

«УТВЕРЖДАЮ»
Академик-секретарь Отделения физических наук РАН
академик В.А.Матвеев
« » января 2012 года

УДК 539.12.01

ОТЧЁТ

Учреждения Российской академии наук

Института ядерных исследований РАН

по направлению

**Разработка теоретических проблем физики
элементарных частиц, фундаментальных
взаимодействий и космологии**

за 2011 год

Научный руководитель: главный научный сотрудник Отдела теоретической физики академик Рубаков В.А.

тема 01201050399

Москва 2012

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Отдел теоретической физики (заведующий отделом д.ф.-м.н. Н.В.Красников)

Лаборатория мезонной физики Отдела экспериментальной физики (ведущий научный сотрудник д.ф.-м.н. В.Б.Копелиович)

Лаборатория нейтринной астрофизики (ведущий научный сотрудник д.ф.-м.н. В.И.Докучаев)

ВВЕДЕНИЕ

Тематическое направление «**Разработка теоретических проблем физики элементарных частиц, фундаментальных взаимодействий и космологии**» (далее **Направление**) утверждено Отделением физических наук РАН во исполнение приоритетных направлений фундаментальных научных исследований Государственных академий наук на 2008-2012 годы, утвержденных распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 февраля 2008 года №233-р.

Направление нацелено на решение задач, определяемых Приложением к этому распоряжению Правительства - «План фундаментальных исследований РАН на 2008-2012 годы». **Направление** будет решать задачи, упомянутые в Разделе «Физические науки», в пункте 13 «Современные проблемы ядерной физики, в том числе физики элементарных частиц, включая физику нейтрино и астрофизические и космологические аспекты...», а также в пункте 14 «Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, темной материи и энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей...». **Направление** также связано с задачами, упомянутыми в других пунктах Плана.

подавляющее большинство явлений в физике частиц с великолепной точностью получает описание в рамках Стандартной модели (СМ) физики элементарных частиц и космологической модели горячего Большого взрыва, которая основывается на общей теории относительности (ОТО). Однако, современные теоретические и экспериментальные исследования позволяют утверждать, что СМ вместе с ОТО не могут быть окончательными теориями. Среди наиболее сильных экспериментальных результатов наземных установок а также астрофизических и космологических данных, позволяющих сделать такое утверждение, можно выделить следующие:

--- открытие нейтринных осцилляций, косвенно свидетельствующее о наличии у нейтрино ненулевой массы;

--- существование скрытой массы или темной материи (т.е. неизвестных в настоящее время частиц);

--- обнаружение ускоренного расширения Вселенной, свидетельствующее о существовании некоторой темной энергии (т.е. неизвестной до сих пор субстанции вакуумного типа; этот результат может быть объяснен необычайно малой (по сравнению с другими параметрами СМ) космологической постоянной, но большинство физиков находят это объяснение без механизма возникновения этой “постоянной” неудовлетворительным.

В силу сказанного теоретические научные исследования на стыке физики элементарных частиц, астрофизики и космологии становятся особенно актуальными.

Направление будет состоять из тем, связанных между собой.

Темы Направления имеют целевое финансирование из Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Физика нейтрино и нейтринная астрофизика», Программы фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН "Физика элементарных частиц, фундаментальная ядерная физика и ядерные технологии", Программы фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН "Активные процессы и стохастические структуры во Вселенной», Поддержка уникальных объектов, Поддержка молодых ученых – Привлечение молодых ученых к работе в научных организациях, проведение научных школ для молодых ученых, Общие академические мероприятия (Подготовка и проведение конференций), Высокопроизводительные вычислительные системы и телекоммуникации.

В рамках Направления проведена Международная школа «Частицы и космология».

Результаты, полученные в рамках **Направления** входят ежегодно в Отчетный доклад Президиума РАН.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН
«Физика нейтрино и нейтринная астрофизика»,

координатор академик РАН В.А.Матвеев

1. Подпрограмма "Нейтринная физика", проект 1.4 «Международные проекты по физике нейтрино», пункт в. Изучение космических лучей сверхвысоких энергий международной коллаборацией "Telescope array".

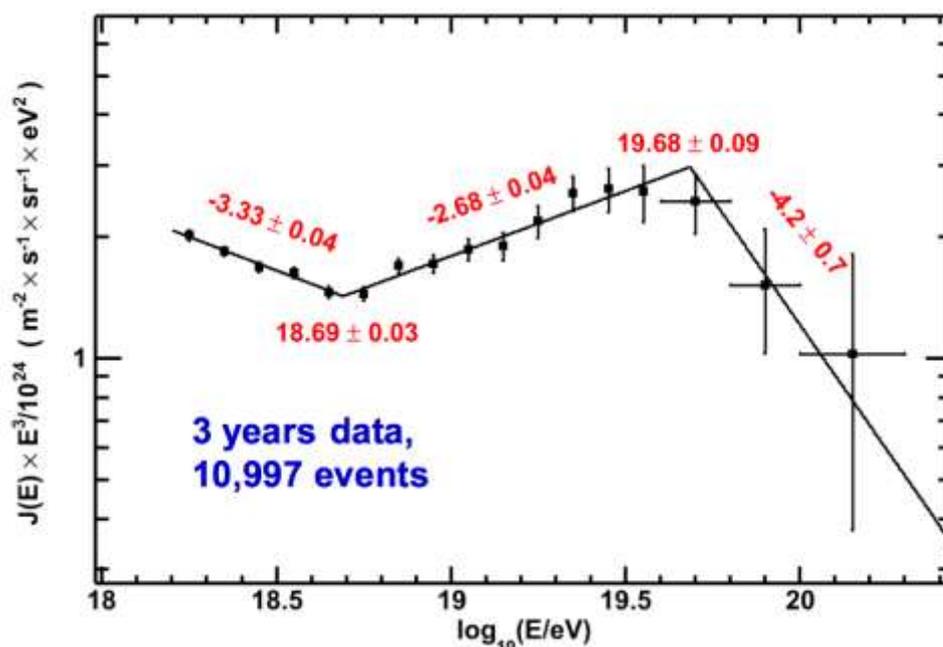
Руководитель проекта чл.-к. И.И.Ткачев (ИЯИ РАН)

Финансирование за 2011 год: 500 тыс. рублей

Основные результаты по проекту за 2011 год:

В 2011 году осуществлен анализ данных 36 месяцев наблюдений (с мая 2008 года по май 2011 года) обсерватории Telescope Array в расчетной конфигурации в гибридном режиме наблюдения и получены следующие физические результаты:

1. Получены спектры космических лучей: по данным наземной решетки, по данным двух типов используемых флуоресцентных телескопов и по данным гибридных наблюдений. Энергетический масштаб выбран на основе данных флуоресцентных детекторов и исследованы источники систематических ошибок в его определении. Все полученные спектры согласуются между собой. Полученный спектр космических лучей подтверждает эффект Грейзена-Зацепина-Кузьмина на уровне значимости 3.9 сигма.



