

Лаборатория электрослабых и новых взаимодействий ОЭФВЭ НИИЯФ МГУ
Основные результаты полученные в 2019 году.

Исследования проводятся в рамках НИР:

бюджетная тема 3.2

"Экспериментальные исследования по физике тяжёлых кварков, электрослабых и нестандартных взаимодействий при высоких энергиях.»

115041510056

ПН: 08; ТП: 01; ПНР:3

Координаторы темы - Э.Э.Боос и Л.В. Дудко.

Реферат

Топ-кварк является наиболее тяжелым из всех известных бесструктурных (точечных) фундаментальных объектов. Время жизни топ-кварка существенно меньше характерного времени образования адронных состояний и он успевает распасться практически по единственному каналу распада в W бозон и b -кварк. Отсутствие промежуточных адронных состояний с топ-кварком, в отличие от всех других кварков, дает уникальную возможность исследовать фундаментальные свойства взаимодействий топ-кварка без характерных ошибок и неопределенностей, связанных с промежуточными адронными состояниями. Физика за пределами Стандартной модели (СМ) в секторе топ-кварка может проявляться либо в рождении новых частиц в процессах с топ-кварком, либо в модификации предсказываемых СМ значений параметров взаимодействия топ-кварка с другими частицами.

В рамках участия в эксперименте CMS коллайдера ЛHC, продолжено исследование процессов ассоциативного рождения топ-кварка с Z - и W -бозонами и с бозоном Хиггса. Процессы являются редкими, но особенно важными с точки зрения продолжения исследования свойств топ-кварка и поиска возможных отклонений от предсказаний Стандартной модели (СМ) в секторе топ-кварка. Достигнутый уровень точности измерений пока не позволил выделить процесс ассоциативного рождения одиночного топ-кварка и бозона Хиггса, но в результате проведенного анализа впервые прямо исключен неправильный знак взаимодействия Юкавы бозона Хиггса и топ-кварка (tHq). Впервые удалось достичь статистической достоверности измерения сечения ассоциативного рождения топ-кварка и Z бозона (tZq). Измеренное сечение процесса находится в согласии с предсказаниями стандартной модели. Проведены измерения дифференциальных сечений. Впервые установлены ограничения на параметры возможных аномальных взаимодействий топ-кварка в интерпретации эффективной теории поля в процессах ассоциативного рождения топ-кварка с W бозоном (tWb). В рамках Стандартной модели эти процессы были открыты несколько лет назад, сейчас исследуются свойства топ-кварка проявляющиеся в этих процессах и впервые прямой поиск "новой физики" во взаимодействиях топ-кварка проведен в интерпретации эффективной теории поля. Продолжено исследование возможного проявления нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействии топ-кварка с u - или s -кварком проходящем через обмен глюоном (FCNC tqq). Проводится анализ данных протон-протонных взаимодействий при энергии 13 ТэВ с учетом вклада всех возможных систематических неопределенностей. Результаты готовятся к одобрению коллаборацией CMS. Готовится анализ возможных отклонений от предсказаний СМ во взаимодействии топ-кварка с W бозоном и b -кварком проявляющихся во взаимодействиях при энергии 13 ТэВ. Создаются необходимые Монте-Карло генераторы событий учитывающие заряженные аномальные лево- и право-взаимодействующие токи векторного и магнитного типов. Анализ проводится на полном наборе данных полученных детектором CMS в течении 2016, 2017 и 2018 годов.

Опубликованы исследования возможностей модернизированного детектора CMS в режиме высокой светимости и высокой энергии (HL-LHC 14 ТэВ, HE-LHC 27 ТэВ) [ISBN: 978-92-

9083-549-3, <http://dx.doi.org/10.23731/CYRM-2019-007>]. Проведено полное моделирование различных процессов и моделирование отклика модернизированного детектора. На основе статистического анализа результатов и возможных систематических неопределенностей получены значения ожидаемой чувствительности будущего эксперимента. Проведены исследования возможностей триггерной системы первого уровня (L1T) модернизированного детектора CMS. Изучено влияние триггерного порога поперечного импульса мюона на чувствительность эксперимента к исследованию нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействии топ-кварка с u - или s -кварком проходящем через обмен глюоном. На основе проведенных исследований будет формироваться триггерное меню эксперимента CMS. Результаты готовятся к публикации в L1T TDR. Проведено исследование точности моделирования фотонов (валидация) в модернизированном детекторе CMS. Исследуются моделируемые наборы событий на предмет выявления аномалий. Создается программное обеспечение способное выявлять аномалии моделирования отклика модернизированного детектора CMS для жестких фотонов.

Продолжена разработка программного обеспечения (ПО) тестирования и контроля крейтов электроники стандарта mTCA в составе детектора CMS. Разработанное ПО призвано существенно повысить эффективность работы физической установки за счет полноценного контроля электронных модулей стандарта mTCA, снижения уровня информационных потерь и поднятия уровня безопасной эксплуатации электронного оборудования крейтов mTCA. В связи с переходом на новую версию 3.16 программной среды многооконного центра с открытой архитектурой (WinCC OA) проведена модернизация программного обеспечения всего проекта мониторинга электроники mTCA в центральной системе контроля и управления (DCS) детектора CMS.

Для быстрого и удобного доступа к полученным данным, собранным с помощью форвард-калориметра CASTOR при разных режимах работы коллайдера, создан аппаратно-программный комплекс предоставляющий доступ к данным системы медленного контроля (SC) переднего (форвард) детектора через виртуальную машину.

Проводится оптимизация интерфейсов и методов применения глубоких нейронных сетей для анализа данных эксперимента CMS. Проверяются и формулируются рецепты применения байесовского подхода при использовании глубоких нейронных сетей с целью оптимизации исследований процессов рождения топ-кварка.

В 2019 г. коллаборация ZEUS продолжила анализ объединенных данных, набранных в экспериментах ZEUS и H1 на электрон-протонном коллайдере HERA (г. Гамбург, Германия). Выполнялся поиск возможного отклонения от Стандартной модели (СМ) в секторе контактных взаимодействий и образования лептокварков. Впервые измерены из данных ZEUS сечения образования тяжелых очарованных кварков через заряженные токи в глубоко-неупругих соударениях.

Продолжено участие в экспериментах BM@N и MPD мегасайенс-проекта комплекс «NICA» на базе ОИЯИ, Дубна. В составе коллаборации MPD проведен поиск и исследование наблюдаемых, чувствительных к новым фундаментальным явлениям в плотной адронной и кварк-глюонной материи, и разрабатываются методы их анализа на экспериментальных установках комплекса NICA. Начата разработка системы программной юстировки время-проекционного трекового детектора (TPC) установки MPD на основе использования реальных треков. Продолжено участие в физическом анализе на экспериментальной установке BM@N комплекса «NICA».

В эксперименте LHCb, коллайдера LHC проводится разработка системы программной юстировки оптической системы RICH детекторов на основе использования реальных данных.

Продолжены исследования нелинейных взаимодействий Радиона, сравнение с бозоном Хиггса. Исследовалось возникновение иерархии энергетических масштабов в теориях с планковскими дополнительными измерениями за счет эффекта Казимира.

Продолжено исследование киральных космологических моделей. Метод суперпотенциала обобщен на многополевые модели с гравитацией. Найдены и сформулированы условия стабильности решений с постоянным параметром Хаббла в моделях с неминимально взаимодействующими полями в присутствии Гаусс-Бонне взаимодействия.

Решен ряд задач классической электродинамики для пучков заряженных частиц круглого и эллиптического сечений при различных граничных условиях (вакуум, проводники, магнетики). Методом зеркальных зарядов точно вычислены одномерные распределения электрических и магнитных полей индуцированные пучком между проводящими и ферромагнитными параллельными плоскостями. Исследована динамика сгустка заряженных частиц в коллиматоре ускорителя, вычислены обобщенные полевые формфакторы Ласлетта. Для коллиматоров бесконечного и конечного размеров вычислены сдвиги бетатронных частот порождаемые зеркальными зарядами. Получены точные двумерные аналитические выражения для электрического и магнитного полей и их потенциалов, создаваемых линейным пучком релятивистских заряженных частиц между бесконечными идеально проводящими плоскостями и ферромагнитными полюсами. Статья направлена в журнал «Теоретическая и Математическая Физика».

Введение

Иерархию масс кварков замыкает t -кварк с зарядом $2/3$ из третьего поколения (дублета) фермионов Стандартной модели (СМ). Топ-кварк является наиболее тяжелым из фундаментальных (бесструктурных) объектов микромира. Обладая массой, сравнимой с массой ядра золота, топ-кварк является точечным в рамках СМ. Время жизни топ-кварка ($\sim 10^{-25}$ с) настолько мало, что он распадается до того, как образовать связанные адронные состояния. Большая масса и ряд других необычных свойств топ-кварка позволяют предположить, что именно во взаимодействиях топ-кварка проявятся первые отклонения от предсказаний СМ и указания на «Новую физику».

Существует несколько механизмов одиночного рождения топ-кварка. Ведущий t -канальный процесс уже неплохо исследован и именно в нем проводятся основные текущие измерения параметров одиночного рождения топ-кварка. Достигнутые на коллайдере БАК энергия и светимость позволяют проводить исследования все более и более редких процессов. В частности, процессы ассоциативного рождения одиночного топ-кварка с W , Z или Хиггс бозоном. Такие процессы ассоциативного рождения одиночного топ-кварка с калибровочным бозоном позволяют проводить новые измерения и поиск различных возможных отклонений от предсказаний СМ. В эксперименте CMS коллайдера БАК проводятся комплексные исследования физики топ-кварка в событиях протон-протонных столкновений при энергиях 7, 8 и 13 ТэВ.

Новые физические явления за пределами Стандартной модели (СМ) в секторе топ-кварка может проявляться либо в рождении новых частиц в процессах с топ-кварком, либо в модификации предсказываемых СМ значений параметров взаимодействия топ-кварка с другими частицами.

