Лаборатория электрослабых и новых взаимодействий ОЭФВЭ НИИЯФ МГУ Основные результаты полученные в 2015 году.

1. Краткий отчет

Завершен анализ данных полученных в протон-протонных столкновениях при энергии 7 и 8 ТэВ в эксперименте CMS коллайдера БАК. Исследованы возможные отклонения от предсказаний Стандартной модели во взаимодействии *t*-кварка с W бозоном и *b*-кварком и возможного проявления нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействии топ кварка с *c*- или *u*-кварком через обмен глюоном.

Получены ограничения на аномальные константы связи характеризующие векторные и тензорные взаимодействия описываемые левыми и правыми токами. Найдены одномерные ограничения на каждую из таких констант и контуры ограничений при одновременной вариации нескольких констант.

Проведен поиск нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействиях топкварка с u- или с-кварком проходящем через обмен глюоном (FCNC tcg, tug). Статистический анализ данных столкновений при энергии 7 и 8 ТэВ позволил найти контуры ограничений на константы связи характеризующие нейтральные токи. Результаты готовятся к публикации от имени CMS коллаборации.

Анализ компонент спиральности W бозона в распадах *t*-кварка, при его одиночном рождении, позволил найти ограничения на аномальные связи топ-кварка с W бозоном и b-кварком дополнительным, не прямым, методом. Найдены ограничения на возможные отклонения от предсказанных CM состояний спиральности W бозона и на этом основании получены ограничения на константы связи, характеризующие аномальное взаимодействие *t*-кварка с W бозоном и *b*-кварка с W бозоном и *b*-кварком спраничения на константы связи, характеризующие аномальное взаимодействие *t*-кварка с W бозоном и *b*-кварком через левые и правые токи магнитного типа. Результаты опубликованы в работе <u>JHEP 01 (2015) 053.</u>

На данных протон-протонных столкновений эксперимента CMS при энергии 8 ТэВ проведен поиск рождения дополнительного векторного заряженного бозона W', распадающегося в *t*кварк и *b*-кварк. Получены наиболее жесткие на сегодняшний день ограничения на возможную массу и константы связи W'. Ограничения получены для правых и левых заряженных токов, в случае последних был проведен правильный учет интерференционных членов с W бозоном Стандартной модели. Результаты приняты к публикации в JHEP и доступны в <u>hep-ex:1509.06051</u>

Разработано специализированное программное обеспечение, позволяющее сканировать с заданным шагом катодное и динодное высоковольтные напряжения малоуглового калориметра CASTOR эксперимента CMS, что позволит получить более точные данные для калибровки. Запущена система медленного контроля малоуглового калориметра, система включена в центральную систему контроля и мониторинга установки CMS, что обеспечивает безопасность и надёжность работы малоуглового калориметра в условиях высокой светимости БАК.

В рамках работ по модернизации установки CMS на БАК разрабатывается программное обеспечение (ПО) системы управления и мониторирования крейтов электроники адронной калориметрической системы (АКС) супердетектора CMS на основе нового стандарта электроники с микроархитектурой для телекоммуникационных вычислений (mTCA). Разработан прототип системы управления распределенными потоками информации (DIM server) для связи объектов многооконного центра контроля WinCC OA с электроникой стандарта MicroTCA. Протестировано качество и скорости передачи информации на тестовых стендах электроники MicroTCA в научных центрах ЦЕРН и ДЕЗИ.

Завершен анализ данных протон-антипротонных столкновений в эксперименте D0 коллайдера Теватрон, проведено объединение результатов с экспериментом CDF. По

результатам объединения данных двух экспериментов измерены сечения t- и s-канального одиночного рождения топ-кварка и проведены измерения параметра Vtb матрицы Кабибо-Кобаяши-Маскава. Результаты опубликованы в Phys. Rev. Lett. 115, 152003 (2015).

Выполнено объединение результатов двух экспериментов, H1 и ZEUS коллайдера HERA, по измерению дифференциальных сечений инклюзивного рождения D*± мезонов. Полученные дифференциальные сечения представлены в виде функций от поперечного импульса pT, псевдобыстроты η , виртуальности фотона Q^2 , доли уносимого импульса z и величины неупругости процесса y. Выполнено сравнение комбинированных данных с предсказаниями квантовой хромодинамики с учетом высших порядков теории возмущений (NLO QCD). Показано, что КХД модель HVQDIS хорошо описывает экспериментальные данные. Результаты опубликованы в JHEP09 (2015)149.

Коллаборация ZEUS впервые представила измерения дифракционного рождения двух струй в глубоко неупругом ер рассеянии, $\gamma^* + p \rightarrow jet1 + jet2 + p$. Дифференциальные сечения $d\sigma/d\beta$ и $d\sigma/d\phi$ измерены в пяти интервалах по величине β , и в различных кинематических областях: $Q^2>25 \ \Gamma \Rightarrow B^2$ и $90 < W < 250 \ \Gamma \Rightarrow B$, $MX > 5 \ \Gamma \Rightarrow B$. Измеренные сечения выше предсказываемых в модели двухглюнонного обмена (2G) и модели составного померона (IP). Модель 2G воспроизводит полученные распределения по β . Результаты представлены в DESY-15-070 (May 2015), 1-42 pp и готовятся к публикации от имени ZEUS коллаборации.

