

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**СПЕЦПРАКТИКУМ ПО МЕТОДАМ РЕГИСТРАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЙ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	KCP, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
2	3	108	0	15	30		27	0	Э
Итого	3	108	0	15	30	0	27	0	

## **АННОТАЦИЯ**

Курс является существенной частью подготовки физиков-экспериментаторов и специалистов в смежных областях, применяющих на практике наносекундную электронную аппаратуру.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целями освоения учебной дисциплины являются :

- углубленное изучение принципов работы и областей применения современных электронных устройств для достижения высокого временного разрешения и быстродействия при съеме и обработке информации, поступающей с детекторов элементарных частиц и ионизирующих излучений. На примерах ядерно-физических задач, требующих применения наносекундной электронной аппаратуры, изучаются специфика и возможности наносекундных электронных схем и приборов, типичных для современных физических экспериментов и подобных измерений в прикладных задачах.

- структура и особенности быстродействующих детекторов излучений. Рассматриваются типовые и предельные временные характеристики быстродействующих детекторов излучений и электронных узлов обработки сигналов, специфика распространения коротких импульсов по линиям передачи, устройства формирования точной временной отметки, особенности различных видов измерений с малым мёртвым временем, в том числе с использованием высоковольтной наносекундной техники.

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

Данная учебная дисциплина входит в образовательный модуль комплекса курсов. Содержательно и методически дисциплина является частью заключительной специализации, являющейся неотъемлемой частью знаний специалиста в области экспериментальной ядерной физики, физики элементарных частиц и медицинской физики.

«Входными» знаниями являются знания общей физики, ядерной физики, теоретической физики, электротехники, электроники и экспериментальных методов ядерной физики.

Для изучения данной дисциплины необходимо предшествующее освоение следующих разделов: электричества и магнетизма, атомной и молекулярной физики, физики твердого тела и электронных приборов, ядерной физики, классической и квантовой электродинамики, основ электротехники, аналоговой и цифровой электроники.

### **3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

<b>Код и наименование компетенции</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения компетенции</b>
---------------------------------------	---

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

<b>Задача профессиональной деятельности (ЗПД)</b>	<b>Объект или область знания</b>	<b>Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b>
научно-исследовательский			
1 Разработка методов регистрации ионизирующих и электромагнитных излучений; создание теоретических моделей состояния вещества, взаимодействия лазерного и ионизирующего излучения с веществом; создание математических моделей, описывающих процессы в ядерных реакторах, ускорителях, коллайдерах, масс-спектрометрах; создание методов расчета разделения изотопных и молекулярных смесей; создание современных электронных устройств сбора и обработки информации, учета воздействия на эти устройства ионизирующего и электромагнитного излучений; разработка методов повышения	1 Современный ядерно-физический эксперимент, современные электронные системы сбора и обработки данных для ядерных и физических установок математические модели для теоретического и экспериментального исследований фундаментальных взаимодействий элементарных частиц и атомных ядер и их излучений	ПК-3.1 [1] - Способен работать с детекторами и физическими установками в области физики ядра и элементарных частиц, над их разработкой и оптимизацией, в том числе – к работе над их модернизацией  Основание: Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-3.1[1] - Знать методы регистрации ионизирующих и электромагнитных излучений и методы измерения количественных характеристик ядерных материалов; методы расчета современных электронных устройств, учета воздействия на эти устройства ионизирующего и электромагнитного излучения;; У-ПК-3.1[1] - Уметь планировать и организовывать современный физический эксперимент, проводить проектирование и оптимизацию детекторов и установок в области физики ядра, физики элементарных частиц и астрофизики; В-ПК-3.1[1] - Владеть методами разработки новых и модернизации существующих детекторов и