Рождение частиц в адронных столкновениях на больших псевдобыстроотах ($\eta > 5$) чувствительно к вкладу от мультипартонных взаимодействий (MPI), к механизму фрагментации исходного адрона и к процессам дифракции. Понимание этих механизмов важно для успешного описания конечных состояний в протон-протонных взаимодействиях

на коллайдерах, а также для точного моделирования широких атмосферных ливней (ШАЛ), индуцированных в атмосфере Земли космическими лучами сверхвысоких энергий. В частности, рождение заряженных адронов в передней области взаимодействия оказывает непосредственное влияние на общее количество мюонов. Это важно, так как наиболее значимой проблемой моделирования ШАЛ с использованием существующих моделей взаимодействия является дефицит числа мюонов относительно результатов измерений.

Дифракционные процессы — это класс адронных взаимодействий, в которых рассеяние сталкивающихся частиц обусловлено обменом объектом, имеющим нулевые квантовые числа и называемым померон. Процессы такого рода обычно характеризуются быстрым летящим вперед нуклоном или нуклонным состоянием, отделенным разрывом в распределении по скорости от адронного конечного состояния, образованного в центральной области события.

Физическая природа померона пока что не до конца понятна в рамках Квантовой Хромодинамики (КХД) и описывается различными теоретическими моделями. Фотон-померонное взаимодействие обусловлено процессами, в которых фотон или померон действует как источник кварков и глюонов, участвующих затем в КХД рассеянии (resolved processes) и в процессах, где фотон или померон взаимодействует как целое (direct processes). Если гипотеза факторизации справедлива, аналогичная партонная структура должна быть верной и для процессов прямого фоторождения, так же как и для глубоко-неупругого рассеяния (ГНР), хотя в процессах с разрешенным (resolved) фотоном может присутствовать дополнительные эффекты поглощения.

Жесткие фотоны также рождаются во «фрагментационных процессах», в которых фотон излучается в струе адронов.

Изучение характеристик множественного рождения во столкновениях ядер даёт информацию о начальной стадии взаимодействия (initial state), определяющей возможное дальнейшее развитие фазы кварк-глюонной плазмы.

Исследование свойств ядерной материи в экстремальных условиях — одно из наиболее интенсивно развивающихся направлений современной физики. Эксперименты по столкновению тяжёлых ионов, в которых создаются условия сверхвысоких температур и плотностей, интенсивно ведутся или планируются на ускорителях в различных научных центрах Европы и США (RHIC, LHC, NICA, FAIR).

Интерес к таким исследованиям обусловлен тем, что эти эксперименты дают возможность изучить параметры уравнения состояния сильновзаимодействующей материи при высоких температурах и плотностях, при которых проявляется кварк-глюонная структура нуклонов и создаются условия для фазового перехода — образования кварк-глюонной плазмы, нового состояния ядерной материи, когда адроны как составные объекты теряют свою идентичность и растворяются в некую субстанцию из своих своих конститuentов — кварков и глюонов. Обнаружение и измерение окрестности критической точки такого фазового перехода имеет принципиальное значение. Имеющаяся к настоящему времени совокупность экспериментальных данных и теоретических моделей, дают основание предполагать, что эта точка находится в диапазоне энергий сооружаемого комплекса NICA.

Результаты

1. Исследования топ-кварка в эксперименте CMS.

Э.Э. Боос, А.В. Баскаков, Г.А. Воротников, П.В. Волков, Л.В. Дудко, М.А. Перфилов

В эксперименте CMS коллайдера БАК проводятся комплексные исследования физики топ-кварка в событиях протон-протонных столкновений при энергиях 7, 8 и 13 ТэВ. Готовятся исследования при более высоких энергиях и в режимах высокой светимости ускорителя.

В 2019 году впервые удалось достичь статистической достоверности измерения сечения ассоциативного рождения топ-кварка и Z бозона и заявить об открытии такого механизма одиночного рождения топ-кварка [PRL 122 (2019) 132003]. Измеренное сечение процесса составило $\sigma(pp \rightarrow tZq \rightarrow t\ell + \ell - q) = 111 \pm 13$ (stat) $^{+11}_{-9}$ (syst) пб, и находится в согласии с предсказаниями стандартной модели. Проведены измерения дифференциальных сечений. На левой картинке Рис.1.1 приведено распределение сигнальных (tZq), фоновых событий и данных в различных лептонных каналах, в которых проходила регистрация сигнальных событий. Правая картинка демонстрирует согласие измеренного дифференциального сечения лидирующего лептона с предсказаниями Стандартной модели.

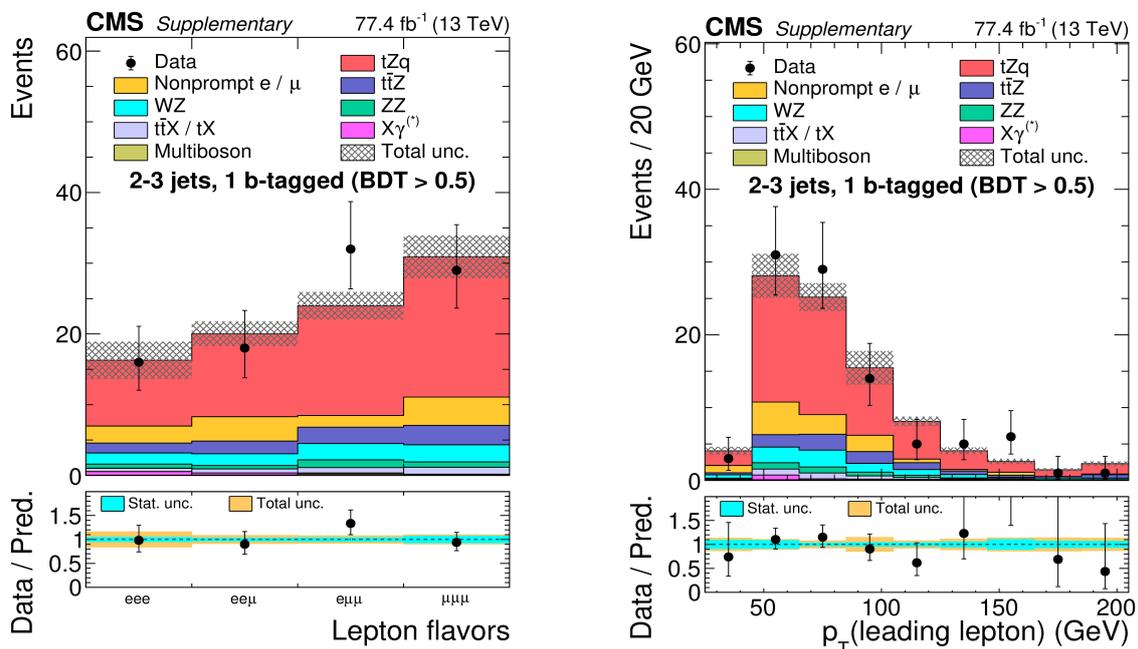


Рисунок 1.1. Показано распределение смоделированных событий tZq сигнала фоновых событий и данных в каждом канале поиска (левый рисунок) и распределение поперечного импульса лидирующего лептона (правый рисунок).

Достигнутый уровень точности измерений пока не позволил выделить процесс ассоциативного рождения одиночного топ-кварка и бозона Хиггса. Но в результате проведенного анализа впервые прямо исключен неправильный знак взаимодействия Юкавы бозона Хиггса и топ-кварка [PRD 99 (2019) 092005]. На левом рисунке показано распределение смоделированных событий и данных эксперимента CMS для фоновых событий и сигнала tHq (красная кривая), количество сигнальных событий увеличено в 800 раз для лучшей различимости на рисунке. Второй рисунок демонстрирует верхнее ограничение и статистическую значимость измерений константы взаимодействия Юкавы топ-кварка и бозона Хиггса.

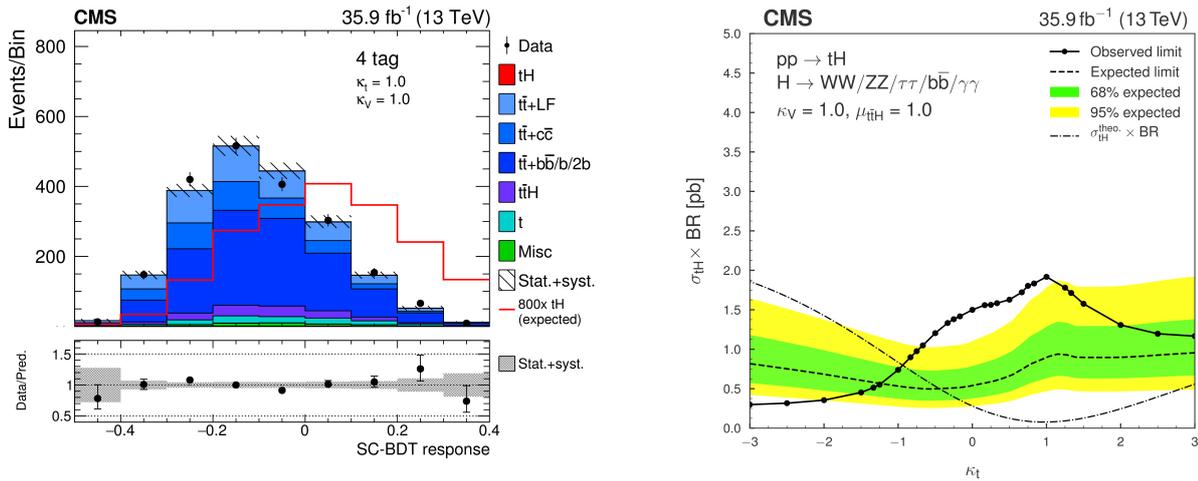


Рисунок 1.2 Левый рисунок демонстрирует распределение выхода BDT для данных и смоделированных событий tHq и фоновых событий. На правом рисунке приведены верхние ограничения на константу взаимодействия Юкавы топ-кварка и бозона Хиггса.

Впервые установлены ограничения на параметры возможных аномальных взаимодействий топ-кварка в интерпретации эффективной теории поля в процессах ассоциативного рождения топ-кварка с W бозоном (tW) [Eur. Phys. J. C 79 (2019) 886]. В рамках Стандартной модели эти процессы были открыты несколько лет назад, сейчас исследуются свойства топ-кварка проявляющиеся в этих процессах и впервые прямой поиск "новой физики" во взаимодействиях топ-кварка проведен в интерпретации эффективной теории поля. На рисунке Рис. 1.3 изображены найденные ограничения на некоторые вильсоновские коэффициенты параметризующие возможные отклонения от предсказаний Стандартной модели проявляющиеся во взаимодействиях топ-кварка.

