

## Отчет сотрудников Лаборатории экспериментальной физики высоких энергий о проведенных в 2013 году исследованиях.

### Краткий отчет:

По данным эксперимента CMS в протон-протонных столкновениях при энергии 7 и 8 ТэВ. измерены сечения одиночного рождения топ кварка в  $t$ -канальной моде и в ассоциации с  $W$  бозоном. Определён параметр  $V_{tb}$  матрицы ККМ. Получено хорошее согласие с предсказаниями Стандартной модели. Проведен модельно-независимый поиск проявления дополнительного векторного бозона  $W'$ , предсказываемого в ряде новых теорий. Найдены контуры ограничений в пространстве аномальных констант связи и возможного диапазона масс такого дополнительного бозона. Проводится модельно-независимый поиск проявления аномальных структур в вершине взаимодействия  $Wtb$  с целью постановки ограничений на существование правых векторных и левых и правых тензорных взаимодействий. Ведется модельно-независимый поиск проявления нейтральных токов, меняющих аромат кварков с вершинами взаимодействий  $tsg$  и  $tug$ . Проведена калибровка адронного калориметра (симметризация отклика) и коррекции на изменения сигналов фотоумножителей в зависимости от времени по данным 2012 года. Симметризация отклика сохраняется постоянной с точностью 2%. Улучшено моделирование переднего адронного калориметра (HF) установки CMS.

Эксперименту D0 коллайдера Теватрон впервые удалось провести экспериментальное наблюдение  $s$ -канального одиночного рождения топ-кварка на статистическом уровне достоверности 3.7 стандартных отклонения. Измерение проведено независимо от  $t$ -канального рождения.

Продолжено изучение электрон-протонных взаимодействий на данных полученных ер-коллайдером HERA в эксперименте ZEUS. В частности, проводится поиск рождения странного экзотического бариона состоящего из пяти кварков  $\theta_s$  (1530). Получены первые положительные указания на рождение “пентакваркового” бариона на новом массиве данных. В рамках анализа фрагментационных функций (FF) в области мишени в эксперименте ZEUS проводится работа по созданию программного обеспечения на базе C++ и ROOT в связи с переходом на новый формат данных в соответствии с проектом DPHER. Полученные в этой области данные по зависимости FF от переменной Бьёркена  $x$  согласуются с предсказаниями пертурбативной КХД.

В эксперименте СВД завершён поиск и анализ трехчастичных распадов заряженных D-мезонов, рожденных в  $pA$ -взаимодействиях при энергии 70 ГэВ. Проведен отбор двухчастичных распадов  $K0$  и Лямбда-частиц в расширенной кинематической области, получены первые результаты анализа Лямбда-частиц.

Применен голографический подход к модифицированным пространствам анти-де Ситтера с различными  $b$ -факторами. Смоделирована зависимость энтропии от энергии сталкивающихся ионов эквивалентна зависимости множественности рождения частиц от энергии. Проведено сравнение теоретических расчетов с известными экспериментальными данными. Развита процедура реконструкции для моделей нелокальной гравитации, не предполагающих существование нового размерного параметра в действии и включающих функцию от обратного оператора Даламбера действующего на скаляр кривизны. Построены решения моделей с параметром Хаббла обратно пропорциональным времени. Основная форма модифицирующей функции — линейная комбинация экспоненциальных функций. Для случая экспоненциальной модифицирующей функции  $f$  впервые получены и изучены все возможные решения данных типов в модели с идеальной жидкостью и космологической константой.

## Развернутый отчет:

### 1. Исследования одиночного рождения топ-кварка в эксперименте CMS.

• Продолжаются исследования t-канального одиночного рождения топ-кварка в протон-протонных столкновениях при энергии 7 и 8 ТэВ. Создается инфраструктура анализа данных на основе Байесовских нейронных сетей, которая позволит оптимизировать поиск таких событий и провести наиболее точные измерения. Параллельно используются более простые методы позволяющие получить первые результаты измерений. В частности, проведено исследование данных при энергии 8 ТэВ на основе анализа распределений по псевдобыстроте струи отдачи [CMS-PAS-TOP-12-011] измеренное сечение составило  $80.1 \pm 5.7(\text{stat.}) \pm 11.0(\text{syst.}) \pm 4.0(\text{lumi.})$  пб и находится в согласии с предсказаниями Стандартной модели. Далее, на основе того же распределения, было измерено отношение сечений рождения топ- и анти-топ кварков [CMS-PAS-TOP-12-038]. Измеренное отношение составило  $R_{t\text{-ch.}} = \sigma_{t\text{-ch.,top}} / \sigma_{t\text{-ch.,anti-top}} = 1.76 \pm 0.27$  и находится в согласии с СМ.

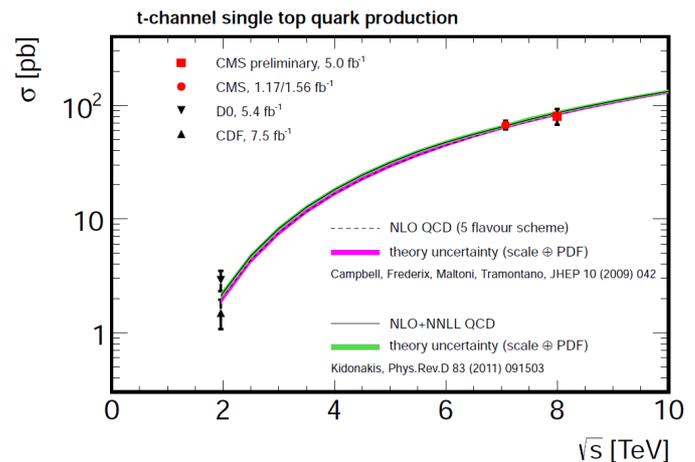
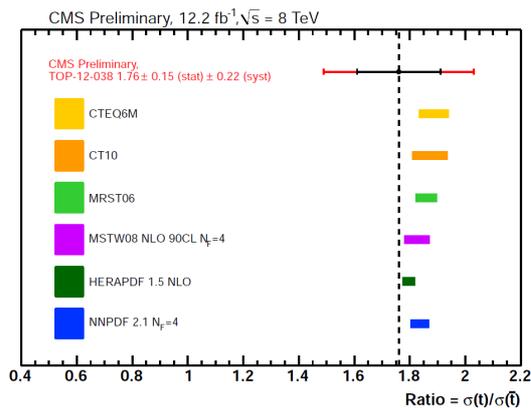


Рисунок 1.1. Левый рисунок представляет измеренное отношение сечений рождения топ и анти-топ кварков и различные вычисления этого отношения с различными структурными функциями протонов. Правый рисунок показывает измеренные значения сечения t-канального рождения одиночного топ-кварка при различных энергиях столкновений и кривую теоретических предсказаний.

