

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР НЕВОД

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/0821-573.1

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**ДЕТЕКТОРЫ ИЗЛУЧЕНИЙ В ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ:
ПРОДВИНУТЫЙ УРОВЕНЬ**

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	5	180	30	15	0	135	0	3
Итого	5	180	30	15	0	135	0	

АННОТАЦИЯ

Учебная дисциплина «Детекторы излучений в ядерно-физических экспериментах: продвинутый уровень» состоит из лекций и практических занятий. В задачи данного курса входят расширение уже имеющихся у студента знаний по регистрации элементарных частиц и развитие у студентов практических навыков работы с лабораторной базой современного эксперимента. Курс предназначен для студентов магистратуры, обучающихся по направлениям высшего профессионального образования «Ядерные физика и технологии».

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса – углубленное изучение механизмов регистрации элементарных частиц и принципов работы детекторов излучений и их элементов, необходимых для решения экспериментальных задач по проведению современных длительных экспериментов в области физики частиц и астрофизики, а также развития навыков работы с элементами детекторов разных классов.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данный курс является частью специализации, являющейся неотъемлемой частью знаний физика, как специалиста в области физики частиц.

Для успешного освоения положений данной дисциплины студент должен:

- знать: релятивистские формулы; основные законы теории вероятности; основы электротехники и электроники; основы механики, оптики, молекулярной теории газов и электромагнетизма.

- уметь: читать чертежи, схемы и другую техническую документацию; пользоваться измерительной аппаратурой; проводить прикидочные оценки и расчеты; искать информацию в научной литературе.

- владеть: методами построения простейших моделей физических систем; методами решения расчета характеристик физических систем; приемами работы с основным монтажным инструментом (отверткой, пассатижами, бокорезами и паяльником).

Данная дисциплина является основой для усвоения других дисциплин Профессионального цикла: Экспериментальные методы ускорительной и неускорительной физики высоких энергий, физика мюонов космических лучей и мюонная диагностика, Моделирование установок и экспериментов в области космических лучей, неускорительная физика высоких энергий, Практикума по методам анализа данных экспериментальных комплексов и др.

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
экспертный			
<p>анализ технических и расчетно-теоретических разработок, учет их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии и безопасности и другим нормативным актам; оценка соответствия предлагаемого решения достигнутому мировому уровню; рецензирование проектов, заявок, технических заданий, отчетов</p>	<p>исследования, разработка и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, космических лучей, физики высоких энергий, астрофизики, распространения и взаимодействия излучения с веществом</p>	<p>ПК-11 [1] - Способен к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-11[1] - Знать законодательные и нормативные акты регулирующие деятельность в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности ; У-ПК-11[1] - Уметь проводить анализ технических и расчетно-теоретических разработок с учетом их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам; В-ПК-11[1] - владеть методами анализа технических и расчетно-теоретических разработок, и учета их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и</p>

			ядерной безопасности и другим нормативным актам
анализ технических и расчетно-теоретических разработок, учет их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии и безопасности и другим нормативным актам; оценка соответствия предлагаемого решения достигнутому мировому уровню; рецензирование проектов, заявок, технических заданий, отчетов	исследования, разработка и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, космических лучей, физики высоких энергий, астрофизики, распространения и взаимодействия излучения с веществом	ПК-12 [1] - Способен объективно оценить предлагаемое решение или проект по отношению к современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-12[1] - Знать основные критерии оценки предлагаемого решения или проекта по отношению к современному мировому уровню ; У-ПК-12[1] - Уметь оценивать предлагаемые решения на соответствие современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение; В-ПК-12[1] - Владеть навыками подготовки экспертных заключений по предлагаемым проектам
научно- исследовательский			
проведение научных исследований поставленных проблем; формулировка новых задач, возникающих в ходе научных исследований; работа с научной литературой с использованием новых информационных технологий, слежение за научной периодикой; разработка методов и приборов для регистрации ионизирующих и электромагнитных излучений; выбор	элементарные частицы, космические лучи, ускорительные эксперименты, астрофизика, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики высоких энергий, космических лучей, ускорительных экспериментов, астрофизики	ПК-16.2 [1] - Способен эксплуатировать детекторы и установки в области физики высоких энергий и астрофизики, проводить их испытания, ремонт и оптимизацию характеристик. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-16.2[1] - Знать физические принципы и основные методы регистрации элементарных частиц, основные элементы детектирующих систем, принципы работы детекторов и установок в области физики высоких энергий и астрофизики.; У-ПК-16.2[1] - Уметь планировать и организовывать современный физический эксперимент, проводить