2. Исследованы корреляции КЛСВЭ с крупномасштабной структурой Вселенной, автокорреляции, и проверена гипотеза обсерватории Оже о том, что источниками КЛСВЭ являются активные галактики. На уровне статистики набранной коллаборацией Telescope Array распределение направлений прихода КЛСВЭ совместно с изотропным, корреляции и автокорреляции не обнаружены.

3. Получено распределение глубины максимума широких атмосферных ливней сверхвысоких энергий, зарегистрированных в одновременно флуоресцентным детектором и наземной решеткой (гибридный режим), а также одновременно двумя флуоресцентными детекторами (стерео-режим). На основании этого результата сделан вывод о преимущественно протонном составе первичных космических лучей с энергиями выше 10 ЭэВ.

4. Установлено ограничение на поток фотонов с энергиями выше 10 ЭэВ, 30 ЭэВ и выше 100 ЭэВ. Полученное ограничение является наиболее сильным из полученных в северном полушарии.

5. Проведен поиск квазигоризонтальных ливней, вызванных первичными нейтрино. Кандидатов на нейтрино не обнаружено.

Протоны сверх-высоких энергий ускоренные в астрофизических объектах производят на пути распространения электронно-фотонные каскады и нейтрино. Каскады дают вклад в диффузный поток фотонов с энергиями ГэВ-ТэВ, измеряемый экспериментом Fermi LAT. Нами было продемонстрировано, что современные данные Fermi LAT позволяют существенно ограничить круг самосогласованных астрофизических моделей

происхождения космических лучей сверхвысоких энергий. Также в указанных моделях была получена оценка на диапазон ожидаемых потоков нейтрино.

Дано объяснение предположительно обнаруженных экспериментом HiRes нейтральных частиц сверхвысокой энергии от космологически удаленных лацертид в терминах новой легкой аксионоподобной частицы, смешивающейся с фотонами. Проведен количественный анализ смешивания с учетом эффектов нелинейной квантовой электродинамики, которые становятся существенными при столь высоких энергиях. Показано, что одни и те же параметры аксионоподобной частицы могут объяснить как нейтральные космические лучи сверхвысоких энергий от лацертид, так и избыток гамма-излучения блазаров в том же диапазоне. Предложен новый эксперимент, способный обнаружить такие частицы, - аксионный гелиоскоп нового поколения, впоследствии получивший название IAXO (International axion observatory).

Проведен поиск гамма-излучения высоких энергий, связанного с 581 известными гамма-всплесками, находящимися в поле зрения спутника Fermi LAT. Выполнено сравнение с ожидаемым фоном числа фотонов с энергией выше 100 МэВ и выше 1 ГэВ, пришедших за первые 1500 секунд с момента регистрации всплеска из той же пространственной области. Обнаружено высокоэнергичное излучение от 19 всплесков, четыре из которых (GRB 081009, GRB 090720B, GRB 100911 и GRB 100728A) наблюдаются в данном энергетическом диапазоне впервые. Число ложных обнаружений во всем наборе данных не превышает 0.05.

Список публикаций по проекту:

[1] И.И. Ткачёв, Наблюдение эффекта Грейзена - Зацепина - Кузьмина обсерваторией Telescope Array. Published in Успехи физических наук 181 (2011) 990

[2] P. Tinyakov et al., (Telescope Array collaboration) Measurement of anisotropy of ultra-high energy cosmic rays by the Telescope Array. Published in AIP Conf.Proc. 1367 (2011) 100

[3] H. Tokuno et al., (Telescope Array collaboration) The Status of the Telescope Array experiment. Published in Journal of Physics: Conference Series 293 (2011) 012035

[4] T. Okuda et al., (Telescope Array collaboration) Search for small clusters by auto-correlation analysis from Telescope Array. Published in AIP Conf.Proc. 1367 (2011) 185

[5] G.Rubtsov et al., (Telescope Array collaboration) Search for ultra-high energy photons using Telescope Array surface detector. Published in AIP Conf.Proc. 1367 (2011) 181

[6] M. Fairbairn, T. Rashba and S.V. Troitsky, Photon-axion mixing and ultra-high-energy cosmic rays from BL Lac type objects - Shining light through the Universe. Accepted for publication in Physical Review D (2011)

[7] С.В. Троицкий, Нерешенные проблемы физики элементарных частиц. Published in Успехи физических наук 182 (2011)

[8] Г.И. Рубцов, С.В. Троицкий, Какие элементарные частицы - самые энергичные в мире? Published in Природа 6 (2011) 11

[9] O.E. Kalashev, Restrictions on cosmogenic neutrinos and UHECR from Fermi 3 years data. Published in Journal of Physics: Conference Series 367 (2011)

[10] W. Essey, O. Kalashev, A. Kusenko, J.F. Beacom, Role of line-of-sight cosmic ray interactions in forming the spectra of distant blazars in TeV gamma rays and high-energy neutrinos. Published in Astrophys.J. 731 (2011) 51

[11] A.Neronov, D.V.Semikoz, P.G.Tinyakov, I.I.Tkachev, No evidence for gamma-ray halos around active galactic nuclei resulting from intergalactic magnetic fields. Published in Astronomy & Astrophysic 526 (2011) 90

[12] G.I. Rubtsov, M.S. Pshirkov, P.G. Tinyakov, GRB observations by Fermi LAT revisited: new candidates found. Accepted for publication in Monthly Notices of the Royal Astronomical Society

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН «Физика нейтрино и нейтринная астрофизика»,

координатор академик РАН В.А.Матвеев

3. Подпрограмма "Теоретические проблемы нейтринной физики, астрофизики и физики космических лучей", проект 3.1 "Теории фундаментальных взаимодействий вне стандартной модели, физика частиц и космология"

Руководители проекта: ак. В.А.Рубаков, чл.-к. В.А.Кузьмин, чл.-к. И.И.Ткачев (ИЯИ РАН)

Финансирование за 2011 год: 1200 тыс. рублей

Основные результаты по проекту за 2011 год

1. Для поиска «невидимого» бозона Хиггса предложена реакция, в которой в конечном состоянии рождается тяжелая пара кварк-антикварк и пара массивных векторных бозонов. Показано, что в диапазоне масс 140-180 ГэВ сечение такого процесса с t -кварком и его антикварком имеет величину порядка нескольких фемтобарн. Анализ распределения по инвариантной массе пары калибровочных бозонов показал, что форма этого распределения и положение его максимума очень чувствительны к массе бозона Хиггса и к его ширине. Показано, что в ряде моделей новой физике, в которых юкавская константа с b -кварками увеличена в A раз по сравнению со своим значением в Стандартной модели. В случае $A=50$ сечение оказывается порядка нескольких пикобарн, что делает его очень перспективным для экспериментов на БАК.

