаборатория знаний, 2018
3. ЭИ 3-17 Ошибки измерений физических величин : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. 539.2 Ф50 Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела : учебное пособие для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
5. 53 П26 Методы исследований в экспериментальной физике : учебное пособие для вузов, М. И. Пергамент, Долгопрудный: Интеллект, 2010

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 546 Ж35 Физические методы исследования в неорганической химии : , Жарский И.М.,Новиков Г.И., М.: Высш.школа, 1988

### 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**

В силу большого объема изучаемого материала и ограниченного количества занятий с целью углубления знаний по дисциплине предусмотрена самостоятельная работа студента с использованием основной и дополнительной литературы.

• Основная литература:

1. Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела: учебное пособие для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2014

2. Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела: учебное пособие для вузов, В. И. Троян [и др.], Москва: МИФИ, 2008

3. Методы исследований в экспериментальной физике: учебное пособие для вузов, М. И. Пергамент, Долгопрудный: Интеллект, 2010

• Дополнительная литература:

1. Высокоэффективная комплексообразовательная хроматография ионов металлов, Москва: Техносфера, 2013

2. Руководство по оптической когерентной томографии, Москва: Физматлит, 2007

3. Физические принципы электронной микроскопии. Введение в просвечивающую, растровую и аналитическую электронную микроскопию, Москва: Техносфера, 2010

4. Физические методы исследования структуры твердых тел Ч.1: Методы электронной микроскопии, М.: МИФИ, 2005

5. Количественные методы в масс-спектрометрии, И. Лаваньини [и др.], Москва: Техносфера, 2008

6. Микрофлюидные системы для химического анализа, ред.: Ю. А. Золотов, В. Е. Курочкин, Москва: Физматлит, 2011

Следует также при работе с материалом пользоваться интернет-ресурсами, часть из которых приводится ниже:

<http://www.nanometer.ru/>

<http://www.nanoworld.org/russian/library.html>

<http://www.ntmdt.ru>

<http://www.nanoobr.ru/>

<http://www.rusnanoforum.ru/>

<http://nano-info.ru/>

<http://www.portalnano.ru/>

<http://www.nanonewsnet.ru/>

<http://www.rosnano.ru/>

<http://e-learning.nanoobr.ru/>

Планирование времени на самостоятельную работу лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Одобряется обращаться к преподавателю за консультациями.

Контроль успеваемости, предусмотренный программой дисциплины, осуществляется путем тестирования, которое проводится 2 раза в семестр. Ответы на вопросы для текущего контроля должны показывать уверенное владение материалом из соответствующей темы.

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

В курсе изучаются основные физические методы, применяемые при работе в области экспериментальной физики микро- и наносистем, физики наноструктур и нанофотоники. Рассматриваются физические принципы работы и характеристики базовых и современных средств измерений. Отдельное внимание уделяется корректной постановке эксперимента и анализу экспериментальных данных, а также ограничениям, возникающим при работе на экспериментальном оборудовании.

Цель курса – дать основные представления об основных физических закономерностях, лежащих в основе современных экспериментальных методов анализа физики кинетических явлений, физики микро- и наносистем, параметрах измерительной аппаратуры и ограничениях, возникающих при работе с ней.

Допускается использование студентами справочных материалов, необходимых для проведения численных расчетов. Формулировку практических заданий следует выполнять подробно, а также допускать использование интернет-ресурсов при работе над заданиями.

Отношение преподавателя к студентам должно носить характер доброжелательной требовательности. Для более эффективного усвоения материала необходимо поощрять самостоятельную работу студентов, в том числе с интернет-ресурсами

Автор(ы):

Котковский Геннадий Евгеньевич, к.ф.-м.н.