

Отзыв научного руководителя
на диссертацию Хмельницкого Андрея Александровича
«Модели тёплой тёмной материи в физике частиц и космологии»,
представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.02, теоретическая физика.

Представленная диссертация посвящена одной из актуальнейших проблем современной космологии: изучению свойств тёмной материи. Её существование необходимо для объяснения целого набора различных явлений, происходящих в современной Вселенной на масштабах галактик, галактических скоплений и на космологических масштабах. Помимо этого, космологические данные указывают нам на присутствие тёмной материи и в ранней Вселенной, начиная по крайней мере с эпохи, когда температура первичной плазмы составляла десятков кэВ. В рамках стандартных гравитации и физики частиц явлению тёмной материи нет объяснения. Вероятнее всего (но вообще говоря не гарантировано) за ним стоят стабильные электронейтральные массивные частицы, формирующие основную массу галактик и галактических структур во Вселенной. Поскольку частиц с такими свойствами нет в Стандартной модели физики частиц, это является одним из важнейших феноменологических указаний на её неполноту.

Все имеющиеся указания на новую физику, однако, фактически сводятся к утверждению, что на тех или иных пространственных масштабах, в те или иные эпохи развития Вселенной недостаточно гравитационных сил, создаваемых обычной материей. Физика частиц тёмной материи абсолютно неизвестна, и в литературе предложено много различных моделей. Исходя из цели объяснить явление тёмной материи представляется первоочередной задачей как можно подробнее разобраться в деталях недостающих гравитационных потенциалов, что может позволить выделить среди предложенных моделей более или менее реалистичные.

Представленная диссертация фокусируется на особенностях недостающих гравитационных потенциалов на малых пространственных масштабах. Сравнение наблюдательных данных и результатов численных симуляций эволюции структур для простейшего варианта частиц тёмной материи --- невзаимодействующих и практически остановившихся из-за расширения Вселенной «пылинок» --- указывает на несоответствие для карликовых галактик. Последних в наблюдаемой области вблизи Галактики наблюдается слишком мало, и гравитационные потенциалы в центрах галактик слишком пологие. Это наблюдение обуславливает интерес к другому типу частиц тёмной материи, получившему в литературе название «тёплая тёмная материя». Оно объединяет в себе модели, в которых из-за особенностей динамики частиц мелкомасштабные структуры оказываются в той или иной степени сглаженными по сравнению со случаем пыли.

В диссертации рассматривается три примера обобщения физики частиц, где появляющиеся кандидаты на роль частиц тёмной материи обладают нужным

свойством для некоторой области пространства параметров. Два первых кандидата --- стерильные нейтрино и гравитино --- помимо обсуждаемой имеют и свои физические мотивации. Модели со стерильными нейтрино объясняют осцилляции активных нейтрино. Гравитино естественным образом оказывается стабильной частицей в широком классе суперсимметричных обобщений Стандартной модели, решающих проблему стабильности электрослабого масштаба относительно квантовых поправок. В диссертации исследуется поведение наблюдаемых, имеющих отношение к фазовой плотности частиц тёмной материи в галактике. Из сравнения полуаналитических предсказаний, полученных для различных механизмов рождения этих частиц в ранней Вселенной, с наблюдениями структур карликовых галактик, уточняются приемлемые области пространства параметров моделей и подходящие начальные условия для горячей стадии эволюции ранней Вселенной. Замечательно, что и для обоих случаев уточнения относятся к областям, доступным экспериментальной проверке на действующих или проектируемых установках (рентгеновские телескопы для нейтрино, Большой адронный коллайдер для гравитино). Третий пример --- быстро осциллирующее, сверхлёгкое однородное скалярное поле --- не имеет глубокой физической мотивации, однако его появление не исключено в высокоэнергетических обобщениях физики частиц, таких как струнные теории. В ходе работы над диссертацией был найден интересный эффект влияния осциллирующей динамики такого поля на полный Галактический гравитационный потенциал. Предсказываемое искажение гравитационного потенциала влияет на сигнал от миллисекундных пульсаров. Для некоторой области масс поля это влияние может быть заметным следующему поколению экспериментов по изучению свойств этих астрофизических объектов.

Сильной стороной диссертации, безусловно, является получение конкретных предсказаний, доступных для проверки на работающих или проектируемых установках. Это делает проделанную теоретическую работу актуальной, а конкретные результаты востребованными в научном сообществе.

Старший научный сотрудник ИЯИ РАН,
доктор физико-математических наук

Д. С. Горбунов

19.12.2013