

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики



/ Титова Л.В./
20.06.2025г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФТД.02 Фундаментальные взаимодействия**

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

14.04.02 Ядерные физика и технологии

2. Профиль подготовки/специализация:

Физика атомного ядра и частиц

3. Квалификация выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра ядерной физики

6. Составители программы:

д.ф.м.н., профессор Кадменский Станислав Георгиевич

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №5 от 20.05.2025

8. Учебный год: 2025/2026

Семестр(ы): 2

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- приобретение знаний о свойствах четырех фундаментальных взаимодействий природы, их проявления как на уровне микромира (элементарных частиц), так и в космологических масштабах (эволюция Вселенной, формирование ее структуры); научиться использовать методы, разработанные в области физики фундаментальных взаимодействий в научной деятельности; овладеть методами, разработанными в области физики фундаментальных взаимодействий

задачи учебной дисциплины:

- знать систематизацию элементарных частиц, виды фундаментальных взаимодействий; свойства четырех фундаментальных взаимодействий природы, их проявления как на уровне микромира (элементарных частиц), так и в космологических масштабах (эволюция Вселенной, формирование ее структуры);
- уметь обобщать результаты научных исследований в области физики элементарных частиц и Космологии, использовать методы, разработанные в области физики фундаментальных взаимодействий в научной деятельности;

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к факультативным дисциплинам.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие излучения с веществом.	ПК-1.4	Знает современные представления в области физики атомного ядра необходимых для описания процессов, протекающих в ядерноэнергетических установках.	знать: свойства четырех фундаментальных взаимодействий природы, их проявления как на уровне микромира (элементарных частиц), так и в космологических масштабах (эволюция Вселенной, формирование ее структуры); уметь: использовать методы, разработанные в области физики фундаментальных взаимодействий в научной деятельности; владеть: методами, разработанными в области физики фундаментальных взаимодействий.
		ПК-1.5	Применяет знания теории атомного ядра на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной ядерной физики.	

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 2/72.

Форма промежуточной аттестации - зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			2 семестр
Аудиторные занятия		18	18
в том числе:	лекции	18	18
	практические		
	лабораторные		
Самостоятельная работа		54	54
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации		Зачет	Зачет
Итого:		72	72

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Элементарные частицы.	Элементарные частицы. Экспериментальные методы исследования структуры частиц. Константы и радиусы фундаментальных взаимодействий.	-
1.2	Систематика частиц.	Систематика частиц. Фундаментальные фермионы и бозоны. Адроны. Барионы и мезоны.	-
1.3	Законы сохранения в мире частиц.	Законы сохранения в мире частиц. Инварианты и асимметрии. Барионное и мезонное квантовые числа. Частицы - античастицы. Странность.	-
1.4	СРТ-теорема.	СРТ-теорема. Координаты С, Р и Т инвариантности в слабых взаимодействиях.	-
1.5	Сильные взаимодействия.	Сильные взаимодействия. Калибровочная инвариантность. Кварковая структура барионов и мезонов. Кварковая диаграмма нуклон-нуклонного взаимодействия.	-
1.6	Трудности кварковой теории.	Трудности кварковой теории. Цвет. Барионы и мезоны как наборы цветных кварков. Глюоны,	
1.7	Асимптотическая свобода.	Асимптотическая свобода. Конфайнмент. Отсутствие кварков в свободном состоянии.	
1.8	Тяжелые кварки.	Экспериментальное подтверждение наличия кварков в адронах. Тяжелые кварки.	
1.9	Квантовая электродинамика.	Электромагнитное взаимодействие. Квантовая электродинамика. Гамма-кванты.	
1.10	Слабое взаимодействие. электрослабые взаимодействия	Слабое взаимодействие. Теория Ферми. Лептонные заряды. Типы нейтрино. Калибровочная теория электрослабых взаимодействий.	
1.11	Теория Великого Объединения. Четыре фундаментальные взаимодействия.	Теория Великого Объединения. Поиск распада протона. Объединение четырех фундаментальных взаимодействий.	