• Проведен анализ ассоциативного рождения одиночного топ-кварка и W бозона (tW) при энергии протон-протонных столкновений 7 и 8 ТэВ. Впервые, уровень достоверности измерений достигший 6 стандартных отклонений, позволил заявить об экспериментальном открытии таких процессов. Измеренное сечение составило  $23.4 + 5.5 - 5.4$  пб и находится в согласии с предсказаниями СМ:  $22.2 \pm 1.5$  пб. Результаты представлены в [Phys. Rev. Lett. 110 (2013) 022003] и в [CMS-PAS-TOP-12-040]. Анализ проведен методом деревьев решений.

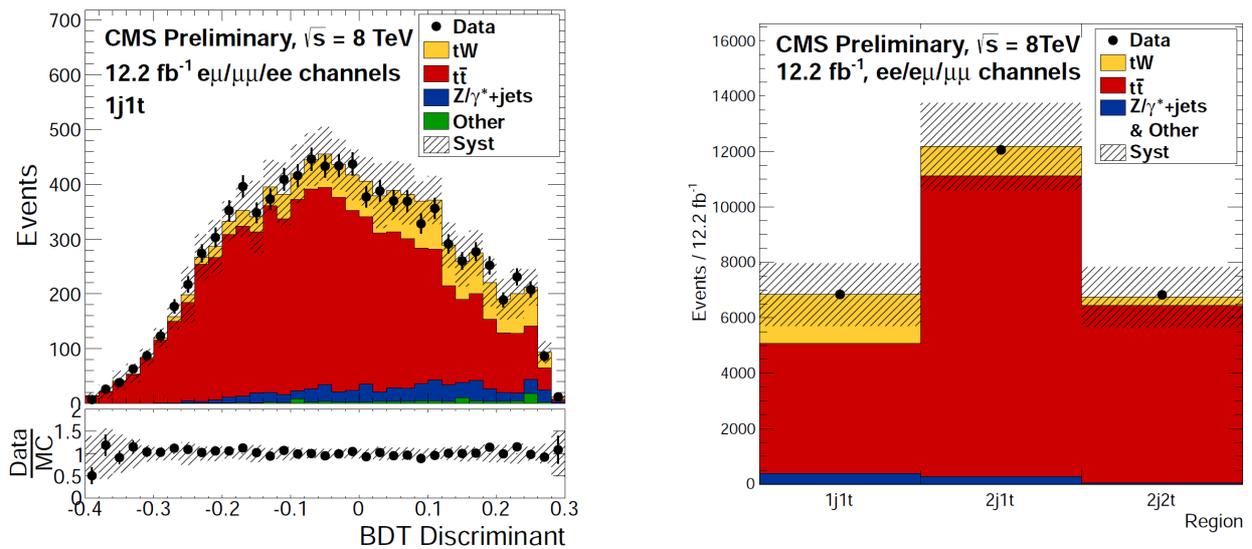


Рисунок 1.2. На левом рисунке представлен дискриминант деревьев решений для одного из каналов анализа. Правый рисунок представляет измерения сигнала, фона и данных во всех каналах.

- Проведен модельно-независимый поиск рождения дополнительного векторного заряженного бозона  $W'$  предсказываемого различными теориями за рамками СМ. Исследовались возможные распады такого бозона в топ- и b-кварки. Были проведены точные вычисления возможного проявления такого бозона с различными структурами взаимодействия и учетом эффектов интерференции с заряженным бозоном Стандартной модели  $W$ . Измерения проведены на полной статистике данных полученных экспериментом CMS при энергии протон-протонных столкновений 7 и 8 ТэВ с соответствующей интегральной светимостью  $5 \text{ fb}^{-1}$  и  $19.6 \text{ fb}^{-1}$ . Проведенные измерения не выявили сигнала дополнительного бозона и были установлены ограничения на минимальную массу такого бозона  $M_{W'} > 2.03 \text{ ТэВ}$  с уровнем достоверности 95%. Вместе с ограничениями на массу дополнительного бозона, были получены контуры ограничений на константы связи такого бозона с топ- и b-кварками для возможных левых и правых токов. Результаты опубликованы в [Phys.Lett. B718 (2013) 1229-1251] и [CMS-PAS-B2G-12-010].

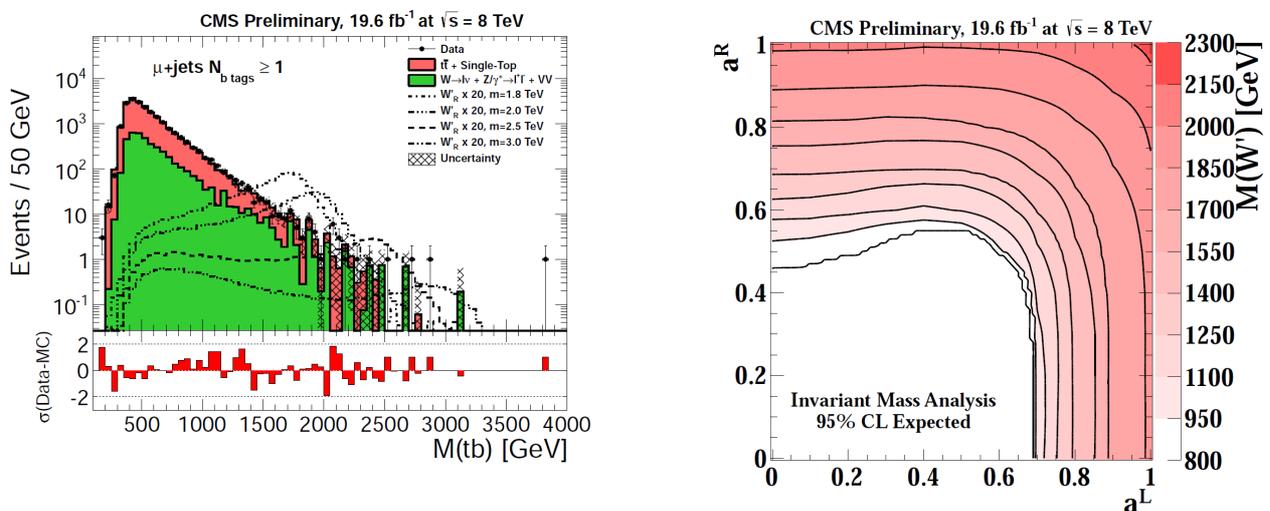


Рисунок 1.3. На левом рисунке приведено измеренное распределение по инвариантной массе топ- и b-кварков, штрихованной линией показан возможный сигнал от дополнительного

