

ОТЗЫВ

официального оппонента Горбунова Дмитрия Сергеевича
на диссертацию Добрыниной Александры Алексеевны «Свойства
массивного нейтрино в условиях замагниченной плазмы», представленной
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.02- теоретическая физика.

Проблема тёмной материи является одной из наиболее актуальных для современных физики частиц и гравитации. Космология --- наука об истории и законах развития Вселенной --- указывает на существование широкого ряда явлений, имеющих место на разных пространственных масштабах, и происходивших в разные эпохи расширения Вселенной, для объяснения которых в рамках Общей теории относительности не достаточно известных сегодня элементарных частиц. Требуется выход за рамки Стандартной модели физики частиц в виде добавления новой электрически нейтральной частицы тёмной материи, стабильной на космологических временных масштабах. Популяция таких частиц должна образоваться на раннем этапе развития Вселенной, поскольку уже в эпоху образования атомарного водорода именно эти частицы доминировали во Вселенной.

В литературе можно найти много обобщений Стандартной модели, предлагающих кандидатов на роль гипотетических частиц тёмной материи. Один из таких кандидатов --- стерильные нейтрино. Это фермионы, не участвующие в калибровочных взаимодействиях Стандартной модели, но за счёт смешивания с активными нейтрино обеспечивающие последних массами и таким образом объясняющие нейтринные осцилляции --- переходы нейтрино одних типов в другие. В диссертационной работе А.А. Добрыниной рассмотрено несколько конкретных вопросов, относящихся к физике стерильного нейтрино во внешней активной среде.

Во Введении содержится общая характеристика работы, подробно обсуждаются нейтринные эксперименты, результаты которых требуют признать, что нейтрино должны быть массивными. Вводится понятие стерильных нейтрино и обсуждаются особенности стерильных нейтрино как тёмной материи. Рассматриваются астрофизические явления, на протекание которых могли бы оказывать влияние стерильные нейтрино, а также астрофизические процессы, которые могут катализировать их рождение или распад. Это открывает новые возможности поиска гипотетических стерильных нейтрино. Также во Введении обсуждается

научная новизна, перечисляются результаты, выносимые на защиту, поясняется теоретическая и практическая значимость работы, приводятся структура и краткое содержание диссертации.

Текст Введения мне показался несколько недоработанным в литературном плане: имеются повторы (введение стерильных нейтрино), некоторые понятия начинают употребляться до их определения (типы иерархии масс нейтрино), ряд формулировок некорректен (близкие к реальным астрофизические условия в разделе 1.2, вычисление вероятности распада массивного нейтрино в разделе 1.6). В обзорной части имеются неверные утверждения, демонстрирующие поверхностное знакомство с фактической стороной соответствующего материала: аномалия LSND не связана со стерильным нейтрино 1 кэВ, тем более претендующим на роль тёмной материи, механизм качелей не альтернатива, а содержит в себе хиггсовский механизм как одну из составляющих, детектор KM3NeT ещё не построен. Кроме того, здесь и в нескольких местах основного текста физическая величина, являющаяся темпом распада или шириной состояния, и имеющая размерность обратного времени, по непонятным причинам называется вероятностью события, что есть безразмерная величина.

В первой главе диссертации рассмотрен радиационный распад стерильного нейтрино в плазме, в том числе при наличии сильного магнитного поля. Начинается с общего перечисления возможных эффектов плазмы и сильных электромагнитных полей на процессы с участием электронейтральных частиц, даётся обзор литературы для случая нейтрино. Потом приводится вычисление ширины радиационного распада стерильного нейтрино в электронной плазме, рассматриваются оба варианта процесса: испускание продольного и поперечного фотонов. К сожалению, даны формулы в пределе полного доминирования плазмы, не позволяющие проследить интерференцию между плазменным и вакуумным источниками процесса. Непонятен конкретный выбор значений параметров моделей, используемых для иллюстрации полученных результатов. Это относится как к параметрам стерильного нейтрино (формулы (1.4), (1.5)), так и к астрофизическим параметрам (рис. 1.3), от которых очень существенно зависит величина физического эффекта, заметного лишь при равенстве по порядку величины массы стерильного нейтрино и плазменной частоты (формулы (1.23), (1.24)). Насколько это реалистичная ситуация из текста не ясно, как не ясно и приложение этого процесса к физике тёмной материи. Далее рассматривается замагниченная плазма, наряду с численным расчётом анализируются некоторые предельные значения параметров, позволяющие получить аналитические приближения и сравнить результаты с известными в литературе. В заключении отчасти идёт повтор начала главы, а потом перечисляются полученные результаты. Вызывает удивление утверждение о реальных астрофизических объектах как интересных источниках стерильных

