

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Артеменков Михаил Николаевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 07.10.2026 12:21:22
Уникальный программный ключ:
a63b74166e8f4fc17bd1e0462725f79e393bfd9

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Смоленский государственный университет»

Кафедра физики и технических дисциплин

«Утверждаю»

Проректор по учебно-
методической работе
_____ Ю.А. Устименко
«15» июня 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины
Б1.В.ДВ.01.02 Физика элементарных частиц»**

Направление подготовки: **44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями под-
готовки)**

Направленность (профиль): **Физика, Математика**

Форма обучения: очная

Курс – 5

Семестр – 10

Всего зачетных единиц – 2, часов – 72

Форма отчетности: зачет – 10 семестр

Программу разработал: кандидат педагогических наук, доцент А.В. Дюндин

Одобрена на заседании кафедры
«8» июня 2023 г., протокол № 14

Заведующий кафедрой _____ А.В. Дюндин

Смоленск
2023

1. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Физика элементарных частиц» включена в формируемую участниками образовательных отношений часть учебного плана по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (профиль «Физика, математика»).

Для освоения дисциплины «Физика элементарных частиц» студент должен обладать базовыми знаниями и умениями, полученными в ходе изучения таких дисциплин, как «Общая и экспериментальная физика», «Основы теоретической физики», «Астрономия».

В результате изучения дисциплины «Физика элементарных частиц» студент приобретает знания и умения, необходимые для выполнения профессиональной деятельности по профилю направления подготовки.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индикаторы достижения
ПК-6. Способен использовать научные знания в предметной области (физика) в процессе формирования предметной компетенции обучающихся в рамках реализации основной общеобразовательной программы	Знать: современное состояние и перспективы развития физики как учебной дисциплины, направления развития школьного физического образования, теоретические основы обучения физике, принципы построения методической системы обучения физике, основные линии школьного курса физики, их структуру, содержание и роль, этапы формирования физических понятий, методические подходы к изучению основных тем школьного курса физики; Уметь: анализировать и интерпретировать содержание физических понятий, теорем, задач, разрабатывать фрагменты уроков, организовывать образовательный процесс обучения физике, конструировать методику введения понятий, изучения теорем, решения задач; Владеть: основными приемами организации деятельности школьников по изучению физики, навыками разработки методики изучения частных вопросов обучения физики, исследовательскими методами в профессиональной деятельности.
ПК-8 Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин и решения естественнонаучных задач	Знать: основные методы обработки, структурирования, анализа и синтеза получаемой информации, основные определения, принципы и законы физики, методы физических исследований, базовые принципы постановки и решения естественнонаучных задач. Уметь: использовать физические и математические модели при решении практических задач, осуществлять учебный эксперимент и обрабатывать его результаты, доказать утверждение, сформулировать результат, увидеть его следствия. Владеть: навыками методами обработки,

	анализа и синтеза информации, первичными навыками применения математического аппарата к решению конкретных задач в области физики.
--	--

3. Содержание дисциплины

1. *Физика высоких энергий.* Типы взаимодействий в природе (сильное, электромагнитное, слабое, гравитационное). Физические законы: уравнения движения и законы сохранения. Связь законов сохранения и динамической симметрии.
2. *Элементарные частицы.* Классификация элементарных частиц. Лептоны. Мезоны. Барионы. Гипероны. Взаимодействия элементарных частиц. Концепция взаимодействия. Переносчики взаимодействий. Гравитоны. Фотоны. Промежуточные бозоны. Глюоны. Составные модели элементарных частиц. Модель кварков. Фундаментальные частицы (кварки и лептоны). Кварковый состав мезонов, кварковый состав барионов. Законы сохранения электрического заряда, барионного заряда, лептонного заряда. Правила изменения изотопического спина, странности, гиперзаряда. Правила отбора. Метод диаграмм Фейнмана изображения процессов взаимодействия элементарных частиц.
3. *Симметрии.* Нарушение симметрий. Спонтанное нарушение симметрии. Струны. Струнные модели элементарных частиц. Суперсимметрия. Суперструнные модели элементарных частиц. Единые модели взаимодействий элементарных частиц. Теории большого объединения.

