

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Саровский физико-технический институт -**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(СарФТИ НИЯУ МИФИ)**

«УТВЕРЖДАЮ»

Декан физико-технического  
факультета СарФТИ НИЯУ МИФИ

\_\_\_\_\_ А.К.Чернышев

« ... » \_\_\_\_\_ 2021г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Ядерная электроника**

(наименование дисциплины)

Направление подготовки (специальность) 03.04.01 Прикладные математика и физика

Профиль подготовки Физика фундаментальных взаимодействий

Квалификация (степень) выпускника магистр

Форма обучения очная

Автор

Я.В. Бодряшкин

Рецензент

к.ф-м.н. А.В.Курякин

**Согласовано:**

Зав. кафедрой ЯРФ \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Руководитель ОПП \_\_\_\_\_ Н.В. Завьялов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и ОС НИЯУ МИФИ (актуализирован Ученым советом университета, Протокол №21/11 от 27.07.2021 г)

Программа одобрена

на заседании кафедры Ядерной и радиационной физики  
от 31.08.21 (протокол №2).

г. Саров, 2021 г.

Рабочая программа по дисциплине «Ядерная электроника» предназначена для магистров направления 03.04.01 Прикладные математика и физика специализация Физика фундаментальных взаимодействий. Программа рассматривает вопросы теоретического и практического изучения информационных свойств детекторов ионизирующих излучений (ДИИ) в процессе регистрации и/или измерения основных параметров ионизирующих излучений (ИИ) различного типа.

Теоретические основы изучаемого материала позволяют количественно описать электрические сигналы, снимаемые в цепи ДИИ при детектировании ИИ в различных режимах работы детекторов. Обработка сигналов электронными средствами рассматривается как непрерывный процесс преобразования информации, направленный на получение физических характеристик потока излучения путем анализа амплитудных и временных распределений сигналов в решаемой задаче.

Изучение дисциплины во всех представленных теоретических положениях и примерах готовит студентов к профессиональному решению вопросов выбора детекторных устройств и необходимых электронных модулей или специальных измерительных приборов при контроле ИИ.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дать студентам широкое представление и достаточно углубленные знания о методах исследований и измерений, применяющихся физиками -экспериментаторами, работающими в области ядерной физики и физики элементарных частиц. Основная задача - освоение студентами общих методов измерений и обработки экспериментальных результатов, используемых при проведении исследований излучений радиоактивных источников и частиц высокой энергии.

## 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Преподавание курса базируется на знании дисциплин, читаемых студентам физико-технических специальностей: Общая физика, Физика атомного ядра, Физика твердого тела, Электроника.

Знания и практические навыки, полученные по завершению освоения программы учебной дисциплины используются при решении задач инженерных дисциплин, а также при разработке курсовых работ, проектов и выпускной квалификационной (магистерской) работы.

Дисциплина читается на 1 курсе магистратуры (1 и 2 семестры).

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- **ПК-3** - способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области в соответствии с целями программы специализированной подготовки магистра;
- **ПК-13.1** – способен к обеспечению безопасности при проведении работ на ядерно-физических и электрофизических установках, с делящимися материалами, радиоактивными веществами и радиоактивными отходами
- **ПК-13.2** - способен к проведению испытаний согласно техническим требованиям, анализу характеристик испытываемого изделия, а также к подготовке аналитической документации испытаний

**В результате освоения дисциплины студент должен:**

### **ЗНАТЬ :**

3-ПК-3 Знать основные методы исследований, принципы работы приборов и установок в избранной предметной области

3-ПК-13.1 федеральные нормы и правила, отраслевые нормативные документы по ядерной и радиационной безопасности, электробезопасности и охране труда при эксплуатации исследовательских ядерных и электрофизических установок – источников излучения, высоковольтного и измерительного оборудования; технические характеристики установок и оборудования; технологические регламенты безопасной эксплуатации установок и оборудования

3-ПК-13.2 Метрологию, стандартизацию и сертификацию в атомной отрасли, методы и средства автоматизации выполнения испытаний; порядок разработки и оформления технологической, методической документации для подготовки и проведения испытаний, отчетной документации по результатам выполненных исследований

