

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований
Российской академии наук

«УТВЕРЖДАЮ»

Академик-секретарь Отделения физических наук РАН
академик И.А.Щербаков

« » _____ 2014 года

УДК 539.12.01

ОТЧЁТ

о научно-исследовательской работе по направлению
«Разработка теоретических проблем физики элементарных частиц,
фундаментальных взаимодействий и космологии»
за 2013 год

Номер государственной регистрации темы: 01201050399

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

Москва 2014

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

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

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

РЕФЕРАТ

Отчет: 19 с., 38 источников.

РАСШИРЕНИЯ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ, КОСМОЛОГИЯ, АСТРОФИЗИКА, ТЕОРИИ ВЕЛИКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ, МОДЕЛИ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ, ТЁМНАЯ ЭНЕРГИЯ, ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ, ИНФЛЯЦИЯ, ИНТЕГРИРУЕМЫЕ МОДЕЛИ.

Объектом исследования являются модели физики элементарных частиц за пределами Стандартной модели, в частности суперсимметричные теории и теории с дополнительными пространственными измерениями, расширения Стандартной модели, содержащие стерильные нейтрино, в рамках которых можно интерпретировать экспериментальные данные об осцилляциях нейтрино и тёмной материи, модифицированные теории гравитации, в том числе теории с нарушенной Лоренц-инвариантностью, модели физики и астрофизики космических лучей сверхвысоких энергий, методы Монте-Карло моделирования атмосферных ливней, процессы, происходившие в ранней Вселенной, такие как процессы фазового перехода, генерации барионной асимметрии, образования структур, процессы, происходившие на инфляционной стадии.

Цель работы - построение новых теорий и моделей физики высоких энергий, способных решить широкий круг проблем современной теоретической физики, возникающих на стыке сразу нескольких направлений, таких как физика элементарных частиц, астрофизика и космология, а также обеспечение достижения научных результатов мирового уровня, подготовка и закрепление в сфере науки и образования научных и научно-педагогических кадров, формирования эффективных и жизнеспособных научных коллективов.

Основным инструментом для исследования процессов и явлений в физике элементарных частиц и космологии был использован аппарат квантовой теории поля, квазиклассическое приближение, методы теории симметрий а также суперсимметрий. В рамках НИР этот математический аппарат был существенно развит и дополнен новыми методами, позволяющими получить количественные характеристики экспериментально наблюдаемых величин, таких как время жизни частиц, сечение рассеяния, вероятность туннельного прохождения и так далее. При исследовании как равновесных, так и неравновесных процессов, происходивших в ранней Вселенной, были использованы методы квантовой теории поля при конечных температурах, которые являются синтезом методов квантовой теории поля и статистической физики. Для решения задач, не поддающихся аналитическому исследованию, были использованы пакеты программ, такие как LatticeEasy,

CompHEP, microOMEGAs, HYDJET++, CASCADE, PYTHIA, NMSSMTools и другие.

В процессе выполнения НИР были получены следующие основные результаты:

а) Исследована возможность того, что часть тёмной материи составляют частицы с дробным электрическим зарядом (миллизаряженные частицы). На основании данных обсерватории Planck получено наиболее сильное ограничение на реликтовую плотность таких частиц. Показано, что реликтовая плотность миллизаряженных частиц может составлять не более 1% от плотности холодной тёмной материи (Г.И. Рубцов).

б) Из анализа экспериментальных данных Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН по измерению потока нейтрино высоких энергий было поставлено новое ограничение на характеристики другого кандидата на роль частиц тёмной материи, слабо взаимодействующих массивных частиц (WIMPs), которые могут захватываться Солнцем и затем аннигилировать между собой, рождая в том числе и нейтрино (С.В. Демидов).

в) Впервые в мире получено статистически значимое свидетельство существования космических фотонов с энергиями выше 1000 ТэВ. Этот результат основан на анализе архивных данных мюонных детекторов установки ШАЛ-МГУ (М.В. Либанов, С.В. Троицкий).

г) Впервые в мире в рамках низкоэнергетической модели, описывающей электромагнитный формфактор заряженного пи-мезона, был количественно описан выход на асимптотику при больших переданных импульсах. Показано, что в рамках выбранной успешной модели предсказываемая квантовой хромодинамикой асимптотика воспроизводится без подстройки параметров (С.В. Троицкий).

