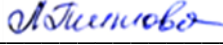


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
ядерной физики

 Титова Л. В.  
22.04.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ФТД.В.02 Физика фундаментальных взаимодействий**

**1. Код и наименование специальности:**

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

**2. Специализация:**

Проектирование и эксплуатация атомных станций

**3. Квалификация выпускника:** инженер – физик

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

кафедра ядерной физики

**6. Составители программы:**

к.ф.-м.н., доцент Титова Лариса Витальевна

**7. Рекомендована:**

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №4 от 18.04.2024 г.

**8. Учебный год:** 2026/2027

**Семестр(ы):** 6

## 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 проводить производственно - технологические исследования систем и оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, участвовать во внедрении результатов исследований	ПК-1.3	Владеет решением математических, физических и химических задач в комплексной инженерной деятельности	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.

## 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
		6 семестр
Аудиторные занятия	32	32
в том числе:	лекции	32
	практические	
	лабораторные	
Самостоятельная работа	40	40
в том числе: курсовая работа (проект)		
Форма промежуточной аттестации		Зачет

Итого:	72	72
--------	----	----

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Элементарные частицы.	Элементарные частицы. Экспериментальные методы исследования структуры частиц. Константы и радиусы фундаментальных взаимодействий.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>
1.2	Систематика частиц.	Систематика частиц. Фундаментальные фермионы и бозоны. Адроны. Барионы и мезоны.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>
1.3	Законы сохранения в мире частиц.	Законы сохранения в мире частиц. Инварианты и асимметрии. Барийное и мезонное квантовые числа. Частицы - античастицы. Странность.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>
1.4	СРТ-теорема.	СРТ-теорема. Координаты С, Р и Т инвариантности в слабых взаимодействиях.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>
1.5	Сильные взаимодействия.	Сильные взаимодействия. Калибровочная инвариантность. Кварковая структура барионов и мезонов. Кварковая диаграмма нуклон-нуклонного взаимодействия.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>
1.6	Трудности кварковой теории.	Трудности кварковой теории. Цвет. Барионы и мезоны как наборы цветных кварков. Глюоны,	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>
1.7	Асимптотическая свобода.	Асимптотическая свобода. Конфайнмент. Отсутствие кварков в свободном состоянии.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>
1.8	Тяжелые кварки.	Экспериментальное подтверждение наличия кварков в адронах. Тяжелые кварки.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>
1.9	Квантовая электродинамика.	Электромагнитное взаимодействие. Квантовая электродинамика. Гамма-кванты.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>
1.10	Слабое взаимодействие. электрослабые взаимодействия	Слабое взаимодействие. Теория Ферми. Лептонные заряды. Типы нейтрино. Калибровочная теория электрослабых взаимодействий.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>
1.11	Теория Великого Объединения. Четыре фундаментальные взаимодействия.	Теория Великого Объединения. Поиск распада протона. Объединение четырех фундаментальных взаимодействий.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>
1.12	Общая теория относительности. Большой взрыв	Общая теория относительности. Уравнения суперсимметрии. Эволюция Вселенной. Большой взрыв и его экспериментальные проявления. Этапы эволюции Вселенной.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>
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.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>
1.14	Происхождение химических элементов.	Происхождение химических элементов. Черные дыры и их наблюдение.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=4013</a>

### 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.	2			2	4
2.	Систематика частиц.	2			2	4
3.	Законы сохранения в мире частиц.	2			2	4
4.	СРТ-теорема.	2			2	4
5.	Сильные взаимодействия.	2			2	4
6.	Трудности кварковой теории.	2			4	6
7.	Асимптотическая свобода.	2			2	4
8.	Тяжелые кварки.	2			2	4
9.	Квантовая электродинамика.	2			4	6
10.	Слабое взаимодействие. электрослабые взаимодействия	4			4	8
11.	Теория Великого Объединения. Четыре фундаментальные взаимодействия.	4			4	8
12.	Общая теория относительности. Большой взрыв	2			4	6
13.	Звездная эра Вселенной. Конечные этапы эволюции	2			2	4
14.	Происхождение химических элементов.	2			2	4
	Итого:	32			40	72

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал 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 продемонстрировать полученные на лекциях и практических занятиях знания, умения и навыки, отвечать на поставленные вопросы, поддерживать дискуссию по существу вопроса.

Методическое обеспечение аудиторной работы: учебно-методические пособия для студентов, учебники и учебные пособия, электронные и Интернет-ресурсы.

