

Отзыв официального оппонента Иванчика А.В.  
на диссертационную работу  
**Барина Владислава Валерьевича**  
**«Стерильные нейтрино как кандидаты на роль  
частиц темной материи»,**  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.3 – теоретическая физика

Темная материя – феномен, проявляющий себя гравитационным образом на разных масштабах Вселенной – все больше и больше становится неотъемлемой частью Стандартной космологической модели, при этом физическая природа этого явления до сих пор остается невыясненной. Предложены многочисленные теоретические модели, объясняющие природу темной материи, однако до сих пор не одна из них не нашла сколь-нибудь значимого подтверждения. Наиболее популярные модели темной материи трактуют ее как новые частицы, находящиеся вне рамок Стандартной модели физики элементарных частиц. Одними из возможных кандидатов являются гипотетические стерильные нейтрино, привлекательность рассмотрения которых обусловлена тем, что они могут решить сразу несколько фундаментальных проблем: (i) их введение дает возможность сгенерировать массы активных нейтрино, (ii) они могут быть частицами темной материи, (iii) они могут участвовать в процессах, приводящих к возникновению лептонной и барионной асимметрии Вселенной.

Представленная диссертация посвящена исследованию возможности существования легких стерильных нейтрино (электронвольтных масс) и поиску возможного проявления тяжелых стерильных нейтрино (килоэлектронвольтных масс), тем самым она находится на стыке решения проблем физики элементарных частиц и космологии, чем и обусловлена ее **актуальность**.

Представленная диссертация состоит из введения трех глав и заключения. **Во введении**, описаны цели работы и ее актуальность, основные положения, выносимые на защиту, список публикаций по теме диссертации. **Первая глава** посвящена анализу сечения поглощения нейтрино на галлии. Вычислены уточненные сечения поглощения нейтрино от источников  $^{51}\text{Cr}$  и  $^{37}\text{Ar}$ , а также впервые вычислено сечение поглощения

нейтрино для источника  $^{65}\text{Zn}$ , который потенциально может быть использован в будущих сериях измерений эксперимента BEST. На основании выполненных вычислений проводится пересмотр галлиевой аномалии. **Во второй главе** выполняется оценка чувствительности орбитальных телескопов миссии СРГ и оценка ожидаемых ограничений на параметры распадающихся стерильных нейтрино, при рассмотрении Млечного пути в направлении на галактический центр как возможного источника монохроматических фотонов рентгеновского диапазона. **Третья глава** посвящена оценке чувствительности телескопов миссии СРГ и получению ограничений на параметры распадающихся стерильных нейтрино в рамках кросс–корреляционного анализа структур и пространственного распределения галактик по данным каталога 2MRS. В **заключении** диссертации перечислены основные результаты работы.

В результате выполнения диссертационной работы были получены **новые и важные** научные результаты.

- (i) Вычислены сечения захвата нейтрино на галлии для искусственных источников  $^{51}\text{Cr}$  и  $^{37}\text{Ar}$ , что позволило уточнить сечение захвата нейтрино на галлии с результирующей ошибкой, не превышающей 2%, а также уточнить вклад возбужденных уровней в полное сечение захвата. На основе этих данных была пересмотрена галлиевая аномалия.
- (ii) Была выполнена оценка чувствительности телескопов миссии СРГ к монохроматическому сигналу от распадающихся стерильных нейтрино в области масс 6 – 30 кэВ, что позволило получить ограничения на параметры стерильных нейтрино в данном диапазоне масс в рамках стратегии наблюдений Млечного пути в направлении на центр галактики.
- (iii) Был проведен корреляционный анализ космических структур (гало темной материи) и пространственного распределения галактик по данным каталога 2MRS с учетом обновленных данных о рентгеновском фоне для телескопов миссии СРГ. Получены ограничения на параметры стерильных нейтрино для телескопа eROSITA. Такой же анализ впервые был выполнен для телескопа ART – XС. Показано, что ожидаемые ограничения из анализа структур оказываются слабее, чем ожидаемые ограничения из локальных астрофизических наблюдений.

Полученные результаты сохраняют научную интригу относительно возможного существования легкого стерильного нейтрино и несомненно будут способствовать развитию исследований в этом направлении.

Научные положения, выносимые на защиту, представляются **вполне обоснованными** и в части расчета сечений захвата нейтрино галием и получения ограничений на параметры стерильных нейтрино по рентгеновскому фону **являются новыми**.

Автореферат полностью отражает содержание и структуру диссертации.

По существу, диссертации замечаний, которые ставили бы под сомнение полученные результаты и их важность, не имеется. Однако есть ряд замечаний по представлению результатов и их описания в диссертации, а также несколько стилистических замечаний.

1. При описании Баксанского эксперимента по поиску стерильных нейтрино говорится о защищающем от космических лучей водном эквиваленте, о бетонной и стальной оболочке, защищающих от гамма и нейтронного фона горных пород, однако ни слова не говорится о тех космических частицах, которые с легкостью преодолевают все эти защиты, это как не странно нейтрино и прежде всего солнечные. Возможно влиянием космических нейтрино можно пренебречь, но как минимум упомянуть и пояснить это обстоятельство имело бы смысл.
2. На рисунке 2 представлены значения наилучшего соответствия параметров стерильного нейтрино. Формально это информация безупречна, но из левого рисунка видно, что имеются два локальных минимума, возможно они есть и на правом рисунке. В такой ситуации желательно приводить не только сами величины, но и их значимость, что бы было понятно, как сильно эти локальные минимумы отличаются друг от друга.