### **В том числе:**

- основные процессы преобразования энергии ионизирующих излучений в число свободных носителей заряда в веществе детектора,

- режимы работы ДИИ и обеспечение их по параметрам электропитания,
- физические условия, методы и электронные устройства согласования ДИИ с трактом обработки сигналов,
- процессы формирования электрических сигналов, снимаемых с ДИИ для амплитудных и временных измерений (интегрирование зарядов и оптимальная фильтрация шума),
- статистические закономерности в процессах детектирования излучений с преобразованием информации в электрический сигнал,
- принципы построения аналого-цифровых преобразователей для измерения амплитудных и временных измерений,
- методы и устройства накопления спектрометрической кодовой информации с интегрированием и предварительным отбором,
- количественные характеристики искажения измерительной информации в статистических потоках при регистрации ИИ,
- методы и устройства отбора событий (сигналов) по параметрам энергии, свойствам корреляции продуктов излучения во времени и пространстве физической установки,
- методы мгновенных и задержанных совпадений для отбора событий в многоканальных измерительных устройствах,
- количественный учет случайных совпадений при выборе корреляции событий в пространстве лабораторной установки и анализе временных интервалов,

### **УМЕТЬ:**

У-ПК-3 Уметь выбирать необходимые технические средства для проведения экспериментальных исследований в избранной предметной области, обрабатывать полученные экспериментальные результаты

У-ПК-13.1 анализировать научно-техническую информацию по теме исследований, в том числе для организации контроля за техническим состоянием установок и оборудования; средств измерений, контроля, управления и автоматики, обеспечивающих безопасную эксплуатацию установок и стендов

У-ПК-13.2 Оценивать научно-технический уровень достигнутых результатов

### **В том числе:**

- сделать выбор детекторных средств и типовых узлов обработки сигналов для регистрации потоков ионизирующих излучений различного типа,
- выполнить измерение основных параметров типовых электронных блоков ядерной электроники с использованием стандартного измерительного оборудования,
- сделать количественные и качественные оценки погрешности измерения ИИ в известных рабочих условиях,
- выполнять измерения и осуществлять настройку электронных модулей для регистрации излучений,
- выбрать и объединить в измерительную систему блоки ядерной электроники.

### **ВЛАДЕТЬ:**

В-ПК-3 Владеть навыками работы с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области

В-ПК-13.1 навыками разработки планов перспективных исследований по инновационным ядерным технологиям и мероприятий по обеспечению ядерной безопасности планируемых работ

В-ПК-13.2 навыками анализа и обобщения результатов выполненных научно-технических исследований и разработок, включая разработку методик выполнения измерений, испытаний и контроля работоспособности основных подсистем и узлов испытательного оборудования и применяемых средств измерений; а также анализ результатов, полученных в результате испытаний изделий (объектов испытания)

### **В том числе:**

- методами измерения потоков ионизирующего излучения пропорциональными и непропорциональными детекторами,
- способами тестирования параметров электронной аппаратуры для ядерных измерений,
- приемами измерения и обработки спектров - распределений от эталонных и исследуемых источников ИИ,
- техниками градуировки измерительных трактов с ДИИ с использованием образцовых источников ионизирующих излучений,
- последовательностью подготовки комплекса специализированной аппаратуры для экспериментальных измерений с источниками ИИ,
- методами контроля работоспособности электронной аппаратуры в процессе выполнения измерений с источниками ионизирующих излучений,
- способами оценки потерь информации при измерениях статистических импульсных сигналов путем счета на заданных временных интервалах.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина читается на первом курсе магистратуры в первом и втором семестрах. Общая трудоемкость: 216 а.ч. , из них 64 а.ч. – аудиторная нагрузка (32 часа – лекции, 32 часа – практические занятия, из них 24 часа проводится в интерактивной форме (ИФ)), 116 а.ч. – СРС.