В 2015 году были продолжены работы по работы по поискам странного бариона (пентакварка) на полном наборе данных ZEUS. Выполнен предварительный анализ данных коллаборации ZEUS с целью поиска рождения в ер столкновениях экзотического пятикваркового бариона Pc(4450). Завершается подготовка к публикации статьи по результатам поиска в данных ZEUS второго этапа (HERA II), узкого барионного резонанса из пяти кварков.

Смоделирована и установлена возможность изучения одиночного рождения топ-кварка в соударениях ионов свинца при энергии 5.5 ТэВ на пару нуклонов в условиях эксперимента CMS. Моделирование проведено с помощью генераторов событий CompHEP и PYQUEN, учитывает радиационные поправки, модификацию партонных распределений в ядре и потери энергии кварков и глюонов в горячей материи. Предсказана модификация различных характеристик продуктов распада топ-кварка в соударениях ионов свинца по сравнению с соответствующими протон-протонными взаимодействиями. Результаты опубликованы в Phys. Rev. C 92 (2015) 044901

В рамках эксперимента СВД, проведена подготовка к сеансу ноябрь-декабрь 2015 г. и организовано участие в нем. Выпущен препринт по наблюдению мягких фотонов в ядроядерных взаимодействиях при 3.5 ГэВ на нуклон. Завершается подготовка к публикации обобщающей статьи по изучению рождения очарованных частиц в рА-взаимодействиях при 70 ГэВ.

Рассмотрен инфляционный сценарий с потенциалом хиггсовского сектора конечной калибровочной теории с членом Гильберта-Эйнштейна, полученным с помощью уравнений ренормализационной группы. В гравитационной модели с неминимально взаимодействующим скалярным полем рассмотрено обобщение потенциала, допускающего решения типа «отскока» в плоской Вселенной

Развернутый отчет

Исследование одиночного рождения *t*-кварка в эксперименте CMS.

Завершен анализ данных полученных в протон-протонных столкновениях при энергии 7 и 8 ТэВ. Исследованы возможные отклонения от предсказаний Стандартной модели во взаимодействии *t*-кварка с W бозоном и *b*-кварком и возможного проявления нейтральных

токов меняющих аромат кварков во взаимодействии топ кварка с *с*-или *и*-кварком через обмен глюоном.

На основе пакета CompHEP созданы генераторы событий моделирующие методом Монте-Карло аномальные связи в рождении и распаде топ-кварка для энергии протон-протонных столкновений 7 и 8 ТэВ. Проведенные вычисления учитывают все необходимые эффекты на требуемом уровне точности (спиновые корреляции, конечные ширины резонансов, аномальные связи в распадах, учет интерференционных членов, и т.д.) Были созданы образцы событий включающие моделирование отклика CMS детектора. Определены оптимальные параметры экспериментального поиска. Применены методы оптимизации анализа, включая использование байесовских нейронных сетей для скоррелированного анализа доступных наблюдаемых и четкого выделения формы распределения характерного для проявления аномальных констант связи.

Особое внимание было уделено оценке всех возможных неопределенностей и правильному учету их влияния на измерения. Были рассмотрены разные сценарии проявления аномальных связей и найдены ограничения на характерные константы аномальных взаимодействий при одномерной, двухмерной и трехмерной вариации этих констант. На основе статистического анализа, проведено объединение результатов измерений при энергиях 7 и 8 ТэВ.

Получены ограничения на аномальные константы связи характеризующие векторные и тензорные взаимодействия описываемые левыми и правыми токами. Найдены одномерные ограничения на каждую из таких констант и контуры ограничений при одновременной вариации нескольких констант.

На рисунке 1.1 представлены сравнение данных и моделирования для байесовских нейронных сетей разделяющих t-канальное рождение одиночного топ-кварка и все фоновые процессы. Приведены сравнения для данных полученных при энергии столкновений 7 и 8 ТэВ. На рисунке 1.2. показаны контуры ограничений на аномальные константы связи характеризующие взаимодействия топ-кварка с W бозоном и b-кварком проходящее через правые векторные токи (f^{R}_{V}), левые (f^{L}_{T}) и правые (f^{R}_{T}) тензорные токи. Контуры представляют результаты трехмерной вариации, включающей вариацию констант левых векторных токов, и являются результатом статистического объединения всех доступных данных СМS эксперимента для столкновений 7 и 8 ТэВ. и полученное двухмерное ограничение на константы характеризующие левые и правые токи векторного типа при взаимодействии *t*-кварка с W бозоном и *b*-кварком. Полученные результаты готовятся к публикации от имени СMS коллаборации.



