

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

|                            |   |
|----------------------------|---|
|                            | <b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>  |
| <b>по дисциплине:</b>      | Введение в физику элементарных частиц   |
| <b>по направлению:</b>     | Прикладные математика и физика  |
| <b>профиль подготовки:</b> | Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий<br>Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В.<br>Курчатова<br>кафедра фундаментальных взаимодействий и физики элементарных частиц |
| <b>курс:</b>               | 3   |
| <b>квалификация:</b>       | бакалавр  |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Р.В. Мизюк, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальных взаимодействий и физики элементарных частиц  
28.03.2025

## Аннотация

Курс предназначен для ознакомления студентов с основными направлениями исследования в физике элементарных частиц. Студенты должны получить базовое представление о современной теории элементарных частиц – Стандартной модели, об этапах ее становления и о современном статусе теоретических и экспериментальных исследований.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- ознакомление студентов с основными направлениями исследований в физике элементарных частиц.

#### Задачи дисциплины

Студенты должны получить базовое представление о современной теории элементарных частиц – Стандартной модели, об этапах ее становления и о современном статусе теоретических и экспериментальных исследований. Курс включает знакомство с основными современными экспериментами, при этом особое внимание уделяется описанию участия в них групп из ИТЭФ, что призвано помочь студентам в выборе научных руководителей.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции   | Индикаторы достижения компетенции   |
|--|---|
| УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач  | УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи                             |
|  | УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки  |
| ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности   | ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения  |
|  | ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки   |
|  | ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов   |
| ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности  | ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности |
| ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре | ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок                     |
|  | ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников               |
| ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования  | ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики   |
|  | ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин   |
|  | ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях         |
| ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы  | ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины          |

|  |   |
|--|---|
| данные и делать научные выводы (заключения)  | ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных   |
| ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области | ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования                                     |
| ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов   | ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области                                    |
|  | ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей   |
|  | ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов |

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

содержание предмета курса «Введение в физику элементарных частиц», соответствующую терминологию и понятийный аппарат. Иметь представление об основных положениях Стандартной модели, знать основные экспериментальные результаты, которые привели к построению Стандартной модели, основные современные эксперименты и решаемые ими задачи.

уметь:

- интерпретировать экспериментальные результаты.

владеть:

- терминологией физики элементарных частиц;  
- методикой анализа данных.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| №                     | Тема (раздел) дисциплины | Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час. |          |                 |                |
|-----------------------|--------------------------|---|----------|-----------------|----------------|
|                       |                          | Лекции  | Семинары | Лаборат. работы | Самост. работа |
| 1                     | Открытие лептонов.       | 6   | 3        |                 | 9              |
| 2                     | Свойства адронов.        | 8   | 4        |                 | 9              |
| 3                     | Слабые распады.          | 6   | 3        |                 | 9              |
| 4                     | Физика нейтрино.         | 4   | 2        |                 | 9              |
| 5                     | Стандартная модель.      | 6   | 3        |                 | 9              |
| Итого часов           |                          | 30  | 15       |                 | 45             |
| Подготовка к экзамену |                          | 0 час.  |          |                 |                |
| Общая трудоёмкость    |                          | 90 час., 2 зач.ед.  |          |                 |                |

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 5 (Осенний)

##### 1. Открытие лептонов.

Неделя 1. Обзор Стандартной модели, дискретные симметрии

Неделя 2. Открытие и свойства мюона.

Неделя 3. Открытие тау лептона, оценка времени жизни и лептонного бренчинга. Измерение времени жизни, массы и лептонного бренчинга.

2. Свойства адронов.

Неделя 4. Открытие  $J/\psi$  частицы, измерение ее ширины, конфайнмент, GIM механизм, схемы распада.

Неделя 5. Спектроскопия чармония, схемы уровней и разрешенные переходы, оценки ширины уровней, изотопическая инвариантность.

Неделя 6. Спектроскопия очарованных и прелестных частиц, обнаружение t-кварка.

Неделя 7. Обнаружение экзотических адронов и их свойства.

3. Слабые распады.

Неделя 8. Распады очарованных частиц. Различие времен жизни заряженных и нейтральных D-мезонов.

Неделя 9. Матрица Кабиббо-Кобаяши-Маскава, определение ее элементов из изучения распадов прелестных частиц.

Неделя 10. Нарушение CP-симметрии.

4. Физика нейтрино.

