

**Отзыв научного руководителя на диссертационную работу
Баринаова Владислава Валерьевича «Стерильные нейтрино как кандидаты на роль
частиц тёмной материи»
на соискание ученой степени кандидата физико – математических наук по
специальности 1.3.3 «теоретическая физика».**

Проблема тёмной материи обсуждается в литературе почти сотню лет. Накопление астрономических данных постепенно вывело эту проблему в ряд важнейших проблем современной космологии и физики частиц, над решением которой работают учёные в ведущих мировых научных центрах. За это время было предложено много различных решений, в основном связанных с введением в физику частиц новых стабильных электрически нейтральных частиц. Если такие частицы рождаются в ранней Вселенной в нужном количестве, то вполне могут объяснить явление тёмной материи. В представленной диссертации рассматриваются стерильные нейтрино в качестве таких кандидатов, и в зависимости от модельных параметров они могут объяснить всю или часть тёмной материи. Более того, часть областей модельных параметров закрыта из космологии, поскольку вклад рождённых в ранней Вселенной стерильных нейтрино в современную плотность энергии слишком велик и существенно изменил бы Вселенную.

Хотя это и не обязательно, но особый интерес представляют кандидаты, которые помимо проблемы тёмной материи вовлечены в решение каких-то других проблем астрофизики или физики частиц. Рассматриваемые в диссертации стерильные нейтрино, вообще говоря, оригинально были предложены как решение проблемы нейтринных осцилляций. Стерильные нейтрино – синглеты по калибровочной группе Стандартной модели физики частиц, могут быть массивны и участвовать в юкавских взаимодействиях с лептонами и хиггсовским дублетом Стандартной модели. Это взаимодействие и приводит к смешивающим обычные (активные) и стерильные нейтрино массовым слагаемым, и, как результат, необходимым для объяснения нейтринных осцилляций массам в секторе активных нейтрино. Измерения осцилляционных параметров не полностью фиксируют величины юкавских констант и массы стерильных нейтрино. Они могут принимать значения в очень широком диапазоне и при этом объяснять наблюдаемые осцилляции. В работе рассмотрены модели стерильных нейтрино с массами порядка одного эВ и с массами порядка 10 кэВ. В последнем случае стерильные нейтрино претендуют на полное объяснение загадки тёмной материи. В первом случае это не так, и в простейших космологических моделях существование таких нейтрино запрещено. В то же время они представляют интерес для объяснения ряда аномальных результатов осцилляционных экспериментов, которые можно интерпретировать как указание на существование дополнительных нейтринных компонент с такими массами.

В диссертации три главы. Первая посвящена способным объяснить аномальные осцилляции моделям, а две другие – моделям, где стерильные нейтрино способны полностью объяснить тёмную материю. Первая глава основана на трёх опубликованных диссертантом работах, вторая на одной и третья на одной, причём в последнем случае работа выполнена одним автором. Большинство работ в значительной мере затрагивает анализ экспериментальных данных или посвящено получению предсказаний для будущих экспериментов. В этих работах соавторами являются учёные, непосредственно вовлечённые в соответствующие эксперименты, что повышает степень надёжности представленных в работе результатов и гарантирует их дальнейшее непосредственное использование.

В первой главе диссертации рассматривается аномалия в галлиевых экспериментах по изучению нейтринных осцилляций. В работах диссертанта уточнены сечения рассеяния нейтрино на галлии для трёх случаев искусственных нейтринных источников на основе

хрома, аргона и цинка. Они использовались для уточнения аномальных результатов экспериментов SAGE и GALLEX и для оценки перспектив проверки этой аномалии в новом эксперименте BEST. Этот эксперимент был проведён с хромовым источником, и уточнённые сечения были использованы в анализе данных, подтвердившем аномалию. В отдельной работе диссертант исследовал статистическую значимость новой аномалии, совместной аномалии всех галлиевых экспериментов и её статус при учёте результатов других осцилляционных экспериментов, чувствительных к возможному вкладу стерильных нейтрино с массами около эВ. Показано, что аномалия BEST превышает 5 стандартных отклонений, и ещё усиливается при учёте аномального результата эксперимента Neutrino-4. В настоящее время проводится усовершенствование нескольких экспериментальных установок с целью независимой проверки возможного объяснения этих аномалий существованием такого стерильного нейтрино.

Во второй главе диссертации рассматривается модель стерильных нейтрино с массами в области 10 кэВ, подходящими на роль частиц тёмной материи. Замечательно, что смешивание стерильных и активных нейтрино приводит к распадам первых, в частности к радиационным распадам в активное нейтрино и фотон. Распады очень редки, но дают почти монохроматический вклад в спектр галактических фотонов, который можно искать на космических рентгеновских телескопах. Диссертант изучил перспективы поиска такого рода сигнала на новых рентгеновских телескопах eROSITA и ART-XC на борту обсерватории Спектр-РГ, и нашёл области пространства модельных параметров, которые можно будет проверить в результате обработки данных этих телескопов. Отмечу, что такой анализ реальных данных телескопа ART-XC был действительно проведён, но не вошёл в диссертацию.

В третьей главе для той же модели тёмной материи и тех же рентгеновских телескопов рассматривается другая наблюдаемая, основанная на анализе фотонов от неотожествлённых астрофизических источников. Такими вполне могут быть гало отдалённых галактик, и проводится корреляционный анализ со структурами из астрономических каталогов. Такие наблюдаемые чувствительны к распадам стерильных нейтрино в более ранней Вселенной.

На мой взгляд кандидатская диссертация Баринова В.В. «Стерильные нейтрино как кандидаты на роль частиц тёмной материи» является замечательным примером теоретической работы в области физики элементарных частиц с прямым приложением к эксперименту и космологии. Полученные в ней результаты чётко обоснованы и широко используются в научном сообществе. Диссертант сформировался как ответственный и независимый молодой учёный. Работа соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям. Считаю, что ее автор несомненно заслуживает ученой степени к.ф.-м.н. по специальности 1.3.3 «теоретическая физика».

Научный руководитель,

Д.ф.-м.н., г.н.с. ОТФ ИЯИ РАН
чл.-корр. РАН

Горбунов Д.С.

Подпись Горбунова Д.С. удостоверяю,

Директор ИЯИ РАН

Либанов М.В.

05.06.2023 г.