Рисунок 1.1. Представлены сравнение данных и моделирования для байесовских нейронных сетей разделяющих т-канальное одиночное рождение топ кварка (красная область) и фоновые процессы. Приведено сравнение для энергии взаимодействий 7 ТэВ (левый рисунок) и 8 ТэВ (правый рисунок). и полученное

двухмерное ограничение на константы характеризующие левые и правые токи векторного типа при взаимодействии *t*-кварка с W бозоном и *b*-кварком (правый рисунок).



Рисунок 1.2. Представлены контуры ограничений на аномальные константы связи характеризующие взаимодействия топ-кварка с W бозоном и b-кварком проходящее через правые векторные токи (f_V^R), левые (f_T^L) и правые (f_T^R) тензорные токи. Контуры представляют результаты трехмерной вариации, включающей вариацию констант левых векторных токов, и являются результатом статистического объединения всех доступных данных CMS эксперимента для столкновений 7 и 8 ТэВ.

Проведен поиск нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействиях топкварка с u- или с-кварком проходящем через обмен глюоном (FCNC tcg, tug). Статистический анализ данных столкновений при энергии 7 и 8 ТэВ позволил найти контуры ограничений на константы связи характеризующие нейтральные токи. На рисунках 1.3 представлено сравнение моделирования и данных для байесовских сетей выделяющих проявления нейтральных токов из процессов предсказываемых Стандартной моделью. На рисунке 1.4 представлен двумерный контур ограничивающий возможное проявление нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействии *t*-кварка с *u*-кварком или *c*-кварком, проходящем через обмен глюоном. В Таблице 1.1 приведены одномерные ограничения на константы характеризующие нейтральные токи и бренчинги распада топ-кварка, полученные на всей совокупности данных эксперимента CMS при энергии столкновений 7 и 8 ТэВ. Результаты готовятся к публикации от имени CMS коллаброации.



Рисунок 1.3. Представлено сравнение моделирования и данных для байесовских сетей выделяющих проявления нейтральных токов из процессов предсказываемых Стандартной моделью. Показаны распределения данных и модели для байесовских нейронных сетей чувствительных к проявлениям нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействии *t*-кварка с *u*-кварком (верхний рисунок) и *c*-кварком (нижний рисунок) для данных полученных при энергии 7 ТэВ (левый рисунок) и 8 ТэВ (правый рисунок).



Рисунок 1.4. Представлен двумерный контур ограничивающий возможную область проявления

нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействии топ-кварка с u- и с-кварком проходящем через обмен глюоном.

Dataset	$\left \frac{\kappa_{\text{tug}}}{\Lambda}\right $, TeV ⁻¹	${\cal B}(t\rightarrowug)$	$\left \frac{\kappa_{\rm tcg}}{\Lambda}\right $, TeV ⁻¹	${\cal B}(t \to cg)$
5.0 fb ⁻¹ , $\sqrt{s} = 7$ TeV	1.42 (1.32) ×10 ⁻²	$< 24.1(20.8) \times 10^{-5}$	2.9 (2.4) ×10 ⁻²	$< 10.1(6.9) \times 10^{-4}$
19.7 fb ⁻¹ , $\sqrt{s} = 8$ TeV	5.1 (5.9) ×10 ⁻³	$< 3.1(4.2) \times 10^{-5}$	21.6 (20.0) ×10 ⁻³	$< 55.8(47.9) \times 10^{-5}$
5.0 fb ⁻¹ , $\sqrt{s} = 7$ TeV & 19.7 fb ⁻¹ , $\sqrt{s} = 8$ TeV	4.1 (4.8) ×10 ⁻³	$< 2.0(2.8) \times 10^{-5}$	$18.4(15.2) \times 10^{-3}$	$< 40.5(27.6) \times 10^{-5}$

Таблица 1.1 одномерные ограничения на константы характеризующие нейтральные токи меняющие аромат кварков во взаимодействии *t*-кварка с *u*-кварком или *c*-кварком и бренчинги распада топ-кварка.

Анализ компонент спиральности W бозона в распадах *t*-кварка при его одиночном рождении позволил найти ограничения на аномальные связи топ-кварка с W бозоном и b-кварком дополнительным, не прямым, методом. Найдены ограничения на возможные отклонения от предсказанных CM состояний спиральности W бозона и на этом основании получены ограничения на константы связи, характеризующие аномальное взаимодействие *t*-кварка с W бозоном и *b*-кварком через левые и правые токи магнитного типа. Рисунок 1.5 иллюстрирует эти результаты опубликованные в работе <u>JHEP 01 (2015) 053</u>

• На данных протон-протонных столкновений при энергии 8 ТэВ проведен поиск рождения дополнительного векторного заряженного бозона W', распадающегося в *t*-кварк и *b*-кварк. Получены наиболее жесткие на сегодняшний день ограничения на возможную массу и константы связи W'. Ограничения получены для правых и левых заряженных токов, в случае последних был проведен правильный учет интерференционных членов с W бозоном Стандартной модели. На рисунке 1.6 представлены полученные ограничения. Результаты приняты к публикации в JHEP и доступны в <u>hep-ex:1509.06051</u>





Рисунок 1.5. Ограничения на возможные отклонения от предсказываемых СМ состояний спиральности W бозона в распаде топ кварка при его одиночном рождении (левый рисунок). Правый рисунок показывает ограничения на константы связи, характеризующие аномальное взаимодействие *t*-кварка с W бозоном и *b*-кварком через левые и правые токи магнитного типа, полученные из ограничений спиральности приведенных слева.