##### 4.1. Структура дисциплины и распределение баллов при промежуточной аттестации.

*1 семестр : 16 часов – лекции, 16 часов – практики, из них 8 часов в интерактивной форме, 76 часов самостоятельной работы, промежуточный контроль знаний - зачет.*

Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость			Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Максимальный балл за раздел
		Лекции (час.)	Практ. занятия/ семинары, в т.ч. в активн. форме (час.)	Самост. работа (час.)			
1. Информационное содержание электрических сигналов детекторов ионизирующих излучений (ДИИ).	1-4	4	4(2), Д	15	1-4 УО (4 балла), 4 – Д (4 балла)	Зачет (17 неделя)	8
2. Согласование ДИИ с электронными трактами обработки сигналов.	5-9	4	4(2), МК	15	8,9 – МК (16 баллов)	Зачет (17 неделя)	16
3. Типовые электронные узлы амплитудного анализа сигналов	10-13	4	4(2), Д	15	12 – Д (6 баллов)	Зачет (17 неделя)	6

4. Методы и аппаратура измерения интервалов времени при детектировании ионизирующих излучений	14-16	4	4(2), МК	15	15,16 – МК (15 баллов)	Зачет (17 неделя)	15
<b>Работа в семестре:</b>							50
Посещаемость	1-16						5
Устный опрос	1-4						4
Участие в дискуссии	4, 12						10
Работа в мастер – классах (2 МК)	8, 9, 15, 16						31
<b>Зачет</b>	17			16			50
<b>Итоги за семестр</b>	17	16	16	76			100

*2 семестр: 16 часов – лекции, 16 часов – практики, из них 16 часов в интерактивной форме, 40 часов самостоятельной работы промежуточный контроль знаний - экзамен.*

Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость			Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Максимальный балл за раздел
		Лекции (час.)	Практ. занятия/семинары, в т.ч. в активн. форме (ИАФ) (час.)	Самост. работа (час.)			
5. Аналого-цифровое преобразование в приборах с ДИИ	1-4	4	4(4), Д	8	1 - 2 УО, (3балла) 4 - Д (7 баллов)	экзамен	10
6 Типовые структурные схемы измерительных приборов и систем с ДИИ	5-12	6	8(8),МК	8	11,12 – МК (20 баллов)	экзамен	20
7. Характерные погрешности измерения	13-17	6	4(4),МК	8	17 - МК (15 баллов)	экзамен	15

ний в устрой- ствах с ДИИ							
<b>Работа в се- метре :</b>							50
Посещаемость	1- 17						5
Устный опрос	1-3						3
Дискуссия	4						7
Работа в мастер – классах (2 МК)	11- 12 16, 17						35
<b>Экзамен</b>				16			50
Итоги за семестр	17	16	16	40			100

Формы контроля: УО – устный опрос, Д – дискуссия, МК – мастер – класс.

#### **4.2. План лекционных занятий**

##### **Тема 1. Информационное содержание электрических сигналов детекторов ионизирующих излучений (ДИИ).**

**Лекция 1.** Введение в дисциплину. Содержание, задачи и организация изучения дисциплины. Литература.

Свойства детекторов ионизирующих излучений (ДИИ) в качестве генераторных датчиков. ДИИ с непропорциональным и пропорциональным преобразованием энергии излучения в электрический сигнал. Разрешающая способность ДИИ, выполняющего функции первичного преобразователя физической величины в электрический сигнал

**Лекция 2.** Статистические особенности электрических сигналов ДИИ по уровням заряда и во времени его собирания. Разрешающая способность ДИИ, выполняющего функции первичного преобразователя физической величины в электрический сигнал

##### **Тема 2. Согласование ДИИ с электронными трактами обработки сигналов.**

**Лекция 3.** Задачи, способы и методы согласования ДИИ с аппаратурой тракта обработки сигналов. Формирование и измерение счетных последовательностей сигналов, соответствующих актам регистрации частиц и квантов ионизирующего излучения детектором.

**Лекция 4.** Контроль и моделирование потерь счета. Интегрирование тока и зарядов, снимаемых с ДИИ. Построение аппаратуры с малым уровнем шумов.

##### **Тема 3. Типовые электронные узлы амплитудного анализа сигналов.**

**Лекция 5.** Преобразование заряда в напряжение, типы зарядочувствительных электронных каскадов. Особенности построения фильтрующих спектрометрических усилителей.

**Лекция 6.** Амплитудный анализ импульсных сигналов и задачи стабилизации базового уровня отсчета напряжений в импульсном потоке. Пороговые амплитудные дискриминаторы, их основные параметры и применение.