векторного заряженного бозона для различных его масс. Правый рисунок показывает найденные контуры ограничений на константы связи в левых и правых токах дополнительного векторного заряженного бозона  $W'$  с топ- и b-кварками, в зависимости от возможной массы дополнительного бозона.

Основные публикации:

1. [Search for a  \$W'\$  boson decaying to a bottom quark and a top quark in  \$pp\$  collisions at  \$\sqrt{s}=7\$  TeV](#) CMS Collaboration ([Serguei Chatrchyan](#) ([Yerevan Phys. Inst.](#)) *et al.*). Aug 2012. 33 pp.

Published in **Phys.Lett. B718 (2013) 1229-1251**

CMS-EXO-12-001, CERN-PH-EP-2012-192

DOI: [10.1016/j.physletb.2012.12.008](#)

e-Print: [arXiv:1208.0956](#) [hep-ex] | [PDF](#)

2. [Evidence for associated production of a single top quark and  \$W\$  boson in  \$pp\$  collisions at  \$\sqrt{s} = 7\$  TeV](#) CMS Collaboration ([Serguei Chatrchyan](#) ([Yerevan Phys. Inst.](#)) *et al.*). Sep 2012.

Published in **Phys.Rev.Lett. 110 (2013) 022003**

CMS-TOP-11-022, CERN-PH-EP-2012-266

DOI: [10.1103/PhysRevLett.110.022003](#)

e-Print: [arXiv:1209.3489](#) [hep-ex] | [PDF](#)

3. [The specificity of searches for  \$W'\$ ,  \$Z'\$  and  \$\gamma'\$  coming from extra dimensions](#)

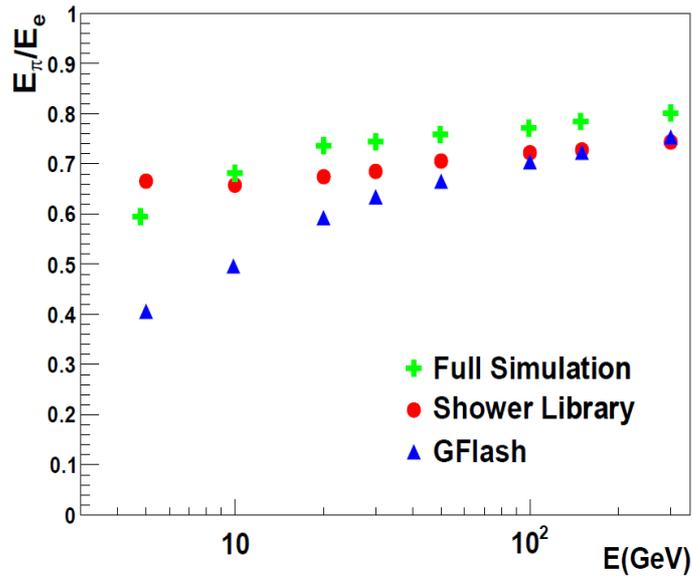
[E.E. Boos](#), [V.E. Bunichev](#), [M.A. Perfilov](#), [M.N. Smolyakov](#), [I.P. Volobuev](#). Nov 23, 2013. 14 pp.

e-Print: [arXiv:1311.5968](#) [hep-ph] | [PDF](#)

Полный список публикаций доступен [здесь](#)

## **2. Модернизация программы моделирования калориметра HF и калибровка детектора CASTOR в эксперименте CMS.**

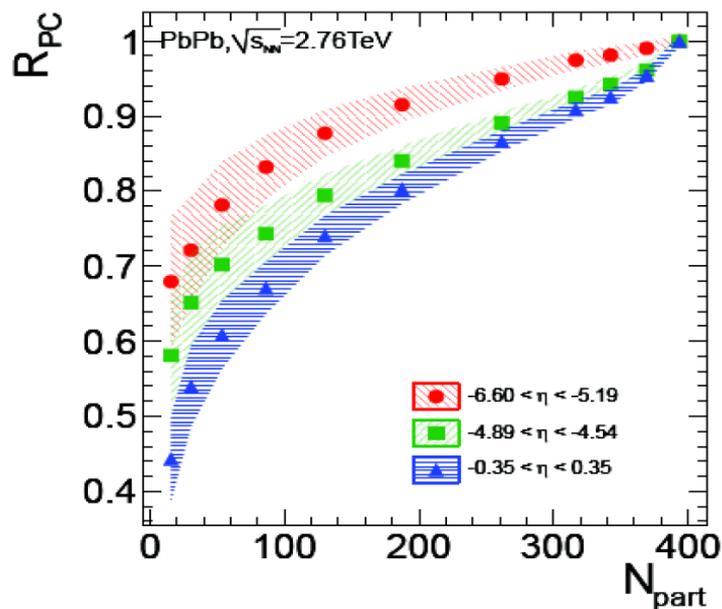
В 2013 году была проведена модернизация процедуры моделирования в переднем адронном калориметре (Hadronic Forward – HF) установки CMS. Откорректирован алгоритм полного моделирования, служащего базовым для отладки упрощённых алгоритмов, используемых для поточного моделирования в CMS. Определены причины существенных отличий от полного параметрического моделирования GFlash, используемого в настоящее время по умолчанию, и предложены способы исправления существующей процедуры моделирования. Подготовленная программа полного моделирования послужит основой для библиотеки ливней (Shower Library), планируемой для моделирования HF после модернизации CMS. На рисунке 13.1 представлено сравнение трёх способов моделирования применительно к базовой характеристике моделирования калориметра – отношению сигнала от пиона и электрона.