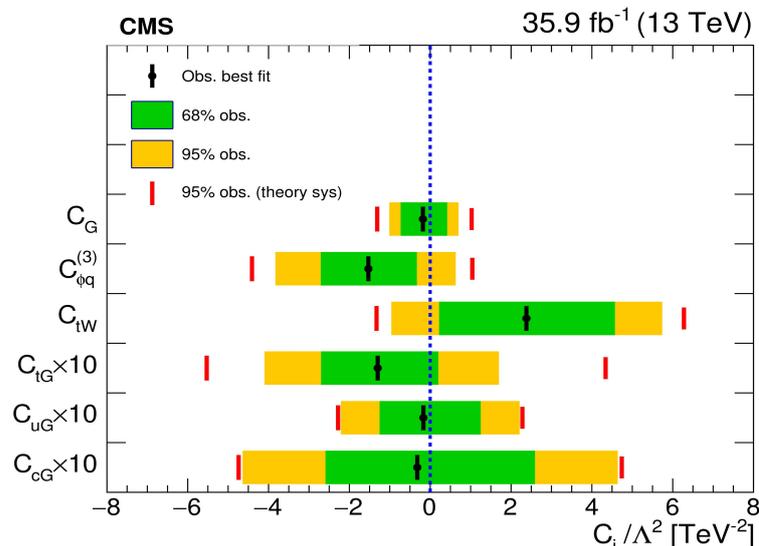


Рисунок 1.3 ограничения на возможные отклонения во взаимодействия топ-кварка в интерпретации эффективной теории поля, установленные в процессе ассоциативного рождения топ-кварка и W бозона.

Продолжено исследование возможного проявления нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействии топ-кварка с u - или s -кварком проходящем через обмен глюоном (FCNC tqq). Проводится анализ данных протон-протонных взаимодействий при энергии 13 ТэВ с учетом вклада всех возможных систематических неопределенностей с целью

регистрации сигнала или установления ограничения на параметры характеризующие возможное существование FCNC tqg . Результаты готовятся к одобрению коллаборацией CMS. Готовится анализ возможных отклонений от предсказаний SM во взаимодействии топ-кварка с W бозоном и b -кварком проявляющихся во взаимодействиях при энергии 13 ТэВ. Создаются необходимые Монте-Карло генераторы событий учитывающие заряженные аномальные лево- и право-взаимодействующие токи векторного и магнитного типов. Анализ проводится на полном наборе данных полученных детектором CMS в течении 2016, 2017 и 2018 годов.

Опубликованы исследования возможностей модернизированного детектора CMS в режиме высокой светимости и высокой энергии (HL-LHC 14 ТэВ, HE-LHC 27 ТэВ) [ISBN: 978-92-9083-549-3, <http://dx.doi.org/10.23731/CYRM-2019-007>]. Проведено полное моделирование различных процессов, включая моделирование отклика модернизированного детектора CMS. На основе статистического анализа результатов и возможных систематических неопределенностей получены значения ожидаемой чувствительности будущего эксперимента. Проведены исследования возможностей триггерной системы первого уровня (L1T) модернизированного детектора CMS. Изучено влияние триггерного порога поперечного импульса мюона на чувствительность эксперимента к исследованию нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействии топ-кварка с u - или s -кварком проходящем через обмен глюоном. На основе проведенных исследований будет формироваться триггерное меню эксперимента CMS. Результаты готовятся к публикации в L1T TDR. Проведено исследование точности моделирования фотонов (валидация) в модернизированном детекторе CMS. Исследуются моделируемые наборы событий на предмет выявления аномалий. Создается программное обеспечение способное выявлять аномалии моделирования отклика модернизированного детектора CMS для жестких фотонов.

1а. Форвард-калориметр CASTOR установки CMS

Богданова Г.А., Волков В.Ю., Волков П.В., Лукина О.Ю.

Группа сотрудников ответственна за создание и модернизацию аппаратных и программных средств системы управления и контроля (DCS) форвард-калориметра CASTOR установки CMS. В результате успешной работы форвард-калориметра CASTOR в сеансах по набору статистики при разных режимах работы ускорителя накоплен большой массив экспериментальных данных. Возникла необходимость разработки программ по сохранению полученных данных для их использования для физического анализа на дальнейшую перспективу. В связи с тем, что детектор CASTOR отключен от центрального проекта управления и контроля установки CMS, возникла необходимость получения удобного и простого доступа к архивным установочным данным (ток, напряжение), а также к архивным данным контроля параметров. Эти данные принципиально важны для процедуры калибровки и обработки данных, полученных во время проведения рабочих сеансов по набору статистики.

Для извлечения SC_данных из базы данных CMS (CMS_database) была установлена специальная виртуальная машина в облаке ЦЕРН. Виртуальная машина позволяет реально восстановить работающую версию программного обеспечения системы управления и контроля субдетектора CASTOR для многооконного центра с открытой архитектурой WinCC OA и получить доступ к хранящейся информации наиболее удобным образом. Такая процедура выполнена для всех периодов облучения субдетектора CASTOR в сеансах по набору статистики начиная с 2009г. . Подготовлены соответствующие инструкции по корректному извлечению необходимых данных, в том числе напряжения, токов, температуры, архивные списки нерабочих каналов и т.д., что позволит качественно проводить дальнейший анализ. Готовится публикация « The CASTOR very forward calorimeter of CMS», CMS PRF-18-002 (в 2019г. статус PHYS_APP). Сервисные работы группы НИИЯФ МГУ/CASTOR в 2019 году составляют 2 чел.месяцев (EPR = 2 months).

Работа выполняется в рамках НИР (НИИЯФ МГУ) «Экспериментальные исследования по физике тяжёлых кварков, электрослабых и нестандартных взаимодействий при высоких энергиях» и «Форвард-физика на CMS» Министерства науки и ВО РФ.

1б. Первое измерение распределений по быструм щелям (rapidity gaps) в столкновениях pPb при энергии 8.16 ТэВ.

Л.А. Хейн

Проведено измерение распределения по быструм щелям (rapidity gaps) в столкновениях протон-свинец при энергии 8.16 ТэВ на нуклон для померон-свинец и померон-протон топологий. Анализ выполнен на большом интервале псевдобыстрот - 10.4 единицы. Проведено сравнение с предсказаниями Монте-Карло моделей HIJING, EPOS-LHC and QGSJETII. Полученные результаты важны для понимания высокоэнергетического предела КХД и ценны для моделирования взаимодействий в космических ливнях высоких энергий в атмосфере.

1в. Программное обеспечение для тестирования и подключение к системе управления и контроля крейтов электроники с микроархитектурой для телекоммуникационных вычислений (mTCA) в составе установки CMS.

Богданова Г.А., Волков В.Ю., Волков П.В., Лукина О.Ю.

Текущая длительная техническая остановка БАК используется для широкомасштабных работ по модернизации всех калориметров установки CMS. Необходимость их проведения обусловлена как выработкой оборудованием своего технологического ресурса, так и требованиями по надежности, разрешению и быстродействию, выдвигаемыми для работы при максимальном значении светимости. На всех основных калориметрах установки осуществлялась замена считывающей электроники на более точную и быстродействующую.

В текущем году продолжена разработка ПО для развития системы тестирования и контроля крейтов электроники стандарта mTCA в составе установки CMS в среде многооконного центра с открытой архитектурой.

Разработанное ПО призвано существенно повысить эффективность работы физической установки за счет полноценного контроля электронных модулей стандарта mTCA, снижения уровня информационных потерь и поднятия уровня безопасной эксплуатации электронного оборудования крейтов mTCA. В связи с переходом на новую версию 3.16 программной среды многооконного центра с открытой архитектурой (WinCC OA) проведена модернизация программного обеспечения всего проекта мониторинга электроники mTCA в центральной системе контроля и управления (DCS) установки CMS.

Разработанное ПО обеспечивает:

- гибкую конфигурацию наборов контролируемых крейтов и электронных датчиков ;
- быструю проверку работы протоколов IPMI и IPMI-tool нижнего уровня сервера связи (System manager)
- проверку подключения и контроля электроники в ПО коммуникационного сервера связи электроники с микроархитектурой для телекоммуникационных вычислений на основе протокола «Bridge-Forwarded»;
- чтение каждого электронного сенсора ;
- проверку каждого электронного сенсора ;
- визуальное мониторингирование каждого контролируемого сенсора;
- архивирование контролируемых данных;
- проверку объема и скорости передачи контролируемых данных;

ПО осуществляет прохождение, распознавание, дешифровку и первичную обработку потоков информации, возникающих при обмене данными с произвольного набора электронных модулей крейтов mTCA, и последовательную передачу этих данных в произвольно заданный распределенный набор мониторинговых программ высокого уровня, обеспечивающих надежность работы электроники крейтов, а также функции мониторинга и контроля, хранения информации и выработки предупреждающих сообщений. При тестировании на тестовых стендах в ЦЕРНе и ДЕЗИ обновленное ПО демонстрирует стабильность работы и отсутствие сбоев в синхронизации работы электроники крейтов mTCA.

2. Исследования в экспериментах MPD и **BM@N** коллайдера NICA.