Рисунок 1.6. Представлены ограничения на массу и константы взаимодействия левого и правого токов дополнительного векторного заряженного бозона W', распадающегося в *t*-кварк и *b*-кварк.

Моделирование одиночного рождения топ-кварка в соударениях ионов свинца

Топ-кварк является самой тяжелой частицей Стандартной модели. Рождение топ кварка на коллайдерах происходит за счет сильных (парное рождение) и слабых (одиночное рождение) взаимодействий. Распад топ-кварка идет с практический 100%-й вероятностью на b-кварк и W-бозон. Свойства топ-кварка хорошо изучены в протон-протонных и протонантипротонных столкновениях. Тот факт, что распад топ-кварка происходит раньше процессов адронизации, позволяет изучать влияние кварк-глюонной плазмы на продукты распада топ-кварка при столкновениях тяжелых ионов. Это делает процесс одиночного рождения топ кварка новым интересным инструментом диагностирования и изучения кварк-глюонной плазмы на LHC.

Проанализирована и установлена возможность изучения одиночного рождения топ-кварка в соударениях ионов свинца в условиях эксперимента CMS. Проведено моделирование t-канального рождения одиночного топ-кварка в соударениях ионов свинца при номинальной энергии LHC 5.5. ТэВ на пару нуклонов с помощью генераторов событий CompHEP и PYQUEN, учитывающее следующий за лидирующим порядок теории возмущений КХД, модификацию партонных распределений в ядре и потери энергии кварков и глюонов в горячей материи. Предсказана модификация различных характеристик продуктов распада топ-кварка в соударениях ионов свинца по сравнению с соответствующими протон-протонными взаимодействиями. Модификация распределений по поперечному импульсу b-струи и струи от легкого кварка, рождающихся при распаде топ-кварка, показана на рисунке



Рисунок 2.1. Распределение по поперечному импульсу b-струи (слева) и струи от легкого кварка (справа), рождающихся при распаде топ-кварка, в соударениях ионов свинца (точечная и штриховая гистограммы – соответственно с учетом и без учета потерь энергии партонов в среде) и протонпротонных соударениях (сплошная гистограмма) при энергии √s_{NN} = 5.5 ТэВ.

Модификация распределения по инвариантной массе W-бозона и b-струи от распада топкварка представлена на рисунке 2.2 (слева). При этом показано, что косинус угла между лептоном и струей от легкого кварка в системе покоя топ-кварка изменяется в соударениях ионов свинца по сравнению с соответствующими протон-протонными взаимодействиями незначительным образом (рисунок 2.2, справа), что позволяет использовать данную кинематическую переменную при выделении сигнальных событий.



Рисунок 2.2. Распределение по инвариантной массе W-бозона и b-струи от распада топ-кварка (слева) и по косинусу угла между лептоном и струей от легкого кварка в системе покоя топ-кварка (справа) в соударениях ионов свинца (точечная и штриховая гистограммы – соответственно с учетом и без учета потерь энергии партонов в среде) и протон-протонных соударениях (сплошная гистограмма) при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 5.5$ ТэВ.

Другим интересным ядерным эффектом, предсказываемым для одиночного рождения топкварка в соударениях ионов свинца, является исчезновение зарядовой асимметрии в рождении топ и анти-топ кварков (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3. Зависимость зарядовой асимметрии в рождении топ и анти-топ кварков от псевдобыстроты лептона в соударениях ионов свинца (точечная и штриховая гистограммы – соответственно с учетом и без учета потерь энергии партонов в среде) и протон-протонных соударениях (сплошная гистограмма) при энергии √s_{NN} = 5.5 ТэВ.

Полученные результаты являются важным шагом к будущему экспериментальному исследованию одиночного рождения топ-кварка в столкновениях тяжелых ионов и обнаружению предсказываемых эффектов.

