

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

ПРИНЯТО

УТВЕРЖДАЮ

Ученым советом ФИАН

Протокол № 01/23 от 30.01 2023 г.

Ученый секретарь

Колобов А.В.

Директор ФИАН

Колачевский Н.Н.

« 23 » 01 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Физика атомного ядра и элементарных частиц»

(наименование дисциплины)

Уровень образования:

аспирантура

Направление подготовки:

03.06.01 - Физика и астрономия

(указывается код и наименование направления подготовки)

Направленность подготовки:

«Приборы и методы экспериментальной физики»

(указывается наименование направленности)

Научная специальность:

1.3.2 «Приборы и методы экспериментальной физики»

(указывается наименование научной специальности)

Квалификация: **Исследователь. Преподаватель-исследователь.**

Форма обучения: **очная**

Москва, 2023 г.

1. Цели и задачи дисциплины.

Опираясь на полученные ранее знания по специальным курсам в магистратуре, программа дисциплины предполагает углубленное изучение аспирантами структуры и строения атомных ядер, ядерных реакций, структуры Стандартной Модели элементарных частиц и их взаимодействий, взаимосвязи явлений микро и макро мира. Особое внимание уделено неполноте Стандартной модели и в этой связи рассматриваются вопросы, связанные с исследованиями нейтринной массы, CP-нарушением в лептонном секторе, а также поиском темной материи и происхождением частиц с предельными энергиями во Вселенной.

Курс предназначен для аспирантов, специализирующихся в различных областях физики, поэтому основной задачей курса является получение базовых знаний, необходимых для того, чтобы понимать и разбираться в фундаментальных проблемах ядерной физики, физике элементарных частиц, физике космических лучей, нейтринной физике и астрофизике. Кроме того, курс позволяет аспирантам ориентироваться в современных детекторных технологиях и иметь информацию о современных экспериментальных установках, которые работают на ускорителях, в наземных и подземных астрофизических лабораториях и в космическом пространстве. Также в рамках курса уделяется внимание применению ядерно-физической аппаратуры и практическим приложениям ядерно-физических методов исследований в различных областях науки, включая биологию, ядерную хронологию, мюонную геотомографию и ядерную медицину. Для достижения целей и задач курса используется широкая база различных учебных материалов, в которых отражены ключевые вопросы развития и становления современной ядерной физики, физики элементарных частиц и астрофизики.

2. Место дисциплины в структуре ООП.

Дисциплина относится к **обязательным** дисциплинам программы аспирантуры.

Дисциплина изучается на 3 курсе.

Требования к «входным» знаниям, умениям и готовности обучающегося, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин: программы магистратуры по физике.

Дисциплины, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: «программы магистратуры по физике».

Актуальность курса обусловлена большим практическим и теоретическим значением фундаментальных взаимодействий элементарных частиц в процессе познания природы на различных энергетических масштабах.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (компетенциями выпускников):

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

1. **ПК-2.** Способность к проведению экспериментальных и теоретических исследований, направленных на разработку новых принципов и методов физических измерений, а также к созданию новых приборов и устройств для изучения физических явлений и процессов (Профиль «Приборы и методы экспериментальной физики»);

| Формируемые компетенции (код и название компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций |
|--|---|
| УК-1 (способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях) | <p>Знать: современные научные достижения в предметной области дисциплины; основные закономерности; основные экспериментальные и теоретические методы изучения дисциплины,</p> <p>Уметь: способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений в области дисциплины.</p> |
| ПК-2 (Способность к проведению экспериментальных и теоретических исследований, направленных на разработку новых принципов и методов физических измерений, а также к созданию новых приборов и устройств для изучения физических явлений и процессов.) | <p>Знать: методики анализа современных физико-технических проблем, способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач разработки приборов и методов экспериментальной физики</p> <p>Уметь: критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития приборов и методов экспериментальной физики.</p> <p>Владеть: приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению научных задач разработки приборов и методов экспериментальной физики.</p> |

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц.

