

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 ТФ НИЯУ МИФИ

Протокол № 6

от 23.12.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**АППАРАТУРА И УСТАНОВКИ В ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

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. | KCP, час. | Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП |
|---------|---------------------|-------------------------|--------------|------------------------|-----------------------|---|-----------|------------------------------------|
| 8       | 2                   | 72                      | 15           | 15                     | 0                     | 42  | 0         | 3                                  |
| Итого   | 2                   | 72                      | 15           | 15                     | 0                     | 42  | 0         |                                    |

## АННОТАЦИЯ

Учебная дисциплина «Аппаратура и установки в физике высоких энергий» состоит из трех основных разделов. В первом рассматривается физика ускорителей, при этом основное внимание уделено современным действующим ускорительным комплексам (LHC, RHIC, GSI и др.), а также проектируемым ускорителям (FAIR, NICA, ILC и др.). Во втором разделе кратко рассматриваются вопросы прохождения частиц через вещество, связанные с функционированием современных детекторов частиц. Наконец, в третьем разделе рассматриваются вопросы регистрации и идентификации частиц, образующихся на ускорителях сверхвысоких энергий, а также принципы работы крупнейших детекторов LHC.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целями освоения учебной дисциплины «Аппаратура и установки в физике высоких энергий» является развитие понимания у студентов основ физики ускорителей, прохождения частиц через вещество, умения разрабатывать экспериментальные подходы для решения физических задач на современных ускорителях.

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

Для изучения курса «Аппаратура и установки в физике высоких энергий» студенты должны предварительно ознакомиться с курсами: "Экспериментальные методы ядерной физики", «Квантовая механика», «Введение в ядерную физику» и др. Изучение данного курса необходимо для научной работы в рамках НИРС и, главное, в рамках работы над дипломным проектом. Также понимание основ курса способствует лучшему пониманию научных публикаций по экспериментальной физике элементарных частиц и физике ядра.

### **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 |
|---|---|--|---|
| Получение знаний в области радиационной экологии, воздействия | научно-исследовательский<br>Элементарные частицы, детекторы | ПК-3 [1] - Способен проводить физические эксперименты по   | 3-ПК-3[1] - знать основные физические законы и методы                 |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| радиации, физики элементарных частиц и космологии, описание явлений в данной области.   | элементарных частиц, ускорители элементарных частиц, источники излучения   | заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчетов, анализу результатов и подготовке научных публикаций<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 24.078 | обработки данных ; У-ПК-3[1] - уметь работать по заданной методике, составлять описания проводимых исследований и отчеты, подготавливать материалы для научных публикаций; В-ПК-3[1] - владеть навыками проведения физических экспериментов по заданной методике, основами компьютерных и информационных технологий, научной терминологией |
| 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 | проектный<br>Ускорители заряженных частиц, детекторы, ядерные реакторы, энергетические установки, системы обеспечения безопасности | ПК-23.2 [1] - Способен проводить проектирование детекторов и установок в области физики ядра и частиц<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 24.028                        | 3-ПК-23.2[1] - знать методы проектирования детекторов и установок; У-ПК-23.2[1] - уметь использовать стандартные пакеты программ для проектирования; В-ПК-23.2[1] - владеть пакетами прикладных программ   |

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

| Направления/цели воспитания | Задачи воспитания (код)  | Воспитательный потенциал дисциплин  |
|-----------------------------|--|---|
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17) | 1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной |

|                             |  |   |
|-----------------------------|--|---|
|                             |  | <p>и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.</p> |
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)   | <p>Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.</p>   |
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19) | <p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:<br/> - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в</p>                                      |

|                             |   |  |  |
|-----------------------------|---|--|--|
|                             |   |  | специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:<br>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;<br>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытых и теорий. |
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры информационной безопасности (В23) |  | Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирование базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уроне пользователям.   |

## 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     | Часть 1                                 | 1-8    | 8/8/0   |   | 25                            | СК-8                                | З-ПК-3, У-ПК-3,                 |

|   |   |      |         |  |    |       |  |
|---|---|------|---------|--|----|-------|--|
|   |   |      |         |  |    |       | В-<br>ПК-3,<br>З-ПК-<br>23.2,<br>У-<br>ПК-<br>23.2,<br>В-<br>ПК-<br>23.2                               |
| 2 | Часть 2   | 9-15 | 7/7/0   |  | 25 | КИ-15 | З-ПК-<br>3,<br>У-<br>ПК-3,<br>В-<br>ПК-3,<br>З-ПК-<br>23.2,<br>У-<br>ПК-<br>23.2,<br>В-<br>ПК-<br>23.2 |
|   | <i>Итого за 8 Семестр</i>                           |      | 15/15/0 |  | 50 |       |  |
|   | <b>Контрольные<br/>мероприятия за 8<br/>Семестр</b> |      |         |  | 50 | 3     | З-ПК-<br>3,<br>У-<br>ПК-3,<br>В-<br>ПК-3,<br>З-ПК-<br>23.2,<br>У-<br>ПК-<br>23.2,<br>В-<br>ПК-<br>23.2 |

