

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И КОСМОФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/423-573.1

от 20.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА ЧАСТИЦ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.02 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, экс./зач./КР/КП
8	2	72	10	0	30		32	0	3
Итого	2	72	10	0	30	20	32	0	

## АННОТАЦИЯ

Изучаются классификация и свойства элементарных частиц и ядер, типы взаимодействий в природе и их проявление в ядерных реакциях при высоких энергиях. Рассматриваются основные характеристики и свойства процессов рождения вторичных частиц, содержащих тяжёлые кварки. Изучаются основные положения Стандартной модели и систематизация наблюдаемых состояний в рамках этой модели.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины является приобретение студентами знаний и умений в области экспериментальной физики частиц, постановка и анализ экспериментов по исследованию кварк-глюонной структуры адронов, по исследованию свойств промежуточных бозонов, бозонов Хиггса и тяжелых кварков, по изучению кварк-глюонной материи. Так же целями освоения учебной дисциплины являются получение студентами знаний о важнейших экспериментах в области физики высоких энергий, об устройстве и работе основных экспериментальных установок, об основных физических результатах в этой области.

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

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

Данный курс позволяет студенту приобрести знания, необходимые для выполнения лабораторных практических работ по курсам кафедры, выполнения проектов по программе учебно-исследовательской работы студентов в рамках научных лабораторий, а также при выполнении дипломных проектов. Полученные знания являются необходимыми для исследовательской работы в области физики высоких энергий.

### 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>проведение экспериментов по заданной методике, составление описания проводимых исследований и анализ результатов</p>	<p>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 схмотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками</p>	<p>ПК-15.3 [1] - Способен к участию в научных исследованиях в области физики ядра и частиц, космофизике и космологии, к самостоятельному определению необходимых средств и к их использованию для решения поставленных задач</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-15.3[1] - методы осуществления научных исследований в области физики ядра и частиц, космофизике и космологии, методы определения необходимых средств и их использования для решения поставленных задач; У-ПК-15.3[1] - выполнять научные исследования в области физики ядра и частиц, космофизике и космологии, самостоятельно определять необходимые средства и использовать их для решения поставленных задач; В-ПК-15.3[1] - методами осуществления научных исследований в области физики ядра и частиц, космофизике и космологии, методами определения необходимых средств и их использования для решения поставленных задач</p>
<p>изучение и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования</p>	<p>атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы</p>	<p>ПК-15.4 [1] - Способен работать с детекторами и установками в области физики ядра и частиц, над их оптимизацией с применением средств их диагностики</p>	<p>З-ПК-15.4[1] - методы применения детекторов и установок в области физики ядра и частиц, а так же методы их оптимизацией с</p>

	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	<i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	применением средств их диагностики ; У-ПК-15.4[1] - применять детекторы и установки в области физики ядра и частиц, выполнять их оптимизацию с применением средств их диагностики; В-ПК-15.4[1] - методами применения детекторов и установок в области физики ядра и частиц, а так же методами их оптимизацией с применением средств их диагностики
проектный			
разработка проектной и рабочей технической документации, оформление законченных проектно-конструкторских работ	разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ	ПК-15.7 [1] - Способен проектировать и создавать новые продукты и системы и применять теоретические знания в реальной инженерной практике  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-15.7[1] - методы проектирования и создания новых продуктов и систем; У-ПК-15.7[1] - проектировать и создавать новые продукты и системы и применять теоретические знания в реальной инженерной практике; В-ПК-15.7[1] - методами проектирования и создания новых продуктов и систем

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

#### 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
<i>8 Семестр</i>							
1	Принципы инвариантности и законы сохранения	1-5	5/0/15		25	Т-5	3-ПК-15.3, У-ПК-15.3, В-ПК-15.3, 3-ПК-15.4, У-ПК-15.4, В-ПК-15.4, 3-ПК-15.7, У-ПК-15.7, В-ПК-15.7
2	Стандартная модель	6-11	5/0/15		25	Т-11	3-ПК-15.3, У-ПК-15.3, В-ПК-15.3, 3-ПК-15.4, У-ПК-15.4, В-ПК-15.4, 3-ПК-15.7, У-ПК-15.7, В-ПК-15.7