Исследования в коллаборации D0 коллайдера Теватрон (Фермилаб, США)

Впервые одиночное рождение топ-кварка было наблюдено в эксперименте D0 коллайдера Теватрон в 2007 году в t-канальном рождении. Спустя 8 лет, в 2015 году, завершен анализ всех полученных данных при энергии 1.96 ТэВ и проведено объединение измерений экспериментов D0 и CDF. В результате проведенных исследований удалось опубликовать окончательные измерения доступных характеристик процессов одиночного рождения топ-кварка при энергии 1.96 ТэВ в протонантипротонных столкновениях. Большая экспериментальная статистика и эффективный анализ данных с использованием современных статистических многомерных методов, позволил получить следующие измерения:

σ(s-channel) = 1.29 + 0.26 - 0.24 (+20% - 19%) π6 σ(t-channel) = 2.25 + 0.29 - 0.31 (+13% - 14%) π6 σ(s+t channel) = 3.30 + 0.52 - 0.40 (+16% - 12%) π6 |Vtb| = 1.02 + 0.06 - 0.06

|Vtb| > 0.92 на уровне статистической достоверности 95% CL. Измерения находятся в согласии со Стандартной моделью (CM) и позволяют ужесточить ограничения на возможные отклонения от ее предсказаний. Результат опубликован в статье: **Phys. Rev. Lett. 115, 152003 (2015).** Необходимо отметить, что коллайдер БАК не чувствителен к s-канальному механизму рождения топ кварков и достоверность его измерений далека от текущего результата коллайдера Tevatron. **На рисунках представлены сравнение измеренных сечений с предсказаниями CM, измеренное распределение параметра Vtb и сравнение измеренных сечений с границами возможных отклонений от предсказаний CM.**



Продолжаются исследования спектра инвариантных масс двух J/Psi частиц и исследования возможного 4-х кваркового состояния в анализе всего набора данных эксперимента D0. Из экспериментальных данных был построен комбинаторный фон для таких событий. Вычитание этого фона показывает сигнал состояния из 2х Джипси с массой 6.25Гэв/с2 на уровне значимости в 5 стандартных отклонений. На уровне порядка 4 стандартных отклонений выделен сигнал от состояния Джипси-Псайпрайм с массой 6.86Гэв/с2. Показано существование в данных D0 событий с двумя Псайпраймами. Предварительный анализ таких событий показывает наличие состояния из двух Псайпраймой с массой около 7.55Гэв/с2. Обобщение полученных результатов приводит к выводу о существовании мезонной молекулы из различных состояний с- anti-с кварков (мезоны). Показано существование в данных D0 значительного числа событий с двумя Упсилониям. Результаты проходят одобрение D0 коллаборации.

Участие в эксперименте ZEUS

Заключительным этапом анализа данных, собранных в разных экспериментах на коллайдере HERA, является их объединение. Это позволяет значительно повысить статистическую достоверность полученных результатов и уменьшить ошибки измерений. Однако, у каждого эксперимента своя специфическая кинематическая область сбора данных и методика их обработки. При объединении измерений разных экспериментов требуется деликатный и кропотливый учет этих особенностей.



- Объединение измерений дифференциальных сечений рождения D*± в глубоко неупругих процессах [1].

Эксперименты H1 и ZEUS объединили свои измерения по инклюзивному рождению D*± мезонов на уровне видимых сечений в общей области фазового пространства и с учетом систематических корреляций. Дифференциальные сечения представлены в виде функций от поперечного импульса *pt*, псевдобыстроты *η*, виртуальности фотона Q^2 , доли уносимого импульса *z*, величины неупругости процесса *y*, сведены в 7 таблиц и представлены на 14 рисунках. Выполнено сравнение комбинированных данных с предсказаниями квантовой хромодинамики (КХД) с учетом высших порядков теории возмущений (NLO QCD).

На рисунке показано комбинированное дифференциальное сечение рождения D* как функция pt(D*). Гистограммой показан размер интервалов, использованных для вычисления сечений. Данные сравниваются с предсказаниями КХД модели HVQDIS, учитывающей рождение b-кварков.



Дважды дифференциальное сечение рождения D*± по переменным Q² и у. Гистограммой показан размер интервалов, использованных для вычисления сечений. Данные сравниваются с предсказаниями КХД модели HVQDIS, учитывающей рождение b-кварков.

Следует отметить, что КХД модель HVQDIS достаточно хорошо описывает экспериментальные данные.

Объединение измерений инклюзивных сечений глубоко неупругого e±p рассеяния и КХД анализ данных HERA [2].

Согласно современным модельным представлениям, протон состоит из кварков и глюонов, чьи взаимодействия и эволюция описываются квантовой хромодинамикой (КХД). е±р коллайдер HERA предоставил уникальную возможность для детального измерения структурных функций протона в широчайшей кинематической области и извлечения из данных партонных распределений. Коллаборации H1 и ZEUS проделали фундаментальную работу по объединению обширного массива индивидуальных измерений инклюзивных сечений глубоко неупругого е±р рассеяния и КХД анализа данных. Для этой цели были разработаны специализированные пакеты программ HERAverager и HERAFitter. Каждая коллаборация собрала около 500 пкб⁻¹ данных по е±р рассеянию через заряженные и нейтральные токи в области $0.045 \leq Q^2 \leq 50000$ ГэВ² и переменной Бъеркена, хвј, 6·E-7 \leq хвј ≤ 0.65 в четырех интервалах энергии взаимодействия, $\sqrt{s} \approx 320$, 300, 251 и 225 ГэВ. Данные



сведены в 16 таблиц и представлены на 83 рисунках. Детально описана процедура объединения данных и усреднения измеряемых сечений в разных экспериментах, учет вкладов разнообразных физических процессов (тяжелые кварки, струи), КХД анализ и, в конечном итоге, извлечение распределений по Q² и хвј кварков и глюонов в протоне. Уточнен фундаментальный параметр Стандартной Модели αs(M²z), чьё значение очень хорошо согласуется с мировым средним равным α_s(M²z)= 0.1185. В качестве иллюстраций приведем, ставшими классическим, дифференциальные сечения при рассеянии через нейтральный и заряженный токи.

