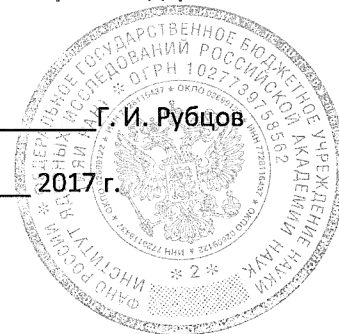


«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель директора ИЯИ по научной работе д.ф.-м.н.

Г. И. Рубцов

11 апреля



ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН) - на диссертацию Баушева Антона Николаевича «Тёмная материя: проблемы и решения», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 (теоретическая физика).

Хотя первые подозрения о существовании скрытой массы возникли еще в 30-ые годы XX века, а обнаружение знаменитых "плоских хвостов" кривых вращения галактик предоставило практически несомненные доказательства ее существования, физическая природа скрытой массы остается совершенно неясной до сего дня. Диссертационная работа А. Н. Баушева посвящена различным аспектам физики темной материи и особенное внимание уделяет рассмотрению способов экспериментального исследования физической природы этого важнейшего космологического феномена. Работа состоит из введения, четырех глав основного содержания, заключения и списка литературы, насчитывающего 247 единиц. Общий объем диссертации 239 страниц, она включает 55 иллюстраций и таблиц.

Тема, выбранная автором, весьма актуальна: к настоящему моменту, существование скрытой массы является, по сути, единственным прямым экспериментальным аргументом в пользу существования физики, выходящей за пределы Стандартной Модели: поиск на БАК и других установках пока положительных результатов не дал. Ничего не дали и попытки прямого или аннигиляционного детектирования темной материи. Поэтому любая информация о ее физической природе, в частности, о ее негравитационном взаимодействии, дала бы очень много физике в целом.

Безусловно, самые важные и ценные результаты диссертации изложены в ее первой главе. Здесь

существенно развита теория образования структур во Вселенной. Предположения об ограниченной энергетической релаксации гало темной материи в ходе его формирования позволило соискателю объяснить четыре особенности галактических гало скрытой массы, которые были давно известны, но не находили убедительного объяснения в рамках стандартной теории образования структур: наличие плоского профиля плотности, а не пика, в центре гало, поведение профиля плотности в области плато как профиля Эйнаста с малым индексом ($n=0.5$), обширная область с плотностью, спадающей пропорционально квадрату расстояния от центра, постоянство произведения центральной плотности гало на радиус плато. Кроме того, с помощью анализа сходимости компьютерных симуляций, применяемых для моделирования формирования структур во Вселенной, соискатель сумел указать на уязвимость общепринятых критериев сходимости и предложить решение широко известного противоречия между предсказываемыми симуляциями пиками и наблюдаемыми плато профилей плотности темной материи в центрах галактических гало.

До этого в литературе доминировала точка зрения, что противоречие указывает на физические свойства темной материи, т.е. что она либо не была холодной, либо вступает в какие-то негравитационные взаимодействия сама с собой или с барионным веществом. Будь это так - мы бы получили ценнейшую информацию о природе темной материи. Большое внимание, уделяемое этому вопросу в международной научной литературе, неудивительно. К сожалению, соискателю удалось показать, что острые пики плотности в центре гало, возникающие при моделировании и рассматриваемые в настоящее время как сильный аргумент против модели холодной темной материи, наиболее вероятно, являются не более чем вычислительным артефактом.

В качестве критического замечания к первой главе можно отметить, что автор правильно выявил недостаточность применяемых в настоящее время критериев сходимости компьютерных симуляций и возникающие в симуляциях существенные численные эффекты, влияние которых в настоящее время совершенно не учитывается при интерпретации их результатов. В работе предложены более надежные критерии оценки сходимости симуляций, но не дается никаких указаний по улучшению самих симуляций. Можно ли вообще моделировать крупномасштабную структуру Вселенной методом многих тел? Если да, то как выбрать наилучшим образом параметры алгоритма вычисления гравитационного потенциала и других алгоритмов, применяемых при моделировании? Безусловно, ответ на эти вопросы важен для теории формирования крупномасштабной структуры Вселенной.