#### **Тема 4. Методы и аппаратура измерения интервалов времени при детектировании ионизирующих излучений.**

**Лекция 7.** Фиксация момента текущего времени детектирования излучения в измерительном канале с ДИИ. Структура электронных средств измерения временных интервалов. Методы и устройства определения момента времени события, основные закономерности и погрешности. Выделение пространственных и временных корреляций фрагментов излучения в трактах обработки сигналов.

**Лекция 8.** Методы мгновенных и задержанных совпадений и антисовпадений в практике измерительного эксперимента. Схемы совпадений, случайные совпадения и их учет. Преобразователи наносекундных интервалов времени в амплитуду импульсов и конверторы временных интервалов.

#### **Тема 5. Аналого-цифровое преобразование в приборах с ДИИ.**

**Лекция 9.** Спектрометрические амплитудно-цифровые (АЦП) и время-цифровые преобразователи (ПВЦ), основные параметры преобразователей и способы их измерения.

**Лекция 10.** Методы амплитудно-цифрового преобразования с улучшенной дифференциальной нелинейностью. ПВЦ с интерполяторами, нониусные преобразователи.

#### **Тема 6. Типовые структурные схемы измерительных приборов и систем с ДИИ.**

**Лекция 11.** Структурные схемы измерительных приборов с ДИИ, работающих в режиме простого и корреляционного счета событий. Устройства и системы с амплитудным анализом.

**Лекция 12.** Структурные схемы комплексов для амплитудно-временных измерений и отбора событий в режимах совпадений и антисовпадений.

**Лекция 13.** Аппаратные комплексы измерений продуктов ядерных превращений с отбором событий. Методы и аппаратура интегральных токовых измерений с ДИИ. Электронные счеты.

#### **Тема 7. Характерные погрешности измерений в устройствах с ДИИ.**

**Лекция 14.** Разрешающая способность измерительных трактов с ДИИ по энергии и времени, погрешности шкалы измерительных преобразователей по масштабу, нелинейности функции преобразования, интегральные и дифференциальные.

**Лекция 15.** Стабилизация коэффициента передачи уровня сигналов в измерительном тракте обработки.

**Лекция 16.** Амплитудные наложения импульсов, их учет и режекция.

### **4.3 Программа практических занятий**

<b>Раздел темы</b>	<b>№ недели</b>	<b>План занятия</b>	<b>Кол- во часов</b>
------------------------	---------------------	---------------------	------------------------------



1 семестр			
1	3,4	Расчет схемы с газоразрядным детектором.	4
2	8,9	Линейные схемы пропускания импульсов.	4
3	12,13	Расчёт дифференциального амплитудного дискриминатора.	4
4	15,16	Время - амплитудный преобразователь	2
2 семестр			
5	4	Схема спектрометрического АЦП	4
6	8-12	Схема питания, расчёт и особенности применения сцинтилляционного детектора	8
7	16,17	Контроль и моделирование потерь счета с детекторов.	4

#### 4.4 Виды и формы самостоятельной работы

- самостоятельный поиск литературы по разделам и темам курса;
- изучение литературы и подготовка к практическому занятию, проводимому в интерактивной форме;
- выполнение индивидуальных заданий;
- подготовка к зачёту;
- подготовка к экзамену.

Календарно-тематический план самостоятельной работы студентов

Номер недели	Номер темы	Задание для СРС	Форма занятий для контроля	Кол-во часов
1 семестр				
3	1	Подготовка к дискуссии	Д	15
8	2	Подготовка к мастер-классу	МК	15
12	3	Подготовка к дискуссии	Д	15
16	4	Подготовка к мастер-классу	МК	15
17	1-4	Подготовка к зачету	Зачет	16
ИТОГО:				76
2 семестр				
Номер недели	Номер темы	Задание для СРС	Форма занятий для контроля	Кол-во часов
3,4	5	Подготовка к дискуссии	Д	8
11,12	6	Подготовка к мастер-классу	МК	8
16,17	7	Подготовка к мастер-классу	МК	8
17	1-7	Подготовка к экзамену	Экзамен	16
ИТОГО:				40

#### 4.5 Интерактивные формы, используемые в реализации дисциплины

Задачами интерактивных форм обучения являются:

- пробуждение у обучающихся интереса;
- эффективное усвоение учебного материала;
- самостоятельный поиск учащимися путей и вариантов решения поставленной учебной задачи (выбор одного из предложенных вариантов или нахождение собственного варианта и обоснование решения);
  - установление взаимодействия между студентами, обучение работать в команде, проявлять терпимость к любой точке зрения, уважать право каждого на свободу слова, уважать его достоинства;
- формирование жизненных и профессиональных навыков;

- выход на уровень осознанной компетентности студента.

