

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
ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТЕКТОРОВ С КРЕМНИЕВЫМИ ФОТОУМНОЖИТЕЛЯМИ

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.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
2	4	144	15	30	0		63	0	Э
Итого	4	144	15	30	0	0	63	0	

АННОТАЦИЯ

Курс является неотъемлемой составной частью подготовки современного физика – экспериментатора, способного работать не только в области ядерной физики, но и в смежных областях науки и техники: в физике высоких энергий, медицинской физике, экологии и охране окружающей среды. В курсе изучаются различные типы позиционных детекторов и детекторов для регистрации изображений на основе кремниевых фотоумножителей, их основные физические параметры. Применение различных типов детекторов проиллюстрировано примерами современных отечественных и зарубежных разработок.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются углубленное изучение физических принципов работы современных позиционно – чувствительных детекторов, особенностей получения и обработки позиционной информации, областей использования современных детекторов в научных и технических задачах.

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 важной частью знаний физика-экспериментатора в области экспериментальной ядерной физики и физики частиц.

«Входными» знаниями являются знания общей физики, взаимодействия излучений с веществом, экспериментальных методов ядерной физики, электронных методов ядерной физики.

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 электроники.

Для изучения дисциплины также необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения дисциплин ОП подготовки бакалавра по направлению «Ядерная физика и технология»:

- введение в ядерную физику ; экспериментальные методы ядерной физики, и др.

Данная дисциплина является базой для выполнения курсового и дипломного проектирования, УИР, а также при практической работе выпускников по специальности.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование	Код и наименование индикатора достижения
--------------------	--

компетенции	компетенции		
Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:			
Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
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, колайдерах, 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	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 <i>Основание:</i> 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 установок для научно-

<p>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>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, 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;</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 теоретических исследования для</p>

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			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	8/16/0		25	КИ-8	3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
2	Часть 2	9-15	7/14/0		25	КИ-15	3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
<i>Итого за 2 Семестр</i>							
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, 3-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.
	2 Семестр	15	30	0
1-8	Часть 1	8	16	0
1	Введение, предмет курса, связь его с другими учебными дисциплинами. Примеры физических экспериментов, в которых используются ПЧД (позиционно-чувствительные детекторы). Основные требования к ПЧД. Классификация методов измерения координатной информации по различным параметрам.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	2 0	0
2	Методы выделения позиционной информации. Современные способы декодирования. Позиционная чувствительность и нелинейность. Оценка точности декодирования и ее вклад в позиционное разрешение.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	2 0	0
3	Газовые ионизационные ПЧД. Устройства, принцип действия и основные характеристики газовых ПЧД. ПЧД на основе счетчиков Гейгера и пропорциональных счетчиков. Пропорциональная камера. Особенности работы и характеристики. Использование в физике высоких энергий.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	2 0	0
4	Дрейфовые ПЧД. Основные требования к конструкции детекторов и выбору газовой смеси. Характеристики детекторов. Примеры использования в современных экспериментах.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	2 0	0
5	Полупроводниковые ПЧД. Детекторы дискретного и непрерывного типов. Организация работы двухкоординатных детекторов. Устройство, принцип действия и основные характеристики. Параметров современных детекторов.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	2 0	0
6	Сцинтилляционные ПЧД. Дискретные детекторы с гаммоскопическими ФЭУ. Аналоговые сцинтилляционные ПЧД. Устройство, принцип действия и основные характеристики гамма-камеры.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	2 0	0
7	Детекторы для регистрации изображений источников рентгеновского излучения. Классические детекторы и их характеристики на примере	Всего аудиторных часов 1 Онлайн	2 0	0

	фотоэмulsionционного метода. Методика съема информации.	0	0	0
8	Современные детекторы изображений. Детекторы на основе микроканальных пластин (МКП). Конструкция, принцип действия, основные характеристики. Шевронная сборка МКП. Чувствительность детекторов к различным видам ионизирующих излучений. Примеры использования в физических экспериментах. Современные системы формирования изображений с субнаносекундным временным разрешением. Современные детекторы изображений на основе полупроводниковых структур. Принцип действия детекторов на основе ПЗС-матриц. Характеристики. Примеры использования в физических задачах.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Часть 2	7	14	0
9 - 12	Рентгенолюминисцентные экраны. Физические принципы, заложенные в технологию изготовления детекторов. Методы считывания информации. Чувствительность, размер пикселя, пространственное разрешение.	Всего аудиторных часов		
		4	8	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 15	Элементы теории изображений. Основные понятия: функция рассеяния, контраст, коэффициент яркости. Понятие модельного источника излучения. Частично-контрастная характеристика, ее основные свойства. ЧКХ для простейших случаев. Связь с пространственным разрешением. Геометрические и статистические параметры систем формирования изображения. Применение ПЧД в различных задачах.	Всего аудиторных часов		
		3	6	0
		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 ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
1 - 3	Вводное занятие Ознакомление с оборудованием Лаборатории экспериментальной ядерной физики
3 - 4	Газовые ПЧД Знакомство с работой газовых позиционно-чувствительных детекторов (пропорциональная камера)

