

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
«Московский физико-технический институт (государственный университет)»
МФТИ

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по учебной и методической работе
_____ Д.А. Зубцов
« » _____ 20 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине: Физика элементарных частиц

по направлению: 010900 «Прикладные математика и физика»

профиль подготовки

магистерская программа: 010915 «Физика высоких энергий»

факультет: ФОПФ

кафедра: Фундаментальных и прикладных проблем физики микромира

курс: 4

квалификация: бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации:

7 (Осенний) – Диф. Зачет, 8 (Весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 136 всего, в том числе:

лекции: 68 час.

практические (семинарские) занятия: 68 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 68 час., в том числе:
задания, курсовые работы: 0 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 234, всего зач. ед.: 7

Программу составил: д.ф.-м.н. Строковский Е.А.

Программа обсуждена на заседании кафедры
14 октября 2014 г.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой

Казаков Д.И.

Декан ФОПФ

Трунин М.Р.

Начальник учебного управления

Гарайшина И.Р.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Основной целью данной дисциплины является обучение основным понятиям, необходимым для дальнейшего изучения более продвинутых курсов по физике элементарных частиц – квантовой хромодинамики, теории электрослабого взаимодействия.

Задачи дисциплины

- Формирование основных представлений о физике элементарных частиц
- Знакомство с базовыми понятиями физики элементарных частиц, квантовой теории поля, квантовой хромодинамики, теории электрослабого взаимодействия
- Обсуждение классических экспериментов по физике элементарных частиц.
- Обсуждение связи космологии и физики элементарных частиц.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы бакалавриата

Дисциплина «**Физика элементарных частиц**» включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативной части профессионального цикла ООП Б.3.

Дисциплина «**Физика элементарных частиц**» базируется на материалах курсов, читаемых в рамках базовой и вариативной частей УЦ ООП Б.2 (Теория поля, Квантовая механика, Основы современной физики (общая физика)), и относится к профессиональному циклу.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Освоение дисциплины «**Физика элементарных частиц**» направлено на формирование следующих общекультурных и профессиональных компетенций бакалавра:

а) общекультурные (ОК):

- владение культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке целей и выбору путей её достижения (ОК-1);
- способность к саморазвитию, повышению квалификации, устранению пробелов в знаниях и самостоятельному обучению в контексте непрерывного образования, способность осваивать новую проблематику, язык, методологию и научные знания в избранной предметной области (ОК-6);
- способность работать с информацией в глобальных компьютерных сетях (ОК-12);

б) профессиональные (ПК):

- способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в физике,

химии, экологии, других естественных и социально-экономических науках (ПК-3);

- способность к выявлению сущности задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлечению соответствующего физико-математического аппарата для их решения (ПК-4);
- способность применять базовую лексику и основную терминологию по направлению подготовки, способность к подготовке и редактированию текстов профессионального и социально-значимого содержания на русском и английском языках (ПК-5);
- способность брать на себя ответственность за качество и результаты своей деятельности (ПК-10);
- способность применять физические подходы и методы выявления структуры объектов и связи явлений в природе, технике и технологиях (ПК-11);
- способность применять теорию и методы математики и информатики для построения качественных и количественных моделей в науке, технике и технологиях (ПК-12);

В результате освоения дисциплины «Физика элементарных частиц» обучающийся должен:

знать:

- современные представления о строении материи
- основные понятия физики элементарных частиц (заряд, спин, четность и т.д.)
- основные симметрии микромира
- законы и структуру сильного, слабого и электромагнитного взаимодействий
- принципы построения Стандартной модели
- механизм образования масс в Стандартной модели
- связь между современной космологией и физикой элементарных частиц

уметь:

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной физики элементарных частиц.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| № п/п | Тема (раздел) дисциплины | Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу | | | | |
|----------|--|--|------------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| | | Лекции | Практич. (семинар.) задания. | Лаборат. работы | Задания, курсовые работы | Самост. работа. |
| 1. | Элементарные частицы материи – кварки и лептоны | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 2. | Естественная система единиц | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 3. | Изоспин | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 4. | Бозоны и фермионы | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 5. | P-четность | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 6. | C-четность. Частицы и античастицы. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 7. | Странность. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 8. | CP-четность. Нарушение CP. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 9. | Очарованный кварк | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 10. | B-кварк. Мезоны и барионы с b-кварком. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 11. | Топ-кварк. Наивная кварковая модель. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 12. | Мультиплеты мезонов в SU(2), SU(3) и SU(4). | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 13. | Векторные и псевдоскалярные мезоны. Массовые формулы Гелл-Манна-Окубо. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 14. | Классификация барионов по мультиплетам. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 15. | Расширение Вселенной. Реликтовое излучение. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 16. | Химический состав Вселенной. Первичный нуклеосинтез. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 17. | Темная материя. Темная энергия | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 18. | Уравнение Клейна-Гордона. Уравнение Дирака. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 19. | Калибровочная инвариантность. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 20. | Лагранжиан КХД. Цветовой заряд. Открытие глюонов. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 21. | Конфайнмент. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 22. | Кварковый вакуумный конденсат. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |

| | | | | | | |
|--------------------|---|---------------------|----|---|---|----|
| 23. | Кварковый конденсат и смешивание мезонов. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 24. | Рассеяние на составном объекте. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 25. | Глубоконеупругое рассеяние лептонов. Скейлинг. Партоновая модель. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 26. | Спин и заряды партонов. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 27. | Слабое взаимодействие. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 28. | V-A структура слабого взаимодействия. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 29. | Нейтральные токи. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 30. | Основы стандартной электрослабой модели. | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 31. | Локальная калибровочная инвариантность для групп SU(2)xU(1). | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 32. | Механизм Хиггса. Массы фермионов в Стандартной модели. | 4 | 2 | 0 | 0 | 4 |
| 33. | Осцилляции нейтрино. | 2 | 4 | 0 | 0 | 2 |
| Итого часов | | 68 | 68 | 0 | 0 | 68 |
| Общая трудоемкость | | 204 час., 7 зач.ед. | | | | |

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний), 8 (Весенний)

1 Элементарные частицы материи – кварки и лептоны.

Элементарные частицы материи – кварки и лептоны. Точно сохраняющиеся заряды. Барионный и лептонный заряды. Основные характеристики взаимодействий между элементарными частицами. Бозон Хиггса.

2 Естественная система единиц.

Естественная система единиц. Планковские постоянные.

Дополнительные измерения и экспериментальный поиск их проявлений.

3 Изоспин.

Изоспин. Изоспин NN и πN систем. Формула Гелл-Манна-Нишиджимы.

4 Бозоны и фермионы.

Бозоны и фермионы. Принцип Паули и его экспериментальная проверка. Получение бозе-эйнштейновского конденсата.

5 P-четность.

P-четность. Внутренняя четность.

6 C-четность. Частицы и античастицы.

Частицы и античастицы. Опыт Андерсона. Открытие антипротона. Эксперименты по созданию антиатомов. C-четность системы $q \bar{q}$. T-инвариантность. Формула для вероятности перехода. Детальный баланс.

7 Странность.

Странность. Странные мезоны и барионы. Понятие инвариантной массы нескольких частиц. Изоспин каонов.

K^0 и \bar{K}^0 мезоны. Осцилляции странности. K^1 и K^2 -мезоны. Изменение вероятности обнаружения K^0 от времени.

Регенерация каонов, опыт Пайса-Пиччиони. Переходы с $\Delta S = 2$.

8 CP-четность. Нарушение CP.

CP-четность системы 2π и 3π . Эксперимент Кронина-Фитча. K_S и K_L -мезоны. CPT теорема. Поиски нарушения CPT теоремы. Правило $\Delta S = \Delta Q$. Опыты по прямому обнаружению нарушения T-инвариантности в аннигиляции антипротонов. Зарядовая асимметрия в полулептонных распадах. Нарушение CP и различия в распадах частиц и античастиц. Бариосинтез во Вселенной по А.Д.Сахарову.

9 Очарованный кварк.

Очарованный кварк, мезоны и барионы с очарованным кварком. Разложение амплитуды рассеяния по парциальным волнам. Признаки существования резонансного состояния. Формула Брейта-Вигнера для амплитуды рассеяния и полного сечения. Реакции типа production и formation. Открытие чарма в опытах Тинга и Рихтера. Свойства чармония. Спектроскопия чармония и боттомония. Потенциал КХД.

10 В-кварк. Мезоны и барионы с b-кварком.

Мезоны и барионы с b-кварком. Смешивание D^0 и \bar{D}^0 – мезонов. Нарушение CP в распадах B-мезонов.

11 Топ-кварк. Наивная кварковая модель.

Топ-кварк. Наивная кварковая модель. Связанные состояния кварков и глюонов. Основы теории групп. Дублет антикварков.

12 Мультиплеты мезонов в SU(2), SU(3) и SU(4).

Правила комбинирования схем Юнга. Мультиплеты мезонов в SU(2), SU(3) и SU(4).