Содержание

	Стр.
Реферат	3
Введение	6
Основные результаты	7
Заключение	14
Список использованных источников	16

Введение

В настоящее время исследование теоретических проблем физики частиц и космологии и в особенности их взаимосвязи является одной из наиболее актуальных проблем современной физики. Это связано с новыми экспериментальными возможностями, в частности, с работой Большого адронного коллайдера. Эксперименты на Большом адронном коллайдере позволят не только решить ряд принципиальных вопросов физики элементарных частиц (проблема возникновения масс и нарушение электрослабой симметрии), но и найти связи с астрофизикой и космологией (структура тёмной материи).

Учёным отдела теоретической физики ИЯИ РАН принадлежит ряд пионерских результатов в этих направлениях (эффект Зацепина-Кузмина, непертурбативный механизм возникновения барионной асимметрии Вселенной, новые методы многопетлевых вычислений, правила сумм в КХД и другие). В отделе работает высококвалифицированный штат исследователей, среди которых один академик РАН и два член-корреспондента РАН. Предполагается, что исследования по этой тематике будут развивать ранее полученные результаты в этих направлениях.

В плане исследования космологических и астрофизических аспектов физики частиц исследования будут сосредоточены на теоретическом анализе проблем скрытой массы и тёмной энергии во Вселенной и их возможной взаимосвязи с экспериментальными исследованиями на Большом адронном коллайдере. Особое внимание будет уделено разработке модифицированных теорий гравитации и получению их предсказаний в области сверхбольших и сверхмалых расстояний. Также планируется развитие теории генераций космологических возмущений в ранней Вселенной. Будут продолжены работы по разработке теории происхождения космических лучей, поиск наблюдаемых эффектов от их удаленных источников.

По физике элементарных частиц одно из основных направлений исследований – анализ и обработка экспериментальных данных Большого адронного коллайдера с целью поиска новой физики вне рамок Стандартной модели, в частности, исследование проблемы экспериментального обнаружения правого W -бозона и тяжёлого нейтрино. Также будут продолжены исследования свойств барионных и мезонных резонансов методами КХД правил сумм, в частности, вычисления параметров смешивания B -мезонов и их ширин распадов на основе использования конечноэнергетических правил сумм и их модификаций. Будут продолжены исследования по влиянию эффектов ренормализации на увеличение экспериментальных данных по глубоконеупругому лептон-адронному рассеянию.

Основные результаты

Исследована возможность того, что часть тёмной материи составляют частицы с дробным электрическим зарядом (миллизаряженные частицы). На основании данных обсерватории Planck получено наиболее сильное ограничение на реликтовую плотность таких частиц. Показано, что реликтовая плотность миллизаряженных частиц может составлять не более 1% от плотности холодной тёмной материи [1].

Исследованы корреляции направлений прихода наиболее энергичных событий Telescope Array с положениями внегалактических объектов из разных каталогов. Статистически значимых корреляций не обнаружено [2,3,4].

Получено ограничение на поток фотонов с энергиями выше 10 ЭэВ по данным пяти лет наблюдения наземной решётки эксперимента Telescope Array [5,6]. Полученное ограничение - наиболее сильное в северном полушарии. Получено ограничение на поток нейтрино с энергиями выше 100 эВ по данным эксперимента Telescope Array [7]. Разработан новый метод определения химического состава по наблюдениям наземной решётки, представлены первые результаты на основе данных Telescope Array [8].

Показано, что возможная в будущем регистрация нескольких фотонов с энергиями порядка 10 ЭэВ позволит установить наиболее сильные модельно независимые ограничения на параметры нарушения Лоренц-инвариантности [9]. В трудах конференции опубликован обзор текущего состояния дел в исследовании фотонов и нейтрино ультравысоких энергий [10].

Построен спектр космических лучей ультравысоких энергий на основании данных наземной решётки Telescope Array за 4 года наблюдения [11] и на основании флуоресцентного телескопа в моно-режиме [12]. Полученные спектры находятся во взаимном согласии. Проведен анализ моделей новой физики с точки зрения наблюдательных проявлений в эксперименте Tunka-HiSCORE. В частности, исследованы модели с нарушением Лоренц-инвариантности, модели сверхтяжёлой тёмной материи и модели с аксионоподобными частицами [13,14].