2. Проведено вычисление вероятности распада ортопозитрония по невидимому каналу для планируемых экспериментов по его поиску в рамках класса моделей "зеркального" мира. Подобные эксперименты оказываются чувствительными к параметру смешивания фотона с «зеркальным» фотоном вплоть до 10^{-9} . Основная задача нашего расчета - корректный учет эффектов, влияющих на разность энергий и ширин ортопозитрония и его зеркального партнера, а также учет влияний декогеренции, возникающей при взаимодействии ортопозитрония с молекулами газа. Кроме того, показано как происходит изменения вероятности невидимого распада ортопозитрония при наложении внешних электрических и магнитных полей, которые приводят к появлению разности энергий ортопозитрония и его зеркального партнера. Ожидается, что результаты работы будут использованы в экспериментах указанного типа.

3. Изучена модель хиггсовской инфляции, реализуется при условии неминимального взаимодействия между хиггсовским полем и гравитацией, причём для объяснения величины амплитуды первичных флуктуаций требуется считать соответствующую безразмерную константу связи величиной порядка нескольких десятков тысяч. Наличие больших константы связи, как правило, приводят к режиму сильной связи. В работе было высказано предположение, что для адекватного описания процессов вблизи области сильной связи к теории следует добавить всевозможные неперенормируемые операторы, составленные из полей Стандартной модели и подавленные энергетическим масштабом, зависящим от величины хиггсовского поля. Показано, что на ход первичного разогрева (генерации частиц в пост-инфляционной Вселенной) возможно наличие этих операторов

существенного влияния не оказывает. Показано, что при определённой иерархии между этими операторами, нарушающими лептонные и барионные числа, совместной с пертурбативным рассмотрением, возможно объяснить нейтринные осцилляции и барионную асимметрию Вселенной. Таким образом, сильная динамика хиггсовского сектора может быть ответственной за единственное прямое указание на неполноту Стандартной модели - нейтринные осцилляции, и за доминирование вещества над антивеществом в современной Вселенной. Среди важнейших феноменологических проблем Стандартной модели остаётся лишь одна - проблема тёмной материи - которая не может найти решения в рамках модели хиггсовской инфляции. Для её решения требуется расширить состав полей Стандартной модели. В качестве феноменологически приемлемого примера такого расширения мы рассмотрели модель минимального нейтринного обобщения Стандартной модели, получившей в литературе название ν MSM. Здесь добавляются три майорановских стерильных нейтрино, которые позволяют объяснить нейтринные осцилляции за счёт перенормируемого взаимодействия с полями Стандартной модели, барионную асимметрию Вселенной за счёт генерации лептонной асимметрии в осцилляциях активных и стерильных нейтрино в первичной плазме и предложить в качестве кандидата на роль частицы тёмной материи легчайшее стерильное нейтрино. Показано, что добавление перенормируемых операторов, содержащих стерильные нейтрино, может повлиять в ν MSM с хиггсовской инфляцией как на образование лептонной асимметрии в ранней Вселенной, так и на генерацию частиц тёмной материи - легчайших стерильных нейтрино. Показано, что эти частицы должны быть довольно лёгкими, и могут образовать тёплую тёмную материю, интересную с точки зрения образования структур малых масштабов, в частности карликовых галактик.

4. В модели хиггсовской инфляции была определена область энергий, в которой эта модель представляет собой самосогласованную эффективную теорию как функцию фонового хиггсовского поля. Эта область ограничена сверху масштабом обрезания, который оказывается выше чем все характерные масштабы, которые характеризуют эволюцию Вселенной, в том числе инфляционную эпоху и разогрев. В нашей работе была представлена систематический подход для учета квантовых петлевых поправок к инфляционным вычислениям в рамках эффективной теории поля. Также были изучены дополнительные предположения на ультрафиолетовое дополнение этой теории, необходимые для связи параметров, характеризующих инфляцию, и параметров низкоэнергетической теории. Был построен класс инфляционных моделей с похожими свойствами.

5. Предложен метод описания множества начальных волновых пакетов, в столкновениях которых образуются пары солитон-антисолитон. Было предложено модифицировать систему таким образом, чтобы между солитонами возникала дополнительная отталкивающая сила на достаточно больших расстояниях. Для примера была рассмотрена (1+1)-мерную теорию одного скалярного поля с потенциалом,

обладающим двумя вырожденными минимумами. Для введение дополнительны силы скалярный потенциал был модифицирован таким образом, чтобы плотность энергии в одном из минимумом стала меньше чем в другом на величину $\delta\rho$. В результате такой модификации процесс образования солитон-антисолитонных пар трансформируется в процесс распада ложного вакуума, а сама пара солитон-антисолитон переходит в пузырь истинного вакуума в ложном. Волновые пакеты начального состояния могут характеризоваться их энергией E и числом (квантовых) частиц N . При изучении рассмотренной проблемы наибольший интерес представляют состояния с как можно меньшими значениями N , поскольку такой процесс ближе по свойствам к квантовому случаю. Каждое малое возмущение над критическим пузырем (за исключением нулевой моды) приводит к распаду этого состояния либо в обычные волновые пакеты либо в расширяющийся пузырь истинного вакуума. В нашей работе мы провели сканирование по пространству параметров возмущений около критического пузыря и получили множество классических решений, описывающих рассмотренный процесс. Взяв предел $\delta\rho \rightarrow 0$ мы получили границу между классически разрешенной и классически запрещенной областью образования солитон-антисолитонных пар в рассмотренной модели. Этот результат хорошо согласуется с нашим предыдущим результатом, в котором эта граница была получена со стороны классически запрещенной области, то есть с помощью туннельных решений. Кроме того, в нашей работе обобщен предложенный ранее метод вычисления вероятности образования солитон-антисолитонных пар в $(1+1)$ -мерных скалярных теориях поля на теории высших размерностей. Это позволяет применить его к более реалистичным ситуациям образования солитонов (например, монополей) в столкновениях частиц.

