

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  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ НЕЙТРИННАЯ ФИЗИКА

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
4	2	72	0	20	0		52	0	3
Итого	2	72	0	20	0	0	52	0	

## АННОТАЦИЯ

В данном курсе рассматриваются основные эксперименты и методы современной физики элементарных частиц и нейтрино. Излагается постановка и проведение наиболее интересных и важных экспериментов, в частности, первая регистрация реакторных нейтрино, открытие мюонных нейтрино, открытие CP нарушения в системах каонов и B-мезонов, открытие и исследование осцилляций нейтрино, открытие бозона Хиггса и др.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются освоение методов создания современных экспериментальных установок по исследованию свойств нейтрино, в том числе - постановок физических задач, разработка идей постановки экспериментов, моделирования и проведения экспериментов, проведения анализа и получения физических результатов

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

Курс опирается на материал следующих дисциплин, читаемых студентам физико-математических специальностей: экспериментальные методы ядерной физики, физика элементарных частиц, слабые взаимодействия, нейтринная физика.

Для успешного освоения дисциплины необходимы также знания по курсам общей физики, ядерной физики, методам Монте-Карло моделирования, теории вероятности и статистического анализа данных, методам ядерной физики, физики элементарных частиц.

### 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			
1 Разработка методов регистрации ионизирующих и электромагнитных	1 Современный ядерно-физический эксперимент, современные	ПК-3.1 [1] - Способен работать с детекторами и физическими	З-ПК-3.1[1] - Знать методы регистрации ионизирующих и электромагнитных

<p>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>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>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>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 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; разработка методов повышения безопасности ядерных и лазерных установок, материалов и технологий; разработка теоретических моделей прохождения излучения через вещество, воздействия ионизирующего, лазерного и</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] - Способен оценивать перспективы развития атомной отрасли, использовать ее современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательской деятельности</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-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>
--	---	---	---

электромагнитного излучений на человека и объекты окружающей среды			
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	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

вещество, воздействия ионизирующего, лазерного и электромагнитного излучений на человека и объекты окружающей среды			
--	--	--	--

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Прак. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>4 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	0/16/0		25	КИ-8	3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
2	Второй раздел	9-12	0/4/0		25	КИ-12	3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
	<i>Итого за 4 Семестр</i>		0/20/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 4 Семестр</b>				50	3	3-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 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
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>4 Семестр</i>	0	20	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	0	16	0
1 - 2	<b>Вводное занятие</b> Основные понятия и задачи курса. Вводная лекция. Классификация элементарных частиц	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2 - 3	<b>Тема1</b> Изучение взаимодействия заряженных и нейтральных частиц с веществом. Рассмотрение принципов работы основных детекторов.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Тема2</b> Обоснование и расчеты черенковских детекторов и электромагнитных калориметров. Адронные калориметры с компенсацией. Нейтринные детекторы.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 5	<b>Тема3</b> Лептонные числа, спиральность нейтрино. Нарушение С и Р симметрий в слабых взаимодействиях. Рассмотрение чисто лептонных распадов	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	<b>Тема4</b> Спиральность массивных и безмассовых частиц. Расчеты вероятностей распадов пионов, мюонов и каонов.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
6 - 7	<b>Тема5</b> Статистический анализ экспериментальных данных. Основные распределения, метод наименьших квадратов, функция максимального правдоподобия, критерий Колмогорова-Смирнова. Доверительные интервалы, методы проверки гипотез.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Тема6</b> Взаимодействие нейтрино и антинейтрино с веществом.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8 - 9	<b>Тема7</b> Расчет нейтринных сечений в широком диапазоне энергий. Оценки различных нейтринных процессов в нейтринных детекторах.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

9-12	<b>Второй раздел</b>	0	4	0
9 - 10	<b>Тема8</b> Рассмотрение различных методов идентификации частиц. Удельные ионизационные потери, метод времени-пролета, черенковское излучение, форма адронных и электромагнитных ливней. Кинематика распадов пионов и каонов. Получение квазимоноэнергетичных «off-axis» нейтринных пучков.	Всего аудиторных часов		
		0	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10 - 11	<b>Тема9</b> Расчет энергетического спектра и интенсивности нейтринных пучков. Получение чистых пучков мюонных нейтрино. СР инвариантность. Система нейтральных каонов. Механизмы СР нарушения, через матрицу смешивания и прямое нарушение. Формирование унитарный треугольника в распадах каонов.	Всего аудиторных часов		
		0	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	<b>Тема10</b> Проблема распада нейтральных каонов на положительный и отрицательный мюон. Диаграммы Фейнмана в первом и втором порядке. Отсутствие нейтральных токов с изменением странности. ГИМ механизм, оценка массы с-кварка. Электрослабые взаимодействия, W и Z0 бозоны. Регистрация распадов бозонов. Ширина распада Z0 бозона и три типа нейтрино. Расчет вероятности распада на основе диаграмм Фейнмана. Заряженные и нейтральные токи.	Всего аудиторных часов		
		0	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Тема11</b> Взаимодействие нейтрино с нуклонами и ядрами. Сечения взаимодействия нейтрино в широком диапазоне энергий	Всего аудиторных часов		
		0	1	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

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При выполнении заданий студенты изучают и осваивают основные детекторы элементарных частиц и экспериментальные методы проведения экспериментов, статистические методы анализа экспериментальных данных с использованием сред Linux, MatLab, широко используются компьютерные технологии.