3. В разделе 1.4 обсуждается потенциал использования источника  $^{65}\text{Zn}$ , показано что это может привести к существенному сужению области оцениваемых параметров стерильного нейтрино, однако отсутствует обсуждение причин этого, какие физические особенности  $^{65}\text{Zn}$  способствуют этому и почему?
4. В главе 2 и 3 при представлении разрешенных областей параметров стерильного нейтрино (рисунки 15, 16, 17, 20) желательно разделять прямые наблюдательные ограничения и теоретические, модельно-зависимые ограничения, поскольку последние могут сильно варьироваться при изменении параметров модели (что нередко случается). В диссертации они выделены единым цветом, как абсолютно равноправные, что далеко не так.

Стилистические замечания:

1. Присутствует некоторая непоследовательность и сумбурность изложения материала, что затрудняет чтение и его восприятие. Так, например, первым в тексте возникает ссылка на рисунок 3 (стр. 16) и только затем на рисунок 1 (стр. 18), сам же рисунок 3 расположен на тридцатой странице.
2. Текст изобилует огромным количеством ссылок, при этом зачастую фраза, предваряющая ссылку слишком краткая и не поясняет что, как и зачем, и что бы ее понять, действительно нужно обращаться к цитируемой работе, что очень сильно затрудняет восприятие материала.
3. Цитирование работ диссертанта ничем не выделено в сравнении с другими работами и что бы понять чей результат представлен необходимо постоянно обращаться к списку литературы, представленному на 23 страницах и имеющему 169 наименований.

Как было отмечено выше указанные замечания не носят принципиального характера в отношении результатов, полученных в диссертации, а скорее могли бы быть учтены при описании будущих научных результатов, которые получит диссертант.

Считаю, что диссертационная работа **Баринова Владислава Валерьевича** «Стерильные нейтрино как кандидаты на роль частиц темной материи», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — теоретическая физика, полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года No 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:

ведущий научный сотрудник

Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе,

доктор физико-математических наук,

член-корреспондент РАН

Иванчик А.В.

E-mail: [iav@astro.ioffe.ru](mailto:iav@astro.ioffe.ru)

25 сентября 2023 г.

194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе

Российской академии наук

Телефон: (812) 297-2245

E-mail: [post@mail.ioffe.ru](mailto:post@mail.ioffe.ru)

Подпись Иванчика А.В. удостоверяю  
зам.зав.отделом кадров ФТИ им. А.Ф. Иоффе  
\_\_\_\_\_ / Н.С. Буценко

Список основных публикаций по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Черников Ф.А., **Иванчик А.В.**

«Влияние эффективного числа активных и стерильных нейтрино на определение значений космологических параметров»

Письма в астрономический журнал, 2022, т. 48, № 12, стр. 815-827.

2. Куричин О.А., Кислицын П.А., **Иванчик А.В.**

“Определение металличности зон HII применительно к проблеме оценки Распространенности первичного He4”

Письма в астрономический журнал, 2021, т. 47, № 10, стр. 697-708.

3. Kurichin O.A., Kislitsyn P.A., Klimenko V.V., Balashev S.A., **Ivanchik A.V.**

“A new determination of the primordial helium abundance using the analyses of H II region spectra from SDSS”

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2021, v. 502, p.3045-3056.

4. Yurchenko V.Yu., **Ivanchik A.V.**

“Spectral features of non-equilibrium antineutrinos of primordial nucleosynthesis”

Astroparticle Physics, 2021, v. 127, id. 102537.

5. Клименко В.В., **Иванчик А.В.**, Петижан П., Нотердам П., Шриананд Р.

«Оценка температуры реликтового излучения по линиям атомов СI и молекул СО в межзвездной среде ранних галактик»

Письма в астрономический журнал, 2020, т. 46, № 11, стр. 763-773.

6. Клименко В.В., **Иванчик А.В.**

“Влияние радиативной накачки на населенность вращательных уровней молекул HD в диффузных молекулярных облаках межзвездной среды”

Письма в астрономический журнал, 2020, т. 46, № 4, стр. 252-262.

7. Klimenko V.V., Petitjean P., Ivanchik A.V.

“Observational estimate of the partial covering probability of quasar emission regions by distant H2 absorption clouds”

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2020, v. 493, p.5743-2760.

8. Balashev S.A., Klimenko V.V., Noterdaeme P., Krogager J.-K.,

Varshalovich D.A., **Ivanchik A.V.**, Petitjean P., Srianand R., Ledoux C.

“X-shooter observations of strong H2-bearing DLAs at high redshift”

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2019, v. 490, p.2668-2678.

9. **Ivanchik A.V.** and Yurchenko V.Yu.

“Relic neutrinos: Antineutrinos of primordial nucleosynthesis”

Physical Review D, 2018, v. 98, 081301(R), 2018

10. Попов А.Н., Барсуков Д.П., **Иванчик А.В.**

“Поглощение фотонов от далеких источников гамма-излучения”

Письма в астрономический журнал, 2018, т. 44, № 10, стр. 633-642.