MPD (А.Н. Соломин, В.А. Кузьмин, Л.М. Щеглова), BM@N (А.Н. Соломин)

i. Продолжена разработка нового метода детектирования фазовых переходов адронной материи в ядерных столкновениях на основе имеющихся моделей. В качестве Монте-Карло генератора для калибровки метода в отсутствие фазового перехода выбран Pithia 8.2. в котором имплементировано моделирование физики релятивистских столкновений ядер в диапазоне энергий NICA. Исследована количественная зависимость формы двумерного распределения по множественности и массе сталкивающихся ядер от прицельного параметра (см. рисунок 2.1)

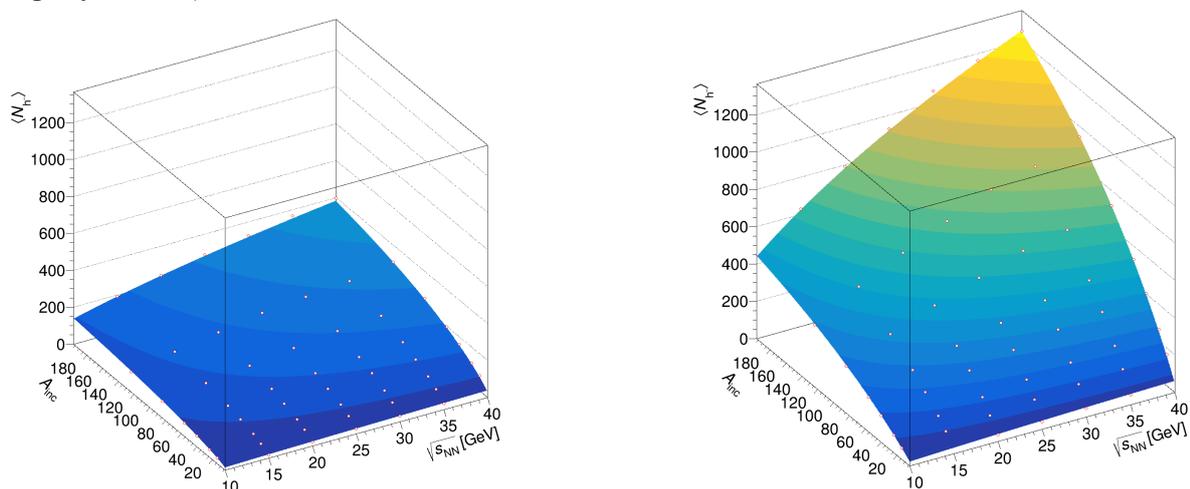


Рисунок 2.1 Сравнение двумерной зависимости средней множественности отрицательно заряженных адронов от массы ядра, сталкивающегося с ядром золота, и от энергии нуклон-нуклонного столкновения в системе центра их масс при всех прицельных параметрах (слева) и для ультра-центральных столкновений при прицельных параметрах в интервале 2 фм (справа) в отсутствие фазовых переходов (генератор Pithia 8.2).

Рисунок демонстрирует сильную чувствительность выбранной зависимости от степени центральности столкновения. Разработка метода продолжится с использованием моделей, претендующих на описание предполагаемого перехода.

ii. Выработано решение по выбору стратегии разработки системы программной юстировки ТРС MPD на основе использования реальных треков. Начата разработка ПО.

iii. А.Н. Соломин работает в составе экспертной группы по анализу первых результатов по рождению Λ гиперонов на эксперименте BM@N: "Production of Λ hyperons in interactions of the carbon beam of the kinetic energy of 4 AGeV with C, Al, Cu targets".

3. Исследования в экспериментах ZEUS и H1 коллайдера HERA.

Ю.А. Голубков, Б.Б. Левченко, О.Ю. Лукина, Л.М. Щеглова

3а. Ограничения на величину контактных взаимодействий и сечения образования лептокварка на коллайдере HERA [1]

В анализе группы ZEUS использованы объединенные высокоточные данные экспериментов H1 и ZEUS, соответствующие интегральной светимости $\sim 1 \text{ fb}^{-1}$. Выполнялся поиск отклонений от SM в форме контактных взаимодействий и рождения комбинированной частицы — лептокварка.

- Контактные взаимодействия. Лагранжиан SM был дополнен слагаемым, описывающим контактное взаимодействие (KB, CI) в форме четырехфермионных взаимодействий (скалярное, векторное, тензорное). Интенсивность взаимодействия задавалась параметрами η , различными для разных сочетаний киральности (L, R) фермионов, независимо от ароматов кварков. Масштаб структурности взаимодействия Λ связан с η соотношением $\eta_{ij} = \pm(4\pi/\Lambda^2)\epsilon_{ij}$. Всего, было проанализировано 13 сценариев (моделей) вне рамок SM (BSM), включая четыре модели с нарушением четности. Данный анализ основан на сравнении измеренных инклюзивных сечений с предсказаниями моделей. Затем, при разных (x, Q^2) и для разных лептонных пучков (e^-, e^+), строились отношения инклюзивных сечений с учетом KB (SM+CI) и без учета KB (SM): $\sigma(\text{SM+CI})/\sigma(\text{SM})$. Для вычисления модельных сечений применялась одновременная подгонка к данным параметров КХД кварковых функции и вклада BSM (ZCIPDF). Константы связи η_{ij} находились методом χ^2 .

В шести из 13 сценариев не было выявлено улучшения описания данных. Наилучшее описание данных HERA было получено для модели X6 ($\Delta\chi^2 = -6.01$). Результаты показаны на рисунке 3.1.

Рисунок 3.1 Отношение инклюзивных сечений $\sigma/\sigma(\text{SM})$ для (а) e^+p данных и (б) e^-p данных с нейтральным током. Подгонка параметров по X6 модели, $\sigma(\text{QCD+X6})$, ϵ_{ij} (0, 0, +1, -1, 0, 0, +1, -1). Отдельно показан вклад SM.

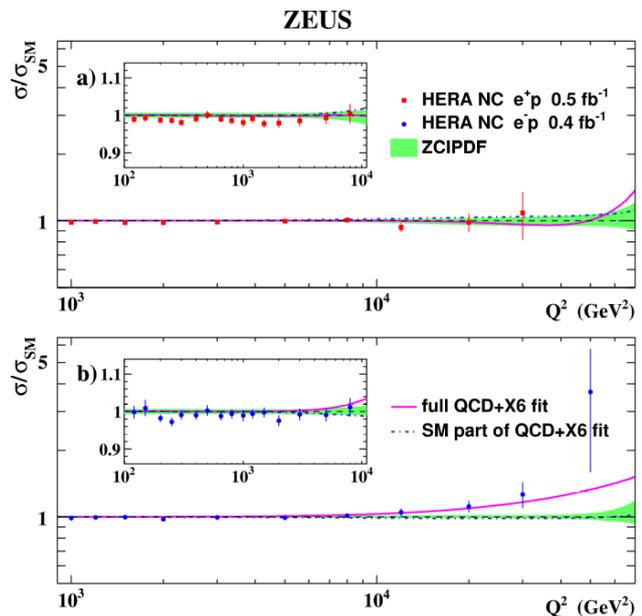


Рисунок 3.1 показывает, что сценарий X6 мало сказывается на кварковых распределениях (PDF) протона.

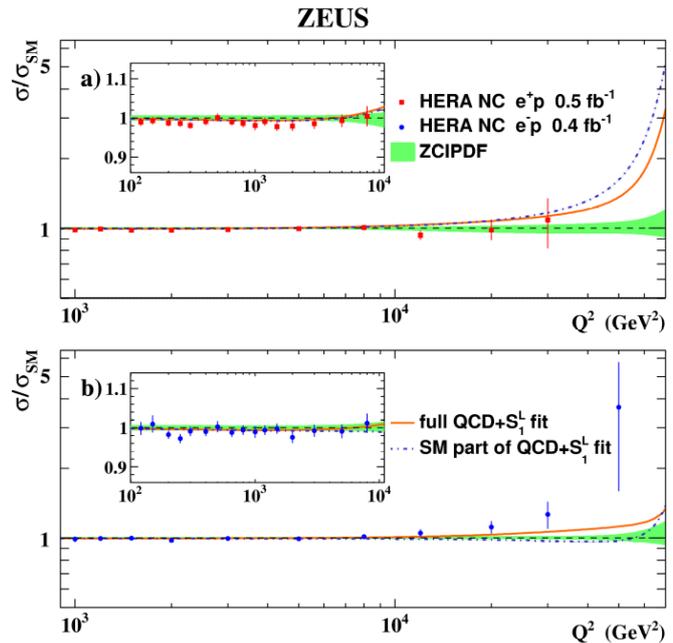
Включение в Лагранжиан членов с KB, позволяет сгладить рассогласование между данными при малых и больших Q^2 . Модели AA, VA, X1 и X6 улучшают

описание инклюзивных сечений, а при больших Q^2 отклонение от SM достигает величины 2.7σ . Выполнено сравнение масштабов Λ полученных из данных HERA, с величинами Λ найденных в экспериментах CMS и ATLAS, для схожих сценариев.

- Лептокварк. В некоторых расширениях SM, во время взаимодействия кварк и лептон могут образовать компаунд состояние, лептокварк (LQ, LQ). Эффективная константа связи LQ, η_{LQ} , конструируется из двух параметров: массы лептокварка, M_{LQ} , и параметра Юкавы, λ_{LQ} , $\eta_{LQ} = a_{ij}(\lambda_{LQ}/M_{LQ})^2$. Анализ данных, их фитирование, определение параметров λ_{LQ} , M_{LQ} в разных сценариях ($a_{ij}(eq)$), определение величины отклонений от предсказаний SM,

выполняется по схеме КВ. В анализе рассматривались ЛК формируемые только легчайшими кварками, $q=u,d$. Всего было проанализировано 14 сценариев по структурным константам a_{ij} . Наилучшее описание инклюзивных сечений достигается в модели $S_1(L)$, ($\Delta\chi^2 = -11.1$), как показано на рисунке 3.2

Рисунок 3.2 Отношение инклюзивных сечений $\sigma/\sigma(SM)$ для (a) $e+p$ данных и (b) $e-p$ данных с нейтральным током. Подгонка параметров по S_1 модели, $\sigma(QCD+S_1)$, $a(ed)=+1$, $a(eu)=+1/2$. Отдельно показан вклад СМ.



Для S_1 сценария было найдено, что значение $\eta_{LQ}=0$ исключено на 95% уровне достоверности. Если зафиксировать $\lambda_{LQ}=1$, то нижний предел на массу ЛК будет, $M_{LQ}>0.66$ ТэВ.

Маловероятно, что найденные при больших Q^2 отклонения от предсказаний СМ, обусловлены только статистическими флуктуациями. Однако их комбинации с процедурой

моделирования неопределенностей, может вызвать похожий эффект. Данные HERA не позволяют однозначно обнаружить отклонения от СМ. По этой причине ограничение на масштаб структурности КВ и массу ЛК был установлен в диапазоне ТэВ.