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

| Вид учебной работы | Трудоёмкость | | | |
|--|--------------|------------|---------------------|-----------|
| | зач. ед. | час. | в т.ч. по семестрам | |
| | | | № 1 | № 2 |
| Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану | 4 | 144 | 72 | 72 |
| Аудиторная работа: | | 64 | 32 | 32 |
| <i>лекции (Л)</i> | | <i>64</i> | <i>32</i> | <i>32</i> |
| | | | | |
| Самостоятельная работа: | | 66 | 33 | 33 |
| | | | | |
| Вид контроля: Зачет | | 14 | 7 | 7 |
| | | | | |

4.2 Содержание дисциплины

Тематический план учебной дисциплины

| Семестр 1 | |
|---|--|
| Наименование | Содержание раздела |
| 1. Строение вещества. Связь микро и макро мира. | 1) Структурные уровни вещества. 2) Агрегатные состояния вещества. 3) Фазовые переходы. 4) Масштабы микро и макро мира. 5) Связь физики элементарных частиц и космологии. |
| 2. Общие свойства ядерного вещества. | 1) Основные характеристики ядер. 2) Плотность. 3) Заряд. 4) Радиусы ядер. 5) Спины ядер. 6) Четность. 7) Спектры возбуждения. 8) Ядерная нестабильность. |
| 3. Ядерные силы | 1) Свойства ядерных сил. 2) Нуклон-нуклонное взаимодействие. 3) Ядерные оболочки. 4) Насыщение ядерных сил. 5) Энергия связи ядер. 6) Изотопический спин. |
| 4. Модели ядра | 1) Капельная модель ядра. 2) Модель Ферми-газа. 3) Одночастичная оболочечная модель. 4) Средний ядерный потенциал. 5) Спин-орбитальная связь. 6) Обобщенная модель ядра. 7) Коллективные эффекты в ядрах |
| 5. Радиоактивный | 1) Законы радиоактивного распада ядра. |

| | | |
|--|---|--|
| распад ядер | <ol style="list-style-type: none"> 2) Альфа-распад. 3) Протонный распад. 4) Бета-распад. 5) Правила отбора и форма бета-спектров. 6) Разрешенные и запрещенные бета-переходы. 7) Двойной бета-распад. 8) Гамма-распад | |
| 6. Ядерные реакции | <ol style="list-style-type: none"> 1) Основы теории ядерных реакций. 2) Законы сохранения. 3) Принцип детального равновесия. 4) Каналы реакции. 5) Матрицы рассеяния. 6) Прямые ядерные реакции. Неупругое рассеяние. 7) Исследование ядра с помощью быстрых электронов, мезонов, протонов. 8) Реакции с нейтронами. | |
| 7. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом | <ol style="list-style-type: none"> 1) Прохождение заряженных частиц через вещество. 2) Ионизационные потери и их флуктуации. 3) Однократное и многократное рассеяние. 4) Взаимодействие электронов и фотонов с веществом. 5) Излучение Вавилова—Черенкова. 6) Резонансное рассеяние гамма-лучей. 7) Взаимодействие нейтронов с веществом. | |
| 8. Элементарные частицы и их взаимодействия. | <ol style="list-style-type: none"> 1) Фундаментальные взаимодействия и их масштабы. 2) Фермионы и бозоны. Лептоны и кварки. В каких взаимодействиях они участвуют. 3) Цветовой заряд. Квантовая хромодинамика. 4) Отличие слабого взаимодействия от электромагнитного и сильного 5) Группы симметрий, описывающие фундаментальные взаимодействия. 6) Диаграммы Фейнмана | |
| 9. Стандартная модель элементарных частиц | <ol style="list-style-type: none"> 1) Фундаментальные квантовые поля СМ. 2) Зачем нужен бозон Хиггса. Основные свойства бозон Хиггса 3) Внешние параметры СМ. | |
| 10. Новая физика за пределами Стандартной модели. | <ol style="list-style-type: none"> 1) Какие наблюдаемые явления объясняет и не объясняет СМ. 2) Расширение Хиггсовского сектора. 3) Неполнота нейтринного сектора. 4) Существование темной материи во Вселенной. | |
| 11. Эксперименты на ускорителе LHC. | <ol style="list-style-type: none"> 1) Основные научные задачи на LHC 2) Основные характеристики LHC 3) Основные эксперименты на LHC и структура экспериментальных установок 4) Процессы рождения бозона Хиггса 5) Открытие бозона Хиггса. 6) Моды распада бозона Хиггса | |
| 12. Методы регистрации и детекторы элементарных частиц | <ol style="list-style-type: none"> 1) Физические принципы регистрации элементарных частиц в ускорительном эксперименте на встречных пучках 2) Идентификация частиц 3) Трековые детекторы | |

