

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИЯИ РАН)

УДК 539.1, 539.12, 621.384.6, 61

Рег. № АААА-А20-120011790116-3

Рег. №



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЯИ РАН,
чл.-корр. РАН

Л.В. Кравчук

«31» января 2020 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

АААА-А20-120011790116-3

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ ЗА ПРЕДЕЛАМИ СТАНДАРТНОЙ
МОДЕЛИ В ПРИЛОЖЕНИИ К АСТРО- И КОЛЛАЙДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

(промежуточный за 2019 год)

Руководитель НИР,
Академик РАН, д.ф-м.н.

И.И. Ткачев
«31» января 2020 г.

Москва 2020г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,
Зав. отделом, академик РАН,
д.ф.-м.н.



31.01.2020

подпись, дата

И.И. Ткачев

(введение, заключение)

Исполнители:
К.ф.-м.н.



31.01.2020

подпись, дата

Д.Г. Левков
(введение)

К.ф.-м.н.

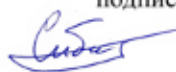


31.01.2020

подпись, дата

А.Г. Панин
(заключение)

К.ф.-м.н.



31.01.2020

подпись, дата

С.М. Сибиряков
(раздел 1)

К.ф.-м.н.



31.01.2020

подпись, дата

С.В. Демидов
(раздел 7)

РЕФЕРАТ

Отчёт содержит: 9 с.

Ключевые слова: быстрые радиовсплески, гравитационная линза, чёрная дыра, барионное число, коллайдеры.

В отчёте представлены результаты фундаментальных и прикладных работ, проведённых по государственному заданию в соответствии с планом научных исследований ИЯИ РАН на 2019 год.

Работы проводились в рамках программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, пункт 15.

Основные усилия были направлены на решение перечисленных ниже задач.

1. Задача «Исследование спектров быстрых радиовсплесков»

Объектом исследования являются спектры быстрых радиовсплесков.

Цель работы — исследовать возможность линзирования излучения быстрых радиовсплесков массивными компактными объектами, такими как первичные чёрные дыры или мини-гало из тёмной материи. В работе показано, что процесс линзирования объектов массой от одной десятитысячной массы солнца и до одной десятой массы солнца приводит к появлению интерференционной картины в частотном спектре быстрых радиовсплесков. Данную интерференционную картину возможно отличить от сцинтилляций в межзвёздной и межгалактической среде, тем самым получив ограничения на распространённость таких объектов во Вселенной.

2. Задача «Непертурбативные нарушающие барионное число процессы на будущих коллайдерах»

Объектом исследования являются модели физики элементарных частиц как в рамках, так и за пределами Стандартной модели, в которых могут происходить процессы с нарушением барионного числа.

Цель работы — исследование редких процессов непертурбативных процессов с целью планирования будущих ускорительных экспериментов, а также обеспечение достижения научных результатов мирового уровня, подготовка и закрепление в сфере науки и образования молодых ученых.

Основным инструментом для исследования этих процессов являлся аппарат квантовой теории поля и квазиклассические методы. Этот аппарат был существенно развит и дополнен новыми методами, позволяющими получить вероятность туннельного прохождения в задачах со сложными граничными условиями. Был разработан и

использовался новый более эффективный численный алгоритм нахождения решений таких граничных задач.

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ.....	2
СОДЕРЖАНИЕ.....	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. Исследование спектров быстрых радиовсплесков.....	6
2. Непертурбативные нарушающие барионное число процессы на будущих коллайдерах.....	7
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	9
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	9
ПУБЛИКАЦИИ.....	9

ВВЕДЕНИЕ

1. Задача «Исследование спектров быстрых радиовсплесков»

Быстрые радиовсплески (fast radio bursts) — мощные радиоимпульсы миллисекундной длительности, регистрируемые радиотелескопами от источников неизвестной природы, находящихся на космологических расстояниях. Их яркость сравнима с яркостью, достигаемой при взрыве сверхновой, однако никакого другого типа излучения от быстрых радиовсплесков, кроме радио, ни во время вспышки ни после неё пока не обнаружено. На сегодняшний день зарегистрировано порядка 100 источников быстрых радиовсплесков, несколько из них — повторяющиеся. Хорошее временное и спектральное разрешение современных телескопов позволяет установить, что многие вспышки обладают нетривиальной частотно-временной структурой. В рамках выполнения государственного задания был исследован вопрос, может ли подобные особенности быть вызваны гравитационным линзированием на тёмных компактных объектах.

2. Задача «Непертурбативные нарушающие барионное число процессы на будущих коллайдерах»

В рамках Стандартной модели физики частиц предсказывается существование нарушения барионного числа за счет непертурбативных переходов между топологически неэквивалентными секторами. Известно, что вероятности непертурбативных процессов с нарушением барионного числа в Стандартной модели оказываются экспоненциально сильно подавленными при энергиях столкновения меньше энергии сфалерона E_{sph} , порядка 9 ТэВ. В случае больших энергий двухчастичных столкновений в литературе имеются ограничения на вероятность, также указывающие на экспоненциальное подавление. В связи с обсуждением в научном сообществе физической программы будущих коллайдеров представляет интерес вычисление вероятностей процессов с нарушением барионного числа в столкновениях частиц высоких энергий. Целью работы является вычисление вероятности процессов с нарушением барионного числа в столкновениях частиц высоких энергий.