3б. Рождение частиц с очарованием в глубоко-неупругом рассеянии через заряженные токи на HERA

Измерение процессов с образованием частиц содержащих тяжелые кварки предоставляет возможность проверить предсказательную силу квантовой хромодинамики (КХД). В настоящем анализе данных ZEUS, впервые изучались процессы с рождением тяжелых очарованных кварков через заряженные токи в глубоко неупругом рассеянии (ЗТ ГНР) электронов (e^-) и позитронов (e^+) на протонах. В рамках кварк-глюонной модели строения протона, в процессы ЗТ ГНР значительный вклад вносят как диаграммы с рассеянием на странных кварках партонного моря протона, так и КХД процессы рождения пар c -кварков. Это иллюстрируется диаграммами на Рисунке 3.3. Тем самым появляется принципиальная возможность получить больше информации об импульсном распределении странных кварков в протоне и о феноменологическом параметре подавления странного моря. Однако следует учитывать, что интенсивность процессов через тяжелые заряженные токи (W^+ , W^- обмены), значительно ниже интенсивности процессов через нейтральные токи (γ , Z обмены).

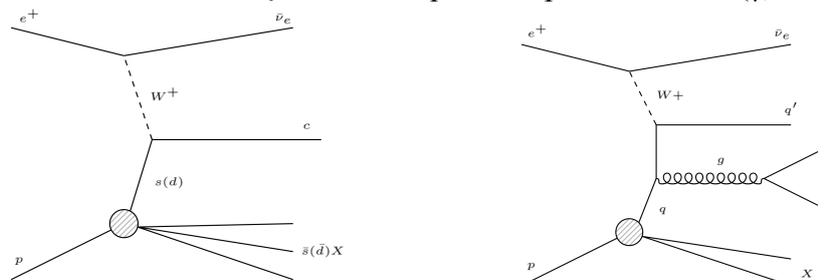


Рисунок 3.3

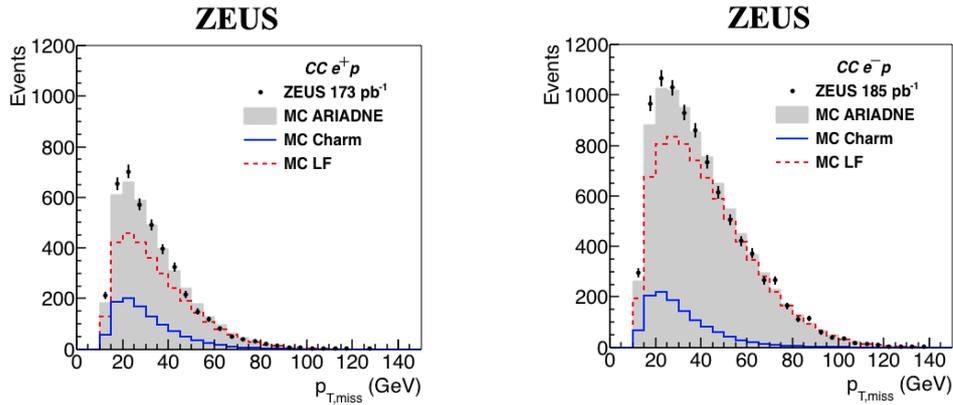
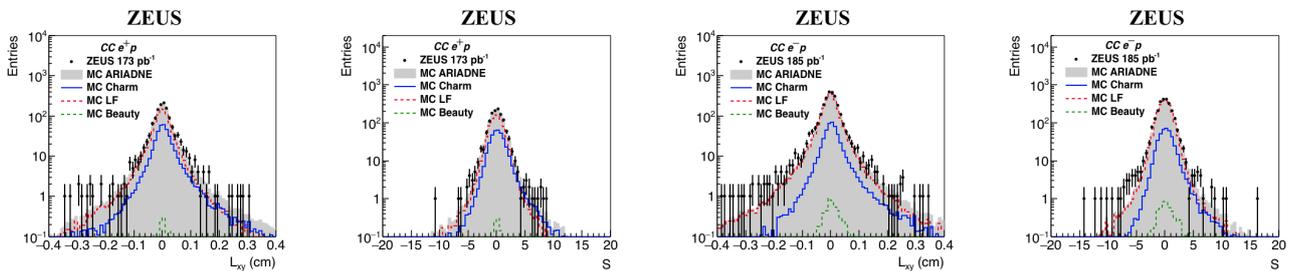


Рисунок 3.4

Анализировались данные ZEUS, набранные в период 2003-2007 гг (HERA II), объемом 173 pb^{-1} и 185 pb^{-1} для e^+p и e^-p столкновений, соответственно. Кинематические переменные в ЗТ ГНР событиях реконструировались по адронному конечному состоянию (метод Жаке-Блонде, JB).

ЗТ ГНР событий отбирались по триггерной информации (отсутствие рассеянного лептона), большому дисбалансу поперечного импульса и кинематическим обрезаниям: $y_{JB} < 0.9$, $200 \text{ ГэВ}^2 < Q^2 y_{JB} < 60000 \text{ ГэВ}^2$. Критериям отбора удовлетворили 4093 события в e^+p данных и 8895 событий в e^-p данных. В качестве примера, на Рисунке 3.4 показан хороший уровень согласия данных по недостающему поперечному импульсу с модельными ожиданиями Монте-Карло (МК) генератора ARIADNE. Отбор событий с рождением адронов с c -кварком (hc) основан на времени жизни hc и удаленности его вершины распада от первичной вершины. Требовалось наличие в событии адронной струи с поперечной энергией более 5 ГэВ и ещё ряд кинематических критериев. Все эти критерии отбора гарантировали хорошее качество реконструкции первичной и вторичной вершин, и треков при помощи детекторов CTD и MVD.

Для заключительного отбора, строились распределения по двумерной проекции длины распада L_{xy} и значимости длины распада $S = L_{xy} / \delta L_{xy}$. Эти распределения показаны на Рис.3.5



Рисунке 3.5.

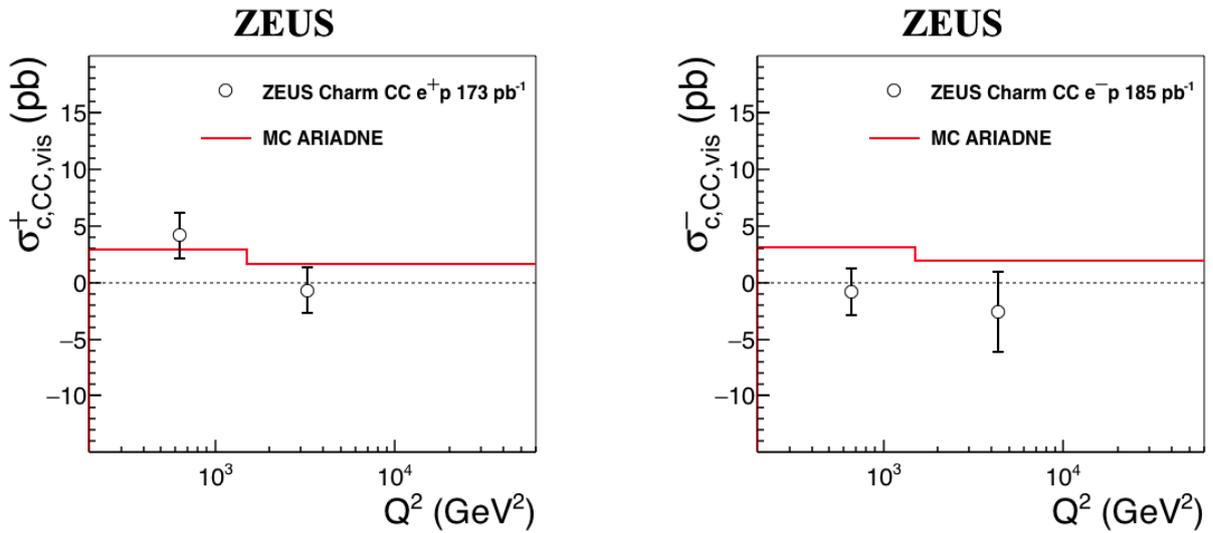


Рисунок 3.6

Метод времени жизни, используемый в этом анализе, отбирает события с очарованными кварки в независимости от их происхождения. Как следует из МК моделирования, в области $|L_{xy}|=0$ или $|S|=0$ преобладают продукты распада от адронов с легкими ароматами (u-, d-, s-кварки). Поэтому, для оптимизации точности отбора событий с с-кварком, было установлено пороговое условие, $|S|>2$. Событий прошедшие этот отбор были использованы для оценки сечения рождения чарма в двух интервалах по Q^2 .

Первоначально вычислялось, так называемое “видимое” сечение событий чарм-струи, $\sigma_{c,vis}$, получаемое из сравнения с МК моделированием. Вклад в сечение от электрослабых процессов находился после вычитания вклада от КХД рождения чарма (правая диаграмма на Рис. 3.3), $\sigma_{c,EW} = C_{ext}\sigma_{c,vis}$. МК модель ARIADNE предсказывает эту величины на уровне 9 пб. На Рисунке 3.6 видимые сечения рождения чарма в двух интервалах по Q^2 для e^+p и e^-p рассеянии сравниваются с предсказаниями МК генератора событий ARIADNE.

Ограниченная статистика и отсутствие определения заряда с-кварка препятствовал экспериментальному разделению различных теоретических вкладов.

В итоге, в кинематической области

$$200 \text{ GeV}^2 < Q^2 < 60000 \text{ GeV}^2, \quad y < 0.9, \quad E_T^{\text{jet}} > 5 \text{ GeV}$$

и

$$-2.5 < \eta^{\text{jet}} < 2.0$$

видимые сечения рождения с-кварка в сопровождении струи адронов равны

$$\begin{aligned} \sigma_{c,vis}^+ &= 4.0 \pm 2.8 \text{ (stat.) } {}^{+0.1}_{-0.6} \text{ (syst.) pb} \\ \sigma_{c,vis}^- &= -3.0 \pm 3.8 \text{ (stat.) } {}^{+0.5}_{-0.1} \text{ (syst.) pb} \end{aligned}$$

Полные сечения электрослабого рождения чарма равны

$$\sigma_{c,\text{vis}}^+ = 4.0 \pm 2.8 \text{ (stat.) } {}^{+0.1}_{-0.6} \text{ (syst.) pb}$$

$$\sigma_{c,\text{vis}}^- = -3.0 \pm 3.8 \text{ (stat.) } {}^{+0.5}_{-0.1} \text{ (syst.) pb}$$

и согласуются с ожиданиями Стандартной Модели, но в пределах больших статистических ошибок.