Методическое обеспечение самостоятельной работы: учебно-методические пособия по организации самостоятельной работы, контрольные задания и тесты в бумажном и электронном вариантах, тестирующие системы, дистанционные формы общения с преподавателем. Контроль самостоятельной работы реализуется с помощью опросов, тестов, вопросов по темам заданий и т.д.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

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. Исааков, 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
14.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ.
15.	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Электронный университет ВГУ
16.	<a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a> – ЭБС «Лань»
17.	<a href="https://www.studentlibrary.ru">https://www.studentlibrary.ru</a> – ЭБС «Консультант студента»
18.	<a href="https://urait.ru">https://urait.ru</a> – Образовательная платформа «ЮРАЙТ»
19.	<a href="https://rucont.ru">https://rucont.ru</a> - Информационно-телекоммуникационная система «Контекстум»

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов - 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](http://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:**

Учебная аудитория

Специализированная мебель

Компьютерный класс, помещение для самостоятельной работы

Специализированная мебель, компьютеры с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета

Microsoft Windows 10, LibreOffice, Adobe Reader

### **19. 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.	Элементарные частицы.	ПК-1	ПК-1.3	Коллоквиум, собеседование по вопросам к зачету
2.	Систематика частиц.			
3.	Законы сохранения в мире частиц.			
4.	СРТ-теорема.			
5.	Сильные взаимодействия.			
6.	Трудности кварковой теории.			
7.	Асимптотическая свобода.			
8.	Тяжелые кварки.			
9.	Квантовая электродинамика.			
10.	Слабое взаимодействие. электрослабые взаимодействия			
11.	Теория Великого Объединения. Четыре фундаментальные взаимодействия.			
12.	Общая теория относительности. Большой взрыв			
13.	Звездная эра Вселенной. Конечные этапы эволюции			
14.	Происхождение химических элементов.			

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Перечень вопросов к зачету Пункт 20.2

## **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:

#### **Перечень вопросов входного контроля:**

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

- 27. Ядерные реакции в звездах.
- 28. Эволюция звезд. Нуклеосинтез.
- 29. Взрывы Сверхновых звезд.

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при аттестации

Критерии оценивания 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	Отлично
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	Хорошо
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	Неудовлетворительно

## 20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

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.

#### Слабое взаимодействие. Теория Ферми

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

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и/или практическое(ие) задание(я), позволяющее(ие) оценить степень сформированности умений и(или) навыков, и(или) опыт деятельности.

При оценивании используются количественные или качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при аттестации

Критерии оценивания 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	Зачтено
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	Незачтено

#### Пример контрольно-измерительного материала (КИМ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
ядерной физики  
\_\_\_\_\_ Титова Л. В.

Направление подготовки:

Контрольно-измерительный материал №1

1. Виды фундаментальных взаимодействий. Их свойства.
2. Кварковая структура барионов и мезонов. Глюоны.

Преподаватель \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_  
подпись расшифровка подписи

**21. Фонд оценочных средств**

Тест

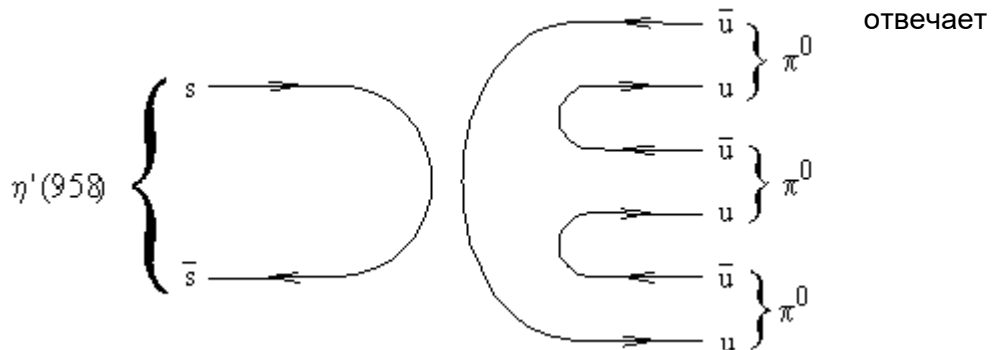
1. Выберите верное утверждение
  - 1) **У всех частиц должны быть античастицы**
  - 2) При столкновении пары частицы-античастица происходит их исчезновение
  - 3) Античастицы обладают более высокой энергией, чем обычные частицы
  - 4) Фундаментальные взаимодействия в антивеществе не отличаются от фундаментальных взаимодействий в веществе
2. Переносчиками сильного взаимодействия являются...
  - 1) Кварки 2) Мюоны **3) Глюоны** 4) Бозоны
3. Частицами, относящимся к группе адронов, являются...
  - 1) Лептоны 2) Электроны **3) Барионы** 4) Фотоны
4. Сколько на сегодняшний день открыто видов нейтрино?
  - 1) 1 2) 2 **3) 3** 4) 4
5. Сопоставьте теории с предметом того, что они описывают  
*Укажите соответствие для всех 4 вариантов ответа:*
  - 1) Электромагнитное взаимодействие
  - 2) Все взаимодействия
  - 3) Все взаимодействия, кроме гравитационного
  - 4) Сильное взаимодействие
  - 5) Взаимодействие, объединяющее электромагнитное и слабое взаимодействия