1. Исследование спектров быстрых радиовсплесков

Предложена новая стратегия поиска тёмной материи в форме массивных компактных объектов (MACHOs), таких как первичные чёрные дыры или плотные минигало в диапазоне масс от 10^{-4} Msun и до 0.1 Msun. Эти объекты могут гравитационным полем линзировать сигнал быстрых радиовсплесков, приводя к характерной интерференционной картине в регистрируемом спектре излучения, аналогичной той, что предсказывается для фемто-линзирования сигнала гамма-всплесков. Однако, в отличие от

традиционных поисков, линзирование быстрых радиовсплесков более чувствительно к распространенности МАСНОs на космологических расстояниях (порядка гигапарсека), чем к распределению этих объектов вблизи Млечного Пути. Таким образом, этот метод может быть использован для поиска мини-гало тёмной материи, которые трудно обнаружить другими способами микролинзирования из-за их конечного пространственного размера, а также возможности быть разрушенными в галактиках приливными силами. Нами было обнаружено, что основная сложность в исследовании процесса линзирования быстрых радиовсплесков является присутствие межзвёздных сцинтилляций в галактике источника и в Млечном Пути. Сцинтилляции трудно описать количественно поскольку эффект, который они создают, сильно зависит от турбулентности межзвёздной среды, которая слабо исследована. Тем не менее, можно показать, что при реалистичных параметрах сцинтилляций эффект линзирования быстрых радиовсплесков может дать сильные ограничения на распространенность массивных компактных объектов. Результаты опубликованы в работе [1].

2. Непертурбативные нарушающие барионное число процессы на будущих коллайдерах

Для вычисления вероятности процессов с нарушением барионного числа в столкновениях частиц были использованы разработанные ранее для данного класса задач квазиклассические методы, которые сводят вычисление вероятности к решению определённой граничной задачи классических уравнений поля. В частности, использовался метод Рубакова-Шона-Тинякова, в котором необходимо найти решение классических уравнений поля на некотором контуре в комплексном времени с граничными условиями, зависящими от энергии и числа сталкивающихся частиц. После нахождения решения экспонента подавления вычисляется по действию на найденной полевой конфигурации. По сравнению с предыдущими вычислениями использовался более эффективный численный алгоритм нахождения решений граничной задачи, который позволил находить решения на пространственно-временных решётках, почти на порядок более мелких. Как результат, были получены значительно более точные численные результаты, которые позволили найти предел для экспоненты подавления в случае квазиклассически малого числа сталкивающихся частиц и больших энергий. В результате была найдена экспонента подавления процессов с нарушением барионного числа для энергий вплоть до энергий порядка $4E_{\text{sph}}$. С помощью экстраполяции результатов на более высокие энергии было получено, что сечение процессов с нарушением барионного числа в Стандартной модели меньше значений порядка

фемптовбарна вплоть до энергий порядка, по крайней мере, 450 ТэВ. На основании поведения экспоненты подавления как функции энергии и базируясь на результатах, полученных в более простых моделях, высказана гипотеза о том, что экспонента подавления остается постоянной при энергиях выше некоторой. По результатам работы сделаны доклады [2,3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Задача «Исследование спектров быстрых радиовсплесков»

План работ на 2019 год выполнен полностью.

Показано, что эффект линзирования быстрых радиовсплесков может быть использован для поиска и получения ограничений на распространенность массивных компактных объектов, таких как первичные чёрные дыры и мини-гало тёмной материи.

2. Задача «Непертурбативные нарушающие барионное число процессы на будущих коллайдерах»

План работ на 2019 год выполнен полностью.

Вычислена экспонента подавления процессов с нарушением барионного числа в столкновениях частиц высоких энергий. Показано, что сечение процессов с нарушением барионного числа в Стандартной модели меньше значений порядка фемптобарна вплоть до энергий порядка, по крайней мере, 450 ТэВ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Andrey Katz, Joachim Kopp, Sergey Sibiryakov, Wei Xue, «Looking for MACHOs in the Spectra of Fast Radio Bursts», arXiv:1912.07620.
2. Сергей Демидов. Электрослабое нарушение барионного числа в столкновениях частиц: 10000₂ лет спустя // Рабочее совещание «За пределами нестандартных моделей» / ИЯИ РАН. – Москва, 1-3 марта 2019.
3. Sergey Demidov. Baryon number violating processes in particle collisions at very high energies. // Topological avatars of new physics, Discussion meeting / The Royal Society. – London, 04-05 March 2019.

ПУБЛИКАЦИИ

1. Andrey Katz, Joachim Kopp, Sergey Sibiryakov, Wei Xue, «Looking for MACHOs in the Spectra of Fast Radio Bursts», arXiv:1912.07620