<p>технических средств, подготовка оборудования, работа на экспериментальных физических установках; выбор необходимых методов исследования; анализ получаемой физической информации с использованием современной вычислительной техники</p>			<p>проектирование и оптимизацию детекторов и установок в области физики высоких энергий и астрофизики.; В-ПК-16.2[1] - Владеть методами разработки новых и модернизации существующих детекторов и установок для научно-инновационных исследований в области физики высоких энергий и астрофизики.</p>
<p>проведение научных исследований поставленных проблем; формулировка новых задач, возникающих в ходе научных исследований; работа с научной литературой с использованием новых информационных технологий, слежение за научной периодикой; разработка методов и приборов для регистрации ионизирующих и электромагнитных излучений; выбор технических средств, подготовка оборудования, работа на экспериментальных физических установках; выбор необходимых методов исследования; анализ</p>	<p>элементарные частицы, космические лучи, ускорительные эксперименты, астрофизика, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики высоких энергий, космических лучей, ускорительных экспериментов, астрофизики</p>	<p>ПК-3 [1] - Способен оценивать перспективы развития атомной отрасли, использовать ее современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательской деятельности</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008</p>	<p>3-ПК-3[1] - Знать достижения научно-технического прогресса ; У-ПК-3[1] - Уметь применять полученные знания к решению практических задач.; В-ПК-3[1] - владеть методами моделирования физических процессов.</p>

получаемой физической информации с использованием современной вычислительной техники			
--	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (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	Основные элементы детекторов.	1-8		Кл-8 (25)	25	КИ-8	3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Основные типы детекторов.	9-15		Кл-15 (25)	25	КИ-15	3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11, 3-ПК-12, У-ПК-12, В-ПК-12, 3-ПК-16.2,

							У-ПК-16.2, В-ПК-16.2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		30/15/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	30	3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11, 3-ПК-12, У-ПК-12, В-ПК-12, 3-ПК-16.2, У-ПК-16.2, В-ПК-16.2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3

* – 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

Кл	Коллоквиум
КИ	Контроль по итогам
3	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел и	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем. , час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	30	15	0
1-8	Основные элементы детекторов.	16	8	
1	Элементарные частицы и измерение их характеристик. Масса, заряд, спин, скорость, импульс, энергия и трек частицы. Основные подходы при планировании физического эксперимента.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
2	Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. Ионизационные и радиационные потери заряженных частиц. Взаимодействие гамма-квантов с веществом. Каскадные ливни.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
3	Спектрометрические тракты и оцифровка сигналов. Динамический диапазон прибора. Дискриминаторы. Фронт-энд электроника. АЦП. ЗЦП. ВЦП.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
4	Фотоэлектронные умножители. Вакуумные и кремниевые ФЭУ. Устройство и принцип работы ФЭУ. Виды диодных систем ФЭУ. Плюсы и минусы ФЭУ. Кремниевые ФЭУ.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
5	Методы тестирования и настройки ФЭУ. Методы измерения коэффициента усиления, линейности, джиттера и шумов. Пред- и после импульсы.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
6	Сцинтилляторы. Неорганические и органические сцинтилляторы. Световыход. Время высвечивания. Гигроскопичность.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
7	Газонаполненные детекторы. Газовая смесь, напряжение питания и рабочая точка. Ионизационная камера. Газовое усиление. Пропорциональный счетчик. Счетчик Гейгера-Мюллера.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
8	Черенковские детекторы. Виды черенковских детекторов. RICH-детекторы.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
9-15	Основные типы детекторов.	14	7	
9	Трековые детекторы. Угловая и пространственная точность. Сцинтилляционные и газонаполненные трековые детекторы. Стримерные трубки. Дрейфовые камеры.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
10	Калориметры.	Всего аудиторных часов		

	Электромагнитные и адронные калориметры. Гомогенные и гетерогенные калориметры. Энергетическое разрешение.	2	1	
		Онлайн		
11	Детекторы нейтронов. Газонаполненные и сцинтилляционные детекторы тепловых нейтронов. Неэкранированные детекторы нейтронов. Нейтронные мониторы.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
12	Мюонные телескопы и годоскопы Задачи мюонной диагностики. Расчет светосилы мюонного телескопа. Мюонные годоскопы УРАГАН и СцМГ.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
13	Нейтронные телескопы. Гигатонные черенковские телескопы. DUMAND. AMANDA. IceCube. IceCube-Gen2. ANTARES. KM3NeT. NT-200. Baikal-GVD.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
14	Установки для регистрации широких атмосферных ливней. Особенности развертывания детекторов на большой площади. Привязка по времени.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
15	Атмосферные черенковские телескопы. Экспериментальный комплекс НЕВОД. Особенности регистрации черенковского излучения в атмосфере. IACT. Черенковский водный калориметр. Координатно-трековый детектор ДЕКОР. Система калибровочных телескопов. Ливневые установки НЕВОД-ШАЛ, УРАН и ПРИЗМА-32.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		

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

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Занятия по дисциплине проходят в интерактивной форме: проведение практических занятий, общие дискуссии, самостоятельная работа студентов, контрольные вопросы для проверки степени усвоения материала, защита выполненных практических работ.