\_1\_ Квантовая хромодинамика  
\_2\_ Электрослабая теория  
\_3\_ Теория великого объединения  
\_4\_ Квантовая электродинамика

*Ответ:* 1) Электромагнитное взаимодействие  
2) Все взаимодействия- **\_3\_ Теория великого объединения;**  
3) Все взаимодействия, кроме гравитационного-\_  
4) Сильное взаимодействие - **\_1\_ Квантовая хромодинамика;**  
5) Взаимодействие, объединяющее электромагнитное и слабое взаимодействия.
6. Какой из фундаментальных типов взаимодействий раньше остальных выделяется при понижении энергии частиц?

- 1) Гравитационное **3) Сильное**  
 2) Электромагнитное 4) Слабое  
 7. Какие частицы считаются истинно элементарными?  
**1) Лептоны** 2) Глюоны 3) Мезоны 4) Барионы

8. Какое взаимодействие за распад  $\eta'(958) \rightarrow 3\pi^0$ , представленный диаграммой Фейнмана?



**1) Сильное взаимодействие;**

2) Слабое взаимодействие; 3) Электромагнитное-взаимодействие;

4) Электрослабое взаимодействие

9. Какой фундаментальный бозон является переносчиком электро-магнитного взаимодействия?

1) W- и Z – бозоны; 2) Гравитон; 3) Глюон; **4) Фотон.**

10.  $\pi^0$ -мезон кинетическая энергия которого нулю, распадается на два гамма-кванта, энергии которых равны. Каков угол между направлениями движения гамма-квантов?

**1) 0** 2) 90 градусов 3) 180 градусов 4) 45 градусов

11. Какое значение может принимать квантовое число «цвет», характеризующее состояние кварков?

1) белый **2) синий** 3) антижелтый 4) фиолетовый

12. Каков радиус действия слабых сил?

1) бесконечно большой 2) порядка 1 м 3) менее **1 фм** 4) примерно 1 нм

13. Адроны состоят из

**1) трех кварков** 2) двух кварков и одного антикварка 3) двух антикварков и одного кварка 4) из протонов и антипротонов

14. К фундаментальным фермионам относятся:

1) протоны и нейтроны; 2) глюоны; **3) кварки и лептоны** 4) адроны

15. CP-преобразование – это

**1) операция зарядового сопряжения и инверсии системы координат;**

2) операция изменения четности и массы;

3) операция зеркального отображения и изменения спина;

4) операция перехода от частицы к античастице

Вопросы

1. Каким способом можно оценить константу слабого взаимодействия?

**Ответ:** оценить константу слабого взаимодействия можно из сравнения времен жизни  $\Delta^-$  и  $\Sigma^-$ .

$$\Delta^- = n + \pi^- \quad (\text{сильный распад}) \quad \tau = 10^{-23} \text{ с}$$

$$\Sigma^- = n + \pi^- \quad (\text{слабый распад}) \quad \tau = 1.5 * 10^{-10} \text{ с}$$

$$\frac{\tau(\Delta^-)}{\tau(\Sigma^-)} = 10^{-13}$$

2. Какие поколения лептонов вам известны?

**Ответ:**

1-е поколение:  $\nu_e, e^-, u, d$

2-е поколение:  $\nu_\mu, \mu^-, c, s$

3-е поколение:  $\nu_\tau, \tau^-, b, t$

3. Почему возникла необходимость введения лептонного заряда?

**Ответ:** для того, чтобы выделить класс лептонов из множества частиц и различить нейтрино и антинейтрино был введен лептонный заряд. Антинейтрино отличается от нейтрино знаком лептонного заряда, и лептонный заряд сохраняется в любом взаимодействии.

4. В чем состояла идея эксперимента Дэвиса? Что этот эксперимент показал?

**Ответ:** Дэвис работал над радиохимическим экспериментом по регистрации нейтрино, – захват нейтрино в реакции:

$\bar{\nu}_e + {}_{17}^{37}\text{Cl} \rightarrow {}_{18}^{37}\text{Ar} + e^-$ . В результате эксперимента выяснилось, что нейтрино и антинейтрино нетождественны.

