

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 ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ 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, экз./зач./КР/КП
8	3	108	20	30	0		31	0	Э
Итого	3	108	20	30	0	0	31	0	

АННОТАЦИЯ

Целями освоения учебной дисциплины является развитие понимания у студентов экспериментального значения законов физики элементарных частиц и их свойств, умения предлагать принципиальную схему эксперимента по измерению какой-либо величины, проверки какого-либо закона физики частиц.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины является развитие понимания у студентов экспериментального значения законов физики элементарных частиц и их свойств, умения предлагать принципиальную схему эксперимента по измерению какой-либо величины, проверки какого-либо закона физики частиц.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

К моменту изучения дисциплины студенты уже должны освоить следующие курсы: экспериментальные методы ядерной физики, квантовая механика, ядерная физика, и др. Изучение данного курса необходимо для научной работы в рамках НИРС и, главное, в рамках работы над дипломом.

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
организационно-управленческий			
Участие в организации работы научной группы.	Работа в научной группе, отчеты и научные статьи.	ПК-11.1 [1] - Способен участвовать в научных исследованиях в области физики элементарных частиц и космологии, определять необходимые средства и к их использованию для решения	З-ПК-11.1[1] - Знать физику элементарных частиц и основные средства и методы исследования в данной области.; У-ПК-11.1[1] - Уметь использовать методы детектирования

		поставленных задач <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	элементарных частиц и излучений и программные средства при решении задач в соответствующей области.; В-ПК-11.1[1] - Владеть методами исследования в области физики элементарных частиц.
научно-исследовательский			
Получение новых знаний в области физики элементарных частиц и космологии, описание явлений в данной области. Участие в решении задач по физике элементарных частиц и космологии.	Элементарные частицы, детекторы элементарных частиц, ускорители элементарных частиц (Большой Адронный Коллайдер и др.), нейтрино, экзотические ядра, кварк-глюонная материя, скрытая масса и темная энергия, гравитация с многомерными обобщениями, и космология.	ПК-1 [1] - Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-1[1] - знать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области, ; У-ПК-1[1] - уметь использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области; В-ПК-1[1] - владеть современными компьютерными технологиями и методами использования информационных ресурсов в своей предметной области
Получение новых знаний в области физики элементарных частиц и космологии, описание явлений в данной области. Участие в решении задач по физике элементарных частиц	Элементарные частицы, детекторы элементарных частиц, ускорители элементарных частиц (Большой Адронный	ПК-2 [1] - Способен проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и	З-ПК-2[1] - знать методы математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и

и космологии.	Коллайдер и др.), нейтрино, экзотические ядра, кварк-глюонная материя, скрытая масса и темная энергия, гравитация с многомерными обобщениями, и космология.	исследований <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	исследований; ; У-ПК-2[1] - уметь использовать методы математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований;; В-ПК-2[1] - владеть навыками математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований;
проектный			
Участие в формировании целей проекта, решения задач, критериев и показателей достижения целей, в построении структуры их взаимосвязей, выявлении приоритетов решения задач с учетом аспектов деятельности;	Ускорители заряженных частиц и детекторы элементарных частиц	ПК-4 [1] - Способен к расчету и проектированию элементов систем в соответствии с техническим заданием, требованиями безопасности и принципами CDIO <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-4[1] - знать типовые методики планирования и проектирования систем ; У-ПК-4[1] - уметь использовать стандартные средства автоматизации проектирования;; В-ПК-4[1] - владеть методами расчета и проектирования деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием , требованиями безопасности и принципами CDIO

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/ Практ. (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	Раздел 1	1-8	16/24/0		25	СК-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-11.1, У-ПК-11.1, В-ПК-11.1
2	Раздел 2	9-10	4/6/0		25	КИ-10	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-11.1, У-ПК-11.1, В-ПК-11.1
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		20/30/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	Э	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-11.1, У-ПК-11.1, В-ПК-11.1