<p>безопасности ядерных и лазерных установок, материалов и технологий; разработка теоретических моделей прохождения излучения через вещество, воздействия ионизирующего, лазерного и электромагнитного излучений на человека и объекты окружающей среды</p>			<p>установок для научно-инновационных исследований в области физики ядра, физики элементарных частиц и астрофизики.</p>
<p>1 Разработка методов регистрации ионизирующих и электромагнитных излучений; создание теоретических моделей состояния вещества, взаимодействия лазерного и ионизирующего излучения с веществом; создание математических моделей, описывающих процессы в ядерных реакторах, ускорителях, коллиайдерах, масс-спектрометрах; создание методов расчета разделения изотопных и молекулярных смесей; создание современных электронных устройств сбора и обработки информации, учета воздействия на эти устройства ионизирующего и</p>	<p>1 Современный ядерно-физический эксперимент, современные электронные системы сбора и обработки данных для ядерных и физических установок математические модели для теоретического и экспериментального исследований фундаментальных взаимодействий элементарных частиц и атомных ядер и их излучений</p>	<p>ПК-4 [1] - Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-4[1] - Знать: цели и задачи проводимых исследований; основные методы и средства проведения экспериментальных и теоретических исследований; методы и средства математической обработки результатов экспериментальных данных ; У-ПК-4[1] - Уметь: применять методы проведения экспериментов; использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения; оформлять результаты научно-исследовательских работ; В-ПК-4[1] - Владеть: навыками самостоятельного выполнения экспериментальных и</p>

электромагнитного излучений; разработка методов повышения безопасности ядерных и лазерных установок, материалов и технологий; разработка теоретических моделей прохождения излучения через вещество, воздействия ионизирующего, лазерного и электромагнитного излучений на человека и объекты окружающей среды			теоретических исследований для решения научных и производственных задач
--	--	--	---

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
<i>2 Семестр</i>							
1	Часть 1	1-8	0/8/16		25	КИ-8	З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
2	Часть 2	9-15	0/7/14		25	КИ-15	З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		0/15/30		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b>				50	Э	З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, З-ПК-4,

						У-ПК-4, В-ПК-4
--	--	--	--	--	--	-------------------

\* – 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>2 Семестр</i>	0	15	30
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	0	8	16
1 - 3	<b>Общая характеристика курса "Спецпрактикум".</b> Введение. Предмет курса и его место в специальности. типичные ядерно-физические задачи Типичные ядерно-физические задачи, требующие применения наносекундной электронной аппаратуры. Специфика наносекундных электронных схем и приборов. Детекторы излучений наносекундного диапазона.	Всего аудиторных часов 0 Онлайн 0	3 0	6 0
4 - 5	<b>Линии передачи наносекундных импульсов.</b> Особенности применения линий передачи сигналов и электрорадиоэлементов(ЭРЭ) в устройствах наносекундного диапазона. Виды линий передачи с распределенными параметрами, их импульсные свойства и передаточные характеристики. Согласование линий. Способы регулирования задержки и волнового сопротивления. Разъемы, аттенюаторы и разветвители.	Всего аудиторных часов 0 Онлайн 0	2 0	4 0
6 - 8	<b>Передача и преобразование наносекундных импульсов в цепях с пассивными дискретными электрорадиоэлементами.</b> Учет влияния паразитных параметров резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности на передачу наносекундных импульсов. Применение импульсных и кабельных трансформаторов для преобразования наносекундных импульсов.	Всего аудиторных часов 0 Онлайн 0	3 0	6 0
<b>9-15</b>	<b>Часть 2</b>	0	7	14
9 - 10	<b>Узлы наносекундных усилителей, формирующих и логических устройств.</b> Особенности применения диодов, транзисторов и интегральных схем (ИМС) наносекундного диапазона. Примеры типовых узлов и блоков усиления, формирования и амплитудного отбора коротких импульсов на базе аналоговых и цифровых ИМС. Наносекундные логические и регистрирующие	Всего аудиторных часов 0 Онлайн 0	1 0	2 0