5. Как отличить распад, происходящий за счет сильного или электромагнитного взаимодействия, от распада, идущего за счет слабого взаимодействия?

**Ответ:** Сильный распад -  $10^{-23} - 10^{-24}$  с.

Слабый распад  $\sim 10^{-13}$  с.

Отличительным признаком явления слабого распада является появление нейтрино (антинейтрино).

6. Что такое заряженные и нейтральные слабые токи?

**Ответ:** заряженный слабый ток – механизм слабого взаимодействия лептонов и кварков, опосредованный обменом виртуальными  $W^+$  и  $W^-$  бозонами.

Нейтральный слабый ток – ток, не меняющий электрических зарядов участвующих частиц; связан с электрически нейтральным квантом слабого поля  $Z$  – бозоном.

7. Нарисовать кварковые диаграммы распадов:

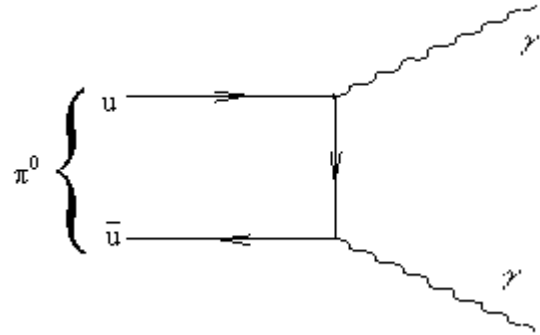
1)  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ ; 2)  $\pi^0 \rightarrow e^- + e^+$ ; 3)  $\rho^0(770) \rightarrow e^- + e^+$

Какие взаимодействия ответственны за эти распады?

**Ответ:**

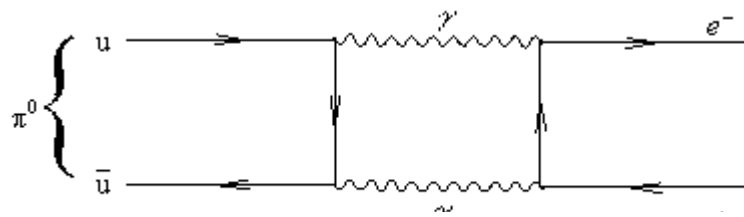
1)  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$

Электромагнитное взаимодействие.



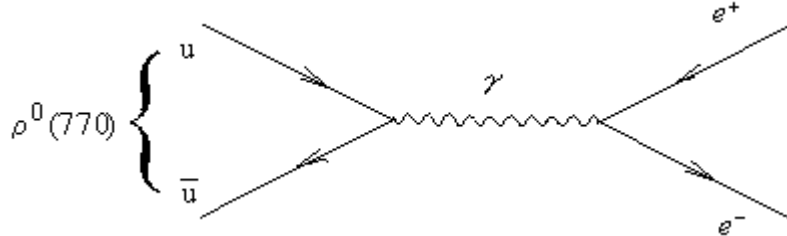
2)  $\pi^0 \rightarrow e^- + e^+$

Электромагнитное взаимодействие.



3)  $\rho^0(770) \rightarrow e^- + e^+$

Электромагнитное взаимодействие.



8. Какие из перечисленных ниже четырех способов распада  $K^+$ -мезона возможны? Для разрешенных нарисовать диаграммы, для запрещенных указать причину запрета.

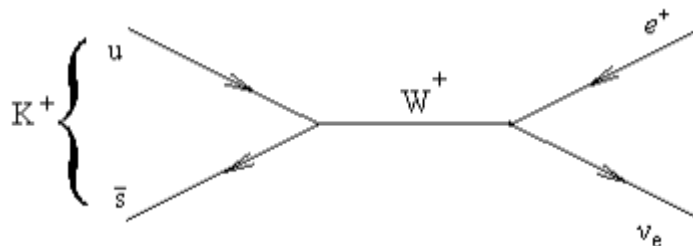
1)  $K^+ \rightarrow \pi^+ + e^- + e^+$ ; 2)  $K^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$ ; 3)  $K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \bar{\nu}_e$ ; 4)  $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$

**Ответ:**

1)  $K^+ \rightarrow \pi^+ + e^- + e^+$

Распад запрещен законом сохранения спина.