**Рисунок 2.1.** Сравнение трёх способов моделирования для базовой характеристики калориметра HF – отношения сигнала от пиона и электрона.

Проведена абсолютная калибровка калориметра CASTOR на основе данных калориметра HF. Калибровка необходима для изучения характеристик взаимодействий протон-свинец в области псевдобыстрот от  $-6,6$  до  $-5,2$ .

С использованием калориметра CASTOR исследованы характеристики потоков энергии в в передней области при соударении ионов свинца с энергией в системе центра масс  $2,76$  ТэВ на нуклон. В частности, проанализированы потоки энергии при разной центральности соударений (рис.13.2). Эти характеристики предоставляют ценную информацию о нелинейных эффектах (насыщении) в адронных взаимодействиях.



**Рисунок 2.2.** Отношение потока энергии при разных центральностях взаимодействия к потоку энергии в наиболее центральных взаимодействиях в трёх псевдобыстротных интервалах. Красным цветом показан интервал псевдобыстрот калориметра CASTOR.

### 3. Исследования в эксперименте D0 (Теватрон, США).

#### 3.1 Исследования одиночного рождения топ-кварка в эксперименте D0.

Впервые одиночное рождение топ-кварка было наблюденно в эксперименте D0 коллайдера Теватрон в 2007 году в t-канальном рождении, результат был отмечен Ломоносовской премией МГУ I-й степени. Спустя 6 лет, в 2013 году, на большей экспериментальной статистике проведя сложный анализ данных с использованием современных статистических многомерных методов анализа, удалось наблюдать события s-канального рождения одиночного топ-кварка на уровне статистической достоверности в 3.7 стандартных отклонения. В проведенном анализе независимо измерялись сечения s-канального и t-канального рождений без дополнительных предположений о вкладе последнего. Статистическая достоверность измерения сечения t-канального рождения составила 7.7 стандартных отклонения. Измеренные сечения и ограничения на параметр  $V_{tb}$  матрицы смешивания, составили:  $\sigma(\text{s-канал}) = 1.10 + 0.33 - 0.31$ ;  $\sigma(\text{t-канал}) = 3.07 + 0.53 - 0.49$ ;  $\sigma(\text{s+t-каналы}) = 4.11 + 0.59 - 0.55$ ;  $0.92 < |V_{tb}| \leq 1$  at 95% CL .

Измерения подтверждают предсказания Стандартной модели и позволят ужесточить ограничения на возможные отклонения от стандартной модели. Результат опубликован в статье: [Phys. Lett B 726, 656 \(2013\)](#)

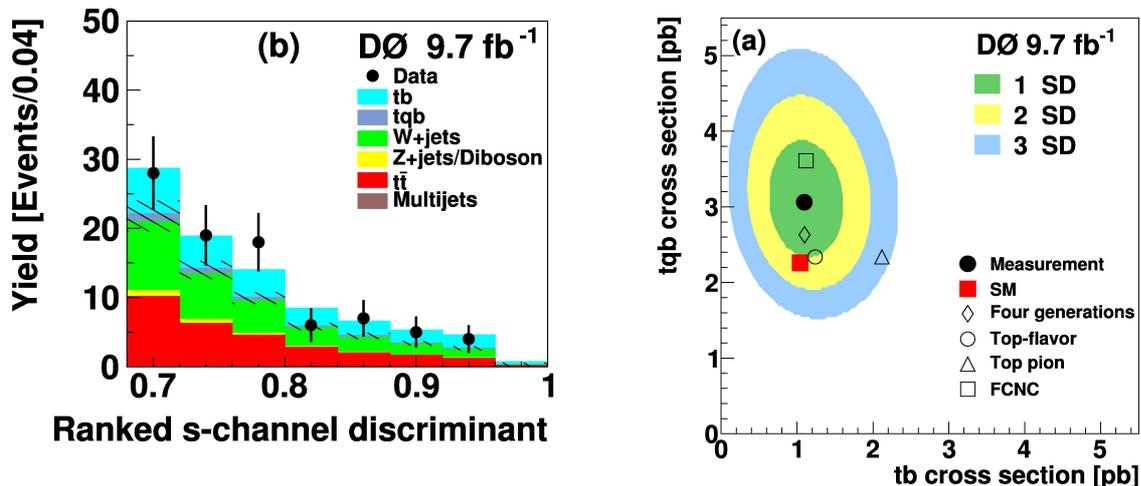


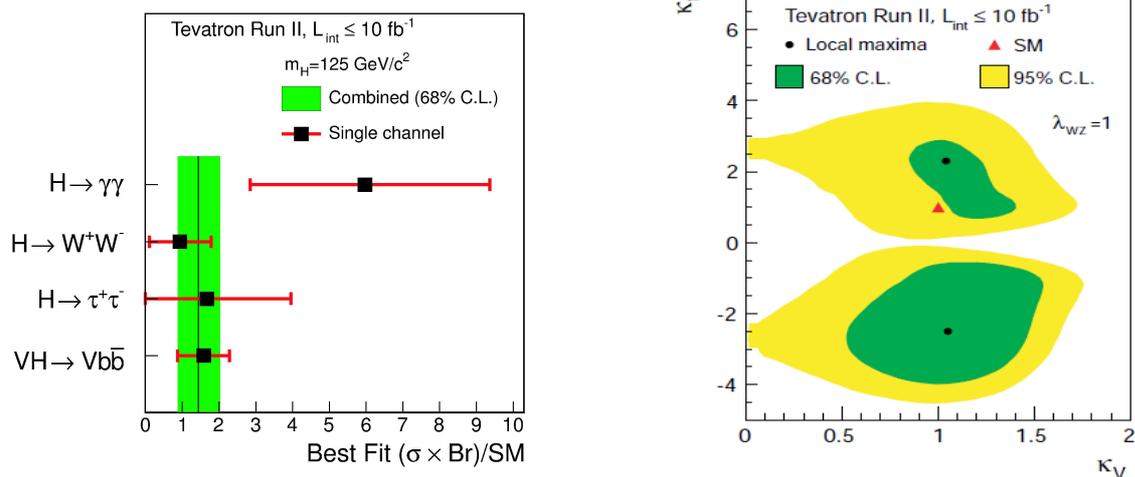
Рисунок 3.1. На левом рисунке представлено распределение многомерного дискриминанта выделяющего s-канальные события (tb) от событий t-канального рождения (tqb) и фоновых процессов. На правом рисунке представлены измеренные независимо друг от друга значения сечений для s-канального рождения (tb) и t-канального рождения (tqb), предсказания Стандартной модели, и некоторые из возможных отклонений от ее предсказаний. S-и t-канальные процессы обозначены характерным набором конечных кварков tb и tqb.