| | |
|--|---|
| в ускорительных экспериментах | <ul style="list-style-type: none"> 4) Дрейфовые камеры 5) Калориметры 6) Мюонные детекторы |
| 13. Фундаментальные свойства нейтрино. | <ul style="list-style-type: none"> 1) Заряд, масса, в каких взаимодействиях участвует. 2) Открытые вопросы о природе нейтрино. 3) Нейтринные ароматы и массовые состояния. 4) Реакции нейтрального и заряженного тока. 5) Сечения нейтринных взаимодействий. |
| 14. Источники нейтрино | <ul style="list-style-type: none"> 1) Солнечные нейтрино. 2) Атмосферные нейтрино 3) Нейтрино от реакторов. 4) Пучки нейтрино от ускорителей. 5) Нейтринные фабрики 6) Нейтрино от радиоактивных источников 7) Геонейтрино |
| 15. Исследование нейтринных осцилляций | <ul style="list-style-type: none"> 1) Необходимые условия существования осцилляций. 2) Структура матрицы смешивания. 3) Параметры схемы нейтринных осцилляций. 4) Вероятность нейтринных осцилляций. 5) Гипотеза существования стерильных нейтрино. 6) Эксперименты по поиску нейтринных осцилляций с использованием нейтрино от ускорителей, реакторов, а также солнечных и атмосферных нейтрино |
| 16. Дальнейшие исследования в нейтринном секторе SM | <ul style="list-style-type: none"> 1) Определение иерархии масс нейтрино 2) Исследование нарушения CP-четности в лептонном секторе 3) Измерение массы нейтрино прямыми методами 4) Исследование безнейтринного двойного бета-распада и других процессов, нацеленных на выяснение природы нейтринных масс |
| Семестр 2 | |
| 1. Физика космических лучей | <ul style="list-style-type: none"> 1) Потоки космических лучей 2) Энергетический спектр КЛ и его особенности. 3) Состав КЛ. 4) Методы регистрации космических лучей. 5) Детекторы и установки для регистрации ШАЛ. |
| 2. Космические лучи и нейтрино с предельными энергиями во Вселенной | <ul style="list-style-type: none"> 1) Схемы генерации КЛ и нейтрино ультравысоких энергий. 2) Основные проблемы регистрации частиц сверхвысоких энергий. 3) Потери энергии при распространении частиц сверхвысоких энергий во Вселенной 4) Обрезание спектра КЛ (обрезание Грейзена-Зацепина-Кузьмина) |
| 3. Экспериментальные методы и установки для регистрации частиц космического излучения сверхвысоких энергий | <ul style="list-style-type: none"> 1) Наземные массивы детекторов для регистрации КЛ 2) Эксперименты на баллонах и аэростатах 3) Эксперименты космического базирования 4) Нейтринные телескопы 5) Установки для регистрации радиоизлучения от каскадов 6) Гибридные установки и обсерватории |
| 4. Основные характеристики Вселенной | <ul style="list-style-type: none"> 1) Характеристики наблюдаемой части Вселенной в настоящее время: возраст, горизонт видимости, количество вещества-энергии, средняя плотность, число нуклонов, постоянная Хаббла |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> 2) Характеристики микроволнового реликтового излучения: температура, плотность реликтовых фотонов и нейтрино, отношение числа реликтовых фотонов к числу барионов 3) Состав Вселенной. Распространенность элементов. Вклады в полную плотность вещества-энергии различных форм материи. |
| 5. Основные этапы эволюции Вселенной | <ul style="list-style-type: none"> 1) Стандартная космологическая модель 2) Большой Взрыв. Космологическая сингулярность 3) Фазовые переходы в ранней Вселенной с понижением степени симметрии 4) Планковская эпоха 5) Эпоха великого объединения 6) Инфляционная стадия 7) Бариогенезис. Барионная асимметрия Вселенной 8) Эпоха электрослабых взаимодействий. 9) Образование нуклонов 10) Образование атомов 11) Рождение звезд 12) Современная эпоха |
| 6. Расширяющаяся Вселенная | <ul style="list-style-type: none"> 1) Проблема плоскостности Вселенной 2) Проблема горизонта 3) Проблема космологических магнитных монополей 4) Расширение Вселенная. Закон Хаббла 5) Космологическое красное смещение 6) Инфляционная космология 7) Открытие ускоренного расширения Вселенной 8) Вакуумная антигравитация |