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-11	З-ПК-11	ЗО, КИ-8, КИ-15, Кл-8, Кл-15
	У-ПК-11	ЗО, КИ-8, КИ-15, Кл-8, Кл-15
	В-ПК-11	ЗО, КИ-8, КИ-15, Кл-8, Кл-15
ПК-12	З-ПК-12	ЗО, КИ-15, Кл-15
	У-ПК-12	ЗО, КИ-15, Кл-15
	В-ПК-12	ЗО, КИ-15, Кл-15
ПК-16.2	З-ПК-16.2	ЗО, КИ-15, Кл-15
	У-ПК-16.2	ЗО, КИ-15, Кл-15
	В-ПК-16.2	ЗО, КИ-15, Кл-15
ПК-3	З-ПК-3	ЗО, КИ-8, КИ-15, Кл-8, Кл-15
	У-ПК-3	ЗО, КИ-8, КИ-15, Кл-8, Кл-15
	В-ПК-3	ЗО, КИ-8, КИ-15, Кл-8, Кл-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-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения
60-64			

			логической последовательности в изложении программного материала.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценочные средства приведены в Приложении.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Б 42 Атомная и ядерная физика: радиоактивность и ионизирующие излучения : Учебник для вузов, Москва: Юрайт, 2021
2. ЭИ К 93 Курс общей физики Т. 5 Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц, : , 2021
3. ЭИ К 93 Курс физики Т. 3 Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: Учебное пособие, : , 2018
4. ЭИ М 74 Статистические методы контроля качества и обработка экспериментальных данных : учебное пособие для вузов, Москва: Юрайт, 2021
5. ЭИ Э 41 Экспериментальная ядерная физика. В 3 томах Т. 2 Физика элементарных частиц, : , 2021

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ М 77 Вероятность и статистика : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2020
2. ЭИ С 65 Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2021

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. Сайт Научно-образовательного центра НЕВОД (<http://nevod.mephi.ru/>)

2. ScienceDirect is a leading full-text scientific database offering journal articles and book chapters (<http://www.sciencedirect.com/science/journals/>)
3. Nature Publishing Group (NPG) (<http://www.nature.com/>)
4. Springer. Providing researchers with access to millions of scientific documents from journals, books (<http://link.springer.com/>)
5. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. (<http://elibrary.ru/>)
6. Электронная библиотека НИЯУ МИФИ (www.library.mephi.ru)
<https://online.mephi.ru/>
<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Мультимедийный проектор (47-204)

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении основных элементов детекторов стоит обратить особое внимание на физические принципы регистрации частиц и излучения. В случае наличия «пробелов в знаниях» рекомендуется не откладывая изучить литературу по данному вопросу, либо просмотреть интернет-ресурсы, при этом лучше начать с наиболее простых. При выполнении практических заданий, в случае неопытности, следует обратить внимание на приемы владения инструментами преподавателя и однокурсников для последующего перенятия навыков.

При изучении основных типов детекторов следует обратить внимание на сложность и безопасность применения того или иного детектора, а также экономическую целесообразность. Развитие в себе критического подхода крайне важно для будущего экспериментатора и помогает в дальнейшем при участии в планировании и организации крупных физических экспериментов.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Цель курса – углубленное изучение процессов регистрации элементарных частиц и принципов работы детекторов излучений и их элементов, необходимых для решения экспериментальных задач по проведению современных длительных экспериментов в области физики частиц и астрофизики, а также получение навыков работы с элементами детекторов разных классов.

Поскольку курс подразумевает продвинутый уровень слушателей, преподавателю необходимо на первом занятии опросить студентов с целью выявления их текущего уровня. Дальнейший материал необходимо адаптировать под уровень конкретной группы. При этом студентам с уровнем ниже среднего уровня группы необходимо предложить дополнительные материалы; студентам с уровнем выше среднего уровня группы, для сохранения интереса к изучаемому предмету можно предложить усложненные задания.

Контроль работы студентов проводить в виде коллоквиумов.

Автор(ы):

Хохлов Семен Сергеевич