#### 3.2 Исследования бозона Хиггса в эксперименте D0.

Проведен поиск бозона Хиггса и получено статистически достоверное наблюдение нового бозона на коллайдере Теватрон. Проведен поиск во всех основных каналах рождения:  $H \rightarrow b\bar{b}$ ,  $H \rightarrow W^+W^-$ ,  $H \rightarrow ZZ$ ,  $H \rightarrow \tau^+\tau^-$ , и  $H \rightarrow \gamma\gamma$ . В отличие от коллайдера БАК, на коллайдере Теватрон основная значимость измерений достигается в канале с распадом бозона Хиггса на пару b, анти-b кварков, в этом канале коллайдер БАК пока не достигает статистически значимого наблюдения в отличие от каналов с распадом бозона Хиггса в бозоны. Проведенный анализ продолжен первыми измерениями свойств бозона Хиггса. Исключена возможность для найденного бозона иметь спин 2 с достоверностью  $3.1\sigma$  и состояние с отрицательной

четностью 0- на уровне достоверности  $2.3\sigma$ . Проведены первые измерения констант связи бозона Хиггса с фермионами и гамма квантами. Измеренная масса нового бозона согласуется с измерениями на коллайдере БАК. Результаты опубликованы в статьях *Phys. Rev. D* **88**, 052014 (2013) и *Phys. Rev. D* **88**, 052011 (2013).

Рисунок 3.2. На левом рисунке представлены результаты измерения сечений рождения бозона Хиггса в разных каналах распада. Сечения представлены в единицах предсказаний СМ. Правый рисунок представляет первые результаты исследований констант связей бозона Хиггса с фермионами ( $K_f$ ) и калибровочными бозонами ( $K_V$ ).



Основные публикации:

1. [Evidence for s-channel single top quark production in  \$pp^-\$  collisions at  \$s\sqrt{= 1.96 \text{ TeV}}\$](#)   
D0 Collaboration (Victor Mukhamedovich Abazov (Dubna, JINR) *et al.*). Jul 2, 2013. 9 pp.  
Published in *Phys.Lett.* **B726** (2013) 656-664  
FERMILAB-PUB-13-252-E  
DOI: [10.1016/j.physletb.2013.09.048](https://doi.org/10.1016/j.physletb.2013.09.048)  
e-Print: [arXiv:1307.0731](https://arxiv.org/abs/1307.0731) [hep-ex] | [PDF](#)

2. [Combined search for the Higgs boson with the D0 experiment](#)  
D0 Collaboration (Victor Mukhamedovich Abazov (Dubna, JINR) *et al.*). Mar 4, 2013. 18 pp.  
Published in *Phys.Rev.* **D88** (2013) 052011  
FERMILAB-PUB-13-059-E-PPD, FERMILAB-PUB-13-059-E  
DOI: [10.1103/PhysRevD.88.052011](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.88.052011)  
e-Print: [arXiv:1303.0823](https://arxiv.org/abs/1303.0823) [hep-ex] | [PDF](#)

3. [Higgs Boson Studies at the Tevatron](#)  
CDF and D0 Collaborations (T. Aaltonen (Helsinki Inst. of Phys.) *et al.*). Mar 25, 2013.  
Published in *Phys.Rev.* **D88** (2013) 052014  
FERMILAB-PUB-13-081-E  
DOI: [10.1103/PhysRevD.88.052014](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.88.052014)  
e-Print: [arXiv:1303.6346](https://arxiv.org/abs/1303.6346) [hep-ex] | [PDF](#)

Полный список публикаций доступен [здесь](#).

## 4. Участие в эксперименте ZEUS

### 4.1 Основные научные результаты

В 2013 г. коллаборация ZEUS опубликовала 8 статей в высоко рейтинговых научных журналах и 3 статьи изданы в виде препринтов и направлены в редакции журналов. В основу статей лег анализ данных эксперимента ZEUS, полученных на электрон-протонном коллайдере HERA (г. Гамбург, Германия).

Среди наиболее значимых следует отметить следующие физические результаты, полученные при активном участии физиков НИИЯФ МГУ в эксперименте ZEUS (ZEUS) в 2013 году.

-Выполнен поиск и найден сигнал эксклюзивного рождения  $Z^0$  бозона в ер столкновениях. Сечение такого процесса при массе  $Z^0$  равно,  $\sigma(ep \rightarrow eZ^0 p^*) = 0.13 \pm 0.06(\text{стат.}) \pm 0.01(\text{сист.})$  пб. [1]

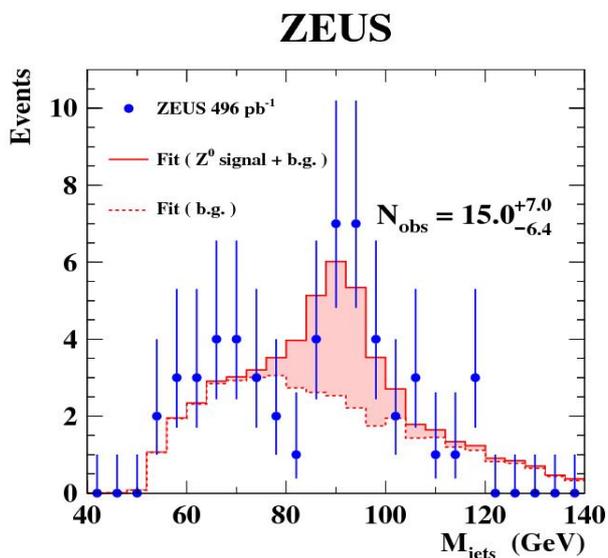


Рисунок 4.1. Распределение масс струй и результат фитирования сигнала  $Z^0$  (гистограмма) и фона (пунктир).

