

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**  
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

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
1	5	180	32	32	0		80	0	Э
Итого	5	180	32	32	0	0	80	0	

## **АННОТАЦИЯ**

Курс является неотъемлемой частью подготовки студента.

Изучаются различные типы детекторов излучений, взаимодействие излучений с веществом детектора, методы формирования сигнала, его аналоговая обработка и преобразование в цифровой код.

Изучаются характеристики спектрометрических усилителей, амплитудно-цифровые и время-цифровые преобразователи, методы дискриминации частиц по различным параметрам импульса детектора.

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

Целями освоения учебной дисциплины являются углубленное изучение принципов работы и применения современных детекторов излучения в экологии и охране окружающей среды, а также электронных методов съема и обработки информации, поступающей с детекторов излучения.

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

Данная учебная дисциплина входит в образовательный модуль комплекса курсов.

Логически и содержательно-методически дисциплина является частью заключительной специализации, являющейся неотъемлемой частью знаний бакалавра в области медицинской физики, экспериментальной ядерной физики, физики ионизирующих излучений и элементарных частиц.

«Входными» знаниями являются знания общей физики, ядерной физики, теоретической физики, электротехники и электроники. Для освоения данной дисциплины необходимо предшествующее освоение разделов общей физики: механики, молекулярной физики, электричества и магнетизма, атомной физики; освоение разделов ядерной физики, классической и квантовой механики и электродинамики, основ электротехники и

### **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;</b>	<b>Код и наименование индикатора</b>
---------------------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------------------------	--------------------------------------

		<b>Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>достижения профессиональной компетенции</b>
<b>научно-исследовательский</b>			
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 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	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>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</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-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;</p> <p>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;</p> <p>В-ПК-3.1[1] - Владеть методами разработки новых и модернизации существующих детекторов и установок для научно-инновационных исследований в области физики ядра, физики элементарных</p>

			частиц и астрофизики.
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 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	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-4 [1] - Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	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 теоретических исследования для решения научных и производственных задач
организационно-управленческий			
2 Организация работы коллектива исполнителей, принятие	2 Участие в организации, подготовке и	ПК-3.2 [1] - Способен формулировать исходные данные, а	З-ПК-3.2[1] - Знать основные методы постановки задач и

<p>исполнительских решений в условиях спектра мнений, определение порядка выполнения работ; поиск оптимальных решений с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды; подготовка заявок на патенты, изобретения и промышленные образцы и оценка стоимости объектов интеллектуальной деятельности; составление рефератов, написание и оформление научных статей; участие в организации семинаров, конференций; участие в организации инфраструктуры предприятий, в том числе информационной и технологической</p>	<p>проведении различных экспериментов по физике ядра и частиц (включая создание и использование детекторов элементарных частиц и излучений), в измерениях и обработке экспериментальных данных, в дискуссиях по анализу теоретических гипотез и интерпретаций экспериментов в области физики высоких энергий (в том числе - на современных коллайдерах частиц), а также во многих смежных научных направлениях</p>	<p>также вырабатывать и обосновывать организационные решения в области проектирования ядерно-физических установок и проведения исследований в области физики ядра, физики элементарных частиц, астрофизики, решать поставленные задачи с выбором необходимых физико-технических средств</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>организации работ в области проектирования ядерно-физических установок, методы проведения исследований в области физики ядра, физики элементарных частиц;</p> <p>У-ПК-3.2[1] - Уметь решать поставленные задачи в области физики ядра, физики элементарных частиц, астрофизики с выбором необходимых физико-технических средств;</p> <p>В-ПК-3.2[1] - Владеть методами проведения выбора и обоснования организационных решений в области проектирования ядерно-физических установок, методами проведения исследований в области физики ядра, физики элементарных частиц</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### проектный

<p>4 Формирование целей проекта (программы) решения задач, критериев и показателей достижения целей, построение структуры их взаимосвязей, выявление приоритетов решения задач с учетом всех аспектов деятельности; разработка обобщенных вариантов решения</p>	<p>4 Математические модели для теоретических, экспериментальных и прикладных проектов по исследованию явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, газообразного и конденсированного состояния вещества, распространения и</p>	<p>ПК-5 [1] - Способен проводить расчет и проектирование физических установок и приборов с использованием современных информационных технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-5[1] - Знать основные физические законы и стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок ;</p> <p>У-ПК-5[1] - Уметь применять стандартные прикладные пакеты</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

проблемы, анализ этих вариантов, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений в условиях многокритериальности, неопределенности, планирование реализации проекта; использование информационных технологий при разработке новых установок, материалов и изделий; разработка проектов технических условий, стандартов и технических описаний новых установок, материалов и изделий	взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, включая экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности гражданских объектов		используемые при моделировании физических процессов и установок; В-ПК-5[1] - Владеть стандартными прикладными пакетами используемыми при моделировании физических процессов и установок
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### инновационный

