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

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЯДЕРНАЯ 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**
3	2-3	72-108	20	20	0		32	0	З , Э
Итого	2-3	72-108	20	20	0	20	32	0	

АННОТАЦИЯ

Данная дисциплина рассматривает современное состояние, актуальные проблемы и перспективные направления исследований в области релятивистской ядерной физики. Большая часть курса посвящена результатам работ по изучению формирования кварк-глюонной материи в столкновениях тяжелых ионов, ускоренных до релятивистских скоростей.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины Релятивистская ядерная физика являются: ознакомление студентов с общими представлениями о содержании, проблемах, перспективах развития такого раздела фундаментальной ядерной физики, каким является релятивистская ядерная физика. Ознакомить их с соответствующей терминологией , содержанием понятий, научить их создать информационную базу для дальнейшего углублённого самостоятельного изучения конкретных разделов физики ядро -ядерных столкновений высоких энергий , экстремального состояния ядерного вещества, фазовых переходов и образования нового состояния ядерной материи : кварк- глюонной плазмы.

В итоге освоения курса предполагается выработать у студентов уровень осведомлённости , необходимый для вхождения в реальную экспериментальную работу на предприятиях атомной отрасли, в исследовательских лабораториях.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данный курс входит в ООП ВПО в части “Ядерные физика и космофизика” и находится в логической и содержательно-методической взаимосвязи с такими частями ООП, как математический анализ, векторный и тензорный анализ, теория функций комплексного переменного, теория групп, атомная физика, экспериментальная ядерная физика, методы экспериментальной физики, приборы и техника эксперимента, теория вероятностей и математическая статистика, методы обработки экспериментальных данных. Приступая к освоению курса, студент должен владеть терминологией и понятиями современной ядерной физики и физики частиц, представлениями о назначении и устройстве детекторов и ядерно-физических установок, умением провести обработку типовых экспериментальных задач. Курс строится как развитие предшествующих дисциплин: экспериментальная ядерная физика, физика фундаментальных взаимодействий: эксперимент.

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			
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;
применение программного обеспечения и его разработка для численных предсказаний (моделирования), обработки и анализа экспериментальных данных в области физики элементарных частиц,	математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики; ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия	ПК-38.4 [1] - Способен к работе с программным обеспечением и его разработке для численных предсказаний (моделирования), обработки и анализа экспериментальных данных в области физики элементарных частиц,	З-ПК-38.4[1] - Знать методы работы с программным обеспечением и его разработки для численных предсказаний (моделирования), обработки и анализа экспериментальных данных в области физики элементарных

экспериментальной ядерной физики и космофизики;	излучения с объектами живой и неживой природы,	экспериментальной ядерной физики и космофизики; *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011	частиц, экспериментальной ядерной физики и космофизики;; У-ПК-38.4[1] - Уметь применять программное обеспечение и выполнять его разработку для численных предсказаний (моделирования), обработки и анализа экспериментальных данных в области физики элементарных частиц, экспериментальной ядерной физики и космофизики;; В-ПК-38.4[1] - Владеть методами работы с программным обеспечением и его разработки для численных предсказаний (моделирования), обработки и анализа экспериментальных данных в области физики элементарных частиц, экспериментальной ядерной физики и космофизики;
организационно-управленческий			
организация работы коллектива исполнителей, принятие исполнительских решений в условиях спектра мнений, определение порядка выполнения работ;	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения	ПК-1 [1] - Способен планировать и управлять работой производственных и научных коллективов. *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-1[1] - Знать методы управления работой производственных и научных коллективов и современную законодательную и нормативно-правовую базу. ; У-ПК-1[1] - уметь применять методы

	их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками;		управления работой производственных и научных коллективов на основе современной законодательной и нормативно-правовой базы.; В-ПК-1[1] - владеть методами управления работой производственных и научных коллективов на основе современной законодательной и нормативно-правовой базы.

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
	3 Семестр						
1	Часть 1	1-8	10/10/0	КИ-8 (25)	25	КИ-8	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-38.2, У-ПК-38.2, В-ПК-38.2, З-ПК-38.4, У-ПК-38.4, В-ПК-38.4
2	Часть 2	9-15	10/10/0	КИ-15 (25)	25	КИ-15	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-38.2, У-ПК-38.2, В-ПК-38.2, З-ПК-38.4, У-ПК-38.4, В-ПК-38.4
	Итого за 3 Семестр		20/20/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3				50	Э, З	З-ПК-1, У-ПК-1,

	Семестр						В-ПК-1, З-ПК-38.2, У-ПК-38.2, В-ПК-38.2, З-ПК-38.4, У-ПК-38.4, В-ПК-38.4, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-38.2, У-ПК-38.2, В-ПК-38.2, З-ПК-38.4, У-ПК-38.4, В-ПК-38.4

* – 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.**
	3 Семестр	20	20	0
1-8	**Часть 1**	10	10	0
1	**Введение. Ускорители тяжёлых ионов.** Ускорители тяжёлых ионов (ядерное коллайдеры) BNL(США), SPS(ЦЕРН), RHIC(США), LHC(ЦЕРН), энергия и ядра в пучке. Экспериментальные методики для исследования ядерно-ядерных взаимодействий, экспериментальные установки и детекторы.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	**Кинематика столкновений при больших энергиях** Кинематика столкновений при больших энергиях. «Быстрота» частицы, продольный и поперечный импульсы частицы в экспериментах на коллайдерах, функция распределения частиц. Использование переменных сферичности и проверка исследований формы в событиях. Методы разделения потоков.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	**Рассеяние на ядре** Рассеяние на ядре (в случае абсолютно черного тела). Прицельный параметр. Оптическая теорема. Теория Глаубера-Ситенко многократного рассеяния нуклона в ядрях. Функция ядерной толщины.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

