**Кузнецов, Валентин Евгеньевич.**

**Введение третьего электромагнитного диполя в физику нейтрино : диссертация ... кандидата физико-математических наук : 01.04.16. - Дубна, 1999. - 149 с. : ил.**

**Оглавление диссертациикандидат физико-математических наук Кузнецов, Валентин Евгеньевич**

**Оглавление**

**1 Введение ,**

**2 Теория нейтрино**

**2.1 Типы нейтрино**

**2.1.1 Дираковские нейтрино**

**2.1.2 Mайорановские нейтрино**

**2.2 Массы нейтрино**

**2.2.1 Массовые члены нейтрино**

**2.2.2 "See-Saw" механизм**

**2.3 Формализм нейтринных осциллящдо •**

**2.3.1 Осцилляции нейтрино в вакууме**

**2.3.2 Осцилляции нейтрино в веществе**

**2.4 Электромагнитные свойства нейтрино**

**2.5 Экспериментальные данные в физике нейтрино**

**2.5.1 Прямое измерение массы нейтрино**

**2.5.2 Эксперименты по поиску нарушения лептонного числа**

**2.5.3 Эксперименты по поиску нейтринных Осцилляций**

**2.5.4 Реакторные эксперименты**

**2.5.5 Ускорительные эксперименты**

**LSND:**

**KARMEN:**

**CHORUS**

**NOMAD:**

**2.5.6 Проблема атмосферных нейтрино**

**2.5.7 Проблема солнечных нейтрино**

**2.5.8 Общая интерпретация экспериментальных данных**

**3 Тороидный момент нейтрино \_**

**3.1 История вопроса**

**3.2 Определение ТДМ нейтрино**

**3.3 Вычисление ТДМ нейтрино в рамках стандартной модели**

**3.4 Дипольные моменты нейтрино в рамках стандартной модели**

**4 ТДМ нейтрино и его физические приложения**

**4.1 Упругое рассеяние нейтрино на электронах**

**4.2 Переходное излучение нейтрино**

**4.3 ТДМ и осцилляции нейтрино**

**4.4 Дипольные моменты нейтрино в средах**

**5 Заключение**

**6 Приложения**

**6.1 К вопросу об анапольной и мультипольной параметризациях**

**6.1.1 Мультипольные явно ковариантные параметриза-**

**векторного тока частиц со спином ^**

**6.1.2 Мультипольные явно ковариантные параметризации**

**псевдовекторного тока частиц со спином |. О свойствах анаполя**

**6.1.3 Анаполь или Тороид**

**6.2 Правила Фейнмана для Майорановских частиц**

**6.2.1 Определение коэффициентов и в рамках**

**стандартной модели**

**6.3 Вычисление дисперсионных интегралов**

**6.4 Амплитуды и вклады в мнимые части тороидного форм-фактора нейтрино**

**6.5 К вопросу об электромагнитном токе Майорановского нейтрино**

**Список рисунков**

**1 Фейнмановские диаграммы, описывающие рассеяние нейтрино в веществе: слева ve^TN' или ve^Te рассеяния с обменом Z-бозоном, справа - vee рассеяние с обменом W-бозоном**

**2 Эффективные массы нейтрино как функции плотности Ne. В случае когда нет осцилляций, флейворные собственные состояния соответствуют штриховым линиям. В случае адиабатического МСВ-эффекта сплошные линии представляют поведение флейворных нейтрино (для деталей**

**см. текст)**

**3 Фейнмановские диаграммы, описывающие взаимодействие нейтрино с внешним электромагнитным полем, которое возможно только на петлевом уровне**

**4 Фейнмановские диаграммы, описывающие ßßiv и ßßov распады**

**Пределы на параметры тге -н- Щ осцилляций Am2 и sin2 (20) из реакторных экспериментов. Область справа от линий является запрещенной данными экспериментами. Заштрихованная область параметров соответствует разрешенным параметрам ие —> осцилляций поставленная экспериментом Kamiokande по изучению атмосферных нейтрино**

**6 Энергетическое распределение для LSND событий в диапазоне 20 < Ее < 60 MeV и событий с кореллированными фотонами от захвата нейтрона. Показано превышение данных над фоном (пунктирная линия) и ожидаемое распределение (сплошная линия) в предположении нейтринных осцилляций при больших Am2 [47]**

**7 Параметры Щ ££ осцилляций с 90% точностью достоверности: Е776 (пунктирная линия), KARMEN (штриховая линия), Bugey (штрих-пунктирная линия) и LSND (заштрихованная область [светлая для 90% уровня достоверности] и [темная для 99% уровня достоверности])**

**8 Топология ит N т~ + X взаимодействий в мишени детектора CHORUS**

**9 Топология ит + N —> т~ + X в поперечной плоскости к пучку нейтрино**

**10 Современные пределы на параметры осцилляций z/^ —У ит и соответствующие кривые будущих ускорительных экспериментов (SBL - "short-base line" эксперименты, LBL - "long-base line" эксперименты). Для сравнения приведены разрешенные области из данных по атмосферным нейтрино**