На рисунке показаны итоговые



Отметим, что при $Q^2 \approx 100 \ \Gamma \Rightarrow B^2$, когда доминирует обмен через виртуальный фотон, сечение рассеяния через нейтральный ток на три порядка выше, сечения рассеяния через массивный заряженный ток.

Первоначально ожидалось, что для структурной функции F2 (Q², x_{Bj}) будет выполняться так называемый скейлинг Бъёркена, т.е. F2 будет функцией только от переменной x_{Bj}. Как показано на следующем рисунке, скейлинг Бъёркена сильно нарушен, особенно в области малых x_{Bj} < 0.1.



H1 and ZEUS

Структурная функция F2 извлеченная из приведенных сечений при четырех значениях Q² совместно с предсказаниями пакета HERAPDF2.0 NLO.

Пакет HERAPDF2.0*NLO позволяет извлечь из данных по структурным функциям функции распределения партонов. На сегодняшний день, реконструированные из данных НЕRA распределения партонов в протоне, являются наиболее точными, что значительно улучшает точность предсказания процессов на Большом Адронном Коллайдере и активно используется в анализе данных с БАК.

Функции партонных распределений хи_v,

 $xd_v, xS = 2x(U + D) u xg при \mu^2 f = 10$ ГэВ² и фиксированном значении $\alpha_s(M^2z) = 0.118$. Разными цветами показаны учтенные неопределенности.



Среди многообразия процессов в ер-рассеянии, имеется особый тип процесса, дифракционный, при котором формируется отделённая, в пространстве быстрот, адронная система. Модельно, рождение такой системы описывается процессом, включающим обмен



сложносоставным объектом с квантовыми числами вакуума, помероном IP. На рисунке показана схематическая диаграмма процесса.



Схематическое представление дифракционного образования двух струй адронов в неупругом рассеянии электрона на протоне.



Распределение вероятности нахождения двух, трех и четырех струй в конечном состоянии в зависимости от параметра уси. Предсказания генератора SATRAP показаны гистограммой. Распределения не поправлены на аппаратурные эффекты.

Коллаборация ZEUS впервые представила измерения дифракционного рождения двух струй в глубоко неупругом ер рассеянии, ү* + p \rightarrow jet1 + jet2 + p. Дифференциальные сечения do/d β и do/d ϕ в пяти интервалах по величине β , измерены в кинематической области Q²>25 ГэВ² и 90 < W < 250 ГэВ, Mx > 5 ГэВ.

Измеренные абсолютные сечения выше, чем предсказывается моделью двух-глюонного (2G) обмена, и моделью составного померона (см. рисунок ниже). При β>0.4 различие между данными и моделью составного померона достигают значительной величины. В тоже время, 2G-модель вполне приемлемо воспроизводит данные.



Дифференциальные сечения эксклюзивного образования двух струй по переменным β и φ в пяти интервалах по величине β. Вклады от диссоциации протона на две струи



вычтены. Предсказания модели двухглюонного обмена представлены при pT,cut = 1.75 GeV. Ширина полосы теоретических ожиданий, отражает только статистические неопределенности. - Продолжен анализ фрагментационных функций в области мишени Брейт системы. Проведено детальное исследование скейлинговых импульсных спектров заряженных частиц, реконструированных с использованием всех трековых детекторов установки ZEUS (MVD, CTD и STT) практически во всей кинематически доступной области для HERA II данных в рамках нового формата DST(Root Common Ntuples). Подобный анализ с глобальным трекингом сделан в эксперименте 3EBC впервые и позволил получить хорошее согласие с MC в широкой области переменой Бьёркена x_{Bj} (от кинематического предела 1.0×10^{-4} до 0.75) и в области Q² вплоть до ~ 40 $\times 10^{3}$ GeV², что представляет специальный интерес для сравнения с моделями КХД. Для данного анализа была адаптирована система PROOF (Parallel ROOT Facilty) на базе ROOT6, позволяющая уменышить компьютерное время счёта задач на порядок. Счёт всей статистики HERA II (~1/3 млрд. событий) занимает около 2 часов на 24 процессорном сервере вместо суток. Результаты анализа были доложены на сессии ZEUS Analysis Week (ZAF), май 2015 и ZEUS Collaboration Meeting, сентябрь 2015.