нейтрино, дающих фотонную линию (стр. 50). Хотя данная идея и из общих соображений представляется весьма сомнительной, полученные автором результаты казалось бы однозначно доказывают её несостоятельность.

Во второй главе вычисляются собственно-энергетический оператор и вершинная функция нейтрино, причём рассмотрены случаи виртуального и реального нейтрино. В начале идёт повтор уже представленной во Введении информации, дополненной подробным обсуждением существующих ограничений на величину дипольного момента активного нейтрино. Потом представлены вычисления. В данном разделе масса нейтрино рассматривается как свободный параметр, и из формул не прослеживается связь с моделью стерильного нейтрино. В частности нет зависимости от угла смешивания. Кроме того, утверждается что полученные выражения для порогового усиления ширины распада имеют смысл только пока пороговые поправки малы, но численных оценок не приводится, что не позволяет понять, в каких собственно случаях можно использовать полученные результаты.

Третья глава открывается повторением Введения, в том числе отчасти уже использованным в самой начале второй главы. Здесь вычисляется собственно-энергетический оператор массивного нейтрино в магнитном поле, выделяется выражение для индуцированного магнитного момента нейтрино, и выводятся формулы, описывающие распад нейтрино на заряженные лептон и слабый векторный бозон. В содержательной части текста также много повторов: лагранжианы слабого взаимодействия приведены в первой главе, а диаграммы Фейнмана для собственно-энергетического оператора — во второй. То же относится к обозначениям физических параметров (массы, критические значения поля), проекторов на спиральные состояния. В разделе 3.3 указано, что полученная в результате вычислений этой главы формула (3.36) для магнитного момента неверна, и из общих соображений пояснено, почему это так. В связи с этим непонятно вообще зачем нужно приводить неверную формулу, или уж тогда объяснить, на каком этапе вывода была допущена ошибка, или сделано неверное предположение. Без этого остальные результаты главы также могут вызывать вопросы. Кроме того, требует дополнительных пояснений сделанное в конце главы (стр.94) утверждение, что анализ полученных выражений произведён в наиболее интересных для физических приложений случаях. Представленные формулы не содержат смешивания, и их применение к модели стерильного нейтрино не обсуждается, а равно и других физических приложений.

Подводя итог перечислению недостатков диссертации, отмечу многочисленные повторы как главный недостаток текста диссертации. Что касается непосредственно физических результатов, хотя их оригинальность и обоснованность не вызывает сомнений, по большей части они представляют академический интерес, по крайней мере в рамках

обобщений Стандартной модели физики частиц, обсуждаемых в диссертации.

Все вышеизложенные недостатки и вопросы не снижают ценности диссертации как фундаментального научного исследования. Все полученные результаты являются новыми. Они хорошо обоснованы и изложены в пяти публикациях в российских и зарубежных рецензируемых журналах. Результаты докладывались на российских и международных конференциях, а также на научных семинарах в ряде институтов.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертационная работа полностью отвечает всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. No842, а сам автор, Добрынина Александра Алексеевна, заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Ведущий научный сотрудник ФГБУН

Институт ядерных исследований

Российской академии наук,

доктор физ.-мат. наук

Горбунов

Дмитрий Сергеевич

Адрес служебный: пропект 60-летия Октября, 7а, Москва, 117312

Тел.: +7(499)783-9291

e-mail: gorby@ms2.inr.ac.ru

Дата: 29/08/2016

Подпись Д.С. Горбунова удостоверяю.

Заместитель директора ФГБУН

Институт ядерных исследований

Российской академии наук,

кандидат физ.-мат. наук

Рубцов

Григорий Игоревич