**11 Кандидат на распад очарованной частицы в детекторе NOMAD-STAR [55] по каналу ^ + N + D0 + тг+тг0 +**

**N, D® —»• К~ + 7г+, 7г° —>7 + 7**

**12 Угловое распределение для отношения R, измеренное КА-MIOKANDE детектором. Штриховая и пунктирная линии соответствуют гипотезе сушествования v^ —>■ ve и**

**Vu —> vT осцилляций**

**13 Поток солнечных нейтрино, предсказываемый Стандартной Солнечной Моделью (ССМ) на поверхности Земли, как функция энергии нейтрино. Показаны основные процессы: рр, 7 Be и 8В (см. текст) и менее важные вклады, идущие от реакцийр+е~+р —> 2Не+ие (pep), zHe+p —>• 4#е**

**+ е+ + ие (hep) и бета распады ядер в CNO цикле, 13iV150 и 17F. Монохроматические линии даны в единицах cm-2s-1, а спектры в единицах cmr2s~1MeV~l**

**14 Разрешенные области осцилляционных параметров (заштрихованные области) для объяснения дефицита солнечных нейтрино и соответствующие данные четырех экспериментов, см. обозначения на рисунке**

**15 Общее положение дел в осцилляционной физики нейтрино. Показаны четыре области параметров нейтринных осцилляций для объяснения проблемы солнечных и атмосферных нейтрино, а также области, предсказываемые различными теоретическими моделями (заштрихованные области). В направлении стрелок от соответствующих кривых показаны запрещенные области осцилляционных**

**параметров - Дш2 и sin2 2в**

**16 Простейшая модель ТДМ. Показана конфигурация тока, обладающего тороидным дипольным моментом. Линии на торе соответствуют току циркулирующему внутри тора**

**17 Фейнмановские диаграммы треугольного вида, отвечающие за ТДМ Майорановского нейтрино**

**18 Фейнмановские диаграммы поляризационного типа, ответственные за ТДМ Майорановского нейтрино**

**19 Фейнмановские треугольные диаграммы с ÍÍW промежуточным состоянием для тока частицы (слева) и античастицы (справа)**

**20 Поведение тороидных форм-факторов трех флейворных Майорановских нейтрино в области энергии 0 < \q2\/2rrí^ < 10~2**

**21 Фейнмановская диаграмма, дающая вклад в ширину процесса 7г —У evy при наличии у нейтрино магнитного и электрического дипольных моментов**

**22 Борновские вклады в сечение рассеяния v+e —у и+е. Третья диаграмма представляет собой вклад за счет радиационных поправок, вызванных ТДМ нейтрино и/или его магнитным моментом**

**7 7 Z**

**23 Поведение функций /1^2, и как функции энергии нейтрино, см. текст**

**24 Переходное излучение нейтрино на границе раздела двух сред (z = 0): v(pi) -)■ v(p2) + j(k)**

**25 Слева: энергетическое распределение переходного излучения ТДМ нейтрино в зависимости от энергии фотона. Справа: угловое распределение полной энергии переходного излучения как функция cos в**

**26 Полная энергия переходного излучения для перехода из среды , в вакуум, — 0, при энергии нейтрино равной**

**Ev = lMeV**

**27 Замкнутый контур в плоскости (р, а ■ rot В). Прямая линия показывает диапазон импульсов нейтрино, а точка соответствует условию геометрического резонанса для определенного импульса нейтрино**

**28 Мысленный эксперимент по проверке геометрического резонанса. Нейтрино, идущие от источника, проходят две магнитные системы, которые имеют равное значение поля и плотности. Тем самым в плоскости (rot В, р) мы имеем замкнутый контур, при прохождении которого возникает геометрический резонанс**

**Список таблиц**

**1 Модели нейтринных масс [14]. {mVe) - эффективные массы нейтрино**

**2 Мировые данные по определению т2е (вместе с указанными статистическими и систематическими ошибками). Предел на массу mVe соответствует 95 % уровню достоверности**

**3 Типичные параметры х,Е и Ат2 для различных источников нейтрино**

**4 Моды распадов г-, использованные для поиска осцил-ляций в детекторе NOMAD. BR - парциальные вероят-**

**ности различных мод распадов, е - чувствительность к данной моде распада тау после применения критериев отбора кандидатов. N\* - число ожидаемых событий при смешивании sin2 26 = 5 х 10~3 для больших Ат2 и Nbkg — число ожидаемых фоновых событий. Использованная**

**статистика 1.1 х 106 v^CC событий**

**5 Сравнение отношений (уц/ре) потоков атмосферных нейтрино для различных экспериментов**

**6- Сравнение экспериментальных данных по измерению потоков солнечных нейтрино с тремя моделями Солнца. Для детектора KAMIOKANDE и соответствующих теоретических предсказаний единицами являются 106 sm\_2s\_1. Остальные данные приведены в единицах SNU (Solar Neutrino Unit, 1 SNU равен одному захвату нейтрино за секунду на 1036 атомов ядра). Первая ошибка представляет собой статистическую ошибку, а вторая - систематическую**

**7 С-, Р-, Т-свойства различных электромагнитных взаимодействий**