

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 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОСЛАБЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

| Семестр | Трудоемкость,<br>кред. | Общий объем<br>курса, час. | Лекции, час. | Практич.<br>занятия, час. | Лаборат. работы,<br>час. | В форме<br>практической<br>подготовки/ В | СРС, час. | КСР, час. | Форма(ы)<br>контроля,<br>экз./зач./КР/КП |
|---------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------------------|-----------|-----------|------------------------------------------|
| 2       | 4                      | 144                        | 15           | 30                        | 0                        |                                          | 63        | 0         | Э                                        |
| Итого   | 4                      | 144                        | 15           | 30                        | 0                        | 0                                        | 63        | 0         |                                          |

## АННОТАЦИЯ

В курсе излагаются основы теории калибровочных полей – математического языка, на котором формулируется Стандартная Модель. Изучается конструкция калибровочной теории электрослабых взаимодействий Глэшоу-Вайнберга-Салама и вытекающей из неё эффективной теории Ферми.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью курса является формирование знаний у студентов об устройстве Стандартной Модели, а также общее знакомство с языком теории калибровочных взаимодействий, и формирование умения им пользоваться.

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

К данному времени студенты пройдут спец. курсы необходимые для начала изучения дисциплины: «Теория поля», «Квантовая механика», «Введение в ядерную физику» и др. Изучение данного курса откроет возможность изучения дальнейших курсов «Квантовая Теория Поля и Гравитации» и проч. Также, изучение данного курса необходимо для научной работы в рамках НИРС и, главное, в рамках работы над дипломным проектом.

### 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;<br>Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)                                  | Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| научно-исследовательский                                                                                                                      |                                                                                                                                                         |                                                                                                                                             |                                                                                                                                              |
| 1 Разработка методов регистрации ионизирующих и электромагнитных излучений; создание теоретических моделей состояния вещества, взаимодействия | 1 Современный ядерно-физический эксперимент, современные электронные системы сбора и обработки данных для ядерных и физических установок математические | ПК-3 [1] - Способен оценивать перспективы развития атомной отрасли, использовать ее современные достижения и передовые технологии в научно- | З-ПК-3[1] - Знать достижения научно-технического прогресса ;<br>У-ПК-3[1] - Уметь применять полученные знания к решению практических задач.; |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                     |                                                                                                      |                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>лазерного и ионизирующего излучения с веществом; создание математических моделей, описывающих процессы в ядерных реакторах, ускорителях, коллайдерах, масс-спектрометрах; создание методов расчета разделения изотопных и молекулярных смесей; создание современных электронных устройств сбора и обработки информации, учета воздействия на эти устройства ионизирующего и электромагнитного излучений; разработка методов повышения безопасности ядерных и лазерных установок, материалов и технологий; разработка теоретических моделей прохождения излучения через вещество, воздействия ионизирующего, лазерного и электромагнитного излучений на человека и объекты окружающей среды</p> | <p>модели для теоретического и экспериментального исследований фундаментальных взаимодействий элементарных частиц и атомных ядер и их излучений</p> | <p>исследовательской деятельности</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 40.011</p> | <p>В-ПК-3[1] - владеть методами моделирования физических процессов.</p>            |
| <p>1 Разработка методов регистрации ионизирующих и электромагнитных излучений; создание</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>1 Современный ядерно-физический эксперимент, современные электронные системы</p>                                                                 | <p>ПК-4 [1] - Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические</p>                | <p>3-ПК-4[1] - Знать: цели и задачи проводимых исследований; основные методы и</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>теоретических моделей состояния вещества, взаимодействия лазерного и ионизирующего излучения с веществом; создание математических моделей, описывающих процессы в ядерных реакторах, ускорителях, коллайдерах, масс-спектрометрах; создание методов расчета разделения изотопных и молекулярных смесей; создание современных электронных устройств сбора и обработки информации, учета воздействия на эти устройства ионизирующего и электромагнитного излучений; разработка методов повышения безопасности ядерных и лазерных установок, материалов и технологий; разработка теоретических моделей прохождения излучения через вещество, воздействия ионизирующего, лазерного и электромагнитного излучений на человека и объекты окружающей среды</p> | <p>сбора и обработки данных для ядерных и физических установок математические модели для теоретического и экспериментального исследований фундаментальных взаимодействий элементарных частиц и атомных ядер и их излучений</p> | <p>исследования для решения научных и производственных задач</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 40.011</p> | <p>средства проведения экспериментальных и теоретических исследований; методы и средства математической обработки результатов экспериментальных данных ;<br/>У-ПК-4[1] - Уметь: применять методы проведения экспериментов; использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения; оформлять результаты научно-исследовательских работ;<br/>В-ПК-4[1] - Владеть: навыками самостоятельного выполнения экспериментальных и теоретических исследования для решения научных и производственных задач</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### 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                               |
|-------|---------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|       | <i>2 Семестр</i>                            |        |                                                       |                                           |                               |                                     |                                                               |
| 1     | Первый раздел                               | 1-8    | 8/16/0                                                |                                           | 25                            | КИ-8                                | 3-ПК-3,<br>У-ПК-3,<br>В-ПК-3                                  |
| 2     | Второй раздел                               | 9-15   | 7/14/0                                                |                                           | 25                            | КИ-15                               | 3-ПК-4,<br>У-ПК-4,<br>В-ПК-4                                  |
|       | <i>Итого за 2 Семестр</i>                   |        | 15/30/0                                               |                                           | 50                            |                                     |                                                               |
|       | <b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b> |        |                                                       |                                           | 50                            | Э                                   | 3-ПК-3,<br>У-ПК-3,<br>В-ПК-3,<br>3-ПК-4,<br>У-ПК-4,<br>В-ПК-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  |
| Э           | Экзамен             |

#### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Недели     | Темы занятий / Содержание                                                                                                                                                      | Лек., час.             | Пр./сем., час. | Лаб., час. |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------|------------|
|            | <i>2 Семестр</i>                                                                                                                                                               | 15                     | 30             | 0          |
| <b>1-8</b> | <b>Первый раздел</b>                                                                                                                                                           | 8                      | 16             | 0          |
| 1 - 2      | <b>Введение</b><br>Место курса в физике высоких энергий. Тензорные обозначения. Вариационный принцип в механике и теории поля. Квантование интегралом по путям.                | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |                                                                                                                                                                                | 2                      | 4              | 0          |
|            |                                                                                                                                                                                | Онлайн                 |                |            |
|            |                                                                                                                                                                                | 0                      | 0              | 0          |
| 3 - 5      | <b>Теория поля</b><br>Скалярное поле, понятие частицы. Потенциал, масса. Диаграммы Фейнмана. Внутренняя и пространственная симметрия, теорема Нетер. Тензор энергии импульса и | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |                                                                                                                                                                                | 3                      | 6              | 0          |
|            |                                                                                                                                                                                | Онлайн                 |                |            |
|            |                                                                                                                                                                                | 0                      | 0              | 0          |

|         |                                                                                                                                                                                                                                                    |                        |    |   |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----|---|
|         | углового момента. Векторное поле, поляризация.                                                                                                                                                                                                     |                        |    |   |
| 6 - 8   | <b>Основы теории групп</b><br>Определение группы, гомоморфизм. Группы Ли, их примеры. Алгебры Ли, генераторы, структурные константы. Представления группы, неприводимые представления. Мультиплеты. Группа вращений.                               | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                    | 3                      | 6  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                    | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                    | 0                      | 0  | 0 |
| 9-15    | <b>Второй раздел</b>                                                                                                                                                                                                                               | 7                      | 14 | 0 |
| 9 - 10  | <b>Калибровочная теория</b><br>Глобальные и локальные симметрии. Длинная производная, калибровочные поля. Абелева теория, группа U(1). Неабелева теория, самовзаимодействие.                                                                       | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                    | 2                      | 4  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                    | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                    | 0                      | 0  | 0 |
| 11 - 12 | <b>Фермионы</b><br>Группа Лоренца, её неприводимые представления. Инвариантный лагранжиан фермионов, уравнение Дирака. Спин, хиральность. Фермионы Вейля и Майораны. Лагранжиан КЭД.                                                               | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                    | 2                      | 4  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                    | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                    | 0                      | 0  | 0 |
| 13 - 15 | <b>Электрослабая теория</b><br>Лептонный сектор СМ. Нарушение Р-четности. Калибровочное смешивание, угол Вайнберга, гиперзаряды. Механизм Хиггса, массы W и Z бозонов. Остаточная U(1)-симметрия. Слабые и электромагнитные вершины, теория Ферми. | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                    | 3                      | 5  | 0 |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                    | Онлайн                 |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                    | 0                      | 0  | 0 |
| 15      | <b>Контрольное мероприятие</b><br>Сдача заданий                                                                                                                                                                                                    | Всего аудиторных часов |    |   |
|         |                                                                                                                                                                                                                                                    | 0                      | 1  | 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>2 Семестр</i>                                                                                      |
| 1 - 2  | <b>ВВОДНОЕ ЗАНЯТИЕ</b><br>Проводится вводная беседа о месте курса в образовательной программе         |
| 2 - 8  | <b>Обсуждение лекционных занятий</b><br>Проводится обсуждение лекционных тем в дискуссионном варианте |
| 9 - 15 | <b>Обсуждение лекционных занятий</b><br>Проводится обсуждение лекционных тем в дискуссионном варианте |
| 15     | <b>Контрольное мероприятие</b>                                                                        |

## 5. 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. Например, именно в такой технологии можно контролировать усвояемость актуальной темы "Стандартная модель", где поднимается много теоретических вопросов, требующих осмысления их применения в реальных физических задачах. Без дискуссии изучение таких тем невозможно.

На семинарах выдаются домашние задания, которые студенты выполняют и рассказывают перед аудиторией на семинарах, а также отвечают на вопросы аудитории.

## 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-3        | З-ПК-3              | Э, КИ-8                           |
|             | У-ПК-3              | Э, КИ-8                           |
|             | В-ПК-3              | Э, КИ-8                           |
| ПК-4        | З-ПК-4              | Э, КИ-15                          |
|             | У-ПК-4              | Э, КИ-15                          |
|             | В-ПК-4              | Э, 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:

| 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»              | 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 – «удовлетворительно»   | 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 – «неудовлетворительно» | F | 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. |

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

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

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



Лекции, как правило, читаются в аудиториях с использованием доски. Важно присутствовать на каждой лекции и вести конспект.

Рекомендуется записывать важные моменты, отмечаемые лектором словами, даже если таковые показались очевидными. На протяжении каждой лекции преподаватель может задавать вопросы.

В качестве основного материала для подготовки к экзамену рекомендуется использовать конспект лекции. В отдельных случаях возможно использование ДОТ.

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

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

Важно задавать вопросы на знание материала из прошедших лекций или других курсов по мере обращения к этому материалу или по крайней мере проговаривать их связь.

Также важно постоянно задавать вопросы, озадачивающие студентов поднимаемой проблемой в рамках обсуждаемой темы (даже если она совсем частного характера), стимулируя внимание и творческое участие студента в ходе рассуждений лектора.

Автор(ы):

Куденко Юрий Григорьевич, д.ф.-м.н., профессор

Окороков Виталий Алексеевич, д.ф.-м.н., профессор

Рецензент(ы):

Рубин С.Г., проф. каф.40