4. Исследования проводимые в эксперименте LHCb

А.Н. Соломин, Н.В. Никитин, А.В. Данилина

В рамках программы апгрейда LHCb, перед началом третьего периода работы LHC, в частности, детекторов RICH, продолжена работа по усовершенствованию алгоритмов преселекции событий с целью юстировки оптических систем RICH1 и RICH2 на уровне триггера высокого уровня. Это усовершенствование позволит существенно сократить вычислительные ресурсы для определения поправок и обеспечить возможность беспрерывного хранения необходимой информации с целью гарантированной воспроизводимости физических результатов. С этой же целью продолжена работа по усовершенствованию хранения параметров и настроек алгоритмов.

В связи с принятием к использованию новой программной инфраструктуры «анализ в режиме реального времени» (RTA) производится коренная реадaptация ПО юстировки к новой инфраструктуре.

5. Теоретические исследования.

5а. Нелинейные взаимодействия Радиона. Эффективный лагранжиан Радиона, сравнение с бозоном Хиггса.

С.И. Кейзеров, Э.Р. Рахметов

Получены слагаемые самодействия эффективного лагранжиана поля Радиона до четвертого порядка включительно. Получены слагаемые взаимодействия Радиона с полями SM второго порядка.

Получен точный (неполиномиальный) лагранжиан теории с Радионом и полями SM, все процессы в котором эквивалентны аналогичным процессам в изначальной теории Рендалл-Сундрум со стабилизирующим скалярным полем. В полученном лагранжиане отсутствует взаимодействие Радиона с кинетическими членами фермионных полей. Произведено сравнение с аналогичными процессами с участием только бозонов Хиггса.

В системе из скалярного и спинорного полей в пространстве с N дополнительными измерениями с компактификацией планковского масштаба вычислено спонтанное нарушение симметрии с учетом эффекта Казимира. Продемонстрировано возникновение после редукции эффективной четырехмерной скалярной моды имеющей ненулевую массу меньше планковской величины.

5б. Исследование моделей с кривизной.

Е.О. Поздеева

Рассмотрены киральные космологические модели (КМС) и связанные с ними теории модифицированные гравитации. Выполнено обобщение метода суперпотенциала на

обобщенную киральную модель с несколькими скалярными полями и разработан метод построения многополевых киральных моделей, допускающих точные решения.

Модификация гравитационного взаимодействия введением функции взаимодействия от скаляра кривизны $F(R)$ в действие модели, приводит к появлению дополнительного скалярного поля при конформном преобразовании в систему Эйнштейна. При этом множитель перед квадратами производных полей могут отличаться. Полученная модель может быть представлена в лаконичной форме с помощью введения метрики в пространстве полей, сопоставляющей множители перед квадратами производных полей соответствующим квадратам производных полей в действии.

Нами построены новые классы решений двухкомпонентной киральной модели с дополнительным скалярным полем, мотивированная модифицированным взаимодействием $F(R)$ исходной модели.

Построены новые решения модели с диагональной метрикой полевого пространства. Предложена процедура восстановления, основанная на методе суперпотенциала, и построены примеры восстановления метрики полевого пространства по параметрам Хаббла периодического и гиперболического вида.

Найдены условия стабильности решений де Ситтера при постоянном параметре Хаббла в моделях с неминимально взаимодействующими полями и дополнительным Гаусс-Бонне взаимодействием. Условия стабильности сформулированы в терминах эффективного потенциала, имеющего аналоги в теориях с минимально взаимодействующими скалярными полями. Найденные условия могут быть применены для моделирования процессов как в ранней, так и поздней Вселенной.

5в. Динамика заряженных частиц в электромагнитных полях

Б.Б. Левченко

1) В ускорителях частиц, пучок заряженных частиц находится под влиянием окружающего вещества (пучковая труба, ускорительные структуры, магниты, коллиматоры и т.п.), и при высокой интенсивности, пучок индуцирует значительные поверхностные заряды и токи в этом веществе. Это, в свою очередь, изменяет распределение электромагнитных полей вокруг самого пучка. В силу особенности технологии, ускоряемый пучок разбит на сгустки частиц (банчи). По этой причине анализ взаимодействия сгустка с окружающим веществом начинается с вычисления собственных полей релятивистского сгустка в свободном пространстве. Вычисления позволяют проследить за трансформацией векторной суммы индивидуальных электромагнитных полей релятивистских частиц в эффективное внешнее поле сгустка (Рисунок 5.1). На малых расстояниях поперечная компонента электрического поля сгустка совпадает с полем непрерывного линейного пучка ($E_T \sim 1/r$), а на больших расстояниях совпадает с полем точечного релятивистского заряда ($E_T \sim \gamma/r^2$). Продольная компонента поля квадратично подавлена лоренц-фактором. Сравнение внешних полей сгустков с круглым и эллиптическим сечениями позволило сформулировать Теорему универсальности: В ультрарелятивистском пределе, $\gamma \rightarrow \infty$, внешнее электрическое поле сгустка с линейной плотностью заряда $\lambda(z)$ подчиняется универсальной зависимости, $E_T \sim \lambda(z)/r$.

При движении сгустка между бесконечными параллельными плоскими проводниками и магнетиками (аналог коллиматора и полюсов теплых магнитов), заряд сгустка индуцирует заряды и токи в этих поверхностях. Математический метод зеркальных зарядов и токов, предложенный В. Томсоном (лорд Кельвин) в первой половине 19 века, позволяет

сравнительно просто вычислить результирующие поля. Однако, до работ автора (Б.Б. Левченко), даже одномерная задача была решена только в неполном линейном приближении (Laslett, 1963). Точное суммирование бесконечной последовательности E_y и V_x компонент полей-изображений, позволило выразить бесконечный ряд через элементарные тригонометрические функции. Новые выражения для внешних полей пучка были применены для анализа воздействий сил-изображений как на сам пучок (когерентный случай, Рисунок 5.1b), так и на составляющие его частицы (некогерентный случай).

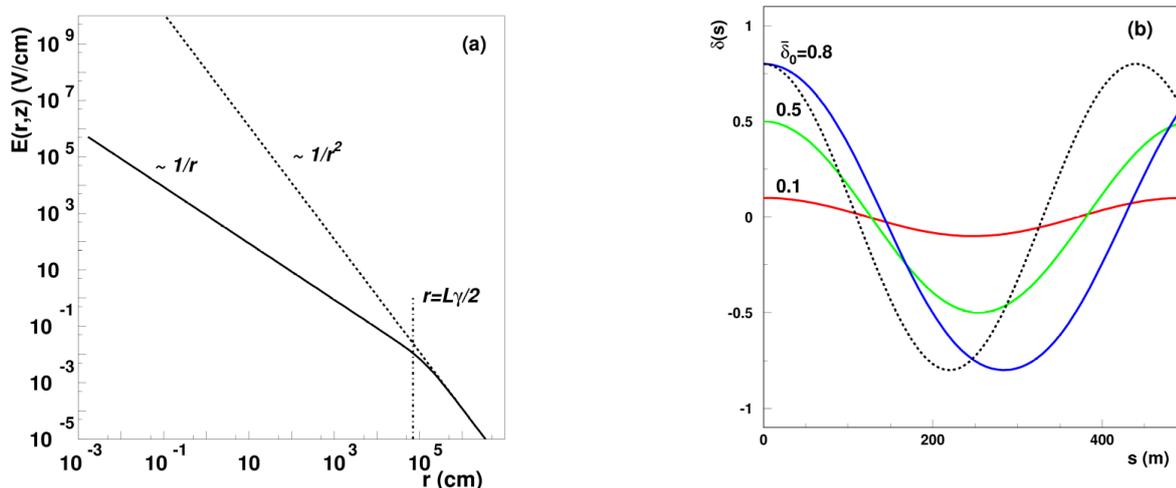


Рисунок 5.1. На левом рисунке показан поперечный профиль электрического поля цилиндрического протонного сгустка при энергии 7 ТэВ. На правом рисунке показаны траектории сгустка (бетатронные осцилляции) в коллиматоре в зависимости от величины начального отклонения δ_0 от плоскости $y=0$. Пунктирная кривая соответствует бетатронным осцилляциям без учета сил-изображений.

Отдельно анализировалось движение сгустка между бесконечными плоскостями, и плоскостями конечных размеров. Вычислены когерентный и некогерентный сдвиг бетатронной частоты пучка при произвольной величине смещения сгустка от срединной плоскости. Вычислены обобщенные форм-факторы Ласлетта и установлена новая взаимосвязь между форм-факторами.

Следует отметить, что автор метода изображений В. Томсон никак не упоминается в учебной литературе 20 столетия. По этой причине в Приложении С к статье дана подробная историческая справка этапов развития «метода зеркальных зарядов».

5г. Теоретические исследования поддержанные РНФ 16-12-10280

Э.Э. Боос, А.В. Баскаков, Г.А. Воротников, А.В. Данилина, Л.В. Дудко, Н.В. Никитин, М.А. Перфилов, А.Д. Козачук

Опубликован обзор современного состояния физики топ-кварка. В обзоре приведено теоретическое описание ожидаемых свойств самого топ-кварка и основных процессов его рождения и распада. Описаны текущие экспериментальные результаты демонстрирующие прекрасное согласие с предсказаниями Стандартной модели (СМ). Рассмотрены основные направления поиска возможных отклонений от предсказаний СМ и современные ограничения на проявления исследуемых отклонений. Приведены исследования ожидаемой чувствительности измерений в физике топ-кварка на планируемых будущих экспериментах.

