Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ТАШКЕНТСКИЙ ФИЛИАЛ НИЯУ МИФИ (ТФ НИЯУ МИФИ)

ОДОБРЕНО

УМС ТФ НИЯУ МИФИ

Протокол № 1 от 04.02.2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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, час.**	**СРС, час.**	**КСР, час.**	**Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП**
2	3	108	30	30	0		12	0	Э
Итого	3	108	30	30	0	30	12	0	

АННОТАЦИЯ

Изучение эспериментальной физики нейтрино

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Изучение:

• основных проблем физики нейтрино.

• элементов теории слабого и электрослабого взаимодействий.

• основных свойств нейтрино (аромат, масса, взаимодействие с веществом, осцилляция)

• основных механизмов генерации и регистрации различных ароматов нейтрино

•.перспектив развития физики нейтрино (нейтринные фабрики, нейтринные детекторы будущего)

2. Выработка умений и навыков:

• рассчитывать вероятность взаимодействия нейтрино с веществом и основные параметры экспериментальных установок для регистрации нейтрино.

• работы с аппаратурой для регистрации нейтрино;

• измерений характеристик нейтринных пучков на ускорителях и потоков антинейтрино от реакторов.

• работы со специальной научной литературой

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Учебная дисциплина «Нейтринная физика» входит в программу подготовки магистров по направлению 14.03.02 «Ядерная физика и технологии».

Для изучения дисциплины студент должен обладать знаниями, полученными при изучении курсов общей физики, в том числе, раздела «Атомная физика», а также обладать базовыми знаниями курса «Квантовая механика».

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**	**Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции**

		стандарт-ПС, анализ опыта)	
научно-исследовательский			
применение детекторов и установок в области физики элементарных частиц, их разработка и оптимизация;	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками;	ПК-38.2 [1] - Способен работать с детекторами и установками в области физики элементарных частиц, над их разработкой и оптимизацией; *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-38.2[1] - Знать методы работы с детекторами и установками в области физики элементарных частиц, а так же методы их разработки и оптимизации;; У-ПК-38.2[1] - Уметь применять детекторы и установки в области физики элементарных частиц, а так же разрабатывать их и оптимизировать;; В-ПК-38.2[1] - Владеть методами работы с детекторами и установками в области физики элементарных частиц, а так же методами их разработки и оптимизации;
разработка методов регистрации ионизирующих и электромагнитных излучений и методов измерения количественных характеристик ядерных материалов;	разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине;	ПК-4 [1] - Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач *Основание:* 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

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
	2 Семестр						
1	физика нейтрино низких энергий.	1-8	16/16/0	КИ-8 (30)	30	СК-8	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-38.2, У-ПК-38.2, В-ПК-38.2
2	Нейтрино.	9-15	14/14/0	КИ-15 (20)	20	КИ-15	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-38.2, У-ПК-38.2, В-ПК-38.2
	Итого за 2 Семестр		30/30/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-38.2, У-ПК-38.2, В-ПК-38.2

* – 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
СК	Семестровый контроль
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	**Темы занятий / Содержание**	**Лек., час.**	**Пр./сем., час.**	**Лаб., час.**
	2 Семестр	30	30	0
1-8	**физика нейтрино низких энергий.**	16	16	0
1	**История открытия нейтрино** Теории бета – распада Ферми, заряженные и нейтральные токи, эксперимент Райнеса и Коуэна	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	**Регистрация нейтрино низких энергий.** Обратный бета-распад, длина пробега нейтрино низких энергий в веществе, расчет потоков нейтрино от ядерных реакторов и ядерных взрывов. Диаграммы Фейнмана взаимодействия реакторного антинейтрино с веществом.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	**Типы нейтрино** Электронное нейтрино. Мюонное нейтрино, Тау-нейтрино, Стерильное нейтри	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	**Аромат и масса нейтрино** Классификация нейтрино с точки зрения взаимодействия и распространения в пространстве. Экспериментальное определение количества ароматов нейтрино	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	**Источники нейтрино** 5. Источники нейтрино Космические нейтрино. Нейтрино от естественных источников на Земле. Нейтрино от искусственных источников: реакторы, ускорители.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	**Методы регистрации нейтрино** Радиохимический метод, Рассеяние нейтрино на электронах, Поглощение нейтрино – прямой счет, Кинематика	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	**Солнечные нейтрино.** Происхождение, спектры и интенсивность. Результаты измерения интенсивности солнечных нейтрино	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	**Антинейтрино от ядерных реакторов.** Происхождение, энергия, когерентное сечение	Всего аудиторных часов		
		0	4	0