Исследована статистическая анизотропия спектра первичных возмущений по данным WMAP за 9 лет наблюдения, получено сильнейшее ограничение [15-17].

Квазиклассическим методом был описан процесс рождения высокоэнергетичным фотоном электрон-позитронной пары в магнитном поле Земли как в стандартном случае (данное вычисление было сделано в литературе другими методами), так и в случае моделей с

нарушением Лоренцевой инвариантности. Данный процесс является непертурбативным, поэтому для вычисления был использован квазиклассический метод "инстантонов на мировых линиях". Было показано, что вероятность распада фотона в магнитном поле экспоненциально чувствительна к нарушению Лоренц-инвариантности в интересной области параметров, была рассчитана ширина процесса в данном приближении. Показана возможность строго ограничить параметры Лоренц-нарушения из будущих наблюдений космических лучей сверхвысоких энергий [18].

Даны количественные проверяемые предсказания, позволяющие протестировать построенную ранее авторами (С.В. Троицким, М.В. Либановым) модель иерархии фермионных масс, основанную на одном фермионе поколения в пространстве с двумя дополнительными измерениями. Эта модель – на сегодняшний день единственная в мире, в которой один и тот же механизм отвечает за естественную генерацию принципиально разных иерархических структур масс и смешиваний, возникающих среди заряженных фермионов и среди нейтрино; разница между этими двумя случаями обусловлена тем, что масса нейтрино майорановская, а у заряженных частиц – дираковская. Наиболее интересные предсказания относятся к нейтринным экспериментам, однако ряд нетривиальных проверок возможен и на коллайдерах, и в поисках редких процессов [19, 20].

Впервые в мире получено статистически значимое свидетельство существования космических фотонов с энергиями выше 1000 ТэВ. Этот результат основан на анализе архивных данных мюонных детекторов установки ШАЛ-МГУ. Среди широких атмосферных ливней с числом частиц выше 2×10^7 был обнаружен избыток событий с аномально низким содержанием мюонов с энергиями выше 10 ГэВ. Получена оценка доли фотонов, $(0.43 \pm 0.12 - 0.11)\%$, среди первичных частиц космического излучения с энергиями выше 5.4×10^{16} эВ. Изучено распределение направлений прихода фотоподобных ливней и показано, что оно не даёт возможности определить наиболее вероятный сценарий происхождения таких фотонов [21].

Впервые в мире в рамках низкоэнергетической модели, описывающей электромагнитный формфактор заряженного пи-мезона, был количественно описан выход на асимптотику при больших переданных импульсах. Показано, что в рамках выбранной успешной модели предсказываемая квантовой хромодинамикой асимптотика воспроизводится без подстройки параметров. Требуемая асимптотика – как функциональная форма, так и численный коэффициент, – получаются автоматически при выключении эффективной массы кварка. Показано, что современные экспериментальные данные по

формфактору пи-мезона ограничивают снизу область переданных импульсов, при которых выход на асимптотику возможен, и указывают на существенные непертурбативные вклады в эффективную массу кварка вплоть до значений квадрата переданного импульса порядка 7 ГэВ^2 , что значительно больше масштаба сильной связи квантовой хромодинамики [22].