-Выполнено объединение результатов двух коллабораций, H1 и ZEUS, по измерению сечения рождения открытого чарма. Полученные структурные функции использованы для предсказаний сечений рождения  $W^\pm$  и  $Z$  на БАК.[2]

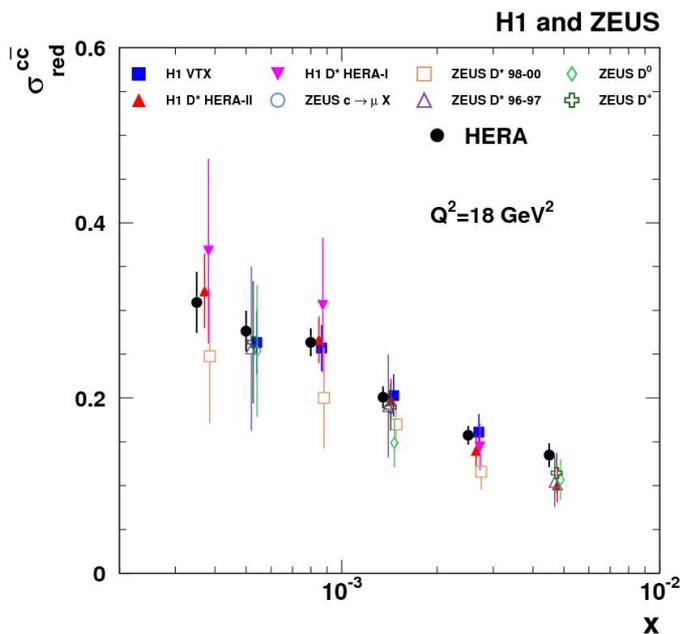


Рисунок 4.2. На данном рисунке представлен пример комбинированных приведенных сечений (полные кружки) как функции переменной  $x$  при  $Q^2=18 \text{ ГэВ}^2$ .

-Измерены сечения фоторождения  $J/\Psi$  и  $\Psi'$  мезонов. Полученные данные сравниваются с теоретическими предсказаниями, основанными на нерелятивистской КХД с учетом высших поправок.[3]

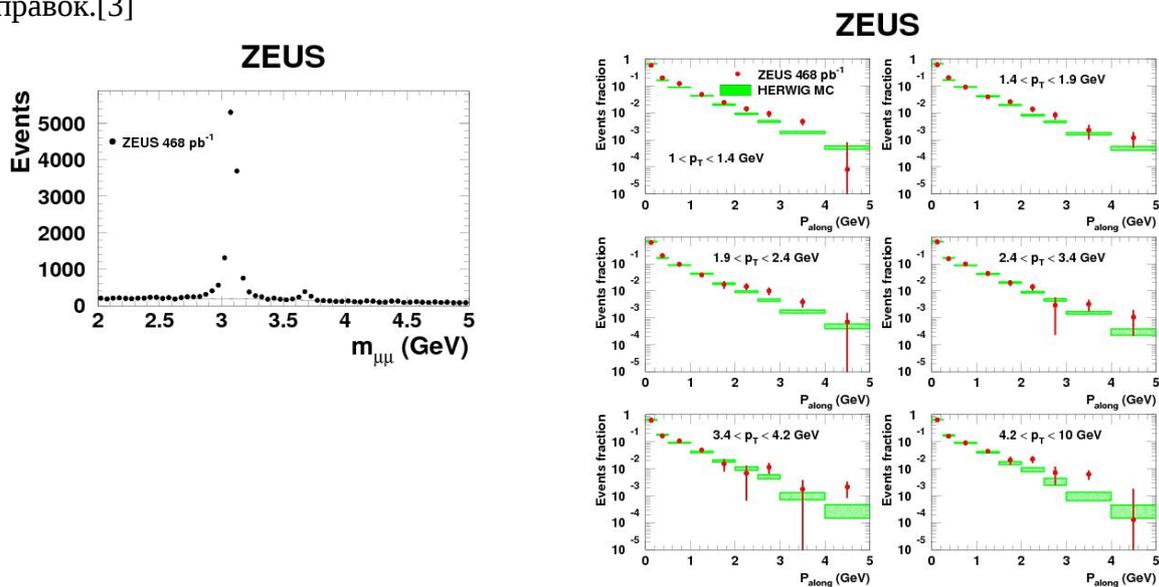
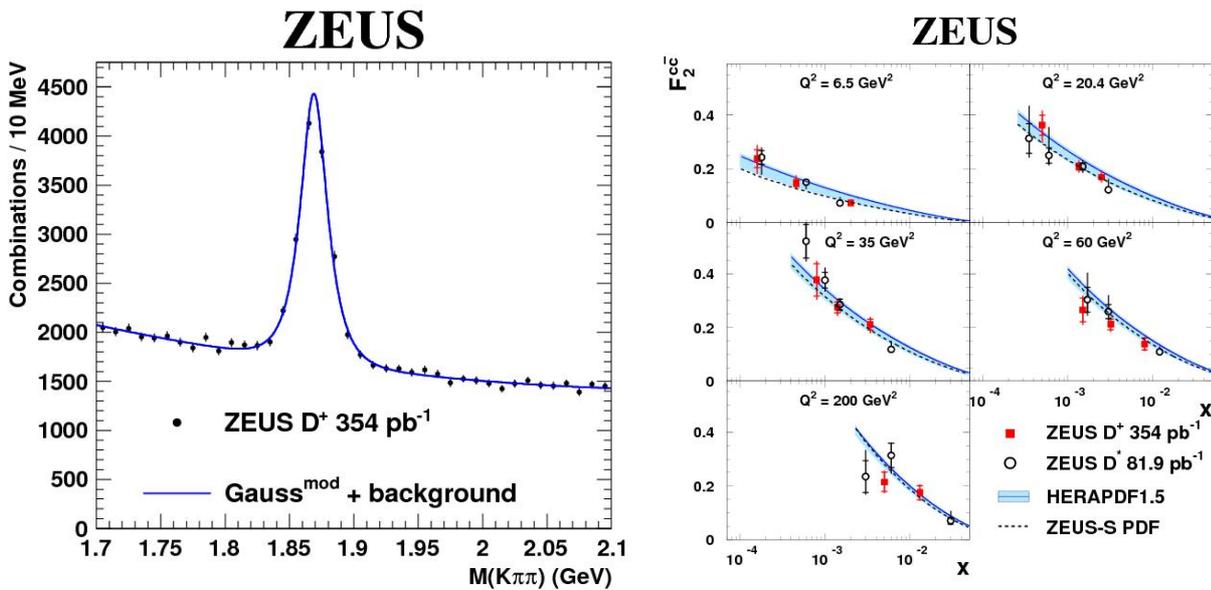


