

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора ФГБУН Институт космических исследований РАН

д.ф.-м.н. М. Н. Павлинский
25.04.2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

А. С. Чудайкина

«**Модели многокомпонентной темной материи в космологии и астрофизике**»
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.02 — теоретическая физика

В диссертационной работе проведено подробное исследование различных моделей многокомпонентной темной материи. В частности, по данным обзора обсерватории им. Планка и других экспериментов получены ограничения на параметры модели с распадающейся темной материей, разработаны новые механизмы производства стерильных нейтрино в ранней Вселенной, отвечающие всем современным космологическим и астрофизическим ограничениям.

Диссертация состоит из Введения и трех глав с изложением результатов, заключения и списка литературы.

В главе 1 сформулирована модель с распадающейся темной материей (DCDM), проведено сравнение этой модели с результатами обзора обсерватории им. Планка, и далее с данными по измерениям барионных акустических осцилляций и искажений пространства красных смещений. Показано, что модель с распадающейся темной материей несколько лучше описывает совокупный набор космологических данных.

Глава 2 посвящена исследованию моделей со стерильным нейтрино, в которых рождение данных частиц в ранней Вселенной оказывается подавленным. В этом случае открывается область относительно больших углов смешивания, $\theta^2 \sim 10^{-3}$, доступная для прямого исследования на перспективных экспериментальных установках «Троицк ню-масс» и КАТРИН. Такие стерильные нейтрино могут быть ответственны за формирование малой массы активных нейтрино, а также составлять небольшую часть темной материи.

В главе 3 рассматриваются различные механизмы производства стерильных нейтрино в присутствии когерентно осциллирующего скалярного поля, взаимодействующего со стерильным нейтрино. Оказывается, что осцилляции нейтрино в такой модели могут быть достаточно эффективными. Показано, что данный механизм усиления может быть ответственен за производство темной материи из стерильных нейтрино даже с очень малым углом смешивания $\theta^2 \sim 10^{-14}$. При этом скорости таких нейтрино оказываются малы, что дает возможность согласовать эту модель с данными по наблюдениям

Лайман- α в спектрах квазаров. Помимо производства в осцилляциях было исследовано рождение стерильных нейтрино внешним нестационарным полем. В этом случае удастся полностью избежать ограничений из структур и составить темную материю из стерильных нейтрино с массой ~ 1 кэВ. Возможный сигнал от таких стерильных нейтрино можно будет исследовать по данным будущих рентгеновских телескопов.

В Заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Замечания и вопросы:

1. Во введении говорится о том, что космические обсерватории следующего поколения *ATHENA* и *LYNX* помогут уточнить темп радиационных распадом стерильных нейтрино с очень малыми углами смешивания. Странно, что среди этих обсерваторий не упоминается российская обсерватория Спектр-Рентген-Гамма (СРГ), которая будет запущена в июне этого года. Телескопы *eROSITA* и *ART-XC*, установленные на борту этой обсерватории, благодаря своей высокой чувствительности и большому полю зрения смогут существенно улучшить имеющиеся ограничения на темп радиационных распадом стерильных нейтрино.
2. Во введении к главе 1 обсуждаются различные рассогласования между различными космологическими измерениями. При этом, из текста создается впечатление, что все измерения H_0 и σ_8 по данным обзора Планка относятся к эпохе рекомбинации. Однако, ясно, что данные обзора Планка, в том числе, содержат измерения, которые относятся и к близкой к нам эпохе. Так например, измерение σ_8 по анизотропии температуры реликтового излучения основано на измерении линзирования этой анизотропии на крупномасштабной структуре, причем известно, что большая часть этого сигнала набирается на красных смещениях $z \sim 1-3$. То же самое, конечно, касается измерения линзирующего потенциала по четырехточечным корреляционным функциям (lens).
3. Измерение σ_8 по данным обзора Планка, которое можно отнести к эпохе рекомбинации, получается только из амплитуды анизотропии температуры с учетом ограничения на толщину реионизации по данным о поляризации на больших угловых масштабах. Можно было бы попробовать выделить это измерение из данных обзора Планка и сравнить его с разными измерениями в более близкие к нам эпохи.