	взаимодействия нейтрино в нейтральном токе.	Онлайн		
		0	0	0
9-15	**Нейтрино.**	14	14	0
9	**9. Осцилляции нейтрино.** Амплитуда и частота осцилляций.Косвенные и прямое методы наблюдение осцилляций. Длина осцилляций.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	**Наблюдение осцилляций солнечных и атмосферных нейтрино. Результаты измерения разности квадратов масс и углов смешивания нейтрино.** Наблюдение осцилляций солнечных и атмосферных нейтрино. Результаты измерения разности квадратов масс и углов смешивания нейтрино.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	**Наблюдение осцилляций реакторных антинейтрино.** Эксперименты KAMLAND и Chooz.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	**Осцилляции ускорительных нейтрино** Эксперименты с ускорительными нейтрино: appearance и disappearance, эксперименты и их результаты, планы по изучению возможного CP-нарушения в нейтрино. Аномальные результаты LSND и MiniBooNE. Свидетельства в пользу осцилляций в веществе. Нерешенные проблемы в физике нейтрино.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	**Формирование нейтринных пучков.** Меченые нейтрино. Монохроматические пучки нейтрино. Нейтринные детекторы будущего.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	**Измерение угла смешивания θ13 . Эксперимент DAYA BAY** Измерение угла смешивания θ13 . Эксперимент DAYA BAY	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	**Измерение CPV в нейтринном секторе. Фабрики нейтрино. Детекторы антирейтрино для контроля режима работы атомных реакторов** Измерение CPV в нейтринном секторе. Фабрики нейтрино. Детекторы антирейтрино для контроля режима работы атомных реакторов	Всего аудиторных часов		
		2	2	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 СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	2 Семестр
2	**Регистрация нейтрино низких энергий.** Обратный бета-распад, длина пробега нейтрино низких энергий в веществе, расчет потоков нейтрино от ядерных реакторов и ядерных взрывов. Диаграммы Фейнмана взаимодействия реакторного антинейтрино с веществом.Введите здесь подробное описание пункта
4	**Аромат и масса нейтрино** Классификация нейтрино с точки зрения взаимодействия и распространения в пространстве. Экспериментальное определение количества ароматов нейтрино
6	**Методы регистрации нейтрино** Радиохимический метод, Рассеяние нейтрино на электронах, Поглощение нейтрино – прямой счет, Кинематика
8	**Антинейтрино от ядерных реакторов.** Происхождение, энергия, когерентное сечение взаимодействия нейтрино в нейтральном токе.
10	**Наблюдение осцилляций солнечных и атмосферных нейтрино. Результаты измерения разности квадратов масс и углов смешивания нейтрино.** Наблюдение осцилляций солнечных и атмосферных нейтрино. Результаты измерения разности квадратов масс и углов смешивания нейтрино.
12	**Наблюдение осцилляций нейтрино на ускорителях.** Эксперименты с ускорительными нейтрино: appearance и disappearance, эксперименты и их результаты, планы по изучению возможного CP-нарушения в нейтрино. Аномальные результаты LSND и MiniBooNE. Свидетельства в пользу осцилляций в веществе. Нерешенные проблемы в физике нейтрино.
14	**Измерение угла смешивания θ13 . Эксперимент DAYA BAY** Измерение угла смешивания θ13 . Эксперимент DAYA BAY

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Проводится постоянный мониторинг знаний студентов по содержанию предыдущих лекций. Это позволяет корректировать процесс изложения материала в течение семестра, контролировать процесс обучения и заставляет студентов самостоятельно готовиться к занятиям.