4. Тематический план

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий				
			лекции	семинары	практические занятия	лабораторные занятия	самостоятельная работа
1	Физика высоких энергий	14	2		4		8
4	Элементарные частицы	24	6		8		10
5	Симметрии	16	4				12
Итого		72	12	–	12	–	48

5. Виды учебной деятельности

Лекции

1. *Физика высоких энергий.* Типы взаимодействий в природе (сильное, электромагнитное, слабое, гравитационное). Физические законы: уравнения движения и законы сохранения. Связь законов сохранения и динамической симметрии.

2. *Элементарные частицы.* Классификация элементарных частиц. Лептоны. Мезоны. Барионы. Гипероны.

3. *Взаимодействия элементарных частиц.* Концепция взаимодействия. Переносчики взаимодействий. Гравитоны. Фотоны. Промежуточные бозоны. Глюоны. Модель кварков. Фундаментальные частицы (кварки и лептоны). Кварковый состав мезонов, кварковый состав барионов.

4. *Законы сохранения* электрического заряда, барионного заряда, лептонного заряда. Правила изменения изотопического спина, странности, гиперзаряда. Правила отбора. Метод диаграмм Фейнмана изображения процессов взаимодействия элементарных частиц.

5. *Симметрии*. Нарушение симметрий. Спонтанное нарушение симметрии. Струны. Струнные модели элементарных частиц. Суперсимметрия. Суперструнные модели элементарных частиц.

6. *Единые модели взаимодействий элементарных частиц*. Теории большого объединения.

Практические занятия

Практическое занятие №1

Тема: Основы физики атомного ядра

Вопросы

1. Состав ядра.
2. Радиусы и форма ядер.

Задачи

1. Оценить плотность ядерной материи.
2. Эмпирическая зависимость радиуса ядра R от числа нуклонов A ($A > 10$) $R \approx r_0 A^{1/3}$. Параметр $r_0 \approx 1.23 \cdot 10^{-13}$ см = 1.23 Фм приблизительно одинаков для всех ядер. Оценить радиусы атомных ядер ^{27}Al , ^{90}Zr , ^{238}U .
3. Считая, что разность энергий связи зеркальных ядер определяется только различием энергий кулоновского отталкивания в этих ядрах, вычислить радиусы зеркальных ядер ^{23}Na , ^{23}Mg . $E_{\text{св}}(^{23}\text{Na}) = 186.56$ МэВ, $E_{\text{св}}(^{23}\text{Mg}) = 181.72$ МэВ.
4. Массы нейтрона и протона в энергетических единицах равны соответственно $m_n = 939.6$ МэВ и $m_p = 938.3$ МэВ. Определить массу ядра ^2H в энергетических единицах, если энергия связи дейтрона $E_{\text{св}}(2,1) = 2.2$ МэВ.
5. Масса нейтрального атома ^{16}O $m_{\text{ат}}(A,Z) = 15.9949$ а.е.м. Определить удельную энергию связи ϵ ядра ^{16}O .

Практическое занятие №2

Тема: Свойства атомного ядра

Вопросы

1. Энергетические состояния ядра.
2. Спин ядра и его магнитный момент.

Задачи

1. Сравнив экспериментально измеренное значение магнитного момента дейтрона $\mu = 0.86\mu_N$ с магнитным моментом системы нейтрон-протон в состоянии с $j = 1$ и относительным орбитальным моментом $L = 0$ (S_1 -состояние), оценить вклад компоненты с $j = 1$ и $L = 2$ (D_1 -состояние) в волновую функцию дейтрона.
2. Внешний наблюдаемый квадрупольный момент ядра ^{85}Rb $Q = 0.7$ б. Определить собственный квадрупольный момент ядра Q_0 , если спин ядра ^{85}Rb равен $J = 5/2$.
3. Определить значения изоспинов I основных состояний ядер изотопов углерода ^{10}C , ^{11}C , ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C .
4. На основании одночастичной модели оболочек определить значения спинов и четностей J^P основных состояний изотопов кислорода - ^{15}O , ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O .
5. Определить возможные значения спина ядра, состоящего из двух протонов и двух нейтронов в состояниях с орбитальными моментами l , равными нулю. Считать все нуклоны находящимися в одном (низшем из возможных) энергетическом состоянии.