	устройства. Узлы задержки, хронирования и временного отбора сигналов на основе элементов ИМС ЭСЛ и ТТЛ.			
11 - 12	<b>Особенности временных измерений.</b> Приоритетный временной дискриминатор. Наносекундные схемы совпадений. Временные селекторы и спектрометры наносекундного диапазона. Их структура, характеристики, примеры применения, методы настройки и градуировки.	Всего аудиторных часов		
		0	2	4
	Онлайн	0	0	0
13 - 14	<b>Особенности амплитудных измерений.</b> Особенности амплитудных измерений при работе с короткими импульсами при больших загрузках. Методы исследований формы коротких импульсов. Стробоскопические преобразователи и их применение для регистрации стохастических сигналов. Исследование однократных сигналов и импульсных потоков излучений.	Всего аудиторных часов		
		0	2	4
	Онлайн	0	0	0
15 - 16	<b>Импульсные источники и помехи. Перспективы наносекундной электроники</b> Генераторы наносекундных высоковольтных импульсов. Импульсные источники излучения и их возможности. Специфика конструирования и настройки наносекундных электронных устройств. Импульсные помехи и методы борьбы с ними. Перспективы наносекундной электроники в ядерно-физических исследованиях.	Всего аудиторных часов		
		0	2	4
	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 ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
1 - 8	<b>Л.Р. Часть1</b> 1. Устройства временного анализа. 2. Время-цифровой преобразователь.
9 - 14	<b>Л.Р. Часть2</b> 3. Метод совпадений. 4. Методы отбора событий.
15	<b>Заключительное занятие</b> Сдача и защита работ

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	2 Семестр
6 - 12	<b>Домашнее задание</b> Анализ преобразования наносекундных импульсов в несогласованной линии задержки.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе освоения курса помимо лекций используются:

- лабораторный практикум (вводная работа и комплекс из 6 предметных работ), посвященных отработке практических навыков работы с макетами детекторов излучений;
- вводное практическое занятие, посвященное обзору современных методов регистрации излучений и включающий дискуссию;

Практикум также предусматривает самостоятельную внеаудиторную работу – подготовку к выполнению лабораторной работы,

обработку полученных экспериментальных данных, их анализ и интерпретацию, сравнение с расчетными данными, составление отчета.

- самостоятельная работа студентов - семестровое домашнее задание (ДЗ) по актуальной теме "Анализ преобразования наносекундных импульсов в несогласованной линии задержки", позволяющей контролировать усвоение теоретических знаний на практике.

## 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-3.1	З-ПК-3.1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3.1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3.1	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15

## 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-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A
85-89			B
75-84	4 – «хорошо»		C
70-74			D
65-69	3 – «удовлетворительно»		E
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«Не зачтено»	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

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

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 620 Г61 Введение в нанотехнику : , Головин Ю.И., Москва: Машиностроение, 2007
2. 621.38 П27 Дозовые эффекты в изделиях современной микроэлектроники : учебное пособие, Улимов В.Н., Скоробогатов П.К., Першенков В.С., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