\* – 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:

| Обозна<br>чение | Полное наименование  |
|-----------------|----------------------|
| СК              | Семестровый контроль |
| КИ              | Контроль по итогам   |
| З               | Зачет                |

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Недел и     | Темы занятий / Содержание   | Лек., час.                                 | Пр./сем. , час. | Лаб., час. |
|-------------|---|--|-----------------|------------|
|             | <i>8 Семестр</i>  | 15   | 15              | 0          |
| <b>1-8</b>  | <b>Часть 1</b>  | 8  | 8               | 0          |
| 1 - 5       | <b>Ускорители</b><br>Основные положения курса. Линейные и циклические ускорители. Линейные и циклические коллайдеры.  | Всего аудиторных часов<br>5<br>Онлайн<br>0 | 5<br>0          | 0          |
| 6 - 8       | <b>Вторичные пучки</b><br>Вторичные пучки радиоактивных ионов. Вторичные пучки пионов и мюонов, мезонные фабрики. Вторичные пучки нейтральных частиц: фотонов, нейтронов, нейтрино. Проекты ускорительных комплексов FAIR и NICA. | Всего аудиторных часов<br>3<br>Онлайн<br>0 | 3<br>0          | 0          |
| <b>9-15</b> | <b>Часть 2</b>  | 7  | 7               | 0          |
| 9 - 10      | <b>Взаимодействие частиц с веществом</b><br>Взаимодействие легких частиц (фотонов, электронов, позитронов, нейтрино) с веществом. Взаимодействие тяжелых частиц с веществом.  | Всего аудиторных часов<br>2<br>Онлайн<br>0 | 2<br>0          | 0          |
| 11 - 15     | <b>Ядерная аппаратура и методы</b><br>Идентификация частиц и ядер: методы и детекторы. Детектор ATLAS на LHC. Детекторы CMS, ALICE, и LHCb на LHC.  | Всего аудиторных часов<br>5<br>Онлайн<br>0 | 5<br>0          | 0          |

Сокращенные наименования онлайн опций:

| Обозна чение | 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 - 5  | <b>Первичные пучки</b><br>Ускорители прямого действия. Тандемные ускорители Ван дер Графа.<br>Принцип действия циклотрона. Нестабильность пучков тяжелых частиц в циклотроне. Ускоритель Видерое.<br>Дрейфовые трубки. Высокочастотные ускорительные элементы, клистроны. Энергии частиц рождаемых в |

|         |   |
|---------|---|
|         | столкновениях на фиксированной мишени и на коллайдерах. Создание пучков позитронов. Синхротронное излучение.  |
| 6 - 8   | <b>Вторичные пучки</b><br>Методы ISOL и In-Flight создания пучков радиоактивных ионов. Методы создания пучков заряженных пионов и мюонов. Мезонная фабрика PSI. Методы создания импульсных пучков нейтронов. Проекты создания нейтринных фабрик.  |
| 9 - 10  | <b>Взаимодействие частиц с веществом</b><br>Тормозная способность вещества. Ионизационные и радиационные потери энергии. Критическая энергия. Сечения взаимодействия высокoenергичных фотонов с веществом. Электромагнитный каскад. Ядерный каскад. Излучение Черенкова. Переходное излучение.                                    |
| 11 - 15 | <b>Ядерная аппаратура и методы</b><br>Идентификация частиц и ядер. Электромагнитные и ядерные каскады. Характеристики ливней высокoenергичных частиц. Детекторы RICH. Детекторы переходного излучения. Ионизационные методы идентификации частиц. Время проекционная камера. Пиксельные и стриповые детекторы. Мюонные детекторы. |

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Занятия проводятся в интерактивной форме. Во время лекции лектор постоянно обращается к аудитории с вопросами, как на знание пройденного материала, так и на решение проблем в рамках обсуждаемой темы. Все лекционные занятия проводятся с использованием презентаций. Также презентации используются студентами при представлении подготовленными ими рефератов. Раз в несколько занятий проводятся контрольные работы и тесты. На семинарах проводится обсуждение выполненных студентами самостоятельных работ.