Неделя 11. Предсказание и обнаружение нейтрино, источники нейтрино, оценка сечения взаимодействия, обнаружение трех поколений нейтрино.

Неделя 12. Нейтринные осцилляции, поиски стерильных нейтрино.

5. Стандартная модель.

Неделя 13. Структура Стандартной Модели. Обнаружение W- и Z-бозонов.

Неделя 14. Обнаружение бозона Хиггса и его свойства.

Неделя 15. Поиски физики за рамками Стандартной модели.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Учебная аудитория, меловая доска, проектор, экран.

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

1. Элементарные частицы и симметрии [Текст] / Л. Райдер ; пер. с англ. под ред. Б. М. Барбашова - М. Наука, 1983
2. Л. Б. Окунь, Альфа, бета, гамма. - Москва: Наука, 1990
3. Particle Data Group 2012, reviews, mathematical tools, chapters: "Mesons", "Quarks", "Leptons", "Gauge and Higgs bosons".

### **Дополнительная литература**

1. С. В. Семенов, Физика очарованных адронов // УФН т.169, №.9 937 (1999).
2. Г.В. Пахлова, П.Н. Пахлов, С.И. Эйдельман, Экзотический чармоний // УФН т. 180 225 (2010).
3. А.Е. Бондарь, П.Н. Пахлов, А.О. Полуэктов, Наблюдение CP-нарушение в распадах B-мезонов // УФН т. 177 697 (2007).

**7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

K.A. Olive et al. (Particle Data Group), Chin. Phys. C, 38, 090001 (2014) The Review of Particle Physics. <http://pdg.lbl.gov/> (Или более поздние издания)

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

|   |  |
|---|--|
| <b>по направлению:</b>  | Прикладные математика и физика   |
| <b>профиль подготовки:</b>  | Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий<br>Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова<br>кафедра фундаментальных взаимодействий и физики элементарных частиц |
| <b>курс:</b>  | <u>3</u>   |
| <b>квалификация:</b>  | бакалавр   |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Дифференцированный зачет |  |
| <b>Разработчик:</b>   | Р.В. Мизюк, д-р физ.-мат. наук   |

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции   | Индикаторы достижения компетенции   |
|--|---|
| УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач  | УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи                             |
|  | УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки  |
| ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности   | ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения  |
|  | ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки   |
|  | ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов   |
| ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности  | ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности |
| ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре | ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок                     |
|  | ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников               |
| ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования  | ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики   |
|  | ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин   |
|  | ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях         |
| ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)  | ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины          |
|  | ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных   |
| ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области   | ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования                                       |
| ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов   | ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области                                      |
|  | ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей   |
|  | ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов   |

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Введение в физику элементарных частиц» обучающийся должен:

**знать:**

содержание предмета курса «Введение в физику элементарных частиц», соответствующую терминологию и понятийный аппарат. Иметь представление об основных положениях Стандартной модели, знать основные экспериментальные результаты, которые привели к построению Стандартной модели, основные современные эксперименты и решаемые ими задачи.

**уметь:**

- интерпретировать экспериментальные результаты.

**владеть:**

- терминологией физики элементарных частиц;
- методикой анализа данных.

**3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

Не предусмотрено.

**4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Перечень примерных вопросов:

1. Р-четность частиц и систем частиц.
2. Р-четность частиц и систем частиц.
3. С-четность частиц. С-четность позитрония.
4. Диаграмма Далица.
5. Открытие  $\chi$ -мезона. Спектроскопия  $b$ -анти- $b$  состояний.
6. Кремниевые детекторы. Классификация. Основные характеристики и область применения.
7. Экспериментальное доказательство существования нейтрино.
8. Обнаружение CP-нарушения в  $B$  мезонах.
9. Изотопическая инвариантность и изомультиплеты.
10. Распады очарованных частиц. Угол Кабиббо. Различие во временах жизни очарованных частиц.
11. Осцилляции нейтринных состояний. Связь явления с массой нейтрино.

Примеры билетов:

Билет 1.

1. Обнаружение CP-нарушения в  $B$  мезонах.
2. Изотопическая инвариантность и изомультиплеты.

Билет 2.

3. С-четность частиц. С-четность позитрония.
4. Диаграмма Далица.

**Критерии оценивания**

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.



Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится по билетам.

В каждом билете представлено два теоретических вопроса и одна задача.

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку.

Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.