Для этого надо было бы оставить данные о нормировке спектра и о поляризации, исключив данные о линзировании в спектре анизотропии температуры. В диссертации это было сделано путем освобождения параметра амплитуды линзирования A_L , только для всех рассматриваемых данных вместе.

4. В смысле измерения σ_8 , освобождение амплитуды линзирования A_L примерно соответствует отказу от данных Планка по спектру анизотропии температуры реликтового излучения на высоких мультиполях, выше примерно $\ell \approx 1000$. Известно, что данные обзора Планка по анизотропии температуры на мультиполях

примерно ниже и выше этого значения противоречат друг другу на уровне $2-3\sigma$. Этот вопрос можно было бы также обсудить в тексте диссертации и дать соответствующие ссылки на литературу.

Текст диссертации подготовлен очень хорошо. В целом, диссертация производит очень хорошее впечатление. В ней решен целый набор интересных задач, некоторые результаты могут быть проверены наблюдениями в недалеком будущем, что говорит о значительной практической ценности диссертации. Приведенные выше замечания, ни в коей мере не снижают ценность работы в целом.

Представленные в диссертации основные результаты являются новыми. Они опубликованы в 3 статьях в высокорейтинговых журналах и одном препринте. Результаты апробированы в докладах автора на различных конференциях и семинарах.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Выносимые на защиту положения содержат новые важные результаты в области космологии и физики ранней Вселенной. Полученные в диссертации результаты представляют несомненный интерес для широкого круга специалистов и могут быть использованы различных научных учреждениях и организациях.

Диссертация обсуждалась на семинаре Отдела астрофизики высоких энергий ИКИ РАН.

Диссертация полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант Чудайкин Антон Сергеевич несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Отзыв составил:

старший научный сотрудник
отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН,
кандидат физико-математических наук

Р. А. Буренин

телефон: 495-333-53-00

электронный адрес: rodion@hea.iki.rssi.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная 84/32, телефон +7(495) 333-52-12, факс +7(495) 333-12-48, iki@cosmos.ru

Отзыв утвержден на семинаре Отдела астрофизики высоких энергий ИКИ РАН,
30 марта 2019 г.

Руководитель семинара

д.ф.-м.н. С. Ю. Сазонов

Институт космических исследований Российской академии наук

Основные публикации сотрудников института по теме диссертации за последние 5 лет:

1. Буренин Р. А., Измерения амплитуды возмущений плотности материи по космологическим данным, // Письма в Астрономический журнал, 44, 715 (2018), arXiv:1806.03261
2. Р. А. Буренин, И. Ф. Бикмаев, И. М. Хамитов, И. А. Зазнобин, Г. А. Хорунжев, М. В. Еселевич, В. Л. Афанасьев, С. Н. Додонов, Х.-А. Рубино-Мартин, Н. Агханим, Р. А. Сюняев, Оптическое отождествление далеких скоплений галактик среди источников сигнала Сюняева–Зельдовича из обзора обсерватории им. Планка, Письма в Астрономический журнал, 44, 317 (2018), arXiv:1801.04464
3. Буренин Р. А., Расширение каталога скоплений галактик обзора обсерватории им. Планка, // Письма в Астрономический журнал, 43, 559 (2017), arXiv:1703.05597
4. Planck Collaboration, Planck 2015 results. XXVII. The Second Planck Catalogue of Sunyaev-Zeldovich Sources // Astronomy & Astrophysics, 594, A27 (2016)
5. Planck Collaboration, Planck intermediate results. XXVI. Optical identification and redshifts of Planck clusters with the RTT150 telescope // Astronomy & Astrophysics, 582, A29 (2015), arXiv:1407.6663
6. Planck Collaboration, Planck 2013 results. XX. Cosmology from Sunyaev-Zeldovich cluster counts // Astronomy & Astrophysics, 571, A20 (2014) arXiv:1303.5080
7. Planck Collaboration, Planck 2013 results. XXIX. The Planck catalogue of Sunyaev-Zeldovich sources // Astronomy & Astrophysics, 571, A29 (2014), arXiv:1303.5089