							У-ПК-15.7, В-ПК-15.7
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		10/0/30		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	3	В-ПК-15.3, 3-ПК-15.4, У-ПК-15.4, В-ПК-15.4, 3-ПК-15.7, У-ПК-15.7, В-ПК-15.7, 3-ПК-15.3, У-ПК-15.3

\* – 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
Т	Тестирование
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	10	0	30
<b>1-5</b>	<b>Принципы инвариантности и законы сохранения</b>	5	0	15
1	<b>1. Принципы инвариантности и законы сохранения</b> Сохранение заряда, калибровочная инвариантность и	Всего аудиторных часов		
		1	0	3

	фотоны. Инвариантность относительно зарядового сопряжения. Экспериментальная проверка C-инвариантности. Инвариантность относительно обращения времени. CP-нарушение и CPT-теорема.	Онлайн	1	0	0
2	<b>2. Свойства нейтральных K-мезонов</b> Осцилляции странности. K1 и K2 -мезоны. Правило $\Delta S = \Delta Q$ . Смешивание Кабиббо. Регенерация K0-мезонов. Нарушение CP инвариантности в K0-мезонах. Непрямое и прямое CP нарушение в распадах K-мезонов	Всего аудиторных часов	1	0	3
		Онлайн	1	0	0
3	<b>3. Нейтральные слабые токи</b> Слабые распады странных частиц. Теория Кабиббо. Обнаружение нейтральных токов в экспериментах по рассеянию нейтрино. Обнаружение промежуточных векторных бозонов в эксперименте UA1.	Всего аудиторных часов	1	0	3
		Онлайн	1	0	0
4	<b>4. Модель ГИМ и очарование</b> Матрица смешивания Кобаяши-Маскава и CP-нарушение. Необходимость введения с-кварка в смешивании K0-мезонов и в смешивании нейтральных слабых токах. Открытие чарма в опытах Тинга и Рихтера. Свойства чармония.	Всего аудиторных часов	1	0	3
		Онлайн	1	0	0
5	<b>5. <math>\tau</math>-лептон.</b> Основные методы регистрации и выделения $\tau$ -лептонов. Рождение $\tau$ -лептонов в $e^+e^-$ -аннигиляции и определение параметров.	Всего аудиторных часов	1	0	3
		Онлайн	1	0	0
<b>6-11</b>	<b>Стандартная модель</b>		5	0	15
6	<b>6. Мезоны и барионы с b-кварком.</b> Измерения массы, времени жизни. Смешивание D0 и B0 мезонов. Нарушение CP в распадах B-мезонов.	Всего аудиторных часов	1	0	3
		Онлайн	1	0	0
7	<b>7. Открытие t-кварка.</b> Механизмы рождения и распада t-кварка. Поиски t-кварка. Обнаружение и исследование t-кварка в экспериментах на Tevatron.	Всего аудиторных часов	1	0	3
		Онлайн	1	0	0
8	<b>8. Матрица СКМ.</b> Слабые углы смешивания при наличии шести кварков. Матрица смешивания кварков Кабиббо-Кобаяши-Маскава (СКМ). Определение элементов матрицы СКМ.	Всего аудиторных часов	1	0	3
		Онлайн	1	0	0
9 - 10	<b>9. Основы стандартной электрослабой модели.</b> Слабый изоспин и гиперзаряд. Электрослабое взаимодействие. Связь слабого и электромагнитного токов. Понятие о процедуре перенормировки. Лэмбовский сдвиг и аномальный момент электрона.	Всего аудиторных часов	1	0	3
		Онлайн	1	0	0
11	<b>10. Механизм Хиггса.</b> Спонтанное нарушение симметрии как механизм появления массы. Массы калибровочных бозонов и механизм Хиггса.	Всего аудиторных часов	1	0	3
		Онлайн	1	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 ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>8 Семестр</i>
1	<b>Лабораторная работа 17</b> Изучение распадов долгоживущего KL-мезона
2 - 3	<b>Лабораторная работа 7.</b> Изучение кинематики неупругого рассеяния нейтронов на ядрах углерода
4	<b>Лабораторная работа 19.</b> Сохранение P-четности при аннигиляции позитронов
5	<b>Лабораторная работа 13</b> Оценка средней энергии мюонов космического излучения на поверхности земли
6 - 7	<b>Лабораторная работа 14</b> Определение константы слабого взаимодействия и масс промежуточных бозонов из среднего времени жизни мюона
8	<b>Лабораторная работа 15</b> Определение масс и времени жизни K-мезонов и Лямбда-гиперона
9 - 10	<b>Лабораторная работа 16</b> Изучение pp-рассеяния при энергии протонов 660 МэВ
11	<b>Лабораторная работа 8</b> Определение сечений неупругого взаимодействия пи-мезонов с ядрами