6. В рамках работы по проекту было предложено развитие модели с конформной инвариантностью, предложенной в работах В.А.Рубакова. В рамках этой модели предполагается, что первичные скалярные возмущения возникают в результате эволюции скалярного безмассового поля, имевшегося в ранней Вселенной. Предполагается, что это поле комплексное и конформно связано с гравитацией. Взаимодействие в модели описывается отрицательным потенциалом четвертого порядка. В ходе своей эволюции, скалярное поле скатывается вдоль склона потенциала, при этом его абсолютные значения растут. Далее предполагается, что при больших значениях поля конформная инвариантность нарушается и скатывание прекращается. Можно показать, что возмущения фазы комплексного скалярного поля к концу эпохи конформного скатывания имеют плоский спектр. В нашей работе показано, что взаимодействие радиальных возмущений комплексного скалярного поля и возмущений его фазы приводит к ряду интересных для космологии явлений, среди которых в первую очередь стоит отметить негауссовость и статистическую анизотропию. При этом было интересно рассмотреть следующие две возможности. Первая состоит в том, что возмущения фазы выходят за горизонт к концу эпохи конформного скатывания. Другой вариант состоит в том, что

возмущения фазы остаются подгоризонтными к концу эпохи конформного скатывания и, соответственно, продолжают эволюционировать. Оказалось, что взаимодействие возмущений фазы с модами радиальных возмущений, импульсы которых малы, приводит к появлению статистической анизотропии, то есть к зависимости спектра первичных возмущений от направления импульса. Было показано, что спектр первичных возмущений содержит все возможные мультиполи. Еще один эффект, который был обнаружен в рамках модели, - это отрицательный наклон спектра первичных возмущений.

7. Изучены феноменологические следствия модели мира на бране, предложенной Лизой Рэндалл и Раманом Сундрумом. Данная модель представляет собой один из вариантов теорий с бесконечно большими дополнительными измерениями. Были вычислены вероятности образования Z бозона и фотона, улетающих с браны в дополнительные измерения, в процессах высокоэнергетических ускорительных электрон-позитронных столкновений в модифицированной РС- n модели. Такие процессы улета частиц в дополнительные будут проявляться феноменологически следующим образом $e+e \rightarrow \gamma + \text{"ничто"}$. Мы сравнили данный сигнал с фоном Стандартной Модели $e+e \rightarrow \gamma + \nu\nu$. Мы также провели сравнение процессы $e+e \rightarrow \gamma + \text{"ничто"}$, с аналогичными процессами в модели АДД. Рассмотрены процессы, связанные с уходом фотона и Z бозона с браны, в модели с одним некомпактным свернутым дополнительным измерением и n компактными дополнительными измерениями. Данная модель является обобщением модели РС, в которую мы добавили n компактных свернутых измерений. Получены ограничения на параметры этой модели из анализа данных по невидимым распадам Z бозона в дополнительные измерения. В данной модели были вычислены сечения рассеяния процессов $e+e \rightarrow \gamma + \text{"ничто"}$.

8. Изучена модель инфляции Старобинского, основанная на динамике неминимальной гравитации: к лагранжиану Эйнштейна--Гильберта добавлено квадратичное по кривизне слагаемое. Гравитация здесь отвечает не только за собственно инфляционную стадию, но и за последующий разогрев Вселенной (генерация энтропии): в этой теории частицы Стандартной модели рождаются в ранней Вселенной именно за счёт гравитационного взаимодействия. Естественно задать вопрос: а нельзя ли воспользоваться тем же предоставленным гравитацией универсальным механизмом генерации частиц для рождения не взаимодействующих с частицами Стандартной модели новых стабильных частиц --- кандидатов на роль тёмной материи? Можно пойти и дальше и привлечь гравитацию к процессу генерации барионной асимметрии Вселенной. В выполненной нами работе показано, что гравитация с успехом помогает решить обе проблемы. Предсказана масса частиц тёмной материи. Показано, что добавление стерильных нейтрино, которые могут быть ответственны за наблюдаемые нейтринные осцилляции, позволяет объяснить и барионную асимметрию Вселенной за счёт механизма нетермального лептогенезиса.

9. В работе по проекту показано, что параметры низкоэнергетического потенциала инфлатона могут быть измерены в прямых экспериментах физики частиц. Рассмотрен один из простейших вариантов хаотической инфляции на скалярном поле с потенциалом четвертого порядка. Показано, что в этой модели с учётом космологических ограничений инфлатон оказывается лёгким: с массой в интервале от 30 МэВ до 2 ГэВ. За счёт смешивания с хиггсовским бозоном инфлатон может рождаться в процессах с участием обычных частиц Стандартной модели. В частности, за счёт этого смешивания инфлатон может распадаться в частицы Стандартной модели, и, наоборот, рождаться в результате их распада. Проведено исследование пространства разрешенных параметров в этой модели. Показано, что наиболее перспективными с точки зрения поисков инфлатона являются двухчастичные распады каонов (начиная с парциальных ширин на уровне 10^{-9}) и В-мезонов (начиная с парциальной ширины на уровне 10^{-6}). Мы исследовали основные моды распада инфлатона. Время жизни инфлатона с массой более 270 МэВ составляет от 10^{-10} с до 10^{-9} с в зависимости от массы. Основным каналом рождения в столкновительных процессах является распад рождённых там В-мезонов и каонов (если разрешено кинематически). Таким образом мы оценили сечение рождения инфлатона и сделали предсказание для количества рождённых инфлатонов за год работы современных высокоинтенсивных высокоэнергичных пучков (Т2К, NuMI, CNGS, NuTeV), имея в виду рождение инфлатона на мишени. Это количество составляет о десятка миллионов для лёгких инфлатонов с массой около 500 МэВ, до нескольких тысяч, для тяжёлого инфлатона с массой около 5 ГэВ. Отметим, что данная модель привлекла внимание экспериментаторов, работающих на В-фабрике Belle. Модель специально подробно обсуждалась на открытом коллаборационном митинге в КЕК. В настоящее время они осуществляют обработку накопленных данных с целью поиска инфлатона в двухчастичном канале распада В-мезона. Оцениваются перспективы поиска тяжёлого инфлатона, с массой около 2 ГэВ, в будущем эксперименте SuperBelle.