Практическое занятие №3

Тема: Ядерные силы

Вопросы

1. Модели строения ядра.
2. Ядерные силы и их свойства.

Задачи

1. Какова должна быть кинетическая энергия электронов, чтобы с их помощью исследовать внутреннюю структуру атома, атомного ядра и нуклона?
2. Используя соотношение неопределенностей Гейзенберга «координата-импульс» ($\Delta x \Delta p \approx \hbar$), оценить кинетические энергии электрона в атоме, нуклона в ядре и кварка в нуклоне.
3. Электрон сталкивается с атомным электроном, Какова пороговая энергия рождения e^-e^+ -пары в таком столкновении?
4. Рассчитать расстояние между уровнями 1s, 2s и 3 ядра ^{90}Zr для прямоугольной потенциальной ямы бесконечной глубины и ямы гармонического осциллятора.
5. Какова взаимная ориентация векторов и суммарного спина и полного момента нуклонов в дейтроне?

Практическое занятие №4

Тема: Лептон-лептонные процессы взаимодействия элементарных частиц

Вопросы

1. Диаграмма Фейнмана для лептон-лептонных процессов.

Задачи

1. Какие из приведенных ниже реакций под действием нейтрино и антинейтрино возможны, какие запрещены и почему: 1) $\bar{\nu}_\mu + p \rightarrow n + \mu^+$; 2) $\nu_e + n \rightarrow p + \mu^-$; 3) $\bar{\nu}_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$.
2. Почему распад $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$ сильно (в 10^4 раз) подавлен по сравнению с распадом $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ хотя энергвыделение в распаде $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$ во много раз больше, чем в распаде $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$?
3. Нарисовать простейшие диаграммы Фейнмана взаимодействия реакторного антинейтрино с веществом.
4. Из характеристик переносчиков слабого взаимодействия $W^\pm$ и Z бозонов определить радиус слабых сил.
5. Возможно ли рассеяние нейтрино на электроны с участием 1) нейтрального слабого тока; 2) заряженного слабого тока? Положительный ответ сопроводить диаграммой процесса.

Практическое занятие №5

Тема: Кварк-кварковые процессы взаимодействия элементарных частиц.

Вопросы

1. Свойства элементарных частиц и законы сохранения.
2. Диаграммы Фейнмана.

Задачи

1. Определить частицы X , образующиеся в реакциях сильного взаимодействия: 1) $\pi^- + p \rightarrow K^- + p + X$; 2) $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^0 + X$; 3) $p + \bar{p} \rightarrow \Xi^- + \pi^+ + X$.
2. Проверить выполнение законов сохранения и построить кварковые диаграммы реакций, происходящих в результате сильного взаимодействия: 1) $\pi^- + p \rightarrow \Lambda + K^0$; 2) $p + \bar{p} \rightarrow \Omega^- + \Omega^-$; 3) $\pi^+ + n \rightarrow \Xi^- + K^+ + K^+$.
3. Почему отсутствие распада $K^+ \rightarrow \pi^+ + \gamma$ можно рассматривать как указание на нулевой спин K^+ -мезона?
4. Определить относительный орбитальный момент p и π^+ , образующихся при распаде $\Delta^+ \rightarrow p + \pi^+$.
5. Среднее время жизни нейтрона $\tau_n = 890$ с, а мюона $\tau_\mu = 2.2 \cdot 10^{-6}$ с. Покажите, что если принять во внимание разницу в энергвыделении (правило Сарджента), то константы взаимодействия в обоих случаях совпадают с точностью до фактора 10.