Выполнена работа по постановке ограничений на характеристики частиц тёмной материи по данным нейтринных событий, полученных на Баксанском подземном скинтилляционном телескопе. Используя оригинальный численный код, проведено моделирование потоков мюонов и нейтрино высоких энергий (1-1000 ГэВ), возникающих в результате аннигиляции тёмной материи в Солнце для следующих каналов аннигиляции $b\bar{b}$, W^+W^- и $\tau^+\tau^-$. Поскольку поиск сигнала велся в направлении на Солнце, была проведена оптимизация по величине угла конуса вокруг Солнца в зависимости от массы тёмной материи и канала аннигиляции, в котором собираются сигнальные и фоновые события - раствор конуса выбирался из расчёта получить максимально возможное ограничение на поток мюонов. Кроме того была проведена тщательная оценка теоретических неопределённостей, которые влияют на ограничения на мюонный поток и на ограничения на сечения упругого взаимодействия частиц тёмной материи с нуклонами. Были изучены неопределённости из-за параметров нейтринных осцилляций и сечений взаимодействия нейтрино на нуклонах. В результате были получены ограничения на потоки мюонов и нейтрино от аннигиляции частиц тёмной материи в Солнце для вышеупомянутых каналов аннигиляции, а также на скорость этой аннигиляции. В предположении равновесия процессов захвата и аннигиляции частиц тёмной материи в Солнце эти ограничения были пересчитаны в ограничения на спин-зависимое и спин-независимое сечения упругого рассеяния частиц тёмной материи на нуклонах. Полученные ограничения сравнимы с результатами, полученными другими экспериментами на нейтринных телескопах: IceCube, ANTARES и SuperKamiokande, а для канала $\tau^+\tau^-$ они являются лучшими из опубликованных на данный момент в диапазоне масс частиц тёмной материи 10-50 ГэВ [23-24]. Начата работа по получению аналогичных ограничений на модели тёмной материи из поисков ее аннигиляции в Солнце по данным Байкальского нейтринного телескопа НТ-200. В настоящее время заканчивается моделирование нейтринного сигнала от аннигиляции тёмной материи при массах частиц тёмной материи больше 1 ТэВ. В данный анализ помимо стандартных каналов аннигиляции $b\bar{b}$, W^+W^- и $\tau^+\tau^-$ также рассматриваются аннигиляции в пару нейтрино-антинейтрино.

Проведена работа по изучению суперсимметричных моделей с низким масштабом нарушения суперсимметрии. В таких моделях, помимо обычного суперсимметричного

спектра на электрослабом масштабе присутствуют дополнительные скалярные степени свободы - сголдстино. Изучено возможное смешивание сголдстино с хиггсовским сектором в минимальной модели в режиме отщепления (т.е. когда все хиггсовские бозоны, кроме стандартного бозона Хиггса тяжёлые). Показано, что смешивание с легчайшим бозоном Хиггса может быть значительным, особенно в случае, когда его масса близка к массе скалярного сголдстино. Проведено сканирование по пространству параметров модели с учётом современных экспериментальных ограничений с целью поиска феноменологически приемлемых моделей. Изучена возможность возникновения дополнительного вклада в массу легчайшего хиггсовского бозона МССМ за счёт взаимодействия со сголдстино. Изучено влияние смешивания на феноменологию легчайшего бозона Хиггса и феноменологию скалярного сголдстино [25].

Была исследована стабильность Q-шаров в некотором классе обобщений Стандартной модели [26].

Из анализа экспериментальных данных Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН по измерению потока нейтрино высоких энергий было поставлено новое ограничение на характеристики кандидатов на роль частиц тёмной материи, состоящих из слабовазаимодействующих массивных частиц (WIMPs), которые могут захватываться Солнцем и затем аннигилировать между собой, рождая в том числе и нейтрино [23,24]. Для одного из широко обсуждаемых вариантов новой физики, моделей с дополнительными пространственными измерениями, произведена оценка чувствительности [27] событий с потерей энергии (интерпретируемая как выход частиц в дополнительное измерение) к модельным параметрам, и проведено исследование [28] теоретической состоятельности подкласса моделей.

Предложен [29] эксперимент и представлено [30] его теоретическое и предварительное техническое обоснование для проверки модели с тремя лёгкими стерильными нейтрино (новые гипотетические частицы), содержащее объяснение всех трёх основных проблем Стандартной модели: нейтринных осцилляций, тёмной материи, отсутствия антивещества. Предложение рассматривается в программном комитете CERN, поскольку реализация предполагает использование пучка SPS CERN протонов с энергией 400 ГэВ, столкновение которых на мишени приводит к рождению стерильных нейтрино; их последующие распады и будут сигнальными событиями. Была также проведена [31] оценка чувствительности, которую требуется достичь в экспериментах такого типа, чтобы гарантированно найти (или уверенно закрыть возможность) лёгкие стерильные нейтрино в