10. Хорошо известно, что регистрация вторичных фотонов и нейтрино, образованные во взаимодействиях протонов космических лучей из отдаленных ядер активных галактик с микроволновым излучением могут дать существенную информацию о межгалактических магнитных полях и механизмах ускорения космических лучей. В нашей работе показано, что информация о вторичных нейтрино также увеличивает перспективы обнаружения отдаленных блазаров на нейтринном телескопе IceCube.

11. В рамках работ по проекту продолжена работа по изучению свойств квантовой теории гравитации, предложенной Ходжавой. В частности были предложены три возможных расширения этой модели, отличающиеся некоэнергетичной теорией гравитации и взаимодействием дополнительной скалярной степени свободы - "хронона" - с другими частицами Стандартной модели. Эти модели были изучены на непротиворечивость, и оказалось, что только одна из них свободна от нестабильности и режима сильной связи. В этой модели были изучены константы взаимодействия "хронона"

с оставшейся материей. Также были получены параметры пост-Ньютоновского разложения и показано, что они совместны с современными экспериментальными ограничениями. Была предложена модель темной энергии с технически малым ускорением, в которой величина темной энергии не получает поправок от других энергетических масштабов теории. Предложенный механизм ускорения возникает естественным образом в низкоэнергетическом пределе теории гравитации с нарушением лоренц-инвариантности, которая содержит скалярное поле, связанное с другими полями через производную. Это скалярное поле может быть, например, голдстоуновским бозоном некоторой спонтанно нарушенной глобальной симметрии. Показано, что предложенная модель является эффективной теорией, справедливой вплоть до масштаба по порядку величины равного массе Планка. Более того, показано, что эта модель имеет естественное ультрафиолетовое дополнение в контексте гравитации Ходжавы. Показано, что даже в отсутствии космологической постоянной предложенная модель оказывается неотличимой от стандартной Λ CDM модели, однако были предложены методы отличить обе модели используя космологические данные.

Список публикаций по проекту:

- [1] E. E. Boos, S. V. Demidov and D. S. Gorbunov, // "Invisible Higgs in weak bosons associative production with heavy quarks at LHC: probing mass and width," Int. J. Mod. Phys. A26, 3201 (2011).
- [2] S. V. Demidov and D. G. Levkov, // Soliton pair creation in classical wave scattering,' -2011. -JHEP. -1106. -p.016.
- [3] S. V. Demidov and D. G. Levkov, // Soliton-antisoliton pair production in particle collisions, -2011. -Phys.Rev.Lett. -107. -p.071601.
- [4] M.Libanov, S. Ramazanov and V. Rubakov, // "Scalar perturbations in conformal rolling scenario with intermediate stage," -2011. -JCAP. -1106. -p.010.
- [5] M. Libanov, S. Mironov and V. Rubakov, // "Non-Gaussianity of scalar perturbations generated by conformal mechanisms," -2011. -Phys.Rev. -D84. -p.083502.
- [6] S. V. Demidov, D. S. Gorbunov and A. A. Tokareva, // "Positronium oscillations to Mirror World revisited," -2012. -Phys. Rev. -D85. -p.015022.
- [7] F. Bezrukov, D. Gorbunov and M. Shaposhnikov, // "Late and early time phenomenology of Higgs-dependent cutoff," -2011. -JCAP. -1110. -p.001.
- [8] D. I. Astakhov and D. V. Kirpichnikov, // "Vector bosons escaping from the brane: $\gamma^+e^- \rightarrow \gamma + \text{nothing}$," -2011. -Phys. Rev. -D83. -p.104031.

- [9] D. S. Gorbunov and A. G. Panin, // "Scalaron the mighty: producing dark matter and baryon asymmetry at reheating," -2011. -Phys. Lett. -B700. -p.157.
- [10] S. V. Demidov, E. E. Boos and D. S. Gorbunov, // "Invisible Higgs in weak bosons associative production with heavy quarks at LHC," PoS QFTHEP {\bf 2010} (2011) 026.
- [11] D. Blas and S. Sibiryakov, // "Horava gravity versus thermodynamics: The Black hole case," -2011. -Phys. Rev. -D84. -p.124043.
- [12] O. Pujolas and S. Sibiryakov, // "Supersymmetric Aether," -arXiv:1109.4495 [hep-th]].
- [13] F. Bezrukov, A. Magnin, M. Shaposhnikov and S. Sibiryakov, // "Higgs inflation: consistency and generalisations," -2011. -JHEP. -1101. -p.016.
- [14] D. Blas, O. Pujolas and S. Sibiryakov, // "Models of non-relativistic quantum gravity: The Good, the bad and the healthy," -2011. -JHEP. -1104. -p.018.
- [15] M. Libanov and V. Rubakov, // "Dynamical vs spectator models of (pseudo-)conformal Universe," arXiv:1107.1036 [hep-th].
- [16] M. Libanov, S. Mironov and V. Rubakov, // "Non-Gaussianity of scalar perturbations generated by conformal mechanisms," -2011. -Phys. Rev. -D84. -p.083502.
- [17] M. Libanov, S. Ramazanov and V. Rubakov, // "Scalar perturbations in conformal rolling scenario with intermediate stage," -2011. -JCAP. -1106. -p.010.
- [18] M. Libanov, S. Mironov and V. Rubakov, // "Properties of scalar perturbations generated by conformal scalar field," -2011. -Prog.Theor.Phys.Suppl. -190. -p.120.
- [19] M. Osipov and V. Rubakov, // "Scalar tilt from broken conformal invariance," -2011. -JETP Lett. -93. -p.52.
- [20] D. I. Astakhov and D. V. Kirpichnikov, // "Vector bosons escaping from the brane: $e^+e^- \rightarrow \gamma + \text{nothing}$," -2011. -Phys.Rev. -D83. -p.104031.
- [21] G. I. Rubtsov, M. S. Pshirkov and P. G. Tinyakov, // "GRB observations by Fermi LAT revisited: new candidates found," arXiv:1104.5476 [astro-ph.HE].
- [22] S. V. Troitsky, // "Solar paraphotons," arXiv:1112.5276 [hep-ph].
- [23] S. Troitsky, // "Unsolved problems in particle physics," arXiv:1112.4515 [hep-ph].