1.12	Общая теория относительности. Большой взрыв	Общая теория относительности. Уравнения суперсимметрии. Эволюция Вселенной. Большой взрыв и его экспериментальные проявления. Этапы эволюции Вселенной.	
1.13	Звездная эра Вселенной. Конечные этапы эволюции	Отсутствие антивещества во Вселенной. Инфляция. Звездная эра Вселенной. Заключительная стадия жизни звезд. Сверхновые звезды. Нейтронные звезды.	
		Конечные этапы эволюции Вселенной.	
1.14	Происхождение химических элементов.	Происхождение химических элементов. Черные дыры и их наблюдение.	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Элементарные частицы.	1			3	4
2	Систематика частиц.	1			3	4
3	Законы сохранения в мире частиц.	1			4	5
4	СРТ-теорема.	1			4	5
5	Сильные взаимодействия.	1			4	5
6	Трудности кварковой теории.	1			4	5
7	Асимптотическая свобода.	1			4	5
8	Тяжелые кварки.	1			4	5
9	Квантовая электродинамика.	2			4	6
10	Слабое взаимодействие. электрослабые взаимодействия	1			4	5
11	Теория Великого Объединения. Четыре фундаментальные взаимодействия.	2			4	6
12	Общая теория относительности. Большой взрыв	1			4	5
13	Звездная эра Вселенной. Конечные этапы эволюции	2			4	6
14	Происхождение химических элементов.	2			4	6
	Итого:	18			54	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изложение материала преподавателем необходимо вести в форме, доступной для понимания. Для улучшения усвоения учебного материала необходимо применять традиционные и современные технические средства обучения. Для самостоятельного изучения отведено время на все разделы курса.

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса, не стесняться задавать преподавателю вопросы для углубленного понимания конкретных проблем курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

На практических занятиях необходимо уметь решать задачи и анализировать решение, на устных опросах обучаемый должен уметь демонстрировать полученные на лекциях и практических занятиях знания, умения и навыки, отвечать на поставленные вопросы, поддерживать дискуссию по существу вопроса.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников) а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Капитонов И. М. Введение в физику ядра и частиц : учеб. пособие для студ. физ. фак. класс. ун-тов и других вузов, обуч. по специальности "Ядер. физика" и направлению "Физика" / И. М. Капитонов .— Изд. 3-е, испр. и доп. — М. : КомКнига, 2006 .— 327с.
2	Суховольский В. Г.. Оптимизационные модели межпопуляционных взаимодействий / В.Г. Суховольский, Т.Р. Исхаков, О.В. Тарасова ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т леса им. В.Н. Сукачева, Междунар. науч. центр исследований эксперимент. состояний организма
3	при Президиуме Краснояр. науч. центра, Сиб. Федер. ун-т ; отв. ред. Р.Г. Хлебопрос .— Новосибирск : Наука, 2008 .— 161 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Блин-Стойл, Р. Фундаментальные взаимодействия и атомное ядро / Р. Блин-Стойл .— М. : М., 1976.— 359 с.
5	Ахиезер, Александр Ильич. Поля и фундаментальные взаимодействия / А. И. Ахиезер, С. В. Пелетминский ; АН УССР, Харьк. физ.-техн. ин-т .— Киев : Наук. думка, 1986 .— 550 с.
6	Готфрид К. Концепции физики элементарных частиц / К. Готфрид, В. Вайскопф ; Перевод с англ. В. Г. Буданова; Под ред. [и с предисл.] А. Д. Суханова .— М. : Мир, 1988
7	.— 239 с.
8	Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: в 2 кн. / К.Н. Мухин. — М. : Энергоатомиздат, 1993. — Кн. 1, 2.
9	Широков Ю. М. Ядерная физика : учеб. пособие для студ. физ. спец. вузов / Ю.М. Широков, Н.П. Юдин .— 2-е изд., перераб. — М. : Наука : Физматлит, 1980 .— 727 с.
10	Окунь Л. Б. Физика элементарных частиц / Л.Б. Окунь .— М. : Наука, 1984 .— 223 с.
11	Фрауэнфельдер Г. Субатомная физика / Г. Фрауэнфельдер, Э. Хенли ; пер. с англ. под ред. В.В. Толмачева .— М. : Мир, 1979 .— 736 с.
12	Зельдович Я. Б. Релятивистская астрофизика / Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков .— М. : Наука, 1967 .— 654 с.
13	Бисноватый-Коган Г. С. Релятивистская астрофизика и физическая космология / Г.С. Бисноватый-Коган .— М. : URSS, 2011 .— 362 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
17	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
	https://edu.vsu.ru – Электронный университет ВГУ

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

(учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов направления 14.04.02. Ядерная физика и технологии, - Вахтель В.М., Титова Л.В. – ВГУ.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- активные и интерактивные формы проведения занятий; – компьютерные технологии при проведении занятий;
- презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
- специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
- разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и методам