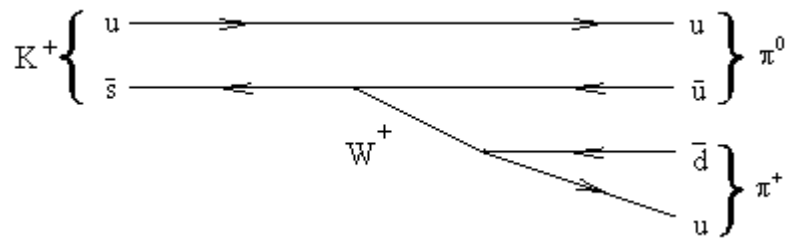
2)  $K^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$



3)  $K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \bar{\nu}_e$

Распад запрещен законом сохранения лептонного числа.

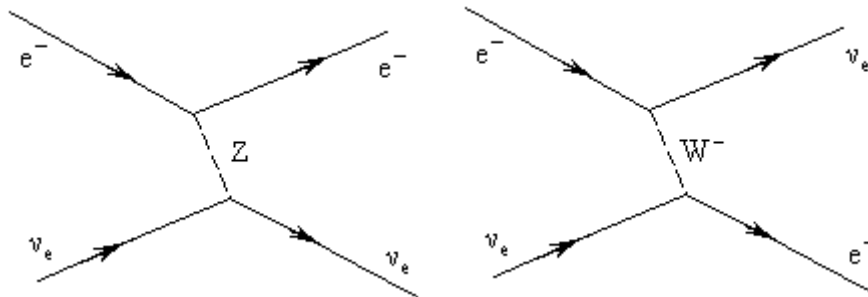
4)  $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$



9. Возможно ли рассеяние нейтрино на электроне с участием 1) нейтрального слабого тока; 2) заряженного слабого тока? В случае положительного ответа привести диаграмму процесса.

**Ответ:**

Оба вида рассеяния возможны, т.к. в нейтральных слабых токах переносчиком взаимодействия является  $Z$ -бозон, в заряженных слабых токах -  $W^\pm$ .



10. Положительный пион распадается следующим образом:  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ . Проанализировать выполнение законов сохранения и нарисовать диаграмму распада.

**Ответ:**

Закон сохранения изоспина  $I$ :

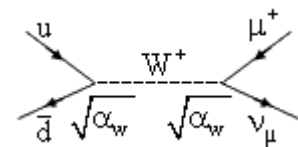
$$\vec{1} \rightarrow \frac{\vec{1}}{2} + \frac{\vec{1}}{2}$$

Закон сохранения барионного заряда  $B$ :

$$0 \rightarrow 0 + 0$$

Закон сохранения электрического заряда  $Q$ :

$$+1 \rightarrow +1 + 0$$



Закон сохранения странности:

$$0 \rightarrow 0 + 0$$

11. Показать, что гамма-квант не может передать всю энергию изолированному электрону.

Ответ:

Запишем закон сохранения энергии и импульса в системе, где электрон покоится после поглощения фотона:

$\vec{p}_e = -\vec{p}_\gamma; \sqrt{\vec{p}_e^2 c^2 + m_e^2 c^4} + p_\gamma c = m_e c^2$ . Эти соотношения одновременно соблюдаются только при  $p_\gamma = p_e = 0$ , то есть при отсутствии фотона.

12. Определить в каких из приведенных ниже распадов, энергетические спектры продуктов имеют дискретный, а в каких непрерывный характер.

1)  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$  2)  $K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$  3)  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$  4)  $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$

Ответ: Согласно законам сохранения импульса и энергии дискретный спектр продуктов реакции будет в случае, когда в выходном канале реакции возникает две частицы, в случае, если частиц более двух, спектр будет непрерывным

13. Показать, что без введения квантового числа «цвет», принимающего три значения, кварковая структура  $\Delta^{++}$ ,  $\Delta^-$ ,  $\Omega^-$  противоречит принципу Паули.

Ответ: указанные частицы состоят из трех одинаковых кварков, которые согласно принципу Паули, не могут одновременно находиться в одном и том же квантовом состоянии. Поэтому возникает необходимость введения дополнительного квантового числа, принимающего три значения и названного «цвет»

14. Исходя из среднего времени жизни протона  $\tau_p \approx 10^{33}$  лет, оценить сколько его распадов должно происходить в 100 т воды в течение 1 года? Ответ:  $N_p = 0.33$  в год

15. Какова энергия, отвечающая массе Планка? Приведите выражение и значение планковской длины.

Ответ:  $M_{Pl} = \sqrt{\hbar c/G} = 1.2 \cdot 10^{19}$  ГэВ/ $c^2$ ,  $L_{Pl} = \sqrt{G\hbar/c^3} = 1.6 \cdot 10^{-33}$  см