По каждой лекции подготовлены презентации, что существенно повышает степень усвояемости материала, позволяет использовать богатый иллюстративный материал из интернета и включать в лекции информацию о последних достижениях в области статистического анализа данных. Доступ к учебному курсу обеспечивается с любого компьютера, подключённому к компьютерной сети.

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-38.2	З-ПК-38.2	Э, СК-8, КИ-15, КИ-8
	У-ПК-38.2	Э, СК-8, КИ-15, КИ-8
	В-ПК-38.2	Э, СК-8, КИ-15, КИ-8
ПК-4	З-ПК-4	Э, СК-8, КИ-15, КИ-8
	У-ПК-4	Э, СК-8, КИ-15, КИ-8
	В-ПК-4	Э, СК-8, КИ-15, КИ-8

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:

<table>
<tr><th>Сумма баллов</th><th>Оценка по 4-х балльной шкале</th><th>Отметка о зачете</th><th>Оценка ECTS</th></tr>
<tr><td>90-100</td><td>5 – «отлично»</td><td rowspan="8">«зачтено»</td><td>A</td></tr>
<tr><td>85-89</td><td rowspan="3">4 – «хорошо»</td><td>B</td></tr>
<tr><td>75-84</td><td>C</td></tr>
<tr><td>70-74</td><td rowspan="2">D</td></tr>
<tr><td>65-69</td><td rowspan="2">3 – «удовлетворительно»</td></tr>
<tr><td>60-64</td><td>E</td></tr>
<tr><td>ниже 60</td><td>2 – «неудовлетворительно»</td><td>«не зачтено»</td><td>F</td></tr>
</table>

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 Б 18 Квантовая механика : учебное пособие, Байков Ю. А., Кузнецов В. М., Москва: Лаборатория знаний, 2020

2. ЭИ Ф 80 Уравнения состояния вещества от идельного газа до кварк-глюонной плазмы : учебное пособие, Фортов В. Е., Москва: Физматлит, 2012

3. ЭИ Ф 80 Физика высоких плотностей энергии : учебное пособие, Фортов В. Е., Москва: Физматлит, 2013

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. И N50 Neutrino oscillations : , Patricia L Vahle , New Jersey [and oth.]: World scientific, 2008

2. 53 С12 Курс общей физики Кн.5 Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц, Савельев И.В., Москва: Астрель, АСТ, 2007

3. 53 С12 Курс общей физики Т.3 Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учебное пособие для вузов, Савельев И.В., Москва: Кнорус, 2009

4. 539.1 О-52 Лептоны и кварки : , Окунь Л.Б., Москва: ЛКИ, 2008

5. 539.1 О-11 О возможности исследования нейтрино на ускорительном источнике нейтронов типа Spallation Neutron Source : , Акимов Д.Ю. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

6. 539.1 Е60 Стандартная модель и её расширения : , Емельянов В.М., Москва: Физматлит, 2007

7. 621.039 Р88 Физика реакторных антинейтрино : , Литвинов Д.А., Русов В.Д., Тарасов В.А., Москва: ЛКИ, 2008

8. 539.1 О-52 Физика элементарных частиц : , Окунь Л.Б., Москва: ЛКИ, 2008

9. 539.1 М92 Экспериментальная ядерная физика Т. 3 Физика элементарных частиц, Мухин К.Н., : Лань, 2008

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

1. Необходимо научиться находить в интернете результаты последних экспериментов и понимать их интерпретацию.
2. Необходимо знать особенности и результаты основных экспериментов по физике нейтрино.
3. Понимать цели, задачи и возможности физики нейтрино,.
4. Помнить основные свойства нейтрино и порядок величин сечений их взаимодействия.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

1. Акцентировать внимание студентов на современных достижениях физики нейтрино.
2. Показать решающую роль экспериментов на ускорителях в современных представлениях о структуре и свойствах материи.

Автор(ы):

Сомов Сергей Всеволодович, к.ф.-м.н., с.н.с.