Рисунок 4.3. На левом рисунке показаны сигналы  $J/\Psi$  и  $\Psi'$  мезонов в распределении инвариантной массы пары мюонов. На правом рисунке, распределения потока импульса вдоль направления полета  $J/\Psi$  сравниваются с предсказаниями модели HERWIG.

- Измерены Pt и  $\eta$  спектры заряженных D мезонов, рожденных в глубоко неупругих процессах в широкой кинематической области. Определен вклад чарма в структурную функцию протона.[4]

Рисунок 4.4. На левом рисунке представлено распределение масс реконструированных кандидатов  $D^+$ . На правом рисунке показаны измеренные структурные функции протона.



-Измерены дифференциальные спектры рождения  $D^*$  в глубоко неупругих процессах, выполнено сравнение с вычислениями, основанными на высших порядках КХД и определен вклад чарма в структурную функцию протона.[5]

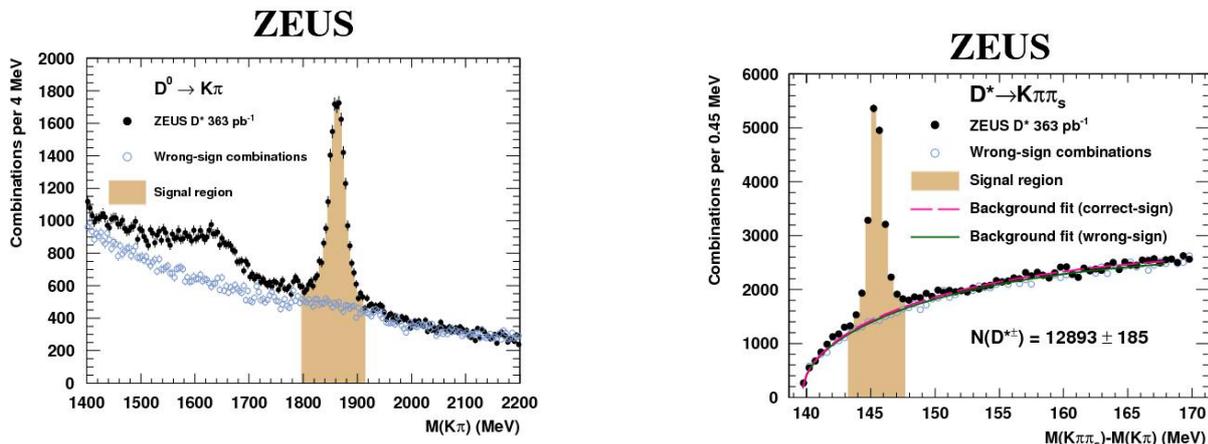


Рисунок 4.5. На левом рисунке показано распределение масс системы (K $\pi$ ) образующей кандидаты  $D^{\pm}$  (полные кружки) и фоновые комбинации (пустые кружки). На правом рисунке показано распределение разности масс  $\Delta M = M(K\pi\pi_s) - M(K\pi)$

- Измерено фоторождение широкого класса очарованных адронов ( $D^0$ ,  $D^{*+}$ ,  $D^+$ ,  $D_s^+$ ,  $\Lambda_c^+$ ) и их античастиц. Выполнено сравнение с результатами e $^+$ e $^-$  экспериментов. Полученные данные подтверждают, что фрагментационные процессы независимы от типа исходной реакции.[6]