| 7. Крупномасштабная структура Вселенной | <ul style="list-style-type: none"> 1) Микроволновое реликтовое излучение и его флуктуации 2) Спектр мощности реликтового излучения 3) Реликтовое излучение и закодированная в нем космологическая информация 4) Инфляционный сценарий формирования крупномасштабных структур Вселенной 5) Квантовые флуктуации в момент Большого взрыва |
| 8. Космические миссии для изучения структуры Вселенной | <ul style="list-style-type: none"> 1) Cosmic Background Explorer (COBE) 2) WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) 3) Миссия Planck 4) Телескоп Хаббл 5) Гамма-лучевая обсерватория CGRO 6) Рентгеновская обсерватория Чандра 7) Космический телескоп Спитцер 8) Космическая обсерватория Гершель 9) Телескоп Джеймса Уэбба 10) Радиоастрон |
| 9. Свидетельства существования темной материи во Вселенной | <ul style="list-style-type: none"> 1) Кривые вращения галактик 2) Динамические массы скоплений галактик 3) Гравитационное линзирование 4) Горячий газ в кластерах галактик 5) Влияние темной материи на образование на образование структур во Вселенной |
| 10. Поиск частиц темной материи | <ul style="list-style-type: none"> 1) Горячая и холодная темная материя 2) Кандидаты на роль темной материи |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> 3) Основные методы регистрации частиц темной материи 4) Поиск частиц темной материи в экспериментах на коллайдерах 5) Непрямые методы поиска частиц темной материи: регистрация продуктов аннигиляции WIMPов 6) Прямая регистрация WIMPов в подземных лабораториях 7) Регистрация сильновзаимодействующей темной материи 8) Новые перспективные методы регистрации частиц темной материи |
| 11. Темная энергия | <ul style="list-style-type: none"> 1) Указания на существование темной энергии 2) Равномерное распределение во Вселенной 3) Антигравитация темной энергии. Отрицательное давление. 4) Кандидаты на роль темной энергии 5) Эксперименты по возможному поиску темной энергии |
| 12. Экзотические объекты во Вселенной | <ul style="list-style-type: none"> 1) Активные ядра галактик 2) Гамма всплески 3) Сверхновые 4) Квазары и блазары 5) Черные дыры 6) Кротовые норы |
| 13. Гравитационные волны | <ul style="list-style-type: none"> 1) Происхождение гравитационных волн 2) Лазерно интерферометрические гравитационно-волновые обсерватории LIGO и Virgo 3) Открытие гравитационных волн 4) Дальнейшие задачи и перспективы |
| 14. Атмосферная физика высоких энергий | <ul style="list-style-type: none"> 1) Развитие молниевых разрядов в атмосфере 2) Виды молний и их поведение 3) Пробой на убегающих электронах 4) Влияние космических лучей на грозовые разряды 5) Корреляции атмосферных разрядов с высокоэнергичными излучениями 6) Темные молнии 7) Влияние атмосферных разрядов на содержание изотопов в атмосфере Земли. |
| 15. Методы обработки экспериментальных данных | <ul style="list-style-type: none"> 1) Основные понятия математической статистики. 2) Основные законы распределения случайных величин: биномиальное распределение Пуассона, распределение Гаусса. 3) Основы теории ошибок измерений. 4) Теория статистических оценок и проверки гипотез. 5) Метод максимального правдоподобия. 6) Основы теории просчетов регистрирующих систем. 7) Планирование эксперимента. 8) Системы математических программ обработки и анализа физических результатов. 9) Анализ физических результатов. |
| 16. Практические приложения ядерно-физических методов исследований | <ul style="list-style-type: none"> 1) Ядерная хронология 2) Радиоуглеродный метод 3) Мюонная томография. Анализ пустот в пирамидах 4) Космические лучи и сейсмологические исследования 5) Ядерная физика и геофизика 6) Досмотровые системы контроля 7) Воздействие радиационного поля на живые организмы |