- Следуя методике коллаборации LHCb, выполнен предварительный анализ данных ZEUS с целью поиска рождения недавно открытого LHCb экзотического пятикваркового бариона Pc(4450) в ер столкновениях на коллайдере HERA. Реконструкция сигнала Pc(4450) включает следующие шаги: реконструкцию бариона с b-кварком Λ_b(5620) в моде распада на J/Ψ-мезон, К-мезон и р; реконструкцию J/Ψ-мезонов в моде распада на мюоны противоположного знака заряда; Pc барион реконструируется из J/Ψ-мезонов и протонов из распадов Λ_b(5620). J/Ψ мезон в моде μ+μ- из данных ZEUS реконструируется хорошо. Однако, при имеющемся объеме данных, получить ясно видимый сигнал Λ_b не представляется возможным. По этой причине, в анализе использовались только те протоны и J/Ψ-мезоны, которые соответствовали области масс Λ_b. В полученном таким образом спектре масс системы (р J/Ψ), сигнал Pc не выявлен из-за небольшого числа событий прошедших отбор и значительных флуктуаций спектра масс. Результаты доложены 08.09.2015 на полугодичном рабочем совещании коллаборации ZEUS. Для увеличения числа (р J/Ψ) кандидатов проходящих отбор, на новом этапе анализа мы планируем изменить методику отбора событий. Новый анализ данных уже начат.

Завершается подготовка к публикации статьи по результатам поиска в данных ZEUS второго этапа (HERA II), узкого барионного резонанса из пяти кварков, Øs, в канале распада на протон и нейтральный каон. В отличии от данных HERA I, резонансный пик Øs в спектре масс pKs не обнаружен. Установлен верхний предел на сечение рождения Øs бариона в ер столкновениях при энергии HERA II.

Теоретические исследования

В гравитационной модели с неминимально взаимодействующим скалярным полем рассмотрено обобщение потенциала, допускающего решения типа «отскока» в плоской Вселенной. Подобная интегрируемая модель с постоянным скаляром кривизны и потенциалом специального вида, имеющая решения типа «отскока» в плоской Вселенной Фридмана, была рассмотрена в работе Старобинского с соавторами 2015 года. Нами показано, что данная интегрируемая модель принадлежит однопараметрическому множеству интегрируемых моделей с различными потенциалами. Для полученных интегрируемых моделей рассмотрены условия наличия решений типа «отскока». Из полученных интегрируемых моделей конформным преобразованием найдены новые интегрируемые модели индуцированной гравитации.

Представлен инфляционный сценарий с функцией неминимального взаимодействия скалярного поля с гравитацией и потенциалом Хиггсовского сектора, полученными из конечной калибровочной теории с помощью уравнений ренормализационной группы. Показано, что при определенном условии на параметры калибровочной теории рассматриваемая модель

сводится к тому же классу космологических аттракторов, что и R² гравитация Старобинского, и инфляционная модель с бозоном Хиггса Стандарной модели в роли инфлатона, предложенная Безруковым и Шапошниковым. Данный результат гарантирует соответствие инфляционных параметров наблюдательным данным и стандартный выход из инфляции. Отметим, что в отличие от ранее рассматриваемых моделей, в предложенной модели инфляции член Гильберта-Эйнштейна получается естественным образом как следствие учёта квантовых поправок.

Список публикаций:

1. Tevatron Combination of Single-Top-Quark Cross Sections and Determination of the Magnitude of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa Matrix Element Vtb CDF and D0 Collaborations Published in Phys.Rev.Lett. 115 (2015) 15, 152003 FERMILAB-PUB-15-088-E DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.152003 e-Print: arXiv:1503.05027 [hep-ex]

2. *A.V.Baskakov, E.E.Boos, L.V.Dudko, I.P.Lokhtin, A.M.Snigirev*: "Single top quark production in heavy ion collisions at energies available at the CERN Large Hadron Collider", Phys. Rev. C 92 (2015) 044901

3. CMS Collaboration "Measurement of the W boson helicity in events with a single reconstructed top quark in pp collisions at sqrt(s) = 8 TeV" JHEP 01 (2015) 053

4. CMS Collabroation "Search for W' \rightarrow tb in proton-proton collisions at \sqrt{s} = 8 TeV" arXiv:1509.06051, submitted to JHEP

5. The H1 and ZEUS Collaborations; H. Abramowicz et al. Combination of DifferentialD*± Cross-Section Measurements in Deep-Inelastic ep Scattering at HERA. JHEP09 (2015)149

6. ZEUS Collaboration; H. Abramowicz et al. Production of exclusive dijets in diffractive deep inelastic scattering at HERA Preprint DESY-15-070 (May 2015), 1-42 pp (submitted to EPJC)

7. The H1 and ZEUS Collaborations; H. Abramowicz et al. Combination of Measurements of Inclusive Deep Inelastic e±p Scattering Cross Sections and QCD Analysis of HERA Data Preprint DESY-15-039 (2015), 1-42 pp (accepted by EPJC)