Нонеты мезонов из легких кварков. Кварковый состав мезонов из SU(3) нонета.

13 Векторные и псевдоскалярные мезоны. Массовые формулы Гелл-Манна-Окубо.

Векторные и псевдоскалярные мезоны. Массовые формулы Гелл-Манна-Окубо.

Смешивание мезонов, правило ОЦИ.

14 Классификация барионов по мультиплетам.

Мир барионов. Классификация барионов по мультиплетам.

Массовые формулы для барионов. Лептонные распады векторных мезонов. Магнитные моменты барионов. Ограничения наивной кварковой модели.

15 Расширение Вселенной.

Расширение Вселенной. Реликтовое излучение.

16 Химический состав Вселенной. Первичный нуклеосинтез.

Химический состав Вселенной. Метрика Вселенной. Первичный нуклеосинтез. Основные моменты жизни Вселенной.

17 Темная материя. Темная энергия

Прецизионные измерения неоднородностей реликтового излучения и определение плотности Вселенной. Плотность барионов во Вселенной. Темная материя. Темная энергия

18 Уравнение Клейна-Гордона. Уравнение Дирака.

Ток и плотность вероятности. Уравнение Клейна-Гордона.

Уравнение Дирака. Матрицы Дирака. Физическая интерпретация решений уравнения Дирака:

античастицы, спиральность, оператор спина. Структура дираковского спинора.

19 Калибровочная инвариантность.

Калибровочная инвариантность. Локальная и глобальная калибровочная инвариантность. Примеры глобальной и локальной калибровочной симметрии.

20 Лагранжиан КХД. Цветовой заряд. Открытие глюонов. Лагранжиан КХД. Цветовой заряд. Открытие глюонов. Цветовые волновые функции глюонов. Асимптотическая свобода.

21 Конфайнмент. Конфайнмент. Цветовые струны. Адроны – синглеты по цвету. Киральная симметрия. Уравнения Вейля. Спиральность релятивистских частиц. Киральные проекционные операторы. Билинейные комбинации гамма-матриц. Спонтанное нарушение киральной симметрии. Теорема Голдстоуна. Физический смысл вакуумного конденсата.

22 Кварковый вакуумный конденсат. Кварковый вакуумный конденсат. Спектр масс частиц и параметры кваркового конденсата. Глюонный конденсат. Инстантоны. Инстантоны и возникновение кваркового конденсата. Вклад различных конденсатов в массу протона. Восстановление киральной симметрии.

23 Кварковый конденсат и смешивание мезонов. Кварковый конденсат и смешивание мезонов. Квадратичная массовая формула Гелл-Манна-Окубо и СНКИ. Проблема η' -мезона. Вакуум и скалярные поля во Вселенной. Эффект Казимира. Проблема космологической постоянной. Энергия вакуума. Проблемы стандартной космологии (однородности и точной подстроенности параметров расширения). Инфляционная модель Вселенной.

24 Рассеяние на составном объекте. Рассеяние на составном объекте. Формфактор. Формфакторы упругого ер-рассеяния. Рассеяние на точечных объектах, дифференциальное и полное сечение рассеяния. Переданный импульс в реакциях рассеяния и аннигиляции.

25 Глубоконеупругое рассеяние лептонов. Скейлинг. Партоновая модель. Глубоконеупругое рассеяние лептонов- кинематические переменные. Скейлинг. Партоновая модель.

26 Спин и заряды партонов. Спин и заряды партонов. Партоновые распределения валентных и морских кварков. Доля импульса протона, которую несут глюоны. Асимметрия морских кварков u- и d- кварков. Спиновый кризис. Аннигиляция $e^+ e^- \rightarrow \text{hadrons}$. Экспериментальное определение числа цветов кварков.

27 Слабое взаимодействие. Слабое взаимодействие. Основные процессы. Слабые заряды. Бета-распад. Переходы Ферми и Гамова-Теллера. График Кюри. Опыты по измерению массы нейтрино в бета-распаде трития. Эксперименты Лобашова и гипотеза нейтринных облаков. Обратный бета-распад. Сечение взаимодействия нейтрино с нуклоном. Опыты Ву, Ледермана, Телегди. Нарушение четности в распаде Λ .

28 V-A структура слабого взаимодействия. V-A структура слабого взаимодействия. Эксперименты по доказательству V-A варианта слабого взаимодействия.

Структура заряженных токов.

29 Нейтральные токи.

Нейтральные токи. Структура нейтральных токов. Универсальность слабого взаимодействия по Кабиббо.