| | |
|--|---|
| | 8) Ядерная медицина 9) Приборы и ядерно-физические методы технологий лучевой диагностики и терапии 10) Рентгеновская и протонная томография |
|--|---|

5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Виды самостоятельной работы обучающегося, порядок и сроки ее выполнения:

- 1) подготовка к лекциям с использованием материалов приведенных ниже (п 8.1 и 8.2) источников;
- 2) перечень вопросов для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации – в соответствии с тематикой дисциплины.

6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Перечень компетенций, на освоение которых направлено изучение дисциплины «Физика атомного ядра и элементарных частиц», с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы, представлен в п.3 настоящей рабочей программы. Карты компетенций приведены в ООП.

6.2.1. Показатели и критерии оценивания компетенций, используемые шкалы оценивания

| Элементы компетенций (знания, умения, владения) | Показатели оценивания | Критерии оценивания | Средства оценивания | Шкалы оценивания |
|---|---|--|---|------------------|
| Знать (ПК-2) | Знание методики анализа современных физико-технических проблем, способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач Физики атомного ядра и элементарных частиц | Правильность и полнота ответов, глубина понимания вопроса | <i>Текущий контроль:</i> Устное собеседование; выполнение практического задания, выполнение домашнего задания <i>Промежуточная аттестация:</i> зачет | Шкала 1 |
| Уметь (ПК-2) | Умение критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения | Правильность выполнения учебных заданий, аргументированность выводов | <i>Текущий контроль:</i> Устное собеседование; выполнение практического задания, выполнение домашнего задания <i>Промежуточная</i> | Шкала 2 |

| | | | | |
|--|--|--|-----------------------------|--|
| | экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития Физики атомного ядра и элементарных частиц | | <i>аттестация:</i> зачет | |
|--|--|--|-----------------------------|--|

6.2.2. Описание шкал оценивания степени сформированности элементов компетенций

Шкала 1. Оценка сформированности отдельных элементов компетенций

| Обозначения | | Формулировка требований к степени сформированности компетенции | | |
|-------------|---------------------|--|--|--|
| Цифр. | Оценка | Знать | Уметь | Владеть |
| 1 | Неудовлетворительно | Отсутствие знаний | Отсутствие умений | Отсутствие навыков |
| 2 | Неудовлетворительно | Фрагментарные знания | Частично освоенное умение | Фрагментарное применение |
| 3 | Удовлетворительно | Общие, но не структурированные знания | В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение | В целом успешное, но не систематическое применение |
| 4 | Хорошо | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания | В целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков |
| 5 | Отлично | Сформированные систематические знания | Сформированное умение | Успешное и систематическое применение навыков |

Шкала 2. Комплексная оценка сформированности знаний, умений и владений

| Обозначения | | Формулировка требований к степени сформированности компетенции |
|-------------|--|---|
| Цифр. | Оценка | |
| 1 | Неудовлетворительно | Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале |
| 2 | Удовлетворительно или неудовлетворительно (<i>по усмотрению преподавателя</i>) | Знать на уровне ориентирования , представлений. Субъект учения знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает их в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения |
| 3 | Удовлетворительно | Знать и уметь на репродуктивном уровне. Субъект учения знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях |

| | | |
|---|---------|--|
| 4 | Хорошо | Знать, уметь, владеть на аналитическом уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения |
| 5 | Отлично | Знать, уметь, владеть на системном уровне. Субъект учения знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания учебной дисциплины, его значимость в содержании учебной дисциплины |

Итоговая оценка по дисциплине – зачет.

| Шкала оценивания | | | |
|----------------------|-------------------|--------|---------|
| Не удовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | отлично |
| «Не зачтено» | «Зачтено» | | |

6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы.

Типовые вопросы и задания для текущего контроля (оценка сформированности элементов (знаний, умений) компетенций ПК-2 в рамках текущего контроля по дисциплине) по разделам дисциплины:

1. Поиск фундаментальности: структура атома.
2. Классические и квантовые измерения. Соотношение неопределенности.
3. Что такое физика элементарных частиц?
4. Масштабы фундаментальных взаимодействий.
5. “Зоопарк” частиц.
6. Лептоны и кварки. В каких взаимодействиях они участвуют.
7. Фермионы и бозоны.
8. Отличие слабого взаимодействия от электромагнитного и сильного.
9. Группы симметрий, описывающих фундаментальные взаимодействия.
10. Фундаментальные квантовые поля СМ.
11. Частицы-переносчики взаимодействий.
12. Внешние параметры СМ.
13. Зачем нужен бозон Хиггса?
14. Какие наблюдаемые явления не объясняет СМ?
15. Расширение Хиггсовского сектора.
16. Неполнота нейтринного сектора.
17. Существование темной материи во Вселенной.
18. Возможное объединение разных типов взаимодействий на единой основе.