Большой практический интерес представляют результаты предпринятых А. Н. Баушевым исследований распределения частиц темной материи по скоростям в окрестностях Земли (вторая глава диссертации). В настоящее время в мире одновременно работают порядка десяти экспериментов по прямому поиску темной материи, и их результаты противоречивы. Например, DAMA уже в течение длительного времени наблюдает сигнал, который можно интерпретировать как результат столкновения ядер вещества детектора с частицами темной материи с массой ~ 10 ГэВ, а наблюдения других установок, в частности, XENON, исключают существование такой частицы. Т.к.

результаты прямого детектирования очень чувствительны к распределению частиц темной материи по скоростям, реалистичные модели этого распределения имеют большую практическую значимость.

В качестве замечания можно отметить, что расчеты формирования толстого диска скрытой массы в нашей Галактике, выполненные автором в конце второй главы, носят довольно оценочный и нестрогий характер. Вопрос о существовании и параметрах коротирующего толстого диска скрытой массы в нашей Галактике важен для прямого детектирования темной материи, поэтому эта задача требует серьезного количественного изучения.

Третья и четвертая главы диссертации обсуждают наиболее перспективные источники для обнаружения аннигиляции темной материи, а также потенциальные трудности при интерпретации полученного сигнала, вызванные наличием астрофизических источников жесткого излучения, по своим свойствам похожего на этот сигнал. Особенно любопытным представляется предложение автора наблюдать аннигиляцию темной материи в ранней Вселенной, на красных смещениях $z \sim 300$. К сожалению, автор ограничился рассмотрением только одного значения массы частицы скрытой массы, 100 ГэВ. Более массивные частицы (с массой > 1 ТэВ) должны давать более жесткий фотонный спектр аннигиляции. Т.к. астрофизический фон быстро падает с ростом энергии, этот сигнал, возможно, будет легче обнаружить, а его отсутствие позволит поставить более жесткие ограничения на сечение аннигиляции частиц темной материи данной массы.

Общей претензией к диссертации является обилие опечаток.

Оценивая диссертацию в целом, нужно подчеркнуть, что она представляет собой теоретическое исследование высокого уровня, вносящее существенный вклад в наиболее популярные разделы физики скрытой массы. В ней рассмотрены все основные методики, применяемые в настоящее время для поисков темной материи, проведен анализ чрезвычайно широкого круга наблюдательных данных и обоснованы предложения по наиболее перспективным направлениям выяснения физической природы скрытой массы. Автором также предложены новые методы исследования сходимости компьютерных симуляций, широко применяемых для моделирования структур во Вселенной. Таким образом, представленная работа обладает всеми атрибутами нового научного направления. Исследования автора проведены на уровне лучших работ, посвященных обсуждаемым проблемам, и в значительном числе аспектов превосходят их.

Результаты исследований опубликованы в ведущих мировых научных изданиях и доложены на наиболее авторитетных международных конференциях, посвященных проблемам скрытой массы. Представленные выше замечания, касающиеся существа работы, не умаляют ее научной ценности, и их следует рассматривать не как указания на неустранимые недостатки, а как демонстрацию проблем, ожидающих своего решения с использованием в том числе и методов, развитых в обсуждаемой диссертации. Поэтому они не влияют на основной вывод настоящего отзыва.

Результаты диссертации могут найти применение в МГУ, ОИЯИ, ИКИ РАН, АКЦ ФИАН, ИЯИ РАН и других научных учреждениях Российской Федерации.

Диссертация А. Н. Баушева соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года No 842, а ее автор А. Н. Баушев несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 (теоретическая физика).

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на семинаре Отдела теоретической физики ИЯИ РАН 27 марта 2017 г.

Отзыв составил ведущий научный сотрудник
Отдела лептонов высоких энергий
и нейтринной астрофизики, д.ф.-м.н.



В.И. Докучаев

Секретарь ученого совета
Отдела теоретической физики ИЯИ РАН



С.В. Демидов

Подпись В.И. Докучаева удостоверяю:
Ученый секретарь ИЯИ РАН к.ф.м.н.



А.Д. Селидовкин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований
Российской академии наук (ИЯИ РАН)
108840, Россия, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, вл. 27.