

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
СОВРЕМЕННЫЕ ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

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 |
|---------|---------------------|-------------------------|--------------|------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------|------------------------------------|
| 3 | 3 | 108 | 32 | 32 | 0 | 44 | 0 | 30 | |
| Итого | 3 | 108 | 32 | 32 | 0 | 44 | 0 | | |

АННОТАЦИЯ

Курс является неотъемлемой составной частью подготовка 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, 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 ООП:

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

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

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 |
|---|---|--|---|
| научно-исследовательский | | | |
| <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; разработка методов повышения безопасности ядерных и лазерных установок,</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-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;; 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-инновационных</p> |

| | | | |
|---|---|--|--|
| <p>материалов и технологий; разработка теоретических моделей прохождения излучения через вещество, воздействия ионизирующего, лазерного и электромагнитного излучений на человека и объекты окружающей среды</p> | | | <p>исследований в области физики ядра, физики элементарных частиц и астрофизики.</p> |
| <p>1 Разработка методов регистрации ионизирующих и электромагнитных излучений; создание теоретических моделей состояния вещества, взаимодействия лазерного и ионизирующего излучения с веществом; создание математических моделей, описывающих процессы в ядерных реакторах, ускорителях, коллиайдерах, масс-спектрометрах; создание методов расчета разделения изотопных и молекулярных смесей; создание современных электронных устройств сбора и обработки информации, учета воздействия на эти устройства ионизирующего и электромагнитного излучений; разработка методов</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>3-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</p> |

| | | | |
|--|--|---|---|
| <p>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>производственных задач</p> |
| инновационный | | | |
| <p>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</p> | <p>6 Системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, новые технологии применения приборов и установок для проведения научных ядерно-физических исследований</p> | <p>ПК-13 [1] - Способен проектировать, создавать и внедрять новые продукты и системы и применять теоретические знания в реальной инженерной практике</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p> | <p>З-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.</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>3 Семестр</i> | | | | | | |
| 1 | Часть 1 | 1-8 | 16/16/0 | | 25 | КИ-8 | 3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13 |
| 2 | Часть 2 | 9-16 | 16/16/0 | | 25 | КИ-16 | 3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13 |
| | <i>Итого за 3 Семестр</i> | | 32/32/0 | | 50 | | |
| | Контрольные мероприятия за 3 Семестр | | | | 50 | ЗО | 3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 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:

| Обозначение | Полное наименование |
|-------------|---------------------|
| ЗО | Зачет с оценкой |
| КИ | Контроль по итогам |
| 3 | Зачет |

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Недели | Темы занятий / Содержание | Лек., час. | Пр./сем., час. | Лаб., час. |
|------------|--|--|----------------|------------|
| | <i>3 Семестр</i> | 32 | 32 | 0 |
| 1-8 | Часть 1 | 16 | 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 2 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 2 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 2 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 2 Онлайн 0 | 2 0 | 0 |
| 5 | Полупроводниковые ПЧД. Детекторы дискретного и непрерывного типов. Организация работы двухкоординатных детекторов. Устройство, принцип действия и основные характеристики. Параметры современных детекторов. | Всего аудиторных часов 2 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 2 Онлайн 0 | 2 0 | 0 |
| 7 | Детекторы для регистрации изображений источников рентгеновского излучения. Классические детекторы и их характеристики на примере фотоэмulsionционного метода. Методика съема информации. | Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0 | 2 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 2 Онлайн 0 | 2 0 | 0 |