Схема ГИМ. Матрица смешивания Кобаяши-Маскава и CP-нарушение.

30 Основы стандартной электрослабой модели.

Слабый изоспин и гиперзаряд. Электрослабое взаимодействие. Связь слабого и электромагнитного токов.

Понятие о процедуре перенормировки. Лэмбовский сдвиг и аномальный момент электрона.

31 Локальная калибровочная инвариантность для групп $SU(2) \times U(1)$.

Локальная калибровочная инвариантность для групп

$SU(2) \times U(1)$. Спонтанное

нарушение симметрии.

32 Механизм Хиггса. Массы фермионов в Стандартной модели.

Механизм Хиггса. Массы калибровочных бозонов и механизм Хиггса. Массы фермионов в Стандартной модели.

32 Осцилляции нейтрино.

Осцилляции нейтрино. Результаты экспериментов по осцилляциям солнечных, атмосферных и ускорительных нейтрино.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор)

Необходимое программное обеспечение: Adobe Reader

Обеспечение самостоятельной работы: доступ к базе данных Particle Data Group (<http://pdg.lbl.gov>), библиотеке и электронным версиям журналов Phys. Lett., Phys. Rev., Eur. Phys. J., Nucl. Phys., Nucl. Instrum and Meth

6. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Л.Б.Окунь Физика элементарных частиц. М., Наука., 1988
2. Д.Перкинс, Введение в физику высоких энергий, М., Энергоатомиздат, 1991
3. М.Е.Пескин, Д.В.Шредер, Введение в квантовую теорию поля., Ижевск, НИЦ РХД, 2001
4. Г.И.Копылов, Основы кинематики резонансов, М., Наука, 1970
5. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 2, М. Наука, 1988
6. Е. Бюклинг, К. Каянти, Кинематика элементарных частиц, М., Мир, 1975

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

-

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Информационные ресурсы: Доступные через интернет база данных Particle Data Group (<http://pdg.lbl.gov>), поисковая система INSPIRE (<http://inspirehep.net/>) и электронные версии журналов Phys. Lett., Phys. Rev., Eur. Phys. J., Nucl. Phys., Nucl. Instrum and Meth.

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

-

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

-

11. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по итогам обучения

Перечень контрольных вопросов для сдачи диф.зачета в 7-ом семестре:

1. Перечислить все элементарные частицы - фермионы и их основные параметры: массы и электрические заряды.
2. Перечислить все элементарные частицы - бозоны и их основные параметры: массы и электрические заряды.
3. Какие заряды в природе сохраняются абсолютно точно?
4. Основные характеристики взаимодействий между элементарными частицами – относительная сила и радиус действия.
5. Написать примеры реакций сильного, слабого и электромагнитного взаимодействий.
6. Цветовая структура глюонов.
7. Численные значения планковских постоянных.
8. Формула Гелл-Манна-Нишиджимы.
9. Написать изоспиновый состав I, I_3 для протона, нейтрона, антипротона, антинейтрона
10. Написать изоспиновый состав I, I_3 для Δ -мезонов, дублетов (u,d) и (c,s)-кварков
11. Написать изоспиновую волновую функцию системы $\square\square\square\tilde{\square}$
12. Пользуясь законом сохранения изоспина получить соотношение между вероятностями реакции $\square p + d \rightarrow \pi^0 + n$ и $\square p + d \rightarrow \pi^- + p$.
13. Р-четность нейтрино не определена. Почему?
14. Формула для Р-четности системы кварк-антикварк. Внутренняя четность протона, \square К и \square -мезонов.
15. С-четность системы кварк-антикварк.
16. Схема эксперимента по поиску антиводорода (написать основные реакции).
17. Какие симметрии Р,С,Т,СР,СРТ сохраняются в сильных, электромагнитных и слабых взаимодействиях.
18. Каков механизм осцилляций К-мезонов?
19. Перечислить К-мезоны - собственные состояния гамильтонианов сильного и слабого взаимодействия.
20. Как соотносятся сечения взаимодействия нейтральных К-мезонов с веществом
21. Какова степень нарушения СР в распадах К-мезонов (порядок величины)?