* – 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
СК	Семестровый контроль
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	20	30	0
1-8	Раздел 1	16	24	0
1 - 2	Общие свойства элементарных частиц. Общие свойства элементарных частиц. Классификация частиц и взаимодействий, основные свойства. Электромагнитные, слабые и сильные взаимодействия. Слабость гравитационного взаимодействия. Законы сохранения, выполняемые в каждом их взаимодействий. Лептоны и кварки. Классификация адронов. Теорема о связи спина и статистики. Обобщенный принцип Паули. Распады резонанса и др. Барионное и лептонное числа. Эксперименты по поиску несохранения барионного и лептонного чисел.	Всего аудиторных часов		
		4	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Нарушения Р, С, Т четностей Нарушения Р, С, Т четностей. Теория Ферми слабого взаимодействия. Лагранжиан Ферми. История. Несохранение Р-четности V-A взаимодействия. Нарушение Р-четности. Предположение Ли и Янга. Опыт Ву. Нарушение Р-четности в распаде мюона и др. Определение спиральности нейтрино. Эксперименты по определению спиральности нейтрино. Нарушение С-четности. Нарушение С-четности в распадах $p \rightarrow \pi + e$ и др. СРТ-теорема. Условия СРТ-теоремы, ее следствия. Нарушение Т-четности. Поиск нарушения Т-четности в распадах нейтрона и каона. Измерение электр.дипольного момента нейтрона. Открытие нарушения Т-четности в эксперименте BaBar.	Всего аудиторных часов		
		4	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 8	Физика K⁰-мезонов Физика K ⁰ -мезонов. Основные свойства K-мезонов, правило $dS=dQ$. Смешивание Каббиро. Регенерация K ⁰ -мезонов. Осцилляция странности. CP-нарушение в K-мезонах. Интерпретация CP-нарушения в K-мезонах (прямое и косвенное нарушение, возможная природа). CP-нарушение в других экспериментах. Другие эксперименты. Роль CP-нарушения во Вселенной. Механизм ГИМ. Необходимость введения с-кварка в смешивании K ⁰ -мезонов. Необходимость введения с-кварка в нейтральных слабых токах.	Всего аудиторных часов		
		8	12	0
		Онлайн		
		0	0	0

9-10	Раздел 2	4	6	0
9 - 10	Открытие тяжелых элементарных частиц Открытие тяжелых элементарных частиц. Открытие с-кварка. Свойства J/psi-частицы, правило Цвейга. Семейство чармониев. Открытие D-мезонов. Открытие tau-лептонов. Масса m_{τ} . Поколения частиц. Теоретические предпосылки существования кварковых ароматов в рамках каждого поколения. Определение числа поколений фермионов на ускорителе. Число поколений и нарушение CP. Открытие тяжелых кварков. Открытие b-кварка. Открытие t-кварка (Tevatron, LHC). Матрица ККМ. Открытия бозона Хиггса. Эксперименты ATLAS и CMS на Большом Адронном Коллайдере. Методика поиска бозона Хиггса, основные каналы, фоны, значимость.	Всего аудиторных часов		
		4	6	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
	<i>8 Семестр</i>
1 - 2	Релятивистская квантовая теория Напоминание основ релятивистской квантовой теории. Уравнение Дирака. Вид решения для свободного фермиона. Гамма-матрицы. Вывод основных соотношений из алгебры гамма-матриц.
3 - 4	Матрица плотности Введение матрицы плотности для спинорных частиц, просуммированной по поляризациям и с фиксированной. Свойства фотонов, W,Z-бозонов.
5 - 6	Правила Фейнмана Основные правила Фейнмана для электрослабой теории. Общая схема расчета вероятности. Амплитуда вероятности, матричный элемент. Определение сечения, ширины, инвариантных плотности тока, фазового объема.
7 - 8	Эффект Комптона Полный расчет эффекта Комптона. Случаи поляризованных и неполяризованных фотонов. Формула Клейна-Нишины. Раздача БДЗ (список задач приводится в Заданиях для самост. работы студента).
9 - 10	Избранные вопросы ФЭЧ Обсуждение особенностей некоторых процессов: выход промежуточных частиц на массовую поверхность, множественное рождение мягких фотонов, приближенная факторизация амплитуды вероятности, нарушение P-четности, феноменологическое

	описание амплитуды взаимодействия лептонов с адронами (введение форм-факторов), распад Хиггса и др. Сдача БДЗ: выступление студентов у доски со своей задачей.
--	--

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Занятия проводятся в интерактивной форме. Даже во время лекции лектор постоянно обращается к аудитории с вопросами как на знание пройденного материала, так и озадачивающими студентов поднимаемой проблемой в рамках обсуждаемой темы.

Раз в несколько занятий проводятся тесты.