более широком классе моделей, где они ответственны только за нейтринные осцилляции, а тёмная материя и отсутствие вещества объясняются иной новой физикой. Из анализа данных эксперимента MiniBooNE поставлены [32] новые ограничения на электромагнитные свойства стерильных нейтрино. Наконец, две работы посвящены построению и исследованию свойств новых инфляционных моделей, обеспечивающих стадию интенсивного расширения в самом начале развития Вселенной, необходимую для понимания, почему современная Вселенная пространственно плоская, однородная и изотропная, и для создания небольших первичных неоднородностей в распределении материи, являющихся основаниями современных галактик и скоплений галактик. Для инфляционной модели с лёгкой новой частицей (инфлатоном) получены [33] предсказания для космологических параметров и изучен вопрос о её проверке в экспериментах на современных коллайдерах в столкновении пучков электронов и позитронов и на Большом адронном коллайдере. В рамках другой инфляционной модели предложено [34] объяснение наметившейся в анализе современных космологических данных аномалии, получившей в литературе название тёмной радиации (гипотетическая компонента Вселенной, по свойствам напоминающая фотонную компоненту: возможно, новые безмассовые частицы).

Было завершено исследование квазиклассической неустойчивости вакуума в теории Калуцы-Клейна с топологией $R^4 \times S^1$. Хорошо известно, что вакуум данной теории неустойчив к распаду в т.н. "bubble of nothing", в то же время, известен гипотетический механизм стабилизации вакуума с помощью фермионов с твистованным условием периодичности по компактной координате. Данный механизм основан на качественных топологических аргументах, в то время как его явное количественное подтверждение до сих пор отсутствовало. Нами было проведено предварительное исследование данной гипотезы. В рамках данного исследования был вычислен однопетлевой вклад фермионов в вероятность распада вакуума в упрощённой двумерной модели с топологией $R^1 \times S^1$. Было показано, что вопреки данной гипотезе, вакуум остается неустойчивым при любом условии периодичности фермионов. Этот результат рассматривается нами как указание на то, что в исходной $R^4 \times S^1$ теории гипотеза о подавлении распада вакуума твистованными фермионами также не верна [35].

Был рассмотрен другой сценарий ранней Вселенной с конформной симметрией, альтернативный инфляции. Это модель псевдоконформной Вселенной с длинной промежуточной стадией плоской эволюции после конформного скатывания до начала разогрева Вселенной. В этой модели был найден трехточечный коррелятор фазы скалярного поля. Выяснено, какой специфический вклад в негауссовость в такой модели вносит

дополнительная стадия. Этот вклад на самом деле практически не зависит от конкретной модели, а является следствием плоской эволюции. Коррелятор был рассчитан в импульсном представлении, а затем переведен в гармоническое, поскольку именно оно фактически наблюдается. По полученным теоретическим результатам сделаны предсказания для телескопов, измеряющих негауссовость космического микроволнового фона. Основными особенностями предсказанной трехточечной функции являются практически постоянная амплитуда осцилляций и усиление в пределе плоского треугольника. Кроме того, абсолютное значение негауссовости оказывается подавленным длительностью плоской стадии. Так что в таком сценарии трехточечная функция космического микроволнового фона будет наблюдаема при относительно короткой дополнительной стадии [36].

На языке фейнмановских диаграмм сформулирован конформно-инвариантный предел четырёхмерной квантовой электродинамики в рамках теоретико-возмущенческого разложения по константе связи. Изучено следствие конформной симметрии для трёхточечных функций Грина несинглетных аксиально-векторных и двух векторных фермионных токов, синглетного аксиально-векторного и двух несинглетных векторных токов и векторного синглетного токов. Выведены справедливые во всех порядках теории возмущений тождественные соотношения между связанными конформной симметрии квантово-электродинамическими вкладами в ряды теории возмущений для правил сумм глубоконеупругого рассеяния нейтрино на нуклонах и извлекаемых из экспериментальных данных ускорителя CEBAF (Лаборатория имени Джеферсона, США) правил сумм глубоконеупругого рассеяния поляризованных лептонов на нуклонах. Данные соотношения позволяют проверять корректность сложных компьютерных аналитических вычислений этих вкладов, выполненных в работах Ларина-Ритбергера и Вермасерена в третьем порядке теории возмущений и Байкова-Четыркина-Кюна в четвёртом порядке теории возмущений [37].