Обзор доступен в журнале [ЭЧАЯ 2019, T50, вып. 3 стр. 231-281 http://www1.jinr.ru/Репан/v-50-3/01_Boos.pdf]

В рамках исследований поддержанных грантом впервые получены аналитические выражения для дифференциальной ширины трехчастичного распада поляризованного топ кварка в его системе покоя, а также выражения для дифференциальных сечений полного процесса рождения и распада топ кварка ($2 \rightarrow 4$) как функций энергии заряженного лептона и двух углов ориентации оси квантования спина топ кварка. Выражения представлены в наиболее общем виде для случая вещественных и мнимых векторных и тензорных аномальных параметров взаимодействия Wtb . Показано, что формы многомерных кинематических распределений частиц в конечном состоянии существенно различаются для вкладов, пропорциональных различным комбинациям аномальных Wtb -констант. Наиболее заметные различия проявляются в форме поверхностей двумерных распределений, где одна из переменных - это энергия заряженного лептона, а другая - один из углов преимущественной ориентации спина топ кварка. На основе полученных аналитических выражений, проведена оценка статистической точности выделения аномальных Wtb -параметров для разных значений ожидаемой интегральной светимости коллайдера LHC.

Выработан рецепт использования полной схемы моделирования ассоциированного рождения топ-кварка с W бозоном в следующем древесном порядке разложения теории возмущений. Моделирование в полной схеме соответствует полному калибровочно-инвариантному набору диаграмм с конечным состоянием, содержащим b -кварк, W -бозон и топ-кварк, включая все последующие распады. По построению, этот метод правильно учитывает интерференционные члены и моделирует корректные распределения, что важно для снижения систематической ошибки связанной с моделированием. В качестве демонстрации использования рецепта построена нейронная сеть для кинематического разделения событий парного рождения топ-кварков и событий ассоциированного рождения одиночных топ-кварков, такое разделение необходимо для анализа электрослабого рождения топ-кварка и измерения различных характеристик в этом канале рождения. Показано хорошее и стабильное кинематическое разделение одно-резонансных и двух-резонансных вкладов с правильным учетом интерференции между ними. Предварительные результаты опубликованы и будут использованы для анализа аномальных взаимодействий топ-кварка с W бозоном и b -кварком в процессах ассоциативного рождения топ-кварка с W бозоном. Работа опубликована в EPJ Web of Conferences 222, 04010 (2019), страница в интернете: https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/abs/2019/27/epjconf_qfthep2019_04010/epjconf_qfthep2019_04010.html

В процессе подготовки нейронных сетей для кинематического разделения одно-резонансного и двух-резонансного рождения топ-кварков проведено исследование по нахождению универсального рецепта выбора низкоуровневых наблюдаемых для исследования процессов рассеяния методами глубоких нейронных сетей (DNN). Данный метод, в отличие от обычных нейронных сетей (NN), показывает способность анализировать неподготовленную, низкоуровневую информацию и демонстрирует существенно более высокую эффективность в ряде примеров. Предварительное исследование позволило выработать общие принципы формирования пространства низкоуровневых наблюдаемых для процессов рассеяния на современных коллайдерах и продемонстрировать эффективность и универсальность такого подхода. [<https://doi.org/10.1051/epjconf/201922202016>]

Продолжена разработка нового метода измерения ширины топ-кварка на основе сравнения двух-резонансных, одно-резонансных и нерезонансных кинематических областей. Проведено исследование одновременного измерения ширины топ-кварка в процессах t -канального и ассоциативного с W бозоном рождения топ-кварка. Показано, что несмотря на более

высокую чувствительность ассоциативного рождения топ-кварка к изменениям в его ширине, такой подход позволяет повысить точность измерения ширины топ-кварка в силу существенно меньшей систематической ошибки измерений в t-канальном рождении топ-кварка. Полученные предсказания и рекомендации опубликованы.

Продолжено феноменологическое исследование off-shell Electroweak Dipole Momentum (osEDM) топ кварка в Wtb вершине, используя более общую форму Лагранжиана таких взаимодействий. Для найденных ранее процессов рождения одиночного топ кварка, в которых могут проявляться такие аномалии, проведено моделирование, построены распределения для ряда чувствительных кинематических переменных, анализ формы которых может быть использован для экспериментального поиска аномальных взаимодействий. Получены зависимости полного и дифференциальных сечений от параметров, характеризующих вклад аномальных токов.

Редкие четырехлептонные распады заряженных и нейтральных В-мезонов позволяют проверить предсказания Стандартной модели в высших порядках теории возмущений и открывают “косвенный путь” поиска “новой физики”, которая проявляется в виде вкладов от дополнительных виртуальных частиц, отсутствующих в Стандартной модели. В связи с этим большой интерес представляет различие между теоретическим предсказанием Стандартной модели для парциальной ширины распада $B^+ \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \nu_\mu$ и экспериментальным результатом коллаборации LHCb, появившимся в 2019 году. Именно экспериментальный верхний предел распада $B^+ \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \nu_\mu$ ниже минимального значения теоретического предсказания. Исследование этого разногласия позволило уменьшить теоретические предсказания, что, однако, полностью не устранило указанное выше противоречие.

Получены теоретические предсказания для парциальной ширины распада $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^- e^+ e^-$, ведется работа по написанию Монте-Карло модели для получения различных лептонных дифференциальных распределений в указанном распаде.

В случае, когда новая физика представлена тяжелыми частицами с массами сильно превосходящими массы полей Стандартной модели, вклад физики вне СМ может быть параметризован с помощью введения аномальных каплингов Wtb вершины. Аномальные Wtb вершины дают вклад в том числе в амплитуды слабых распадов В-мезонов, происходящих за счет нейтральных токов, изменяющих аромат кварков. Данные процессы запрещены на древесном уровне в Стандартной модели и происходят только за счет петлевых диаграмм, и поэтому являются особенно чувствительными к возможным вкладам новой физики, в том числе когда она представлена аномальными Wtb взаимодействиями. Были рассмотрены следующие процессы с участием В-мезонов: инклюзивные распады $b \rightarrow s \gamma$ и $b \rightarrow sl+l$, происходящие за счёт нейтральный токов с изменением аромата кварков, и В-anti В осцилляции. В результате анализа представленных процессов были получены ограничения на аномальные Wtb каплинги, предполагая, что они являются действительными. Были рассмотрен сценарий, когда два из четырех каплингов имеют значения, отличные от их значений в Стандартной модели. Полученные не прямые ограничения являются более строгими, чем аналогичные прямые ограничения, полученные из сечения t-канального рождения одиночного топ-кварка, но во всех случаях прямые и не прямые ограничения согласуются друг с другом. Отклонения от Стандартной модели обнаружены не были.

Планы исследований на 2020 год.

Исследования в эксперименте CMS коллайдера БАК проводятся в нескольких направлениях. В основе исследований, лежит анализ данных полученных при энергии протон-протонных

столкновений 13 ТэВ. Данные при такой энергии накапливались в эксперименте в течении 2016, 2017 и 2018 годов. В настоящий момент завершена обработка и понимание данных 2016 и частично 2017 годов. Исследуются полученные данные 2018 года. Обработка данных эксперимента по столкновению протонов при энергии 13 ТэВ позволит провести поиск нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействии топ кварка с u - и s -кварками проходящем через обмен глюоном. В случае отсутствия проявления таких токов, предсказываемых рядом новых теорий, будут установлены новые ограничения на параметры характеризующие такие взаимодействия и соответствующие вероятности редких распадов топ кварка. Проведено моделирование и на новых данных готовится экспериментальное исследование структуры взаимодействия топ кварка с W бозоном и b -кварком и поиск отклонений от предсказанной в Стандартной модели (СМ) структуры этих взаимодействий. В случае отсутствия экспериментального проявления таких отклонений будут получены верхние ограничения на параметры характеризующие такие взаимодействия.

Планируется продолжить изучение эволюции фрагментационных функций в глубоко-неупругих взаимодействиях (DIS) в области мишени в Брейт системе с использованием всей цепочки трековых детекторов эксперимента ZEUS (в CTD- Central Tracking Detector, STT- Straw tube tracing detector и MVD-Micro Vertex Detector), что существенно расширит область анализа скейлинговых переменных $\ln(1/x_p)$ по переменным Q^2 и X_{Bj} и позволит провести детальное сравнение с моделями КХД в рамках физической задачи по поиску возможного нарушения скейлинга в области мишени.

В экспериментах на установке MPD комплекса NICA продолжится разработка нового метода поиска и измерения критической окрестности параметров столкновения тяжёлых ионов, связанной с переходом адронной материи в кварк-глюонную материю в столкновениях ядер золота с дейтонами, ядрами гелия, углерода, меди, аргона, криптона и золота в диапазоне энергий NICA.

Продолжится разработка системы программной юстировки TPC MPD на основе использования реальных треков.

В рамках анализа по изучению эволюции фрагментационных функций в зависимости от переданного импульса Q^2 и переменной Бьёркена X_{Bj} планируется продолжить исследование поведения скейлинговых переменных $\ln(1/x_p)$ в области мишени в Брейт системе, в частности, в области больших Q^2 и X_{Bj} , где требуется улучшение качества реконструкции треков.

В эксперименте на установке VM@N комплекса NICA планируется исследование с использованием нового метода поиска и измерения критической окрестности параметров столкновения тяжёлых ионов, связанной с переходом адронной материи в кварк-глюонную материю в столкновениях ядер золота с дейтонами, ядрами гелия, углерода, меди, аргона, криптона и золота в диапазоне энергий Нуклотрона.

Планируется разработка элайнмента нового поколения для трековых детекторов установки VM@N на основе применения Калман-фильтра.

Планируется продолжить изучения свойств моделей с полями, взаимодействующими с гравитацией различными видами. В частности, подразумевается анализ свойств решений и моделирование физических процессов, рассмотреть вопрос соответствия возможных процессов в различных системах.

Запланированы дальнейшие исследования на тему иерархии энергетических масштабов в теориях с дополнительными измерениями за счет эффекта Казимира. Подготовка

публикации. (Рассмотрение модели совместного Хиггсовского и векторного смешивания со скалярным и векторным полями темной материи (т.н. Хиггс-векторный портал).

В системе из скалярного и спинорного полей в пространстве с N дополнительными измерениями с компактификацией планковского масштаба вычислено спонтанное нарушение симметрии с учетом эффекта Казимира. Продемонстрировано возникновение после редукции эффективной четырехмерной скалярной моды имеющей ненулевую массу меньше планковской величины. Планируется завершить диссертацию С. Кейзера и представить результаты к защите.

