

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 (СПЕЦГЛАВЫ)

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	4	144	30	30	0		48	0	Э
Итого	4	144	30	30	0	0	48	0	

АННОТАЦИЯ

Курс является неотъемлемой частью подготовки специалиста.

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 экспериментальной физике, а также прикладных областях - 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 по выбору для студентов, ранее не проходивших курс , аналогичный курсу экспериментальных методов ядерной физики (ЭМЯФ).

Место учебной дисциплины: логически и содержательно–методически дисциплина является частью заключительной специализации, являющейся неотъемлемой частью знаний в областях медицинской физики, экспериментальной ядерной физики, физики ионизирующих излучений и элементарных частиц.

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

Поэтому, для освоения данной дисциплины необходимо также предшествующее освоение разделов общей физики: механики, молекулярной физики, электричества и магнетизма, атомной физики,

а также освоение разделов ядерной физики, классической и квантовой механики и электродинамики, теоретических основ электротехники и электроники.

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
организационно-управленческий			
2 Организация работы коллектива исполнителей, принятие 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	2 Участие в организации, подготовке и 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	ПК-3.2 [1] - Способен формулировать исходные данные, а также вырабатывать и обосновывать организационные решения в области проектирования ядерно-физических установок и проведения исследований в области физики ядра, физики элементарных частиц Основание: Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-3.2[1] - Знать основные методы постановки задач и организации работ в области проектирования ядерно-физических установок, методы проведения исследований в области физики ядра, физики элементарных частиц; У-ПК-3.2[1] - Уметь решать поставленные задачи в области физики ядра, физики элементарных частиц, астрофизики с выбором необходимых физико-технических средств; 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
научно-исследовательский			
1 Разработка методов	1 Современный	ПК-4 [1] - Способен	З-ПК-4[1] - Знать:

<p>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</p>	<p>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>самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>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 исследований для решения научных и производственных задач</p>
--	---	--	--

проектный

<p>4 Формирование целей проекта (программы) решения задач, критериев и показателей достижения целей, построение структуры</p>	<p>4 Математические модели для теоретических, экспериментальных и прикладных проектов по</p>	<p>ПК-5 [1] - Способен проводить расчет и проектирование физических установок и приборов с использованием</p>	<p>З-ПК-5[1] - Знать основные физические законы и стандартные прикладные пакеты используемые при</p>
---	--	---	--

<p>их взаимосвязей, выявление приоритетов решения задач с учетом всех аспектов деятельности; разработка обобщенных вариантов решения 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</p>	<p>исследованию явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, газообразного и конденсированного состояния вещества, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, включая экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности гражданских объектов</p>	<p>современных информационных технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>моделировании физических процессов и установок ; У-ПК-5[1] - Уметь применять стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок; В-ПК-5[1] - Владеть стандартными прикладными пакетами используемыми при моделировании физических процессов и установок</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/ 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	Детекторы излучений	1-8	16/16/0		25	КИ-8	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
2	Электронные методы	9-15	14/14/0		25	КИ-15	3-ПК-4,

	ЯФЭ					У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		30/30/0		50	
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр			50	Э	З-ПК-5, У-ПК-3.2, В-ПК-3.2, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 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>2 Семестр</i>	30	30	0
1-8	Детекторы излучений	16	16	0
1 - 2	Вводная лекция Основы методики проведения ядерно-физического эксперимента (ЯФЭ)	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	4 0	0
3 - 8	Основные типы детекторов ЯИ Изучение принципов работы счетчика Гейгера, ионизационной камеры, полупроводникового детектора, сцинтилляционного детектора	Всего аудиторных часов 12 Онлайн 0	12 0	0
9-15	Электронные методы ЯФЭ	14	14	0
9 - 10	Вводная лекция Основы электронных методов обеспечения ЯФЭ	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0
10 - 15	Основные узлы спектрометрического тракта Изучение принципов работы предварительного усилителя, формирователей с постоянным и переменным порогами, АЦП, ВАП и др.элементов	Всего аудиторных часов 10 Онлайн 0	10 0	0
15	Итоговое занятие Подготовка к тестированию по вопросам программы	Всего аудиторных часов 2	2	0

		Онлайн
	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

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

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
1 - 2	Вводное занятие Основы методики проведения ядерно-физического эксперимента (ЯФЭ)
3 - 8	Детекторы ядерных излучений Изучение принципов работы счетчика Гейгера, ионизационной камеры, полупроводникового детектора, сцинтилляционного детектора
9 - 10	Вводное занятие Введение в основы электронных методов обеспечения ЯФЭ
10 - 15	Основные узлы спектрометрического тракта Изучение принципов работы предварительного усилителя, формирователей с постоянным и переменным порогами, АЦП, ВЦП, ВАП и других элементов спектрометрического тракта детектора излучений
15	Итоговое занятие Подготовка к тестированию (раздача вопросов)

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе освоения курса, кроме лекций, используются следующие технологии проведения семинарских занятий:

- с разбором типичных ситуаций, встречающихся при постановке современного физического эксперимента и решением типичных научных задач;
- с разбором методики подготовки и проведения ядерно-физического эксперимента (с демонстрацией методики на макетах детекторов в лаборатории);
- с разбором решения типичных задач по логике отбора событий в детекторах излучений, построению эффективных конструкций детекторов.

Также используется самостоятельная работа студентов при их подготовке к аттестациям, в том числе - с учетом

подготовки и участия в дискуссиях на семинарах (как поощрение - с кратким выступлением по тематике семинара).

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-3.2	З-ПК-3.2	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-15
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-5	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»		A
85-89			B
75-84	4 – «хорошо»	«Зачтено»	C
70-74			D
65-69			E
60-64	3 – «удовлетворительно»		
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 В29 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;

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.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

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

-физические параметры излучения, многообразие методических приемов, детекторов излучения, объединенных общей схемой ядерно-физического эксперимента, основные разделы курса и их 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 «Общие характеристики детекторов излучений» ввести определения основных гостированных характеристик детекторов.

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

При рассмотрении «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 сцинтилляционных детекторах большого размера.

Автор(ы):

Логинов Виталий Александрович, доцент

Кирсанов Михаил Алексеевич

Рецензент(ы):

Курепин А.Б., д.ф.-м.н, в.н.с. ГНЦ КИ