## 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-23.2     | З-ПК-23.2           | 3, СК-8, КИ-15                    |
|             | У-ПК-23.2           | 3, СК-8, КИ-15                    |
|             | В-ПК-23.2           | 3, СК-8, КИ-15                    |
| ПК-3        | З-ПК-3              | 3, СК-8, КИ-15                    |
|             | У-ПК-3              | 3, СК-8, КИ-15                    |
|             | В-ПК-3              | 3, СК-8, КИ-15                    |

## **Шкалы оценки образовательных достижений**

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

| 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 иочно 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        |                               | B           |   |
| 75-84        |                               | C           |   |
| 70-74        | 4 – «хорошо»                  | D           | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.   |
| 65-69        |                               |             |   |
| 60-64        | 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.  |
| 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. |

Оценочные средства приведены в Приложении.

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

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. ЭИ D83 High-Energy Atomic Physics : , Cham: Springer International Publishing, 2016

2. ЭИ H99 Image Feature Detectors and Descriptors : Foundations and Applications, Cham: Springer International Publishing, 2016
3. ЭИ M52 Melting Hadrons, Boiling Quarks - From Hagedorn Temperature to Ultra-Relativistic Heavy-Ion Collisions at CERN : With a Tribute to Rolf Hagedorn, Cham: Springer International Publishing, 2016
4. ЭИ S98 Synchrotron Light Sources and Free-Electron Lasers : Accelerator Physics, Instrumentation and Science Applications, Cham: Springer International Publishing, 2016
5. ЭИ Г95 Телескопические полупроводниковые детекторы для ускорительных экспериментов : учебное пособие для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
6. ЭИ С 86 Физика атомного ядра и элементарных частиц: основы кинематики : учебное пособие для вузов, Москва: Юрайт, 2022
7. 539.1 М92 Экспериментальная ядерная физика Т. 1 Физика атомного ядра, , : Лань, 2008
8. 539.1 М92 Экспериментальная ядерная физика Т. 3 Физика элементарных частиц, , : Лань, 2008
9. 539.1 И97 Частицы и атомные ядра : учебник для вузов, Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, Н. П. Юдин, Москва: ЛКИ, 2007
10. ЭИ Г95 Спектроскопия сверхтяжелых изотопов водорода : учебное пособие для вузов, Ю. Б. Гуров, Б. А. Чернышев, Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
11. 621.38 Д55 Ускорители заряженных частиц в экспериментальной физике высоких энергий : текст лекций, Ю. П. Добрецов, Москва: МИФИ, 2008

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 52 И 97 Нуклеосинтез во Вселенной : учеб. пособие, Москва: URSS, 2019
2. 52 И97 Нуклеосинтез во Вселенной : учебное пособие для вузов, Москва: Либроком, 2013
3. 539.1 В24 Введение в физику тяжелых ионов : учебное пособие для вузов, ред. : Ю. Ц. Оганесян, Москва: МИФИ, 2008
4. 539.1 Г95 Телескопические полупроводниковые детекторы для ускорительных экспериментов : учебное пособие для вузов, Ю.Б. Гуров, Б. А. Чернышев, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
5. 539.1 Г95 Полупроводниковые детекторы ядерных излучений : , Ю.Б. Гуров, С. В. Исаков, С. В. Лапушкин, Москва: МИФИ, 2007

#### 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**

1. Лекционная аудитория ()

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

Важным условием обучения является систематическое посещение учебных занятий, т.к. значительная часть излагаемого материала, основанная на современных научных результатах, отсутствует в учебных пособиях. Лекции читаются как с использованием доски, так и проектора (в виде презентаций).

При подготовке к экзамену или опросу на лекции важно обратить внимание на взаимосвязь излагаемых в учебных курсах вопросов, и особенно, на физические принципы, лежащие в основе рассматриваемых вопросов. Их рассмотрению уделяется значительное внимание на лекциях. На семинарах приводится весь необходимый материал для решения контрольных работ и тестов, и даются комментарии по рассматриваемым темам, что подчеркивает необходимость максимально возможной посещаемости занятий.

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

В течение лекции важно поддерживать интерактивную связь между лектором и студентами в форме вопросов к аудитории. Важно задавать вопросы на владение материалом прошедших лекций, а также других смежных курсов. Важно, чтобы студенты понимали связь между различными дисциплинами и формами знаний знаниями и необходимость комплексного овладения предметом. Вопросы должны вызывать интерес студентов к излагаемому материалу, приводя их к творческому участию в изложении лекции.

Важной особенностью этого курса является то, что со многими понятиями и методами студенты встречаются фактически впервые. Поэтому необходимо точное и подробное описание используемой в курсе терминологии. Необходимо постоянно подчеркивать актуальность курса на конкретных примерах, проводящихся в настоящее время исследований на ускорителях в ядерной физике и физике элементарных частиц.

Автор(ы):

Чернышев Борис Андреевич, к.ф.-м.н.