6 Разработка планов и программ организации инновационной деятельности на предприятии, координация работы персонала для комплексного решения инновационных проблем; оценка инновационного потенциала новой продукции для высокотехнологичных отраслей экономики; участие в создании перспективных научноемких технологий	6 Системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, новые технологии применения приборов и установок для проведения научных ядерно-физических исследований	ПК-13 [1] - Способен проектировать, создавать и внедрять новые продукты и системы и применять теоретические знания в реальной инженерной практике  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-13[1] - Знать математические методы и компьютерные технологии, необходимые для проектирования и разработки программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов. ; У-ПК-13[1] - Уметь разрабатывать и тестировать программное обеспечение для инженерного анализа инновационных продуктов.; В-ПК-13[1] - владеть навыками разработки и тестирования программного обеспечения для
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

			инженерного анализа инновационных продуктов.
--	--	--	----------------------------------------------

#### 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>I Семестр</i>							
1	Детекторы излучений	1-8	16/16/0		25	КИ-8	3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, 3-ПК-3.2, У-ПК-3.2, В-ПК-3.2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
2	Электронные методы ЯФЭ	9-16	16/16/0		25	КИ-16	3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13
<i>Итого за I Семестр</i>			32/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, 3-ПК-3.2, У-ПК-3.2, В-ПК-3.2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13

\* – 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:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

## **КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**

<b>Недели</b>	<b>Темы занятий / Содержание</b>	<b>Лек., час.</b>	<b>Пр./сем., час.</b>	<b>Лаб., час.</b>
	<i>1 Семестр</i>	32	32	0
<b>1-8</b>	<b>Детекторы излучений</b>	16	16	0
1 - 2	<b>Вводная лекция</b> Основы методики проведения ЯФЭ	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	4 0	0
3 - 8	<b>Основные типы детекторов ядерных излучений</b> Изучение принципов работы счетчика Гейгера, ионизационной камеры, полупроводникового детектора, сцинтилляционного детектора	Всего аудиторных часов 12 Онлайн 0	12 0	0
<b>9-16</b>	<b>Электронные методы ЯФЭ</b>	16	16	0
9 - 10	<b>Вводная лекция</b> Основы электронных методов обеспечения ЯФЭ	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0
10 - 15	<b>Основные узлы спектрометрического тракта</b> Изучение принципов работы предварительного усилителя, формирователей с постоянным и переменным порогами, АЦП, ВАП и др.элементов	Всего аудиторных часов 12 Онлайн 0	12 0	0
16	<b>Итоговое занятие</b> Проведение подготовки к тестированию по вопросам программы	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
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

<b>Недели</b>	<b>Темы занятий / Содержание</b>
	<i>1 Семестр</i>
1	<b>Вводное занятие</b> Введение в методику ядерно-физического эксперимента.
2	<b>Занятие 1. Полупроводниковый детектор (ППД)</b> Основы понятия ППД. Характеристики детектора.
3	<b>Занятие 2. Сцинтиляционный детектор (СД)</b> Основы понятия СД. Характеристики детектора.
4	<b>Занятие 3. Газонаполненный пропорциональный детектор (ГПД) нейтронов</b> Основы понятия ГПД. Характеристики детектора при регистрации нейтронов.
5	<b>Занятие 4. Импульсная ионизационная камера (ИИК)</b> Основы понятия ИИК. Характеристики детектора.
6	<b>Занятие 5. Счетчик Гейгера-Мюллера (СГМ)</b> Основы понятия СГМ. Характеристики детектора.
7	<b>Занятие 6. Методы работы с детекторами излучений</b> Основы методических указаний по работе с детекторами излучений
8	<b>Занятие 7. Подготовительное</b> Подготовка к промежуточной аттестации
9	<b>Вводное занятие</b> Введение в электронные методы ядерной физики
10	<b>Занятие 1. Работа ионизационных детекторов</b> Образование заряда на электродах. Импульсы напряжения на выходе ионизационных детекторов.
11	<b>Занятие 2. Сигналы на выходах детекторов излучений</b> Способы снятия сигнала с детекторов излучений. Понятие спектрометрического тракта
12	<b>Занятие 3. Спектрометрический усилитель (СУ) сигналов с детекторов</b> СУ как основа спектрометрического тракта. Характеристики
13	<b>Занятие 4. Преобразователи сигналов. Часть 1</b> Амплитудно-цифровой преобразователь сигнала. Цифро-аналоговый преобразователь сигнала
14	<b>Занятие 5. Преобразователи сигналов. Часть 2</b> Время-амплитудный преобразователь. Особенности и основные характеристики
15	<b>Занятие 6. Основы методики отбора событий.</b> Метод совпадений. Метод антисовпадений. Комбинированные методы отбора.
16	<b>Занятие 7. Итоговое.</b> Подготовка к итоговой аттестации