22. Какое типичное расстояние пролетают до своего распада K_S и K_L мезон?
23. Дать два примера распадов K -мезонов, в которых нарушается CP -четность.
24. Как сказывается нарушение CP – четности на характеристиках распадов частиц и античастиц?
25. Привести примеры реакций типа formation и production.
26. Чему равна ширина Γ мезона (порядок величины)?
27. Почему ширина Γ мезона аномально мала?
28. Какой распад разрешен: а) $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ б) $D^0 \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-$
29. Чему равна величина коэффициента при линейном члене в потенциале КХД, описывающем уровни энергии чармониев и боттомониев?
30. Мечение B^0 мезонов осуществляется по их распадам на: а) $K^+ X^-$, б) $K^+ + X^-$?
31. Какие мультиплеты мезонов можно построить из u, d и s -кварков ?
32. Какие мультиплеты мезонов можно построить из u, d, s, c, b, t -кварков ?
33. Массовая формула Гелл-Манна-Окубо для псевдоскалярных мезонов.
34. Угол смешивания для псевдоскалярных, векторных и тензорных мезонов (порядок величины)?
35. Привести пример процессов, запрещенных по правилу ОЦИ.
36. Какие мультиплеты барионов можно построить из u, d и s -кварков со спином?
37. Произведение пространственной, спиновой и ароматовой части волновой функции кварков в барионе должно быть:
 1. симметричной функцией
 2. антисимметричной функцией
 3. не имеет определенной симметрии?
38. Какой из двух мезонов с квантовыми числами $J^{PC} = 1^{+-}$ или 1^{-+} является экзотическим и почему?

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 8-ом семестре:

1. Написать уравнение Дирака в ковариантной форме.
2. Перестановочные соотношения между γ - матрицами.
3. Определение глобальной калибровочной инвариантности.
4. Определение локальной калибровочной инвариантности.
5. Написать лагранжиан КХД.
6. Величина α_s КХД.
7. Константа сильного взаимодействия с ростом энергии
 - а) растет
 - б) падает
 - в) не меняется?
8. Что такое киральная инвариантность?
9. Записать билинейные произведения гамма-матриц, которые преобразуются как
 - i. скаляр
 - ii. вектор
 - iii. аксиальный вектор
 - iv. псевдоскаляр
 - v. тензор
2. Пример голдстоуновского бозона.
3. Величина кваркового конденсата в вакууме.
4. Величина глюонного конденсата в вакууме.
5. Какова масса нуклона в киральном пределе.
6. Что такое инстантон? Размер инстантона и средняя плотность инстантонов в вакууме.

7. Расставьте эти понятия в порядке причинной связи: СНКИ, инстантоны, вакуум КХД, масса нуклона, кварковый конденсат
8. Что такое эффект Казимира?
9. \square - член в уравнении Эйнштейна – физический смысл.
10. Как меняется со временем масштабный фактор на стадии инфляции.
11. Как соотносятся плотность энергии Вселенной и критическая плотность?
12. Написать формулу для дифференциального сечения рассеяния на составном объекте (через формфактор)
13. Определение зарядового формфактора рассеяния.
14. Какова связь между формфактором и среднеквадратичным радиусом частицы.
15. Каков знак квадрата переданного импульса
 - a) в реакциях аннигиляции
 - b) в реакциях рассеяния
16. Определение переменной Бьеркена x . Ее физический смысл.
17. Скейлинг. Что это такое?
18. Какие эксперименты доказывают (начертите графики с соответствующими результатами), что внутри нуклона есть:
 - a) точечные частицы
 - b) с дробными зарядами
 - c) с цветовым зарядом $N_c = 3$
19. $\square_s = -0.11 \pm 0.02$. Опишите словами, что это означает.
20. Каков вклад кварков в спин нуклона:
 - a) 0
 - b) 30%
 - c) 60%
 - d) 90%
21. Каков вклад глюонов в импульс нуклона.
22. Нарисовать кварковую диаграмму бета-распада.
23. Сколько есть слабых зарядов, их относительная величина по сравнению с электромагнитным зарядом.
24. Что происходит с полным сечением рассеяния нейтрино на нуклоне с энергией:
 - a) растет
 - b) падает
 - c) остается неизменным
25. Расставьте три стрелочки, символизирующие опыт Ву:
 - a) направление магнитного поля
 - b) направление спина ядра
 - c) направление предпочтительного вылета электронов
26. V-A структура заряженного тока это следствие:
 - a) нарушения четности
 - b) Стандартной модели электрослабого взаимодействия
 - c) существования трех промежуточных бозонов
 - d) экспериментальный факт
27. Нарисовать диаграмму процесса слабого взаимодействия, которое происходит по нейтральному току.
28. Сечение каких взаимодействий нейтрино, заряженных или нейтральных, больше и насколько.

Физический смысл элемента матрицы Каббиво –Кобаяши – Маскава V_{CS}