Запланировано продолжение исследований и разработка методов применения нейронных сетей глубокого обучения в экспериментальных анализах проводимых на современных и будущих коллайдерах. В частности, разрабатываются и планируется внедрить в эксперименте CMS коллайдера БАК систему байесовских нейронных сетей глубокого обучения для оптимизации исследований рождения топ кварка.

Заключение

Продолжаются исследования в экспериментах CMS и LHCb коллайдера БАК, ZEUS коллайдера HERA, а также VM@N и MPD комплекса NICA. Проводятся теоретические и феноменологические исследования в рамках Стандартной модели и различных ее расширениях. За 2019 год сотрудники ЛЭНВ ОЭФВЭ НИИЯФ МГУ представили 18 докладов на международных конференциях и большое количество докладов на рабочих совещаниях международных коллабораций. Полученные результаты опубликованы в индивидуальных публикациях и от имени коллабораций CMS, ZEUS.

Доклады на конференциях в 2019 г.:

1) Баскаков А.В., Боос Э.Э., Буничев В.Е., Воротников Г.А., Дудко Л.В., Волков П.В., Перфилов М.А. «Поиск аномальных связей во взаимодействии топ-кварка с W -бозоном и b -кварком в процессах tW -ассоциированного рождения одиночного топ-кварка», конференция Ломоносов-2019, 17 апреля 2019

2) Баскаков А.В., Боос Э.Э., Буничев В.Е., Дудко Л.В., Волков П.В., Перфилов М.А. [«Recommendations for the search of the Anomalous \$Wtb\$ interactions in the \$tW\$ -associated Single Top Quark Production»](#) The XXIV International Workshop “High Energy Physics and Quantum Field Theory” (QFTHEP 2019), 25 сентября 2019

3) "Исследование эффективности нейронных сетей в зависимости от представления задачи при поиске редких процессов на коллайдерах"
мл.науч.сотр. Волков П.В, зав. лаб. Дудко Л.В, ст.науч.сотр. Перфилов М.А, мл.науч.сотр. Воротников Г.А, студент Чернодед А. И
Ломоносовские чтения 2019

4) "Bayesian and Deep Learning Neural Networks for the data analysis"

Volkov P.V, Dudko L.V, Perfilov M.A., Vorotnikov G.A, Chernoded A. I.
QFTHEP2019

5) Heavy ion results at LHC and Cosmic Ray generators (Устный)

Автор: Kheyn

International Symposium on Cosmic Rays and Astrophysics (ISCRA-2019), Moscow, Россия, 25-28 июня 2019

6) Nonlinear interactions of the radion field (Устный)

Авторы: Волобуев И.П., Кейзеров С.И., Рахметов Э.Р.

The XXIV International Workshop High Energy Physics and Quantum Field Theory (QFTHEP'2019), г. Сочи, Россия, 22-29 сентября 2019

7) Б.Б. Левченко, «Цели эксперимента DIRAC и полученные результаты»

XII Черенковские чтения. «Новые методы в экспериментальной ядерной физике и физике частиц», ФИАН, г. Москва, Россия, 16 апреля 2019.

8) Б.Б. Левченко, «Цели эксперимента DIRAC и полученные результаты», «Ломоносовские чтения - 2019». Секция «Физика», г. Москва, МГУ, Россия, 17 апреля 2019.

9) Б.Б. Левченко, «О разрешающей способности виртуального фотона на коллайдере HERA», «Ломоносовские чтения - 2019». Секция «Физика», г.Москва, МГУ, Россия, 17 апреля 2019.

10) Б.Б. Левченко, «Поля релятивистского пучка заряженных частиц между проводящими плоскостями. Точное двумерное решение методом изображений.», «Ломоносовские чтения - 2019». Секция «Физика», г.Москва, МГУ, Россия, 17 апреля 2019.

11) 2019 Multifield Superpotential Method in Cosmological Models (Устный), Pozdeeva E.O. ,INTERNATIONAL BOGOLYUBOV CONFERENCE "PROBLEMS OF THEORETICAL AND MATHEMATICAL PHYSICS" (dedicated to the 110th anniversary of the birth of N.N. Bogolyubov (1909-1992)), Москва и Дубна, Россия, 9-13 сентября 2019

12) 2019 De Sitter solutions properties in the Gauss-Bonnet gravity (Устный), Pozdeeva E.O., Vernov S.Yu, Toporensky A.V., Sami M.,The Third Symposium of the BRICS Association on Gravity, Astrophysics and Cosmology, Казань, Россия, 29 августа - 3 сентября 2019

13) 2019 Localization procedure and integrable solutions in non-local gravity models (Устный), Pozdeeva E.O. , Helmholtz International Summer School "COSMOLOGY, STRINGS, NEW PHYSICS", 4-17 August 2019, BLTP JINR, Dubna, BLTP JINR, Dubna, Россия, 4-17 августа 2019

14) 2019 Exact solutions in non-local Gauss-Bonnet gravity (Устный), Pozdeeva E.O. ,10th Alexander Friedmann International Seminar on gravitation and cosmology, Санкт-Петербург, Россия, 23-29 июня 2019

15) 2019 Static spherically symmetric solutions in scalar-tensor gravity models (Устный), Pozdeeva E.O., Starobinsky A.A., Tronconi A., Vardanyan T., Venturi G., Vernov S.Yu, Kamenshchik A.Yu, 10th Alexander Friedmann International Seminar on gravitation and cosmology, Санкт-Петербург, Россия, 23-29 июня 2019

16) 2019 Superpotential method for multifield cosmological models (Устный), Ekaterina Pozdeeva, Geometric Foundations of Gravity 2019, Тарту, Эстония, 17-21 июня 2019

17) 2019 Построения моделей модифицированной гравитации с точными решениями (Устный), Поздеева Е.О., Вернов С.Ю., «Ломоносовские чтения - 2019». Секция «Физика», Москва, МГУ, Россия, 15-25 апреля 2019

18) 2019 Точные сферически-симметричные решения в скалярно-тензорной гравитации. (Устный), Вернов С.Ю., Поздеева Е.О., «Ломоносовские чтения - 2019». Секция «Физика», Москва, МГУ, Россия, 15-25 апреля 2019

Публикации за 2019 год:

[1] CMS Collaboration: “Search for associated production of a Higgs boson and a single top quark in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV” Phys.Rev. D99 (2019) no.9, 092005

[2] CMS Collaboration: “Observation of Single Top Quark Production in Association with a Z Boson in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, Phys.Rev.Lett. 122 (2019) no.13, 132003

[3] CMS Collaboration: “Search for new physics in top quark production in dilepton final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV”, Eur.Phys.J. C79 (2019) no.11, 886

[4] CMS Collaboration “Centrality and pseudorapidity dependence of the transverse energy density in pPb collisions at $\sqrt{s[NN]} = 5.02$ TeV”

в журнале Physical Review C, издательство American Physical Society (College Park, MD), том 100, № 2, с. 024902 DOI

[5] CMS Collaboration “Evidence for light-by-light scattering and searches for axion-like particles in ultraperipheral PbPb collisions at $\sqrt{s[NN]} = 5.02$ TeV

в журнале Physics Letters B, издательство Elsevier BV (Netherlands), том 797, с. 134826 DOI

[6] CMS Collaboration “Measurement of exclusive Upsilon photoproduction from protons in pPb collisions at $\sqrt{s[NN]} = 5.02$ TeV

в журнале European Physical Journal C, издательство Springer Verlag (Germany), том 79, № 3, с. 277 DOI

[7] CMS Collaboration “Measurement of exclusive $\rho(770)^0$ photoproduction in ultraperipheral pPb collisions at $\sqrt{s[NN]} = 5.02$ TeV

в журнале European Physical Journal C, издательство Springer Verlag (Germany), том 79, № 8, с. 702 DOI

[8] CMS Collaboration “Measurement of inclusive very forward jet cross sections in proton-lead collisions at $\sqrt{s[NN]} = 5.02$ TeV

в журнале Journal of High Energy Physics, издательство Institute of Physics Publishing (United Kingdom), том 2019, № 5, с. 43 DOI

[9] CMS Collaboration “Measurement of the average very forward energy as a function of the track multiplicity at central pseudorapidities in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV

в журнале European Physical Journal C, издательство Springer Verlag (Germany), том 79, № 11, с. 893 DOI

- [10] CMS Collaboration “Measurement of the energy density as a function of pseudorapidity in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV
в журнале *European Physical Journal C*, издательство Springer Verlag (Germany), том 79, № 5, с. 391 DOI
- [11] ZEUS collaboration ; H. Abramowicz et al.
Limits on contact interactions and leptoquarks at HERA.
[Phys. Rev. D 99 \(2019\) 092006](#)
- [12] ZEUS Collaboration; I. Abt et al.
Charm production in charged current deep inelastic scattering at HERA.
[JHEP 05 \(2019\) 201](#)
- [13] B. B. Levchenko, Modification of the relativistic beam fields under the influence of external conducting and ferromagnetic flat boundaries (in Progress)
Prog. Theor. Exp. Phys. 2019 , (29 pages), DOI: 10.1093/ptep/ptz132
- [14] Опубликована работа по итогам разработки и функционирования реконструкции и элайнмента LHCb в режиме реального времени во втором периоде работы LHC: «Design and performance of the LHCb trigger and full real-time reconstruction in Run 2 of the LHC» JINST 14 (2019) no.04, P04013
- [15] [Stability analysis of de Sitter solutions in models with the Gauss-Bonnet term](#) Pozdeeva Ekaterina O., Sami M., Toporensky Alexey V., Vernov Sergey Yu в журнале *Physical Review D*, издательство *American Physical Society (United States)*, том 100, № 8, с. 083527 DOI
- [16] [Superpotential method for chiral cosmological models connected with modified gravity](#), Chervon S.V., Fomin I.V., [Pozdeeva E.O.](#), Sami M., Vernov S.Yu в журнале *Physical Review D*, издательство *American Physical Society (United States)*, том 100, № 6, с. 063522 DOI
- [17] Keyzerov S., Volobuev I., Rakhmetov E. - Nonlinear interactions of the radion field - EPJ Web Conf. 2019 The XXIV International Workshop “High Energy Physics and Quantum Field Theory” (QFTHEP 2019), том 222, № 04011.