| | | | | |
|-------------|--|------------------------|----|---|
| 9-16 | Часть 2 | 16 | 16 | 0 |
| 9 | Рентгенолюминисцентные экраны. Физические принципы, заложенные в технологию изготовления детекторов. Методы считывания информации. Чувствительность, размер пикселя, пространственное разрешение. | Всего аудиторных часов | | |
| | | 2 | 2 | 0 |
| | | Онлайн | | |
| | | 0 | 0 | 0 |
| 10 - 16 | 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 | | |
| | | 14 | 14 | 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>3 Семестр</i> |
| 1 - 2 | Вводное занятие Разбор примеров физических экспериментов, в которых используются ПЧД. Методы выделения позиционной информации. Выдача тем докладов |
| 2 - 8 | Применение позиционно-чувствительных детекторов Классификация СПЧД. Разбор примеров применения детекторов в промышленности и науке (по графику лекционных тем) |
| 8 - 9 | Семестровый контроль Промежуточная аттестация (заслушивание докладов) |
| 9 - 10 | Применение позиционно-чувствительных детекторов Рентгенолюминисцентные экраны. |
| 10 - 16 | Элементы теории изображений. Разбор лекционных тем. |
| 16 | Семестровый контроль Промежуточная аттестация (заслушивание докладов) |

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 характеристики.

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-13 | З-ПК-13 | ЗО, КИ-8, КИ-16 |
| | У-ПК-13 | ЗО, КИ-8, КИ-16 |
| | В-ПК-13 | ЗО, КИ-8, КИ-16 |
| ПК-3.1 | З-ПК-3.1 | ЗО, КИ-8, КИ-16 |
| | У-ПК-3.1 | ЗО, КИ-8, КИ-16 |
| | В-ПК-3.1 | ЗО, КИ-8, КИ-16 |
| ПК-4 | З-ПК-4 | ЗО, КИ-8, КИ-16 |
| | У-ПК-4 | ЗО, КИ-8, КИ-16 |
| | В-ПК-4 | ЗО, КИ-8, 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:

| 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. ЭИ Н99 Image Feature Detectors and Descriptors : Foundations and Applications, , Cham: Springer International Publishing, 2016
2. ЭИ Г83 Газоразрядные детекторы элементарных частиц : учебное пособие для вузов, Григорьев В.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
3. 539.1 Г83 Газоразрядные детекторы элементарных частиц : учебное пособие для вузов, Григорьев В.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
4. ЭИ К96 Методы регистрации излучений (итоговое занятие) : лабораторный практикум, Кушин В.В., Покачалов С.Г., Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
5. 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 (в том числе НИР).
- Принимать участие в обсуждении сформулированных лектором вопросов

Указания по изучению курса:

По теме Введение - вспомнить характеристики детекторов изученных ранее в предыдущих курсах.

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

По теме Газовые ионизационные ПЧД - вспомнить принцип действия и характеристики классических газовых ионизационных детекторов.

По теме Дрейфовые ПЧД - самостоятельно дать определение скорости дрейфа электронов и ионов и проанализировать зависимость скорости дрейфа от различных параметров..

По теме Полупроводниковые ПЧД - обратить внимание на конструктивные особенности детекторов.

По теме Сцинтилляционные ПЧД - обратить внимание на оценку эффективной скорости распространения света в сцинтилляционных детекторах.

По теме Детекторы для регистрации изображений - основное внимание уделить физической постановке задачи и подчеркнуть ее отличие от классических задач ядерной физики.

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

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

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

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

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

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Общие указания:

1. В начале Вводного занятия разъяснить методику оценивания, т.е. меры поощрения и порицания, которые могут быть применены в ходе изучения курса, а также план практических и самостоятельных занятий.
2. Предупредить о порядке промежуточной и итоговой проверки знаний и о порядке проведения аттестационных мероприятий (зачета).
3. Объяснить порядок выполнения практических работ, связанных с выполнением НИР.
4. Упомянуть о сайте с материалами по данному курсу, как ресурсу для самоподготовки и связи с преподавателем.
5. Упомянуть о необходимости выполнения большого объема внеаудиторной самостоятельной работы.

Автор(ы):

Кушин Владимир Васильевич, к.ф.-м.н., доцент

Рецензент(ы):

Дмитренко В.В., профессор каф.7