Практическое занятие №6

Тема: Кварк-лептонные процессы взаимодействия элементарных частиц

Вопросы

1. Оценка сечения взаимодействия.
2. Оценки вероятности распада да основе диаграмм Фейнмана.

Задачи

1. Какие из приведенных ниже слабых распадов адронов запрещены, а какие разрешены? 1) $K^0 \rightarrow \pi^- + e^+ + \nu_e$; 2) $\Sigma^- \rightarrow n + e^- + \bar{\nu}_e$; 3) $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^- + e^+ + \nu_e$.
2. Определить энергию μ^+ и ν_μ при распаде $\pi^+ \rightarrow \nu_\mu + \mu^+$, $m(\pi^+) = 139.57$ МэВ, $m(\mu^+) = 105.66$ МэВ.
3. среднее время жизни мюона равно $2.2 \cdot 10^{-6}$ с. Рассчитайте время жизни τ -лептона, считая, что относительная вероятность распада $\tau^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\tau$ составляет 18% и что $m_\tau c^2 = 1777$ МэВ, $m_\mu c^2 = 105.7$ МэВ. Сравните результат с измеренным временем жизни τ -лептона $2.9 \cdot 10^{-13}$ с.
4. Как меняются при операции обращения времени следующие величины: импульс, момент количества движения, энергия, векторный и скалярный потенциалы, напряженность электрического и магнитного поля?

Лабораторные занятия

Не предусмотрены.

Самостоятельная работа

Самостоятельная работа студента включает в себя:

- изучение теоретического материала по конспектам лекций и источникам из списка литературы;
- самостоятельно выполнение практических заданий к занятиям в процессе подготовки к последним;
- подготовка сообщения по одному из приведенных ниже вопросов для самостоятельного изучения.

Вопросы для самостоятельного изучения

1. Типы взаимодействий в природе (сильное. Электромагнитное, слабое, гравитационное)
2. Физические законы: уравнения движения и законы сохранения. Связь законов сохранения и динамической симметрии.
3. Основные свойства атомных ядер и ядерных сил Состав атомных ядер. Основные свойства протона и нейтрона (заряд, масса, спин , магнитный момент).
4. Соотношение между числом протонов и числом нейтронов в стабильных ядрах. Заряд ядра. Масса ядра и массовое число. Изотопы. Изобары. Изотоны.
5. Размеры и форма ядер. Плотность ядерного вещества.
6. Свойства ядерных сил (величина, радиус действия, изотопическая инвариантность, спиновая зависимость, нецентральность, обменный характер, насыщение, инвариантность относительно пространственной инверсии).
7. Понятие о мезонной теории ядерных сил. Периодичность ядерных свойств. Магические ядра и их особенности. Модель ядерных оболочек.

8. Энергетические спектры частиц, образующихся при радиоактивных распадах. Нейтрино. Роль нейтрино в астрофизике.
9. Несохранение четности в слабых взаимодействиях. Комбинированная четность. СРТ-теорема.
10. Ядерные реакции и их классификация. Реакции через образование составного ядра и прямые ядерные реакции. Эффективные сечения реакций. Резонансные процессы.
11. Вторичные нейтроны. Ядерное топливо. Цепной процесс деления и его практическое использование.
12. Элементарные частицы. Классификация элементарных частиц. Лептоны. Мезоны. Барионы. Гипероны.
13. Взаимодействия элементарных частиц Концепция взаимодействия. Переносчики взаимодействий. Гравитоны. Фотоны. Промежуточные бозоны. Глюоны..
14. Составные модели элементарных частиц. Модель кварков. Фундаментальные частицы(кварки и лептоны). Кварковый состав мезонов, кварковый состав барионов.
15. Законы сохранения электрического заряда, барионного заряда, лептонного заряда.
16. Правила изменения изотопического спина, странности, гиперзаряда. Правила отбора
17. Метод диаграмм Фейнмана изображения процессов взаимодействия элементарных частиц.
18. Симметрии. Нарушение симметрий. Спонтанное нарушение симметрии.
19. Струны. Струнные модели элементарных частиц. Суперсимметрия. Суперструнные модели элементарных частиц.
20. Единые модели взаимодействий элементарных частиц. Теории большого объединения. ТБО.

6. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины (модуля)

6.1. Оценочные средства и критерии оценивания для текущей аттестации

Текущая аттестация выполняется по вопросам и заданиям, которые приведены в содержании практических занятий и описании самостоятельной работы студента(см. п.5)

Критерии оценки ответов на вопросы для обсуждения:

Ответ на вопрос считается удовлетворительным, если студент:

- 1) дает правильный и полный ответ;
- 2) осознает и понимает смысл вопроса и обосновывает ответ;
- 3) полно излагает изученный материал, дает правильное определение понятий;
- 4) обнаруживает понимание материала, может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры не только из источников, но и самостоятельно составленные.

Во всех других случаях ответ студента считается неудовлетворительным.

Критерии оценки выполнения задания к практическому занятию:

Практическое задание считается выполненным удовлетворительно, если студент:

- 1) выполнил задание в полном объеме и сдал его в установленные сроки;
- 2) обосновал решение с опорой на физические законы и методы;
- 3) качественно оформил задание в тетради.

Во всех остальных случаях выполнение задания читается неудовлетворительным.

6.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

Критерии выставления зачета по курсу

Оценка «Зачтено» выставляется студенту, который:

- выполнил задания всех практических занятий в семестре;
- выступил с сообщением по одному из вопросов для самостоятельного изучения.

Во всех других случаях выставляется оценка «Не зачтено».

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

7.1. Основная литература

1. Бекман, И. Н. Атомная и ядерная физика: радиоактивность и ионизирующие излучения : учебник для вузов / И. Н. Бекман. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 493 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08692-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/491394>.
2. Строковский, Е. А. Физика атомного ядра и элементарных частиц: основы кинематики : учебное пособие для вузов / Е. А. Строковский. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 355 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-03804-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/492501>.
3. Сазонов, А. Б. Ядерная физика : учебное пособие для вузов / А. Б. Сазонов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 320 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-11829-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/493030>.

7.2. Дополнительная литература

1. Бекман, И. Н. Ядерные технологии : учебник для вузов / И. Н. Бекман. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 500 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08681-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/491393>.
2. Иоффе, Б. Л. История науки: атомные проекты: монография для вузов / Б. Л. Иоффе. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 191 с. — (Открытая наука). — ISBN 978-5-534-11978-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/494318>.
3. Кузнецов, С. И. Физика: оптика. Элементы атомной и ядерной физики. Элементарные частицы : учебное пособие для вузов / С. И. Кузнецов. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 301 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01420-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/490370>.
4. Милантьев, В. П. Атомная физика : учебник и практикум для академического бакалавриата / В. П. Милантьев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 415 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00405-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/434649>.
5. Сазонов, А. Б. Ядерная физика и дозиметрия. Сборник задач : учебное пособие для вузов / А. Б. Сазонов, М. А. Богородская. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 98 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05469-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/493031>.

7.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- <https://razdolbaypegas.livejournal.com/750505.html> — экспериментальные основы квантовой физики.
- <http://www.jinr.ru> — сайт объединенного института ядерных исследований.
- <http://www.lebedev.ru/ru/> — сайт ФИАН.
- <https://home.cern> сайт CERN.

- <https://moiarussia.ru/glavnye-dostizheniya-rossii-v-nauke-za-poslednie-20-let/> – Российские достижения в науке.
- <http://tainy.net/19336-yadernye-katastrofy-mira.html> – ядерные катастрофы

8. Материально-техническое обеспечение

Аудитория для проведения лекционных занятий 327 уч. к. 2 со следующим оборудованием:

- проектор;
- интерактивная доска.

Аудитория для проведения практических занятий 423 уч. к. 2 со следующим оборудованием:

- учебная доска.

9. Программное обеспечение

1. Пакет офисных программ.