На лекционных занятиях представлены наиболее важные экспериментальные результаты и открытия в физике элементарных частиц, а также фундаментальные результаты, полученные в последнее время. Обязательным является самостоятельная (творческая) работа и работа с научной литературой.

При рассмотрении ряда вопросов и новейших результатов и методов могут использоваться презентации, что требует применения мультимедийного проектора и компьютера.

## 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	З-ПК-3	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-3	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-3	З, КИ-8, КИ-12
ПК-3.1	З-ПК-3.1	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-3.1	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-3.1	З, КИ-8, КИ-12
ПК-4	З-ПК-4	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-4	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-4	З, КИ-8, КИ-12

### 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	4 – «хорошо»		B
75-84			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. 52 Р82 Актуальные вопросы космологии : курс лекций, Рубаков В.А., Москва: Издательский дом МЭИ, 2015
2. 539.1 Д 24 Двойной бета- распад : учеб. пособие, Киселёв М.Д. [и др.], Москва: КДУ, 2016
3. ЭИ Г 82 Основные представления современной космологии : учебное пособие, Гриб А. А., Москва: Физматлит, 2008
4. ЭИ Б 26 Основы физики атомного ядра. Ядерные технологии. : учебное пособие, Барсуков О. А., Москва: Физматлит, 2011
5. 533 В 31 Релятивистская кинетическая теория с приложениями в астрофизике и космологии : , Аксенов А. Г., Верещагин Г. В., Москва: Наука, 2018
6. 539.1 Ч-65 Сборник научно-популярных статей по физике (раздел "Элементарные частицы") Т.4 , Чиркина-Виноградова И.В., Москва: Лица, 2021

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. И G36 Born: a universe : , Gennow H., : Gennow Data AD, 2015

2. 52 Г67 Введение в теорию ранней Вселенной : теория горячего Большого взрыва , Горбунов Д.С., Рубаков В.А., Москва: ЛКИ, 2012

#### 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**

Методические указания студентам очной формы обучения представлены в виде:

- методических рекомендаций при работе над конспектом лекций во время проведения лекции на семинарских занятиях;
- методических рекомендаций по самостоятельной работе над изучаемым материалом и при подготовке к практическим занятиям;
- методических рекомендаций по изучению рекомендованной литературы.

Изучение разделов дисциплины , выполнение практических заданий, подготовка к контрольным мероприятиям включает в себя две части: теоретическую и прикладную – непосредственное решение задачи.

В ходе лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

В ходе подготовки к практическим занятиям необходимо изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, новыми публикациями в периодических изданиях: журналах, газетах и т.д. При этом учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы. Дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из литературы, рекомендованной преподавателем и предусмотренной учебной программой. Подготовить тезисы для выступлений по всем учебным вопросам, выносимым на практическое занятие. Готовясь к докладу или реферативному сообщению, обращаться за методической помощью к преподавателю. Составить план-конспект своего выступления. Продумать примеры с целью обеспечения тесной связи изучаемой теории с реальной жизнью.

Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы базируется на соблюдении настоящих рекомендаций и изучении рекомендованной литературы. Студентам

рекомендуется получить в Библиотечно-информационном центре университета учебную литературу по дисциплине, необходимую для эффективной работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании курсовых и дипломных работ.

В процессе подготовки к занятиям рекомендуется взаимное обсуждение материала, во время которого закрепляются знания, а также приобретается практика в изложении и разъяснении полученных знаний, развивается речь.

При необходимости следует обращаться за консультацией к преподавателю. Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения.

Успешное освоение курса предполагает активное, творческое участие студента путем планомерной, повседневной работы.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Методические материалы для преподавателя по освоению дисциплины – это свод указаний, обеспечивающих навигацию преподавателя в процессе преподавания дисциплины, раскрывающих средства, методы, приемы, формы обучения студентов.

Данные методические материалы нацелены на обеспечение эффективности учебного процесса по освоению дисциплины «Экспериментальная нейтринная физика».

Предлагаемые методические материалы предназначены для преподавателей вне зависимости от этапа обучения для соблюдения преемственности в выборе методов, приемов, форм и средств обучения. При необходимости, материалы могут быть дополнены и скорректированы в зависимости от:

- особенностей обучающихся,
- условий обучения (например, увеличения часов на самостоятельную работу);
- изменения целей обучения и т.д.

Основные требования к уровню освоения содержания дисциплины.

«Экспериментальная нейтринная физика» является одним из основных специальных теоретических курсов по ОП «Фундаментальные исследования и физика частиц».

В курсе рассматриваются основные нейтринные эксперименты на ускорителях (Т2К Япония, КЕКи др.) и методы современной физики элементарных частиц. Излагается постановка и проведение наиболее интересных и важных экспериментов, в частности, первая регистрация реакторных нейтрино, открытие мюонных нейтрино, открытие CP нарушения в системах каонов и В-мезонов, открытие и исследование осцилляций нейтрино, открытие бозона Хиггса и др.

Целями освоения учебной дисциплины являются освоение студентами методов создания современных экспериментальных установок, постановок физических задач и разработка идей постановки экспериментов, разработок, моделирования и проведения экспериментов, проведения анализа и получения физических результатов

Автор(ы):

Куденко Юрий Григорьевич, д.ф.-м.н., профессор

Рецензент(ы):

проф.каф.7, д.ф.-м.н. Болоздыня А.И.