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - www.lib.vsu.ru - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Большая физическая аудитория им. М.А. Левитской (для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации) г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 428	Специализированная мебель, ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apllo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207- ¹ от 30.04.2019 LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/aboutus/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses)
Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 31	Ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apllo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019 LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/aboutus/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses)
Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 40/5	Специализированная мебель, компьютеры (системные блоки Intel Pentium-IV, мониторы LG FLATRON L17428-8F) (30 шт.) с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационнообразовательную среду университета Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019 LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/aboutus/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses) Mozilla Firefox (бесплатное и/или свободное ПО) (лицензия: https://www.mozilla.org/ru/about/legal/terms/firefox/)

¹ . Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Темы 1-14	ПК-1	ПК-1.4 ПК-1.5	Собеседование, контрольные работы
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Пункт 20.2.1 Вопросы к зачету

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Лабораторные работы, коллоквиум

Перечень вопросов к коллоквиуму

Типы взаимодействий. Константы и радиусы взаимодействий.

1. Теории в физике элементарных частиц. Диаграммы Фейнмана.
2. Кванты полей. Фундаментальные бозоны.
3. Систематика частиц. Фундаментальные частицы. Кварки. Барионы и мезоны.
4. Законы сохранения в физике частиц. Барионное и лептонные квантовые числа. Странность.
5. Сильные взаимодействия. Адроны. Кварковая структура легчайших барионов и мезонов.
6. Цвет.
7. Глюоны. Квантовая хромодинамика.
8. Экранировка и антиэкранировка. Асимптотическая свобода и конфайнмент.
9. Слабые взаимодействия. Лептонные заряды. Нейтрино.
10. Слабые распады. Константа слабого взаимодействия.
11. Заряженные и нейтральные слабые токи.
12. Р-симметрия. Несохранение четности в слабых взаимодействиях.
13. Зарядовое сопряжение. СР-преобразование.
14. Обращение времени. Нарушение СР-инвариантности. СРТ-теорема.
15. Константы взаимодействий. Переопределение константы слабого взаимодействия.
16. Сбегающиеся константы. Великое объединение.
17. Х- и Y-бозоны, фундаментальные бозоны минимальной SU(5)-модели.
18. Спонтанное нарушение симметрии. Механизм Хиггса.
19. Распад протона и другие предсказания теорий Великого объединения.
20. Поколения фундаментальных фермионов.
21. Следующий этап объединения - Суперсимметрия.
22. Основные положения общей теории относительности.
23. Геометрия пространства-времени.
24. Вселенная. Большой взрыв. Теория горячей Вселенной.
25. Этапы эволюции Вселенной.
26. Ядерные реакции в звездах.
27. Эволюция звезд. Нуклеосинтез.
28. Взрывы Сверхновых звезд.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	<i>Базовый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	<i>Пороговый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	–	<i>Незачтено</i>

20.2 Промежуточная аттестация Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к зачету

20.2.1. Перечень вопросов к зачету:

1. Экспериментальные методы исследования структуры элементарных частиц.
2. Происхождение химических элементов. Черные дыры и их наблюдение.
3. Виды фундаментальных взаимодействий. Их свойства.
4. Нейтронные звезды. Конечные этапы эволюции Вселенной.
5. Систематика элементарных частиц.
6. Заключительная стадия жизни звезд. Сверхновые звезды.
7. Законы сохранения в мире элементарных частиц.
8. Отсутствие антивещества во Вселенной. Инфляция. Звездная эра Вселенной.
9. СРТ-теорема.
10. Этапы эволюции Вселенной.
11. Сильные взаимодействия. Калибровочная инвариантность.
12. Большой взрыв и его экспериментальные проявления.
13. Кварковая структура барионов и мезонов.
14. Уравнения суперсимметрии.
15. Кварковая диаграмма нуклон-нуклонного взаимодействия.
16. Общая теория относительности. Эволюция Вселенной.
17. Трудности кварковой теории. Цвет.
18. Объединение четырех фундаментальных взаимодействий.
19. Кварковая структура барионов и мезонов. Глюоны.
20. Теория Великого Объединения. Поиск распада протона.
21. Конфайнмент. Асимптотическая свобода.
22. Калибровочная теория электрослабых взаимодействий. $\pm W$ и Z -бозоны.
23. Экспериментальное подтверждение наличия кварков в адронах. Тяжелые кварки.
24. Слабое взаимодействие. Лептонные заряды. Типы нейтрино.
25. Электромагнитное взаимодействие. Квантовая электродинамика. Гамма-кванты.

26. Слабое взаимодействие. Теория Ферми.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	<i>Базовый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	<i>Пороговый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	–	<i>Незачтено</i>

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.