3. 8(Рус) С41 Микроэлектроника: русский как иностранный : учебно-методическое пособие, Сицина-Кудрявцева А.Н., Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
4. 621.38 Г55 Современная электронная элементная база в приборах и системах физики высоких энергий, космофизики и медицины : учебное пособие для вузов, Гляненко А.С., Логинов В.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
5. ЭИ Г55 Современная электронная элементная база в приборах и системах физики высоких энергий, космофизики и медицины : учебное пособие для вузов, Гляненко А.С., Логинов В.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
- ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**
1. 621.37 М47 Быстродействующая импульсная электроника : , Мелешко Е.А., Москва: Физматлит, 2007
  2. 621.3 В24 Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий Т.1 Физико-химические основы технологии микроэлектроники, , Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2010
  3. ЭИ П31 Лабораторный практикум "Проектирование цифровых устройств на программируемых логических интегральных схемах : (виртуальная микроэлектроника), Микульский С.Г., Сарксян К.А., Петропавловский В.П., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
  4. 621.38 Г94 Лабораторный практикум по курсам "Микроэлектронные радиотехнические устройства" и "Основы видеотехники" : , Квитка А.А., Гуменюк С.В., М.: МИФИ, 1998
  5. 621.39 М59 Микро- и наноэлектроника в системах радиолокации : , Гуляев Ю.В. [и др.], Москва: Радиотехника, 2013
  6. 620 Г61 Наномир без формул : , Головин Ю.И., Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2012
  7. 620 Н25 Нанотехнологии как ключевой фактор нового технологического уклада в экономике : монография, Елкин С.В. [и др.], Троицк: Тровант, 2009
  8. 621.38 Л72 Нанотехнология в электронике : введение в специальность: учебное пособие для вузов, Константинова Г.С., Лозовский С.В., Лозовский В.Н., Санкт-Петербург [ и др.]: Лань, 2008
  9. 621.38 Щ94 Наноэлектроника : учебное пособие для вузов, Щука А.А., Москва: Бином, Лаборатория знаний, 2012
  10. 001 Н35 Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010 Т.2 Нанофизика и нанотехнологии. Фундаментальные проблемы науки, , Москва: , 2010
  11. 620 Н34 Научные основы нанотехнологий и новые приборы : учебник-монография, , Долгопрудный: Интеллект, 2011
  12. 621.38 А47 Основы микросхемотехники : , Алексенко А.Г., Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2017

13. 621.38 Н62 Основы микроэлектроники : лабораторный практикум, Никифорова М.Ю., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

14. 621.38 З-47 Физические основы кремниевой наноэлектроники : учебное пособие, Зебрев Г.И., Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2017

#### 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**

Общие указания:

При изучении курса следует:

- регулярно посещать лекции;
- регулярно посещать лабораторные занятия и своевременно отчитываться по проделанным работам;
- своевременно выполнить и сдать домашнее задание.

Специальные указания.

1. Главное, что следует уяснить – это статистический характер распределения во времени и по амплитудам поступающих с детектора электрических сигналов и возникающие, в связи с этим, неизбежные искажения импульсов и просчеты.

2. Следует учесть особенности применения линий передачи сигналов и электрорадиоэлементов в электронных устройствах наносекундного диапазона, отражение сигналов, виды линий передачи, их импульсные свойства и передаточные характеристики, необходимость согласования линий, зависимость задержки и волнового сопротивления от конструкции линий, а также влияния паразитных параметров электрорадиоэлементов на форму и амплитуду обрабатываемых импульсов.

3. При изучении формирования точной временной отметки и выбора параметров схем совпадений и антисовпадений необходимо четко уяснить себе, что ключевым параметром в этом случае является временное разрешение детектора. Именно временное разрешение определяет используемый метод формирования временной отметки, а также требования к временному разрешению схем совпадений и антисовпадений.

4. При изучении разделов амплитудного анализа коротких импульсов и временного анализа коротких интервалов следует обратить особое внимание, что различные методы применяются в зависимости от требуемого быстродействия и точности измерения, требуемых значений интегральной и дифференциальной нелинейности.

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

Преподаватель должен сконцентрировать свои усилия на обеспечении самостоятельной работы студентов.

Предполагается следующая структура лекционно-практических занятий: чтение блока теоретического материала с последующей проработкой в ходе самостоятельной работы.

Опыт, накопленный в ходе преподавания данной дисциплины, показывает, что необходимо мотивировать студента на самостоятельную работу. Постановка нетривиальной задачи является наилучшим стимулом.

Хорошо зарекомендовали себя такие формы работы как диалог со студентом, групповая дискуссия. Активным студентам предлагается сделать небольшие сообщения по каким-либо частным аспектам изученных материалов.

Автор(ы):

Кирсанов Михаил Алексеевич

Рецензент(ы):

Яшин И.И., проф.каф.7