19. Суперсимметрии.
20. Дополнительные размерности.
21. Прогресс в физике ускорителей, детекторов, экспериментальной технике.
22. Основные научные задачи на LHC.
23. Основные эксперименты на LHC .
24. Структура экспериментальных установок в экспериментах на коллайдерах.
25. Наблюдаемые моды распада бозона Хиггса.
26. Заряд и масса нейтрино.
27. В каких взаимодействиях участвует нейтрино.
28. Нейтринные ароматы.
29. Нейтринные реакции нейтрального и заряженного тока.
30. Характерные сечения нейтрино-ядерных взаимодействий.
31. Образование солнечных нейтрино.
32. Образование атмосферных нейтрино.
33. Нейтрино от реакторов.
34. Формирование нейтринных пучков от ускорителей.
35. Необходимые условия существования нейтринных осцилляций.
36. Структура и параметры матрицы смешивания.
37. Гипотеза существования стерильных нейтрино.
38. Эксперименты по поиску нейтринных осцилляций.
39. Природа массы нейтрино – дираковская или майорановская?
40. Эксперименты по прямому обнаружению массы нейтрино.
41. Поиск фундаментальности: исследования космических лучей.
42. Энергетический спектр космических лучей и его особенности.
43. Состав космических лучей.
44. Методы регистрации космических лучей.
45. Какие элементарные частицы открыты в космических лучах?
46. Детекторы и установки для регистрации широких атмосферных ливней.
47. Схемы генерации космических лучей и нейтрино ультравысоких энергий.
48. Основные проблемы регистрации космических лучей и нейтрино ультравысоких энергий.
49. Обрезание спектра космических лучей.
50. Наземные обсерватории для регистрации космических лучей.
51. Нейтринные телескопы.
52. Какой материей наполнена Вселенная сегодня?
53. Эволюция Вселенной в прошлом.
54. Какие процессы, происходившие между элементарными частицами в ранней Вселенной, привели в конечном итоге к её современному состоянию?
55. Вопросы космологии к физике частиц: темная материя, темная энергия, барионная асимметрия.
56. Нейтрино от Сверхновой 1987А.

Примеры вопросов для самостоятельной работы:

1. Антивещество во Вселенной.

2. Низкоэнергетические ядерные реакции.
3. Радиоактивность. Радиоактивные источники.
4. Трансурановые элементы. Сверхтяжелые ядра.
5. Защита от ионизирующего излучения.
6. Измерение параметров CP-нарушения в кварковом секторе Стандартной Модели.
7. Асимптотическая свобода и проблема конфайнмента.
8. Спектроскопия и изучение динамики рождения и свойств с- и b-адронов.
9. Процессы взаимодействия при столкновениях частиц высоких энергий.
10. Реакции с тяжелыми ионами.
11. Исследование свойств ядерной материи. Поиск новых состояний и изучение экзотических глюонных и кварковых систем (глюболов, пентакварков и других).
12. Атомная энергетика. Принципы работы ядерного реактора.
13. Ядерное оружие. Ядерная и водородная бомбы.
14. Технологии лучевой диагностики и терапии.
15. Адронная терапия, разновидности, области применения.
16. Федеральная сеть центров ядерной медицины.
17. Медицинские ускорители
18. Распространенность химических элементов во Вселенной.
19. Ядерные реакции на Солнце и в звёздах.
20. Эволюция звезд.

6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Процедуры и средства оценивания элементов компетенций по дисциплине

| Процедура проведения | Средство оценивания | | | |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--|
| | Текущий контроль | | | Промежуточный контроль |
| | Выполнение устных заданий | Выполнение письменных заданий | Выполнение домашних заданий | |
| Продолжительность контроля | По усмотрению преподавателя | По усмотрению преподавателя | По усмотрению преподавателя | В соответствии с принятыми нормами времени |
| Форма проведения контроля | Устный опрос | Письменный опрос | Письменный опрос | В письменной форме |
| Вид проверочного задания | Устные вопросы | Письменные задания | Письменные задания | Письменное задание |
| Форма отчета | Устные ответы | Ответы в письменной форме | Ответы в письменной форме | Ответы в письменной форме |
| Раздаточный | Лекционный | Лекционный | Лекционный | Лекционный |

| | | | | |
|----------|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| материал | материал | материал Справочная литература | материал Справочная литература | материал Справочная литература |
|----------|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Дисциплина «Физика атомного ядра и элементарных частиц» предусматривает лекции и самостоятельные занятия. Успешное изучение дисциплины требует посещения лекций, активной самостоятельной работы, выполнения учебных заданий преподавателя, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на практическое занятие и указания на самостоятельную работу.