Отмечено что для XXZ квантовой спиновой цепочки существуют собственные состояния или решения уравнений Бете отвечающие комплексным значениям параметров, а именно параметрам с мнимой частью равной $\pi/2$. Данные состояния отличаются от ранее хорошо изученных состояний с комплексными параметрами и в отличие от состояний с дырками соответствуют возбуждениям типа частиц. Вычислена энергия соответствующих возбуждений а также найден предел соответствующих состояний при стремлении параметра анизотропии цепочки к 1 (в пределе XXX цепочки). Показано существования гладкого предела к состояниям XXX цепочки, для которой комплексных решений данного типа не существует. Изучена эволюция

состояний с комплексными параметрами при изменении параметра анизотропии цепочки для произвольного фактора заполнения. Также предложена новая так называемая "частично-дырочная" симметрия для XXZ цепочки, связывающая состояния с одинаковой намагниченностью построенные из двух различных псевдовакуумных состояний [38].

Заключение

Основные результаты за 2013 год:

а) Исследована возможность того, что часть тёмной материи составляют частицы с дробным электрическим зарядом (миллизаряженные частицы). На основании данных обсерватории Planck получено наиболее сильное ограничение на реликтовую плотность таких частиц. Показано, что реликтовая плотность миллизаряженных частиц может составлять не более 1% от плотности холодной тёмной материи (Г.И. Рубцов).

б) Из анализа экспериментальных данных Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН по измерению потока нейтрино высоких энергий было поставлено новое ограничение на характеристики другого кандидата на роль частиц тёмной материи, слабовазаимодействующих массивных частиц (WIMPs), которые могут захватываться Солнцем и затем аннигилировать между собой, рождая в том числе и нейтрино (С.В. Демидов).

в) Впервые в мире получено статистически значимое свидетельство существования космических фотонов с энергиями выше 1000 ТэВ. Этот результат основан на анализе архивных данных мюонных детекторов установки ШАЛ-МГУ (М.В. Либанов, С.В. Троицкий).

г) Впервые в мире в рамках низкоэнергетической модели, описывающей электромагнитный формфактор заряженного пи-мезона, был количественно описан выход на асимптотику при больших переданных импульсах. Показано, что в рамках выбранной успешной модели предсказываемая квантовой хромодинамикой асимптотика воспроизводится без подстройки параметров (С.В. Троицкий).

Данные результаты являются результатами мирового уровня в области теоретической физики.

В 2014 году планируется выполнить следующие работы:

а) Расчётно-теоретические исследования эволюции Вселенной на ранних этапах с целью получения экспериментально проверяемых результатов. Расчётно-теоретические работы по извлечению ограничений на параметры новой физики из астрофизических данных.

б) Расчётно-теоретические исследования по разработке и применению многопетлевых методов вычислений в квантовой теории поля и их применение для расчётов процессов

сильного рождения в квантовой хромодинамике и электрослабого рождения на Большом адронном коллайдере.

в) Теоретическое изучение свойств моделей физики вне рамок Стандартной модели с целью определения их возможной проверки на современных ускорителях типа Большого адронного коллайдера. Расчёт эффектов от новой физики для редких распадов K -, D – и B – мезонов.

г) На основании поступающих данных эксперимента Telescope Array и его низкоэнергетического расширения TALE - построение спектра и определение химического состава и происхождения потенциальных источников космических лучей в диапазоне энергий от 10^{17} эВ до 10^{20} эВ и выше. Исследования области перехода галактической к внегалактической компоненте космических лучей. Исследования сечения взаимодействия протонов и гамма-квантов ультравысоких энергий в атмосфере.