№ недели	Раздел дисциплины (тема)	Интерактивная форма	Кол-во часов	Макс. кол-во баллов	Методы и средства контроля
<b>1 семестр</b>					
4	Моделирование потерь счёта с газоразрядным детектором	Дискуссия	2	4	Оценка активности участия студента .
8,9	Линейные схемы пропускания импульсов.	Мастер- класс	2	16	Оценка активности участия студента .
13	Расчёт дифференциального амплитудного дискриминатора	Дискуссия	2	6	Оценка активности участия студента .
15,16	Методы и аппаратура измерения интервалов времени	Мастер- класс	2	15	Оценка активности участия студента.
<b>2 семестр</b>					
4	Применение спектрометрического АЦП	Дискуссия	4	7	Оценка активности участия студента
11,12	Особенности применения сцинтилляционного детектора	Мастер- класс	8	20	Оценка активности участия студента.
17	Моделирование потерь счёта с детекторов	Мастер- класс	4	15	Оценка активности участия студента.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении дисциплины используются следующие сочетания видов учебной работы с методами и формами активизации познавательной деятельности магистров для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций.

Методы и формы активизации деятельности	Виды учебной деятельности		
	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
IT – методы	+	+	+
Опережающая СР			+
Индивидуальное обучение			+
Проблемное обучение		+	+

Для достижения поставленных целей преподавания дисциплины реализуются следующие средства, способы и организационные мероприятия:

- изучение теоретического материала дисциплины на лекциях, выполнение практических занятий студентами;

- самостоятельное изучение теоретического материала дисциплины с использованием Internet-ресурсов, информационных баз, методических разработок, специальной учебной и научной литературы;

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

При изучении дисциплины предусматриваются следующие виды контроля:

- текущий;
- итоговый (промежуточный).

Оценочными средствами текущего контроля успеваемости студентов является участие в дискуссиях и мастер-классах, позволяющие оценивать качество усвоения знаний дисциплины на практических занятиях.

Итоговый контроль проводится в каждом семестре дисциплины (зачет и экзамен).

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

### **7.1. Основная литература:**

1. Григорьев, В.А. Газоразрядные детекторы элементарных частиц: учебное пособие для вузов [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2012. — 112 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/75929> .
2. Мелешко, Е.А. Быстродействующая импульсная электроника [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2007. — 320 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2263> .

### **7.2. Дополнительная литература:**

1. Электронные методы ядерно-физического эксперимента. Учебное пособие для ВУЗов / В.А.Григорьев, А.А.Колюбин, В.А.Логинов; под редакцией В.А.Григорьева.- М.: Энергоатомиздат, 1988. – 336 с.
4. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
5. Горн Л.С., Хазанов Б.И. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
6. Основы цифровой обработки сигналов. Курс лекций / Авторы: А.И.Солонина, Д.А.Улахович, С.М.Арбузов, Е.Б.Соловьёва, И.И.Гук. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 608 с.
7. Шмидт Х. Измерительная электроника в ядерной физике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 190 с.
8. Брегадзе Ю.И. и др. Прикладная метрология ионизирующих излучений/ Ю.И. Брегадзе, Э.К. Степанов, В.П. Ярына; Под ред. Ю.И. Брегадзе. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 264 с.
9. Измерение активности радионуклидов: Справочное пособие/ Под ред. д-ра техн. наук проф. Ю.В. Тарбеева. – Л.: ВНИИМ, 1997. – 397 с.
10. Современные датчики. Справочник/ Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

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

Дисплейный класс, компьютеры для проведения практических занятий и контроля индивидуальных заданий, проектор для реализации презентаций на лекциях.

## **Лист регистрации изменений**