При подготовке к лекционным занятиям аспирантам необходимо: перед очередной лекцией необходимо просмотреть конспект материала предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам.

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

8. Ресурсное обеспечение:

8.1. ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Черняев А.П., Лыкова Е.Н., Поподько А.И. Медицинское оборудование в современной лучевой терапии: Учебное пособие. М.: ООП физического факультета МГУ. 2019.
2. Пряничников А.А., Черняев А.П., Хорошков В.С. Введение в физику и технику протонной терапии. Учебное пособие, Библиотека медицинского физика, 2016.
3. Linz U (ed) 2012 Ion Beam Therapy: Fundamentals, Technology, Clinical Applications (Berlin: Springer) ISBN: 978-3642214134.
4. Высоцкий М. И. Лекции по теории электрослабых взаимодействий, М.: Физматлит, 2011.
5. Грин Б. Элегантная Вселенная. Издательская группа URSS, 2008.
6. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва. М.: ЛКИ, 2008.
7. Емельянов В.М., Стандартная модель и ее расширения, М.: Физматлит, 2007.
8. Фейнман Р., Вайнберг С., Элементарные частицы и законы физики, М.: Мир, 2000.
9. Гинзбург В.Л., О физике и астрофизике (2-е издание). М.: Наука, 1992.
10. Перкинс Д., Введение в физику высоких энергий, М.: Энергоатомиздат, 1991.

11. Линде А.Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М.: Наука, 1990.
12. Окунь Л. Б. Лептоны и кварки, Изд. 2-е., М.: Наука, 1990.
13. Клайнкнехт К. Детекторы корпускулярных излучений. М.: Мир, 1990.
14. Боум Ф., Фогель П. Физика массивных нейтрино. М.: Мир, 1990.
15. Хокинг С. От Большого Взрыва до черных дыр: Краткая история времени. М.: Мир, 1990.
16. Девис П. Суперсила: Поиски единой теории природы. М.: Мир, 1989.
17. Окунь Л.Б., Физика элементарных частиц, Изд. 2-е., М.: Наука, 1988.
18. Готтфрид К., Вайскопф В., Концепции физики элементарных частиц, М.: Мир, 1988.
19. Новиков И.Д. Как взорвалась Вселенная. М.: Наука, 1988.
20. Хелзен Ф., Мартин А. Кварки и лептоны (Введение в физику частиц), М.: Мир, 1987.
21. Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю. Драма идей в познании природы. М.: Наука, 1987.
22. Индурайн Ф., Квантовая хромодинамика: введение в теорию кварков и глюонов, М.: Мир, 1986.
23. Хуанг К. Кварки, лептоны и калибровочные поля, М.: Мир, 1985.
24. Волошин М. Б., Тер-Мартirosян К. А. Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц. Энергоиздат, 1984.
25. Райдер Л. Элементарные частицы и симметрии, М.: Наука, 1983.
26. Широков Ю.М., Юдин Н.П., Ядерная физика, М.: Наука, 1980.
27. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Часть 1. Физика атомного ядра. М.: Атомиздат, 1974.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Mohan R, Grosshans D. Proton therapy – present and future. *Adv Drug Deliv Rev.* 2017; 109:26-44. DOI: 10.1016/j.addr.2016.11.006.
2. Г. И. Кленов, В. С. Хорошков. Адронная лучевая терапия: история, перспективы, статус. *УФН* 186, No 8, 891–911. 2016.
3. Шаулов С. Б., Введение в механику Вселенной: учеб. пос. М. : МФТИ, 2015.
4. Казаков Д.И., Хиггсовский бозон открыт: что дальше? *УФН*, 184, 1004–1016 (2014).
5. Троицкий С.В., Космические частицы с энергиями выше 10^{19} эВ: краткий обзор результатов, *УФН*, т. 183, 323–330 (2013).
6. Мукашев К.М., Рябов В.А., Чубенко А.П., Нейтронная физика в исследованиях космических лучей, Монография, Алматы, 2013.
7. Рубаков В.А., К открытию на Большом адронном коллайдере новой частицы со свойствами бозона Хиггса, *УФН*, т.182, 1017–1025 (2012).
8. Троицкий С.В., Нерешённые проблемы физики элементарных частиц, *УФН*, т. 182, 77–103 (2012).
9. Гусев Г.А., Ломоносов Б. Н., Рябов В. А., Чечин В. А., Ледяные спутники планет Солнечной системы и орбитальные радиодетекторы для регистрации частиц ультравысоких энергий, *УФН*, 2010, том 180, № 9, стр. 957.
10. Рябов В.А., Царев В.А., Цховребов А.М., Поиск частиц темной материи, *Успехи физических наук*, 2008, том 178, № 11, стр.1129.
11. Лукаш В.Н., Рубаков В.А. Темная энергия: мифы и реальность. *УФН*, т. 178, 301–308 (2008).
12. Пенроуз Р. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной: полный путеводитель., М. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007.
13. Рябов В.А., Нейтрино сверхвысоких энергий от астрофизических источников и распадов сверхмассивных частиц, *Успехи физических наук*, 2006, том 176, № 9, стр. 931.
14. Рябов В.А., Нейтринные осцилляции: на пути к экспериментам с дальними нейтрино, *Физика элементарных частиц и атомного ядра*, 2003, том 34, вып. 5, с.1257.