- [24] G. B. Gelmini, O. Kalashev and D. V. Semikoz, // ``Gamma-Ray Constraints on Maximum Cosmogenic Neutrino Fluxes and UHECR Source Evolution Models," arXiv:1107.1672 [astro-ph.CO].
- [25] W. Essey, O. Kalashev, A. Kusenko and J. F. Beacom, // ``Role of line-of-sight cosmic ray interactions in forming the spectra of distant blazars in TeV gamma rays and high-energy neutrinos," -2011. -Astrophys.J. -731. -p.51.
- [26] M. Libanov and F.-S.Ling, // ``Flavour puzzle or Why neutrinos are different?," arXiv:1105.6035 [hep-ph].
- [27] E. Bugaev and P. Klimai, // ``Curvature perturbation spectra from waterfall transition, black hole constraints and non-Gaussianity," -2011. -JCAP -1111. -p.028.
- [28] E. Bugaev and P. Klimai, // ``Formation of primordial black holes from non-Gaussian perturbations produced in waterfall transition," arXiv:1112.5601 [astro-ph.CO].
- [29] E. V. Bugaev and B. V. Mangazeev, // ``Electromagnetic Structure Functions of Nucleons in the Region of Very Small X," arXiv:1102.2514 [hep-ph].
- [30] E. Bugaev and P. Klimai, // ``Constraints on the induced gravitational wave background from primordial black holes," -2011. -Phys.Rev. -D83. -p.083521.
- [31] E. Bugaev and P. Klimai, // ``Density perturbations in braneworld cosmology and primordial black holes," -Phys.Rev. -D83. -p.023516.
- [32] S. Groote, J. G. Korner and A. A. Pivovarov, // ``Calculating loops without loop calculations: NLO computation of pentaquark correlators," arXiv:1107.0615 [hep-ph].
- [33] A. L. Kataev, // ``The analytical singlet α_s^4 QCD contributions into the e^+e^- annihilation Adler function and the generalized Crewther relations," -2011. -JETP Lett. -94. -p.789.
- [34] A. V. Lokhov, F. V. Tkachov and P. S. Trukhanov, // ``Application of quasi-optimal weights to searches of anomalies. Statistical criteria for step-like anomalies in cumulative spectra," arXiv:1111.4835 [physics.data-an].

Программа фундаментальных исследований Отделения физических наук № 1 «Физика элементарных частиц, фундаментальная ядерная физика и ядерные технологии»

координатор академик РАН В.А.Рубаков

Направление 1: «Теоретические исследования»

Пункт 1.1 Исследования проблем квантовой теории поля и физики элементарных частиц.

Руководитель проекта д.ф.-м.н. Красников Н.В.

Финансирование за 2011 год: 900 тыс. рублей

Основные результаты по проекту за 2011 год

Сформулирована аксиоматика некоммутативной квантовой теории поля. Вычислены сечения рождения солитон-антисолитонной пары в ряде двумерных моделей квантовой теории поля. Вычислены параметры смешивания нейтральных B_s -мезонов. Показано, что вклады мягких очарованных кварков в дифференциальные сечения распадов B -мезонов и угловые симметрии представляет источник основной теоретической неопределенности и их аккуратное вычисление позволяет сделать вывод о справедливости Стандартной модели и существенно ограничить существование возможной физики вне рамок Стандартной модели. Разработан новый метод, позволяющий количественно учесть эффекты КХД с высокой степенью точности. На основе данных эксперимента CAST для константы связи аксион-фотон получено ограничение $g_{a\gamma} < 2,17 \cdot 10^{-10} \text{ ГэВ}^{-1}$ в диапазоне масс аксиона $0,02 < m_a < 0,42 \text{ эВ}$.

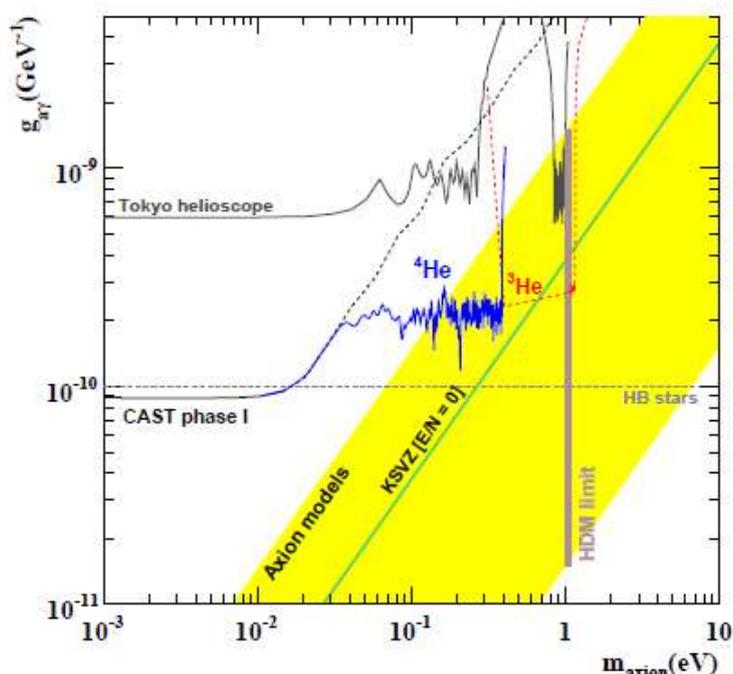


Рисунок 1 – Ограничение на массу аксиона и константу связи аксиона с двумя фотонами.