Список источников

- 1 A.D. Dolgov, S.L. Dubovsky, G.I. Rubtsov, I.I. Tkachev, Constraints on millicharged particles from Planck, Phys.Rev. D88 (2013) 117701
- 2 T. Abu-Zayyad ... V. Kuzmin, G. Rubtsov, I. Tkachev, S. Troitsky .. et al, Correlations of the Arrival Directions of Ultra-high Energy Cosmic Rays with Extragalactic Objects as Observed by the Telescope Array Experiment, Astrophys.J. 777 (2013) 88.
- 3 Г.И. Рубцов / Обзор результатов по анизотропии направлений прихода космических лучей ультравысоких энергий, $E > 10^{19}$ эВ // 421-е заседание семинара лаборатории Нейтринной астрофизики высоких энергий ИЯИ РАН, Москва, 15 февраля 2013 г.
- 4 Г.И. Рубцов / Статус наблюдений космических лучей предельно высоких энергий и поиск новой физики // семинар ЛТФ ОИЯИ, Дубна, 14 марта 2013г.
- 5 T. Abu-Zayyad ... D. Gorbunov, V. Kuzmin, G. Rubtsov, I. Tkachev, S. Troitsky .. et al, Upper limit on the flux of photons with energies above 10^{19} eV using the Telescope Array surface detector, Phys.Rev. D88 (2013) 112005
- 6 G.I.Rubtsov et al [Telescope Array collaboration] "Search for ultra-high energy photons and neutrinos using Telescope Array surface detector" труды конференции International Symposium on future Directions in UHECR Physics (UHECR2012) 13-16 Feb 2012. Geneva, Switzerland, EPJ Web Conf. 53 (2013) 05001
- 7 Г.И. Рубцов, С.В. Троицкий и др. от имени коллаборации Telescope Array / Search for ultra-high energy photons and neutrinos using the Telescope Array scintillator array data // 33-ая международная конференция по космическим лучам (ICRC 2013) Рио-де-Жанейро, 2-9.07.2013.
- 8 С.В. Троицкий, Г.И. Рубцов, И.И. Ткачев и др. от имени коллаборации Telescope Array / Primary mass composition study with the Telescope Array surface detector // 33-ая международная конференция по космическим лучам (ICRC 2013) Рио-де-Жанейро, 2-9.07.2013.
- 9 Рубцов Г.И., Сатунин П.С., Сибиряков С.М. / Ultra-high energy photons and the tests of Lorentz-invariance // Международная конференция "25-ая встреча в Блуа по физике частиц и космологии", устный доклад, Блуа, Франция, 26-31.05.2013

10 J. Alvarez-Muniz, M. Risse, G.I. Rubtsov, B.T. Stokes "Review of the Multimessenger Working Group at UHECR-2012 " труды конференции International Symposium on future Directions in UHECR Physics (UHECR2012) 13-16 Feb 2012. Geneva, Switzerland, EPJ Web Conf. 53 (2013) 01009, arXiv:1306.4199.

11 T. Abu-Zayyad ... V. Kuzmin, G. Rubtsov, I. Tkachev, S. Troitsky .. et al, The Cosmic Ray Energy Spectrum Observed with the Surface Detector of the Telescope Array Experiment *Astrophys.J.* 768 (2013) L1

12 T. Abu-Zayyad ... V. Kuzmin, G. Rubtsov, I. Tkachev, S. Troitsky .. et al, The Energy Spectrum of Ultra-High-Energy Cosmic Rays Measured by the Telescope Array FADC Fluorescence Detectors in Monocular Mode, *Astroparticle Physics* 48 (2013) 13.

13 M. Tluczykont, ... P.S. Satunin, G.I. Rubtsov et al (Tunka-HiSCORE collaboration) / HiSCORE: The hundred-i square-km cosmic Origin explorer // *AIP Conf.Proc.* 1505 821-824 (2012).

14 Г.И. Рубцов / Обсерватория Тунка-HiSCORE и физика частиц // семинар отдела частиц сверхвысоких энергий НИИЯФ МГУ, Москва, 14 февраля 2013 г.

15 Рубцов Г.И. / Statistical anisotropy of CMB as a probe of conformal rolling scenario // Конференция молодых ученых фонда "Династия", стендовый доклад, Москва, 15-16.04.2013

16 Рубцов Г.И. /Testing conformal rolling scenario with the statistical anisotropy of CMB // Международное рабочее совещание "Hot Topics in Modern Cosmology", пленарный доклад, Каржез, Франция, 6-11.05.2013

17 Рубцов Г.И. / Обзор космологических результатов спутника Planck, семинар отдела частиц сверхвысоких энергий НИИЯФ МГУ, Москва, 23 мая 2013 г.

18 Petr Satunin / Width of photon decay in a magnetic field: Elementary semiclassical derivation and sensitivity to Lorentz violation // *Phys. Rev. D* 87, 105015 (2013)

19 S. Troitsky, J.-M. Frere, M. Libanov and S. Mollet / Neutrino hierarchy and fermion spectrum from 6D // International Solvay Workshop "Facing the scalar sector", Brussels, May 29-31, 2013

20 С.В. Троицкий / Космические частицы с энергиями выше 10¹⁹ эВ: краткий обзор результатов // *Успехи физических наук*, т. 183, 323–330 (2013)