15. Герштейн С.С., Кузнецов Е.Н., Рябов В.А. , Природа массы нейтрино и нейтринные осцилляции, Успехи физических наук, 1997, Том 167, № 8, стр 811.
16. Гинзбург В.Л., Астрофизика космических лучей (история и общий обзор), УФН, т. 166, 169–183 (1996).
17. Клайнкнехт. К., Детекторы корпускулярных излучений. Мир, 1990.
18. Ченг Т.-П., Ли Л.-Ф., Калибровочные теории в физике элементарных частиц, М.: Мир, 1987.
19. Гольдманский В.И., Никитин Ю.П., Розенталь И.Л., Кинематические методы в физике высоких энергий, М.: Наука, 1987.
20. Лонгейр М., Астрофизика высоких энергий., М.:Мир, 1984.
21. Джорджи Х., Единая теория элементарных частиц и сил, УФН, 1982, т. 136, вып. 2, с. 87.
22. Фейнберг Е.Л., Космические лучи и физика элементарных частиц, УФН, т. 132, 394–395 (1980).
23. Долгов А. Д., Зельдович Я. Б. Космология и элементарные частицы, УФН, 1980, т. 130, с. 559.
24. Мурзин. С.В. Введение в физику космических лучей. М.: Атомиздат, 1979.
25. Дорман Л.И., Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей., М.: Наука, 1975.
26. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Строение и эволюция Вселенной., М.: Наука, 1975.

8.2. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимые для освоения дисциплины

1. www.sciencedirect.com – ведущая информационная платформа издательства Elsevier для ученых, преподавателей, аспирантов, студентов, специалистов;
2. www.elibrary.ru – проект Научная электронная библиотека.
3. <http://scholar.google.com> – поиск с использованием Google Scholar.
4. SCOPUS (www.scopus.com)
4. <https://webofknowledge.com> - Web of Science на платформе Web of Knowledge.
5. Доступ к полным текстам патентов:
<http://ep.espacenet.com> – Европейское патентное ведомство;
<http://www.uspto.gov/main/sitesearch.htm> – Американское патентное ведомство;
www.fips.ru – Российская библиографическая патентная база данных.
6. Полный список ресурсов приведен в ООП.

8.3. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем
– Программные средства Microsoft Office.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

- 1) Учебная аудитория, оснащенная мультимедийным презентационным оборудованием;

- 2) Библиотека с читальным залом, книжный фонд которой составляет специализированная методическая и учебная литература, журналы.

10. Образовательные технологии.

Обучение по дисциплине ведется с применением как традиционных методов, так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах, представление докладов на научные конференции, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе и по теме диссертации, освоение новых средств автоматизации и компьютеризации выполняемых научных исследований.

11. Язык преподавания русский.

Разработчик:

Профессор, д.ф.-м.н.



Рябов В. А.

Согласовано:

Заведующий отделом аспирантуры



Губернов В.В.