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе освоения курса, кроме лекционных занятий, используются семинарские занятия:

- с разбором типичных ситуаций, встречающихся при постановке и подготовке ядерно-физического эксперимента;
- с разбором методики проведения ядерно-физического эксперимента;

- с разбором методики решения типичных задач по обработке экспериментальных данных

Также используется самостоятельная работа студентов:

- решение задач по обработке экспериментальных данных;
- решение задач по постановке эксперимента в конкретных условиях его выполнения;
- решения методических задач по проведению эксперимента.

## **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:

<b>Компетенция</b>	<b>Индикаторы освоения</b>	<b>Аттестационное мероприятие (КП 1)</b>
ПК-13	З-ПК-13	Э, КИ-16
	У-ПК-13	Э, КИ-16
	В-ПК-13	Э, КИ-16
ПК-3.1	З-ПК-3.1	Э, КИ-8
	У-ПК-3.1	Э, КИ-8
	В-ПК-3.1	Э, КИ-8
ПК-3.2	З-ПК-3.2	Э, КИ-8
	У-ПК-3.2	Э, КИ-8
	В-ПК-3.2	Э, КИ-8
ПК-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16
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:

<b>Сумма баллов</b>	<b>Оценка по 4-х балльной шкале</b>	<b>Отметка о зачете</b>	<b>Оценка ECTS</b>
90-100	5 – «отлично»		A
85-89			B
75-84	4 – «хорошо»	«Зачтено»	C
70-74			D

65-69	3 – «удовлетворительно»		
60-64			E
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. ЭИ B29 Basic Concepts in Nuclear Physics: Theory, Experiments and Applications : 2015 La Rabida International Scientific Meeting on Nuclear Physics, , Cham: Springer International Publishing, 2016
2. 539.1 К96 Методы регистрации излучений (итоговое занятие) : лабораторный практикум, Кушин В.В., Покачалов С.Г., Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
3. ЭИ К96 Методы регистрации излучений (итоговое занятие) : лабораторный практикум, Кушин В.В., Покачалов С.Г., Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
4. ЭИ С23 Сборник лабораторных работ по ядерной физике Ч.3 Элементарные частицы: свойства и взаимодействия, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
5. 539.1 С23 Сборник лабораторных работ по ядерной физике Ч.3 Элементарные частицы: свойства и взаимодействия, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

## **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 33 Х20 Динамика развития ядерной энергетики. Экономико-аналитические модели : , Харитонов В.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
2. 620 Г96 Наноматериалы. Наноструктуры. Нанотехнологии : , Гусев А.И., Москва: Физматлит, 2009
3. 001 Н35 Научная сессия МИФИ-2012 Т.1 Инновационные ядерные технологии. Высокие технологии в медицине, , Москва: , 2012
4. 001 Н35 Научная сессия НИЯУ МИФИ-2010 Т.1 Ядерная физика и энергетика, , Москва: МИФИ, 2010
5. 001 Н35 Научная сессия НИЯУ МИФИ-2013 Т.1 Инновационные ядерные технологии. Высокие технологии в медицине, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
6. 621.039 Ф50 Физико-технические основы современной ядерной энергетики. Перспективы и экологические аспекты : учебное пособие, Шмелев А.Н. [и др.], Долгопрудный: Интеллект, 2014
7. 539.1 А39 Фотонные методы регистрации излучений : , Акимов Ю.К., Дубна: ОИЯИ, 2014
8. 539.1 Г83 Черенковские детекторы : учебное пособие, Григорьев В.А., Москва: МИФИ, 2007

## **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 практические занятия, готовиться к ним, своевременно отчитываться по проделанным работам;

При изучении данного курса важной частью является раздел «Физические основы методов регистрации излучений». Следует глубоко изучить при проработке лекций процессы ионизационных потерь заряженных частиц и связанных с этим процессом пробегов частиц,

радиационных потерь, процессов взаимодействия гамма-квантов с веществом, процессы взаимодействия нейтронов с веществом.

При изучении конкретных детекторов следует выделять следующие моменты:

- физические процессы, определяющие механизм регистрации заряженной или нейтральной частицы в детекторе;
- иметь ясное представление о формировании импульсов тока, индуцированного заряда в ионизационных детекторах, оптимальных параметрах эквивалентной цепи;
- принцип действия рассматриваемых в курсе конкретных детекторов, их схемы включения;
- физические характеристики детекторов;
- сравнительные спектрометрические характеристики газовых, полупроводниковых, сцинтилляционных детекторов.