- 21 J.-M. Frère, M. Libanov, S. Mollet, S. Troitsky / Neutrino hierarchy and fermion spectrum // Journal of high- energy physics, v. 1308, 078 (2013)
- 22 Yu. A. Fomin, N.N. Kalmykov, G.V. Kulikov, V.P. Sulakov, S.V. Troitsky / Estimate of the fraction of primary photons in the cosmic-ray flux at energies $\sim 10^{17}$ eV from the EAS-MSU experiment data // Журнал экспериментальной и теоретической физики, т. 144, 1153-1164 (2013)
- 23 M.M. Boliev, S.V. Demidov, S.P. Mikheyev, O.V. Suvorova / Search for muon signal from dark matter annihilations in the Sun with the Baksan Underground Scintillator Telescope for 24.12 years // JCAP09(2013)019.
- 24 O.V.Suvorova, M.M.Boliev, S.V.Demidov, S.P.Mikheev / Upper limit on the cross section for elastic neutralino-nucleon scattering in a neutrino experiment at the Baksan Underground Scintillator Telescope" // Phys.Atom.Nucl. 76, p.1367-1376 (2013)
- 25 K. Astapov, S.V. Demidov, Implications of Higgs-sgoldstino mixing, PoS(QFTHEP 2013)090
- 26 I.E. Gulamov (Moscow State U.), E. Ya. Nugaev (Moscow, INR), M.N. Smolyakov (SINP, Moscow) // Analytic Q-ball solutions and their stability in a piecewise parabolic potential // Published in Phys.Rev. D87 (2013) 085043
- 27 D.V. Kirpichnikov / On cross-section computation in the brane-world models // e-Print: arXiv:1310.5577 [hep-ph]
- 28 D.V. Kirpichnikov / IR properties of one loop corrections to brane-to-brane propagators in models with localized vector bosons // Phys.Rev. D88 (2013) 125018
- 29 S.N. Gninenko, D.S. Gorbunov (Moscow, INR), M.E. Shaposhnikov (ITPP, Lausanne) / Search for GeV-scale sterile neutrinos responsible for active neutrino oscillations and baryon asymmetry of the Universe // Adv.High Energy Phys. 2012 (2012) 718259
- 30 W. Bonivento (INFN, Cagliari & CERN), A. Boyarsky (Leiden U.), H. Dijkstra (CERN), U. Egede (Imperial Coll., London), M. Ferro-Luzzi, B. Goddard (CERN), A. Golutvin (Imperial Coll., London), D. Gorbunov (Moscow, INR), R. Jacobsson, J. Panman (CERN) et al. / Proposal to Search for Heavy Neutral Leptons at the SPS // e-Print: arXiv:1310.1762 [hep-ex]
- 31 Dmitry Gorbunov, Alexander Panin / On the minimal active-sterile neutrino mixing in seesaw type I mechanism with sterile neutrinos at GeV scale // e-Print: arXiv:1312.2887

- 32 Alexander Radionov (Moscow, INR & Moscow State U.) / Constraints on electromagnetic properties of sterile neutrinos from MiniBooNE results // Published in Phys.Rev. D88 (2013) 015016
- 33 F. Bezrukov (Connecticut U. & Brookhaven), D. Gorbunov (NSI, Moscow & Moscow, MIPT) / Light inflaton after LHC8 and WMAP9 results // JHEP 1307 (2013) 140
- 34 Dmitry Gorbunov (Moscow, INR & Moscow, MIPT), Anna Tokareva (Moscow, INR & Moscow State U.) / Scale-invariance as the origin of dark radiation? // e-Print: arXiv:1307.5298 [astro-ph.CO]
- 35 В.А. Рубаков, М.Ю. Кузнецов / Фермионы и распад вакуума Калуцы–Клейна: упрощенная модель // Теоретическая и математическая физика, т. 175:1, 50–61 (2013)
- 36 S. Mironov, S. Ramazanov, V. Rubakov / Effect of intermediate Minkowskian evolution on CMB bispectrum // arXiv:1312.7808
- 37 A.L. Kataev (INR RAS) and K.V. Stepanyantz (Phys. Dep. MSU) / NSVZ scheme with the higher derivative regularization for $N=1$ SQED // Nucl. Phys.B, 875, (2013) 459-48
- 38 A.A.Ovchinnikov / On the particle excitations in the XXZ spin chain // Phys.Lett. A 377, 3067-3070, 2013