## 6. 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 усвоения материала, позволяет использовать богатый иллюстративный материал из интернета и включать в лекции информацию о последних достижениях физики элементарных частиц. Для проведения тестирования используется система vector ([vector.mephi.ru](http://vector.mephi.ru))

## 7. 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-15.3	З-ПК-15.3	З, Т-5, Т-11
	У-ПК-15.3	З, Т-5, Т-11
	В-ПК-15.3	З, Т-5, Т-11
ПК-15.4	З-ПК-15.4	З, Т-5, Т-11
	У-ПК-15.4	З, Т-5, Т-11
	В-ПК-15.4	З, Т-5, Т-11
ПК-15.7	З-ПК-15.7	З, Т-5, Т-11
	У-ПК-15.7	З, Т-5, Т-11
	В-ПК-15.7	З, Т-5, Т-11

### 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 – <i>«отлично»</i>	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 – <i>«хорошо»</i>	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 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 –	F	Оценка «неудовлетворительно»

	«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.
--	-----------------------	--	--

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Т16 Fundamentals of Nuclear Physics : , Tokyo: Springer Japan, 2017
2. ЭИ Б 18 Квантовая механика : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2020
3. 539.1 С23 Сборник задач по курсу "Ядерная физика" : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2019
4. ЭИ Ф 80 Уравнения состояния вещества от идеального газа до кварк-глюонной плазмы : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2012
5. ЭИ Ф 80 Физика высоких плотностей энергии : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2013

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ О-52 Элементарное введение в физику элементарных частиц : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2009
2. 539.1 М92 Экспериментальная ядерная физика Т. 3 Физика элементарных частиц, , : Лань, 2008
3. 539.1 О-52 Лептоны и кварки : , Л. Б. Окунь, Москва: ЛКИ, 2008
4. 539.1 О-52 Элементарное введение в физику элементарных частиц : , Л. Б. Окунь, М.: Физматлит, 2006

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

1. Обратить внимание на представления и теоретические результаты, рассмотренные в курсе квантовой механики, лежащие в основе рассматриваемых явлений и моделей ядерной физики.

2. Понимать, какими взаимодействиями обусловлены рассматриваемые конкретные процессы.

3. Понимать, в каких типах взаимодействий могут участвовать различные частицы, представлять приблизительное соотношение между интенсивностями различных видов взаимодействий

4. Обратить внимание на поведение сечений взаимодействия частиц при низких энергиях в зависимости от типа взаимодействия и энергетического баланса.

5. Знать экспериментальные основания использования коллективных и моделей ядер и главные предсказания, следующие из них. Обратить внимание на способы измерения статических свойств ядер.

6. Уделить особое внимание на зависимость характера прохождения частиц через вещество от типа частиц, ее энергии и от параметров вещества, имея в виду, что понимание этих процессов лежит в основе многих аспектов регистрации частиц и их воздействия на среду.

## **11. 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 действия законов сохранения (как классических, так и ядерно-физических) при рассмотрении ядерных реакций 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 изотомам для определения возраста изделий и пород, происхождение элементов, горение и взрывы звезд, нейтронные звезды)

Автор(ы):

Булеков Олег Владимирович, к.ф.-м.н., доцент