При изучении электронных методов регистрации принять во внимание, что значительная часть ошибок при проведении экспериментов бывает связана с неправильным выбором электронных узлов. Необходимо научиться рисовать блок-схемы устройств, которые вы применяете, и временные диаграммы, поясняющие их работу.

При рассмотрении темы «Спектрометрия ионизирующих излучений» обратить внимание на статистический характер распределения во времени поступающих с детектора электрических сигналов и возникающие в связи с этим просчеты и наложение импульсов. Особое внимание обратить на основные источники шумов усилителя и методы оптимизации отношения сигнала к шуму, а также на другие источники ухудшения энергетического разрешения спектрометрического тракта.

При изучении разделов «Методы амплитудного анализа» и «Методы временного анализа» следует обратить особое внимание, что различные методы применяются в зависимости от требуемого быстродействия и требуемых значений интегральной и дифференциальной нелинейности.

При рассмотрении темы «Съем временной информации с детекторов излучений» 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 в временному разрешению схем совпадений и антисовпадений.

При рассмотрении темы «Методы и аппаратура для съема координатной информации» обратить внимание, что в настоящее время для получения координатной информации в основном применяются геодезические системы, координатное разрешение в которых определяется размером единичного детектора, которое может быть как 10 мкм, так и 10 м. С помощью электронных методов координатное разрешение можно улучшить в сцинтилляционных детекторах и газовых пропорциональных камерах. В настоящее время появляются новые детекторы, например дрейфовые полупроводниковые камеры.

## 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При рассмотрении темы «Физические основы методов регистрации излучений» следует выделить следующие моменты:

- физические параметры излучения,
- многообразие методических приемов, детекторов излучения, объединенных общей схемой ядерно-физического эксперимента,
- основные разделы курса и связь с другими дисциплинами.

Так как в сигнале на выходе детектора содержится информация об излучении и о процессах в детекторе, обосновать необходимость понимания характера взаимодействия ионизирующего излучения с веществом детектора (ионизационных и радиационных потерь заряженной частицы, взаимодействия гамма-квантов и нейтронов).

При рассмотрении темы «Общие характеристики детекторов излучений» ввести определения основных гостированных характеристик детекторов.

При рассмотрении темы «Формирование импульсов тока в детекторах с электрическим съемом информации» обратить особое внимание на связь между дрейфующими зарядами и формированием импульсов тока, индуцированного заряда во внешней цепи детектора.

При рассмотрении темы «Ионизационный метод регистрации» на примере импульсной ионизационной особое внимание уделить выбору оптимальной эквивалентной цепи ионизационного детектора, характеристикам детекторов, их схемам включения, областям применения.

При рассмотрении темы «Сцинтилляционный метод регистрации» особое внимание уделить пониманию связи амплитуды сигнала на выходе ФЭУ и энергии, потерянной в сцинтилляторе,

сравнительным характеристикам газовых, полупроводниковых и сцинтилляционных детекторов, форме их аппаратурных линий.

При рассмотрении темы «Спектрометрия ионизирующих излучений» особое внимание уделить пониманию природы дробового шума, шумов зарядо-чувствительного предусилителя и методов снижения их влияния на получаемые результаты. При рассмотрении АЦП особое внимание уделить объяснению природы дифференциальной нелинейности в АЦП и правильному выбору типа АЦП с учетом требований эксперимента.

При рассмотрении темы «Съем временной информации с детекторов излучений». Особое внимание уделить объяснению, что такое временное разрешение в детекторах различного типа, и отсюда – требования к временным формирователям. Выделить формирователь со следящим порогом и время-амплитудный преобразователь как основные узлы, применяемые для временных измерений.

При рассмотрении темы «Физические основы совпадений» особое внимание уделить примерам применения и выбору основных параметров схем совпадения. Показать, что оптимальное разрешающее время связано с требуемой эффективностью регистрации событий. Обратить внимание на связь временного разрешения схемы совпадения и кривой задержанных совпадений.

При рассмотрении темы «Измерение числа и средней частоты следования событий» напомнить студентам, что такие триггеры R-S-типа и D-типа. Обязательно представить функциональную схему двоичного счетчика и временные диаграммы, поясняющие его работу.

При рассмотрении темы «Методы и аппаратура для съема координатной информации» обратить внимание, что в настоящее время для получения координатной информации в основном применяются геодезические системы, координатное разрешение в которых

определяется размером единичного детектора. С помощью электронных методов координатное разрешение можно улучшить в сцинтиляционных детектора большого размера.

Автор(ы):

Кирсанов Михаил Алексеевич

Салахутдинов Гаяр Харисович, д.ф.-м.н., профессор

Рецензент(ы):

Курепин А.Б., д.ф.-м.н, в.н.с. ГНЦ КИ