4	**Ядро-ядерные взаимодействия** Среднее число неупругих столкновений в протон-ядерном взаимодействии. Ядерно-ядерные столкновения. Функция толщины двух ядер с прицельным праметром b между их центрами.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	**Формирование и эволюция ядерной материи** Среднее число неупругих столкновений и термин "число участвующих (раненых)" нуклонов в A+A столкновениях. Формирование и эволюция ядерной материи. Фазовая диаграмма КХД	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	**Кварк-глюонная плазма как идеальный газ** Кварк-глюонная плазма как идеальный газ. Уравнение состояния. Температура, энтропия, химический потенциал. Формуле Бьёркена определения для определения плотности энергии. Оценка плонтности энергии в центре ядерно-ядерно столкновения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	**Множественность частиц** Множественность частиц в зависимости от корня s инварианта и поперечного момента pT в A+ A взаимодействии. Оценка энергии, идущей на формирование новой материи в A+ A взаимодействии. Зависимость множественности от центральности ядерно-ядерного столкновения.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	**Релятивистское подавление выхода частиц** Релятивистское подавление выхода частиц в случае больших поперечных импульсов при A+ A взаимодействии. Зависимость сечения формирования частиц от «быстроты» в A+ A взаимодействии.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	**Часть 2**	10	10	0
9	**Образование c и s кварков в ядерно-ядреном взаимодействии.** Подавление рождения очаровательного кварка в A+ A взаимодействии. Увеличение выхода странных частиц в A+ A взаимодействии	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	**Релятивистский выход частиц** Релятивистский выход частиц в A+ A взаимодействиях. Химический потенциал в A+ A взаимодействиях. Подавление событий корреляцией обратного пика в A+ A взаимодействиях.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	**Коллективные потоки** Коллективные потоки в горячем ядре. Методы наблюдения коллективных потоков. Эллиптический поток в в A+ A взаимодействиях.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	**Размеры системы адронов** Размытие резонансов в A+ A взаимодействиях. Размеры системы адронов после стадии замораживания. Корреляционный метод определения пространственно-временных размеров источников излучения в сильно возбуждённых ядрах.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	**Флуктуация числа вторичных частиц**	Всего аудиторных часов		

	Флуктуация числа вторичных частиц в релятивистских ядерно-ядерных столкновениях. Плотность, температура, быстрота, множественность. Зарядовая флуктуация и корреляции. Поперечный импульс	2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	**Стохастические свойства** Стохастические свойства релятивистских ядерно-ядерных взаимодействий. Фрактальность. Прерывистость.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	**Масштабная инвариантность** Масштабная инвариантность в ядерных процессах при высоких энергиях. Принцип «ослабления корреляций» Балдина, его модификации. Самоподобие в релятивистской ядерной физике	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

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лекции и самостоятельная работа.

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-1	З-ПК-1	З, Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1	З, Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1	З, Э, КИ-8, КИ-15
ПК-38.2	З-ПК-38.2	З, Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-38.2	З, Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-38.2	З, Э, КИ-8, КИ-15
ПК-38.4	З-ПК-38.4	З, Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-38.4	З, Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-38.4	З, 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:

<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="7">«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. 539.1 В93 Современное состояние физики элементарных частиц : курс лекций, Высоцкий М.И., Москва: Издательский дом МЭИ, 2015

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. 539.1 Е60 Введение в релятивистскую ядерную физику : , Стриханов М.Н., Тимошенко С.Л., Емельянов В.М., Москва: Физматлит, 2004

2. ЭИ Е 60 Введение в релятивистскую ядерную физику : учебное пособие, Стриханов М. Н. , Тимошенко С. Л., Емельянов В. М., Москва: Физматлит, 2004

3. ЭИ В24 Введение в физику тяжелых ионов : учебное пособие для вузов, Гангрский Ю.П. [и др.], Москва: МИФИ, 2008

4. 539.1 В24 Введение в физику тяжелых ионов : учебное пособие для вузов, Гангрский Ю.П. [и др.], Москва: МИФИ, 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. Для самостоятельного изучения материала курса, соответствующего первой части (1-8 недели), указанной в структуре курса, рекомендуется использовать книгу В. М. Емельянов, С. Л. Тимошенко, М. Н. Стриханов. “Введение в в релятивистскую ядерную физику”, - М. : Физматлит, 2004.

2. Для самостоятельного изучения материала курса, соответствующего второй части (9-16 недели), указанной в структуре курса, рекомендуется использовать методическое пособие В.Л. Коротких, “Физика столкновений ультрарелятивистских ядер”, М. 2008, а также слайды с курсом лекций В.Л. Коротких, доступные по адресу:http://lav01.sinp.msu.ru/~vlk/lect.PRNC.html.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

1. Обратить внимание на представления и теоретические результаты, рассмотренные Акцентировать внимание студентов на связи модельных описаний статических и динамических ядерных процессов с основными представлениями квантовой механики.

2. При изложении курса приводить примеры практического применения ядерно-физических процессов и методик исследования

3. Акцентировать внимание на действии законов сохранения (как классических, так и ядерно-физических) при рассмотрении ядерных реакция и процессов.

4. Уделить внимание ядерно-физическим, экологическим и гуманистическим проблемам использования процессов деления и синтеза элементов для получения энергии

5. Обратить внимание на основополагающую роль ядерно-физических процессов в прикладных исследованиях, а также в космогонии и астрофизике (радиоизотопные источники и маркеры, экологические аспекты, использование анализа по космогенным изотопам для определения возраста изделий и пород, происхождение элементов, горение и взрывы звезд, нейтронные звезды)

Автор(ы):

Нигматкулов Григорий Александрович

Рецензент(ы):

Поносов А.К.