8. A.Yu. Kamenshchik, E.O. Pozdeeva, A. Tronconi, G. Venturi, S.Yu. Vernov, Interdependence between integrable cosmological models with minimal and nonminimal coupling, arXiv:1509.00590 [gr-qc], прнита к печати в журнале *Classical and Quantum Gravity*. 9. E. Elizalde, S.D. Odintsov, E.O. Pozdeeva, S.Yu. Vernov, Cosmological attractor inflation from the RG-improved Higgs sector of finite gauge theory, arXiv:1509.08817 [gr-qc], направлена для печати в высокорейтинговый журнал

10. A.Yu. Kamenshchik, E.O. Pozdeeva, A. Tronconi, G. Venturi, S.Yu. Vernov, Construction of Integrable Cosmological Models with Non-minimally Coupled Scalar Fields, послано в труды ICGAC-12 (World Scientific 2015)

11. E. Elizalde, E.O. Pozdeeva, S.Yu. Vernov, Cosmological models with nonminimally coupled scalar fields and renormalization-group inationary scenarios, послано в труды ICGAC-12 (World Scientific 2015)

Участие в конференциях:

1) Search for Beyond-the-SM physics in Single Top (Устный) Авторы: Боос Э.Э., Дудко Л.В., Буничев В.Е., Баскаков А.В., Мягков И.А., Перфилов М.А., Попов А.А., Корнеева Н.А., Воротников Г.А. 18th Annual RDMS CMS Collaboration Conference, Варна, Болгария, 24-29 августа 2015

2) Limits on FCNC couplings in single top events (Устный) Авторы: Боос Э.Э., Дудко Л.В., Буничев В.Е., Перфилов М.А., Корнеева Н.А., Попов А.А., Баскаков А.В., Маркина А.А., Мягков И.А., Воротников Г.А., Волков П.В., Белугин Д. The XXII International Workshop on High Energy Physics and Quantum Field Theory (QFTHEP'2015), Самара, Россия, Россия, 24 июня - 1 июля 2015

3) Limits on anomalous Wtb couplings in single top-quark events in the CMS experiment (Устный) Авторы: Боос Э.Э., Дудко Л.В., Буничев В.Е., Перфилов М.А., Корнеева Н.А., Попов А.А., Баскаков А.В., Маркина А.А., Мягков И.А., Воротников Г.А., Волков П.В., Белугин Д. QFTHEP'2015, Самара, Россия, 24 июня - 1 июля 2015

4) Theories with large extra dimensions and their experimental consequences (Приглашенный) Авторы: Bunichev Viacheslav E., Boos Edward E., Perfilov Maxim A., Smolyakov Mikhail N., Volobuev Igor P. The XXII International Workshop on High Energy Physics and Quantum Field Theory (QFTHEP'2015), Самара, Россия, Россия, 24 июня - 1 июля 2015

5) «Рождение одиночного топ-кварка в столкновениях тяжелых ионов на Большом Адронном Коллайдере (LHC)», устный доклад, конференция «Ломоносов» 2015, Москва, Россия, 13-17 апреля 2015 Авторы: Э.Боос, А.Баскаков, Л.Дудко, И.Лохтин, А.Снигирев

6) Single top quark production in heavy ion collisions at the LHC, The XXII International Workshop on High Energy Physics and Quantum Field Theory (QFTHEP'2015), Самара, Россия, Россия, 24 июня - 1 июля 2015 Авторы: Э.Боос, А.Баскаков, Л.Дудко, И.Лохтин, А.Снигирев

7) Pozdeeva E.O., «Renormalization group improved inflationary scalar electrodynamics and SU(5) scenarios»,III Russian-Spain Congress, Santiago de Compostela, Spain, Испания, 8-11 сентября 2015

8) Pozdeeva E., «Renormalization-group improved inflationary scenarios», The International Workshop "Supersymmetries and Quantum Symmetries - SQS'2015", Дубна, Россия, 3-8 августа 2015

9) Odintsov S.D., Elizalde E., Pozdeeva E.O., Vernov S.Yu, «Cosmological models with nonminimally coupled scalar fields and renormalization-group inflationary scenarios» ,XIIth International Conference on Gravitation, Astrophysics and Cosmology (ICGAC-12), Москва. Университет Дружбы Народов им. П.Лумумбы, Россия, 28 июня - 5 июля 2015 (докладчик - Вернов С.Ю. ОТФВЭ)

10) Kamenshchik A.Yu, Pozdeeva E.O., Tronconi A., Venturi G., Vernov S.Yu, «Integrable cosmological models with non-minimally coupled scalar fields»,XIIth International Conference on Gravitation, Astrophysics and Cosmology (ICGAC-12), Москва. Университет Дружбы Народов им. П.Лумумбы, Россия, 28 июня - 5 июля 2015 (докладчик - Поздеева Е.О. ОЭФВЭ) 11) Status of MTCA Slow Control development at CMS (Устный + writeup for the Proceedings) Автор Волков П.В., QFTHEP'2015, Самара, Россия, 24 июня-1 июля 2015.

12) Olga Lukina (ZEUS) «Exclusive processes at HERA» PHOTON2015 International Conference on the Structure and the Interactions of the Photon (15.6.-19.6.2015) Novosibirsk, Russia