Список публикаций по проекту за 2011 год

- [1] Rubakov V., Levin A. Q-balls with scalar charges // *Mod.Phys.Lett.A*26: 409-413, 2011
- [2] Gninenko S. Resolution of puzzles from the LSND, KARMEN, and MiniBooNE experiments // *Phys.Rev.D*83: 015015, 2011
- [3] Garkusha A.V., Kataev A.L. The absence of QCD β -function factorization property of the generalized Crewther relation in the 't Hooft \bar{MS} -based scheme // *Phys.Lett.B*705: 400-404, 2011
- [4] Mannel T., Pecjak B.D. and Pivivarov A.A. Sum rule estimate of the subleading non-perturbative contributions to B_s - B_s mixing // *Eur.Phys.Journal C*71: 1607, 2011
- [5] Demidov S.V., Levkov D.G. Soliton pair creation in classical wave scattering // *JHEP* 1106: 016, 2011
- [6] Demidov S.V. and Levkov D.G. Soliton-Antisoliton Pair Production in Particle Collisions // *Phys.Rev.Lett.*107: 071601, 2011
- [7] Boos E.E., Demidov S.V., Gorbunov D.S. Invisible Higgs in weak bosons associative production with heavy quarks at LHC: probing mass and width // *Int.J.Mod.Phys. A*26: 3201-3218, 2011
- [8] Blas, D, Sibiryakov S. Technically natural dark energy from Lorentz breaking // *JCAP* 1107: 026, 2011
- [9] Bezrukov F., Gorbunov D., Shaposhnikov M. Late and early time phenomenology of Higgs-dependent cutoff // *JCAP* 1110: 001, 2011
- [10] Gorbunov D.S., Panin A.G. Scalaron the mighty: producing dark matter and baryon asymmetry at reheating // *Phys.Lett.B*700: 157-162, 2011
- [11] Berezin V. With Warm Regards from the Cold // *Int.J.Mod.Phys. D*20: 607-638, 2011
- [12] Berezin V.A. Classical analog of Quantum Schwarzschild black hole: local vs global, and the mystery of $\log 3$ // *Int.J.Mod.Phys. A*26: 161, 2011
- [13] Chetyrkin K.G. and Maier A. Massless correlators of vector, scalar and tensor currents in position space at orders α_s^3 and α_s^4 : explicit analytical results // *Nucl.Phys.B*844: 266-288, 2011
- [14] Vernov Yu.S. et al. Towards an Axiomatic Formulation of Noncommutative Quantum Field

Theory // J.Math.Phys.52: 032303, 2011

[15] Рубцов Г.И., Троицкий С.В. Какие элементарные частицы — самые энергичные в мире? // Природа №6: 11, 2011

[16] Boos H., Göhmann F., Klümper A., Nirov Kh.S., Razumov A.V. On the universal R-matrix for the Izergin-Korepin model // J.Phys.A44: 355202, 2011

[17] Ovchinnikov A.A. On the universal relations for the formfactors in 1D quantum liquids // Phys.Lett.A375: 2694-2698, 2011

[18] Spiridonov V.P. and Vartanov G.S. Elliptic hypergeometry of supersymmetric dualities // Commun.Math.Phys.304: 797-874, 2011

[19] Krasnikov N.V. Fields with continuously distributed mass // Тр. МИАН 272: 188–193, 2011

Программа фундаментальных исследований Отделения физических наук № 16 "Активные процессы и стохастические структуры во Вселенной"

Координатор академик РАН Ч.А.Варшалович

Руководитель проекта 2.3: д.ф.-м.н. В.И.Докучаев (ИЯИ РАН)

Финансирование за 2011 год: 100 тыс. рублей

Научные результаты по проекту за 2011 г.

1. Выполнены расчеты процессов образования сверхплотных сгустков темной материи вокруг замкнутых петель космических струн. Рассмотрена аннигиляция частиц темной материи в сгустках и путем сравнения с данными Fermi-LAT получены ограничения на параметры частиц и струн.
2. Найдены и исследованы устойчивые орбиты планетарного типа под горизонтом Коши черных дыр Керра и Керра-Ньюмана. Эти орбиты заключены полностью внутри черной дыры и не заканчиваются в центральной сингулярности.
3. Исследован эффект обратного влияния на метрику стационарной сферически-симметричной аккреции вещества на заряженную черную дыру у внешнего горизонта, а также у внутреннего горизонта Коши. Показано, что приближение пробной жидкости нарушается для экстремальных черных дыр.

Список публикаций по проекту

- [1]. V.S. Berezhinsky, V.I. Dokuchaev, Yu.N. Eroshenko, // Dense DM clumps seeded by cosmic string loops and DM annihilation, -2011. -JCAP. -12. -p.007.
- [2]. V. I. Dokuchaev, Yu. N. Eroshenko, // Accretion with back reaction -2011. -Phys. Rev. - D84. -p.124022.
- [3]. V. I. Dokuchaev. // Is there life inside black holes? -2011. -Class. Quantum Grav. -28. - p.235015.
- [4]. V. I. Dokuchaev and Yu. N. Eroshenko, // Supernovae - Optical Precursors of Short Gamma-Ray Bursts. Pis'ma v Astronomicheskii Zhurnal, -2011. -37, No. 2, pp. 102-109; -Astron. Lett. - 37. -p.83.
- [5]. V. S. Berezhinsky, V. I. Dokuchaev, Yu. N. Eroshenko, // Formation of Superdense Dark Matter Lumps at the Radiation-Dominated Cosmological Stage. Gravitation and Cosmology, - 2011 (принято в печать).
- [6] V. S. Berezhinsky, V. I. Dokuchaev, Yu. N. Eroshenko, M. Kachelriess, M. Aa. Solberg. // Superdense dark matter clumps from superheavy particle. -2011. $\dot{\Omega}$, -170. -p.102.
- [7] E. Babichev, V. Dokuchaev, Yu. Eroshenko, // Perfect fluid and scalar field in the Reissner-Nordström metric, -2011. -ZhETF. -139. -p.899. -JETP. -p.112, p.784.
- [8] V. I. Dokuchaev, // Life Inside Black Holes. Gravitation and Cosmology, -2011. (принято в печать),
- [9] V. Dokuchaev, V. Berezhinsky and Yu. Eroshenko, // Dark matter annihilation in the Galaxy. - 2011. Proc. 14th Lomonosov Conference on Elementary Particle Physics, Particle Physics on the eve of LHC, Moscow State University and JINR (Dubna), Russia, 19-25 August 2009. Ed. A. I. Studenikin, World Scientific, 2011, pp. 229-231.
- [10] В. Березинский, В. Докучаев и Ю. Ерошенко, // Формирование сверхплотных сгустков темной материи на космологической стадии радиационного доминирования. - 2011. -Proc. 14 Russian Grav. Conf. --- Intern. Conf. on Gravitation, Cosmology and Astrophys. Ulyanovsk State Pedagogical Univ. June 27-July 2
- [11] V. I. Dokuchaev, // Life inside black hole. -2011. Theses Proc. 14 Russian Grav. Conf. --- Intern. Conf. on Gravitation, Cosmology and Astrophys. Ulyanovsk State Pedagogical Univ. June 27-July 2, p. 121.

[12] В. Докучаев и Ю. Ерошенко, // Поиск сверхновых, предшествующих коротким гамма-всплескам (В. Докучаев, Ю. Ерошенко). -2011. -Proc. 14 Russian Grav. Conf. --- Intern. Conf. on Gravitation, Cosmology and Astrophys. Ulyanovsk State Pedagogical Univ. June 2-July 2

Барионные системы в киральных теориях; свойства барионов и ядер в топологических и иных солитонных моделях.