На семинарах выдаются домашние задания, которые студенты рассказывают потом перед аудиторией, отвечают на вопросы.

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-1	З-ПК-1	Э, СК-8, КИ-10
	У-ПК-1	Э, СК-8, КИ-10
	В-ПК-1	Э, СК-8, КИ-10
ПК-11.1	З-ПК-11.1	Э, СК-8, КИ-10
	У-ПК-11.1	Э, СК-8, КИ-10
	В-ПК-11.1	Э, СК-8, КИ-10
ПК-2	З-ПК-2	Э, СК-8, КИ-10
	У-ПК-2	Э, СК-8, КИ-10
	В-ПК-2	Э, СК-8, КИ-10
ПК-4	З-ПК-4	Э, СК-8, КИ-10
	У-ПК-4	Э, СК-8, КИ-10
	В-ПК-4	Э, СК-8, КИ-10

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»	В	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		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	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 – «неудовлетворительно»	Ф	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.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.1 П27 Введение в физику высоких энергий : , Перкинс Д., М.: Энергоатомиздат, 1991
2. ЭИ Е60 Лекции по основам электрослабой модели и новой физике : учебное пособие для вузов, Емельянов В.М., Белоцкий К.М., Москва: МИФИ, 2007
3. 539.1 О-52 Лептоны и кварки : , Окунь Л.Б., Москва: ЛКИ, 2008
4. 539.1 М92 Экспериментальная ядерная физика Т. 3 Физика элементарных частиц, Мухин К.Н., : Лань, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Т46 Beyond Standard Model Collider Phenomenology of Higgs Physics and Supersymmetry : , Thomas, Marc Christopher. , Cham: Springer International Publishing, 2016

2. ЭИ M91 Electroweak Physics at the LHC : , Mozer, Matthias U. , Cham: Springer International Publishing, 2016
3. ЭИ D99 From Special Relativity to Feynman Diagrams : A Course in Theoretical Particle Physics for Beginners, Trigiante, Mario. , D'Auria, Riccardo. , Cham: Springer International Publishing, 2016
4. ЭИ B21 Introduction to Particle Cosmology : The Standard Model of Cosmology and its Open Problems, Dolgov, Alexandre D. , Bambi, Cosimo. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016
5. 539.1 О-52 Лептоны и кварки : , Окунь Л.Б., Москва: Наука, 1990
6. 539.1 Б86 Физика частиц 2013: Квантовая электродинамика и стандартная модель : , Бояркина Г.Г., Бояркин О.М., Москва: Либроком, 2015
7. 539.1 Б86 Физика частиц 2013: От электрона до бозона Хиггса. Квантовая теория свободных полей : , Бояркина Г.Г., Бояркин О.М., Москва: Ленанд, 2016
8. 539.1 О-52 Физика элементарных частиц : , Окунь Л.Б., М.: Наука, 1988

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. arXiv (<http://arxiv.org/>)

<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

Очень важно ходить на лекции, т.к. много излагаемого материала не доступно ни в одном учебнике. При подготовке к экзамену или опросу на лекции важно обратить внимание не столько на технические детали различных экспериментов, сколько на положенные в их основу физические принципы, идею, схему. На объяснении последних делается основной акцент на лекциях. На семинарах приводится весь необходимый материал для решения БДЗ, и даются комментарии по каждой из задач о степени ее сложности, подходе к ее решению. Это говорит об особой важности посещения всех практических занятий.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Общие рекомендации.

Для лучшего усвоения материала студентами каждую лекцию следует начинать с напоминания предыдущей лекции (можно в виде вопросов) и пояснения ее связи с предстоящей.

На протяжении лекции полезно поддерживать интерактивность между лектором и студентами в виде вопросов в аудиторию. Также важно постоянно задавать вопросы, озадачивающие студентов поднимаемой проблемой в рамках обсуждаемой темы.

Материал.

Основным учебником по курсу следует считать Д. Перкинс, «Введение в физику высоких энергий», Москва. Однако он содержит не более половины всего лекционного материала. В качестве вспомогательного материала по некоторым лекциям можно рекомендовать оригинальные статьи (и обзоры с ресурса arXiv). Основным пособием для семинаров следует считать ученик Л.Б. Окунь, «Лептоны и кварки», а также Д.Перкинса.

Автор(ы):

Белоцкий Константин Михайлович, к.ф.-м.н.