4 - 5	Дрейфовые ПЧД Знакомство с работой дрейфовых детекторов. Изучение особенностей (структура, состав газовой смеси)
5 - 6	Полупроводниковый ПЧД Изучение особенностей твердотельного полупроводникового детектора и методики измерения координат траекторий частиц в ПЧД детекторах
6 - 7	Сцинтиляционный ПЧД Устройство, принцип действия и основные характеристики гамма-камеры.
7 - 8	Современные детекторы изображений на основе МКП Детекторы на основе микроканальных пластин (МКП).
8 - 9	Семестровый контроль Заслушивание презентаций
9 - 14	Современные детекторы изображений Принцип действия детекторов на основе ПЗС-матриц. Характеристики. Примеры использования в физических задачах. Практическое ознакомление с работой детекторов на установках лаборатории (подгруппы 2-3 чел)
14 - 15	Подготовка к семестровому контролю Подготовка отчетов по практическим занятиям
15	Семестровый контроль Заслушивание отчетов

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе освоения курса помимо лекций используются:

- внеаудиторная самостоятельная работа студентов, предусматривающая ознакомление студентов с научной периодикой по лекционным темам.
- обсуждение практических заданий, полученных студентами в процессе прохождения практики, с поиском возможных способов их решения.
- практическая демонстрация отдельных детекторов в рамках лекционных тем с обсуждением их устройства и характеристик.

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. 539.1 Г83 Газоразрядные детекторы элементарных частиц : учебное пособие для вузов, Григорьев В.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

2. ЭИ Г83 Газоразрядные детекторы элементарных частиц : учебное пособие для вузов, Григорьев В.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

3. ЭИ К96 Методы регистрации излучений (итоговое занятие) : лабораторный практикум, Кушин В.В., Покачалов С.Г., Москва: НИЯУ МИФИ, 2015

4. 539.1 К96 Методы регистрации излучений (итоговое занятие) : лабораторный практикум, Кушин В.В., Покачалов С.Г., Москва: НИЯУ МИФИ, 2015

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.1 К96 Детекторы излучений на основе микроканальных пластин : Учеб. пособие, Кушин В.В., Соловьев И.О., М.: МИФИ, 1993

2. 539.1 Г95 Полупроводниковые детекторы ядерных излучений : , Лапушкин С.В., Гуров Ю.Б., Исаков С.В., 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 и практические занятия.
- Проявлять активность при изучении курса.
- Использовать полученные ранее знания по смежным курсам.
- Принимать участие в обсуждении сформулированных лектором вопросов

Указания по изучению разделов курса:

Введение - вспомнить характеристики детекторов, изученных ранее в предыдущих курсах (например ЭМЯФ).

Общие характеристики ПЧД. Обратить внимание на физические принципы, заложенные в способы получения позиционной информации.

Газовые ионизационные ПЧД. Вспомнить принцип действия и характеристики классических газовых ионизационных детекторов.

Дрейфовые ПЧД. Самостоятельно дать определение скорости дрейфа электронов и ионов и проанализировать зависимость скорости дрейфа от различных параметров..

Полупроводниковые ПЧД. Обратить внимание на конструктивные особенности детекторов.

Сцинтилляционные ПЧД. Обратить внимание на оценку эффективной скорости распространения света в сцинтилляционных детекторах.

Детекторы для регистрации изображений. Основное внимание уделить физической постановке задачи и подчеркнуть ее отличие от классических задач ядерной физики.

Детекторы на основе МКП - обратить внимание на сходство некоторых параметров МКП и обычных ФЭУ.

Современные детекторы изображений на основе полупроводниковых структур. Необходимо добиться полной ясности в том, как осуществляется перенос заряда в ПЗС – линейках и ПЗС – матрицах.

Рентгенолюминесцентные экраны- максимальное внимание уделить физическим принципам, заложенным в конструкцию детектора.

Элементы теории изображений. Научиться рассчитывать простейшие ЧКХ детектирующих систем по их функции рассеяния.

Применение ПЧД в различных задачах- целесообразно вспомнить классификацию различных типов ПЧД.

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):

Попова Елена Викторовна

Александров Иван Сергеевич

Рецензент(ы):

Канцеров В.А., к.ф.-м.н., доц. каф.40