Руководитель темы: Копелиович Владимир Бенедиктович

Основные результаты за 2011 г.

В 2011 году продолжено изучение предсказаний топологических (киральных) солитонных моделей барионов и ядер и сравнение их с предсказаниями кварковых и других моделей частиц и ядер.

Исследована возможность применения теоретико-полевых методов к изучению нейтрон-антинейтронных осцилляций в ядрах. Это позволило получить новое ограничение на время осцилляции в вакууме из данных по стабильности дейтрона, полученных в нейтринной обсерватории Сэдбери (SNO). Результат опубликован в журнале Письма в ЖЭТФ.

Рассчитан спектр возбуждений барионных систем со странностью $S=-1$, барионные числа $B=2$ и 3 . Энергии основных состояний таких систем были рассчитаны ранее. Некоторые из полученных состояний могут быть интерпретированы как связанные или глубоко связанные состояния антикаона и соответствующего ядра. Статья опубликована в журнале Phys. Rev. C.

В основном закончена монография «Связанные состояния скирмионов». Подготовлено к печати в издательстве ИЯИ 2-е издание 1-й части курса «Введение в физику элементарных частиц», предназначенное студентам 3-го курса МФТИ, Факультет Проблем Физики и Энергетики.

Список публикации за 2011 г.

1. Vladimir Kopeliovich, Irina Potashnikova, // Examination of quantized multiskyrmions as possible nuclear bound states of antikaons. -2011. -Phys.Rev. -C83. -p.064302.
- 2.. Vladimir Kopeliovich, Irina Potashnikova, // Restriction on the neutron-antineutron oscillations from the SNO data on the deuteron stability. -2012. -Письма в ЖЭТФ -95. вып. 1 -p.3-7
3. В.Копелиович Доклад на сессии ОЯФ РАН 20-24 ноября 2011 Ограничение на нейтрон-антинейтронные осцилляции из данных SNO по стабильности дейтерия.
4. V.Kopeliovich, // Suppression of the $n\text{-}\bar{n}$ transitions in deuteron and heavier nuclei. Presented at 3-d International Workshop on Baryon and Lepton number violation (BLV-2011), Gatlinburg, Tennessee, USA, Sept. 22-24 2011;

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были сформулированы и направлены в Отделение Физических Наук РАН следующие важнейшие результаты, полученные в 2011 году в рамках **Направления:**

Указание на существование бозона Хиггса

Сотрудниками ИЯИ РАН внесён важный вклад в экспериментальные исследования на Большом адронном коллайдере на установках CMS, ALICE, LHC-b, связанные с поиском бозона Хиггса, суперсимметрии, тяжёлых нейтрино и кварк-глюонной материи. В эксперименте CMS на Большом адронном коллайдере произведён поиск бозона Хиггса на основе данных 2010-2011 годов и показано, что его масса не может превышать 127 ГэВ. Найден небольшой ожидаемый избыток над уровнем фона возможных продуктов распадов бозонов Хиггса, что можно трактовать как указание на существование бозона Хиггса с массой в районе 125 ГэВ.

Вклад очарованных кварков в распады В мезонов

Вычислены параметры смешивания нейтральных B_s мезонов. Показано, что вклады мягких очарованных кварков в дифференциальные сечения распадов B мезонов и угловые симметрии представляет источник основной теоретической неопределенности и их аккуратное вычисление позволяет сделать вывод о справедливости Стандартной Модели и существенно ограничить существование возможной физики вне рамок Стандартной Модели. Разработан новый метод, позволяющий количественно учесть эффекты квантовой хромодинамики с высокой степенью точности

Ограничение на массу правого W бозона

По экспериментальным данным, полученным в 2010 и 2011 годы на детекторе CMS LHC CERN при полной энергии сталкивающихся протонов 7 ТэВ и интегральной светимости 240 пб⁻¹, произведён поиск правого W бозона и тяжёлых нейтрино, которые естественно возникают в лево-право симметричном обобщении Стандартной модели. Показано, что экспериментальные данные согласуются с предсказаниями Стандартной модели, и получено новое ограничение сверху на массу правого W бозона 1700 ГэВ, в 2 раза более сильное, чем полученное ранее на ускорителе TEVATRON.

Ограничение времени осцилляции нейтрон-антинейтрон из данных SNO по стабильности дейтерия

Из новых данных нейтринной обсерватории в Сэдбери (SNO) по стабильности дейтерия получено ограничение на время осцилляции нейтрон-антинейтрон в вакууме. Время жизни дейтрона, согласно SNO, превышает $3 \cdot 10^{31}$ лет, откуда время перехода нейтрон-антинейтрон в вакууме превышает $1.8 \cdot 10^8$ сек, что вдвое превышает ограничение, полученное в эксперименте с нейтронами от реактора в Гренобле, но меньше результата, полученного из данных по стабильности кислорода (Super-Kamiokande).

Спектр возбуждений лёгких гиперядер в топологической солитонной модели

Рассчитан спектр возбуждений гиперядер со странностью -1 и барионными числами 2 и, частично, 3 в рамках киральной солитонной модели. Ряд таких состояний может быть интерпретирован как глубоко связанные состояния антикаонов и ядер.

Космологические неоднородности плотности энергии

Получены предсказания для свойств космологических неоднородностей плотности энергии для механизмов их генерации, использующих конформную инвариантность, которая могла иметь место в самой ранней Вселенной. Показано, что для таких механизмов характерны статистическая анизотропия случайного поля первичной неоднородности. Это позволит на основе будущих наблюдений отличить конформные механизмы от других моделей типа модели космической инфляции

Подтверждено существование обрезания Грейзена-Зацепина-Кузьмина

Подтверждено существование обрезания Грейзена-Зацепина-Кузьмина в спектре космических лучей сверхвысоких энергий по данным установки Telescope Array

Обнаружение высокоэнергичного гамма-излучения от четырёх гамма-всплесков по данным Fermi LAT

Проведен поиск гамма-излучения высоких энергий, связанного с 581 известными гамма-всплесками, находящимися в поле зрения спутника Fermi LAT. При сравнении с ожидаемым фоном числа фотонов с энергией выше 100 МэВ и выше 1 ГэВ, пришедших за первые 1500 секунд с момента регистрации всплеска из той же пространственной области, обнаружено высокоэнергичное излучение от 19 всплесков, четыре из которых наблюдаются в данном энергетическом диапазоне впервые.