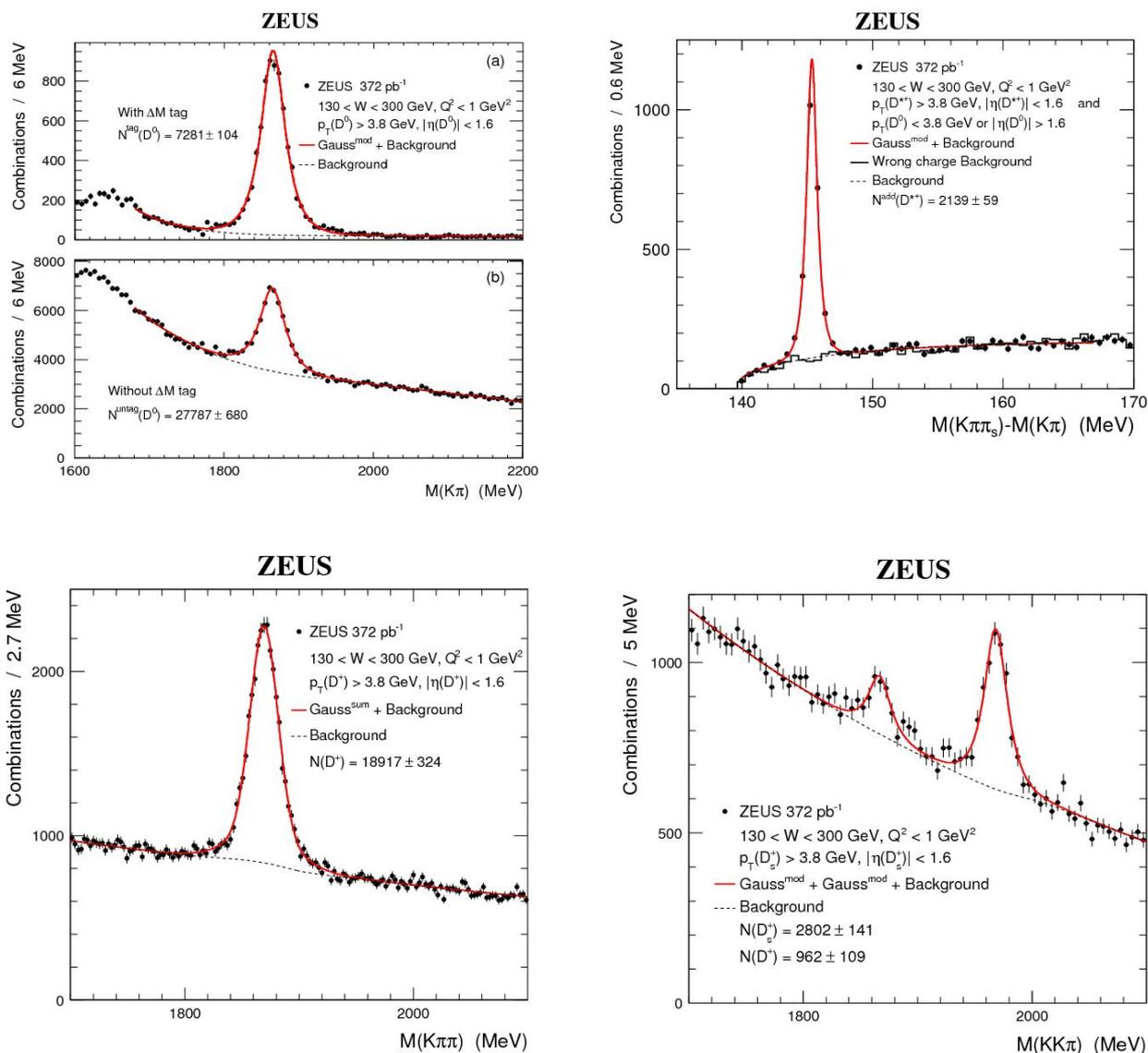


Рисунок 4.6. На рисунке показаны резонансные пики в распределениях масс систем частиц (Kπ) - D<sup>0</sup> кандидаты; (Kππs) - D<sup>\*±</sup> кандидаты; (KKπ) - D<sub>s</sub><sup>+</sup> и D<sup>+</sup> кандидаты.

-Измерено рождение возбужденных состояний очарованных мезонов D1(2420) и D2\*(2460). Определены массы заряженных и нейтральных состояний, ширины нейтральных мезонов и параметр спиральности D1(2420)<sup>0</sup> сравнивались с другими измерениями и теоретическими предсказаниями.[7]

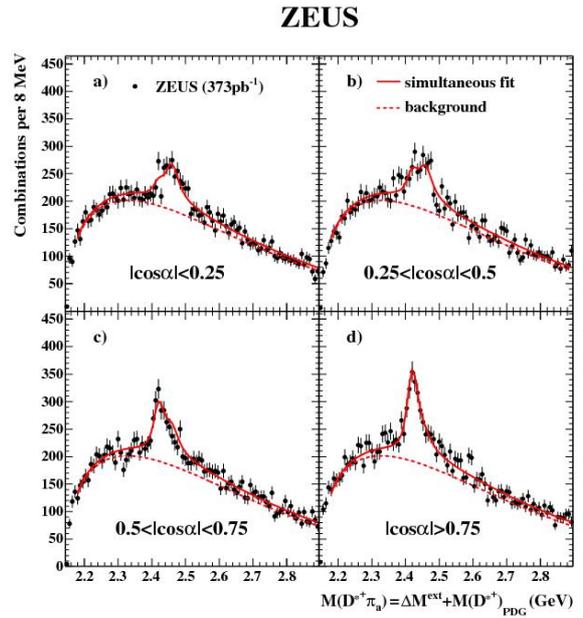
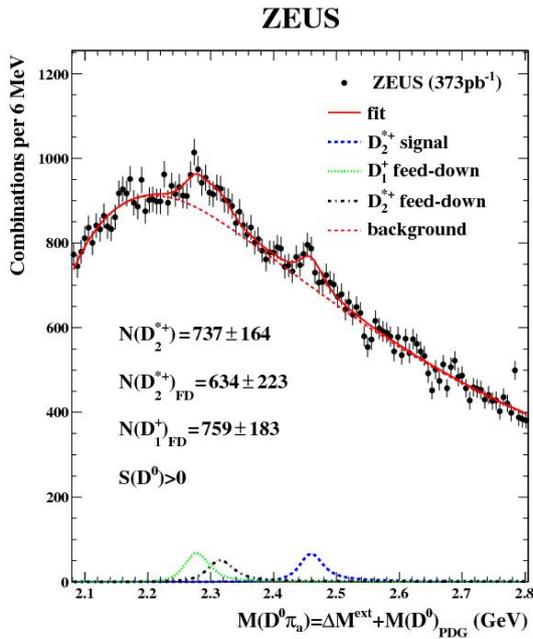


Рисунок 4.7. На левом рисунке показано распределение масс (точки) системы  $(D^0 \pi_a)$ . На правом рисунке приведено распределение масс (точки) системы  $(D^{*+} \pi_a)$  в четырех интервалах спиральности: (a)  $|\cos \alpha| < 0.25$ ; (b)  $0.25 < |\cos \alpha| < 0.5$ ; (c)  $0.5 < |\cos \alpha| < 0.75$ ; (d)  $|\cos \alpha| > 0.75$ .

-По переменным  $Q^2$ ,  $x$ ,  $y$  выполнено измерение дифференциальных сечений глубоко неупругого рассеяния с продольно поляризованным пучком позитронов. Из полученных распределений определены структурные функции  $F_3$  и  $F_3(\gamma Z)$ . Измеренные сечения хорошо описываются Стандартной Моделью (СМ).[8]

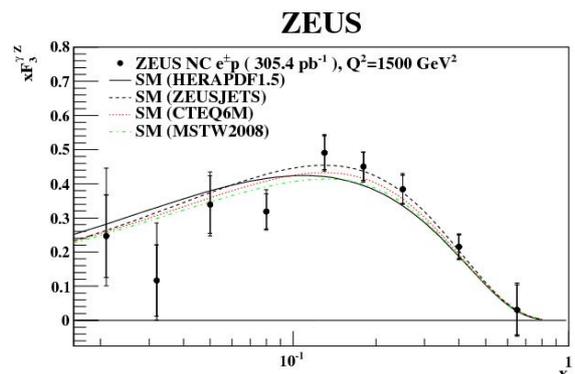
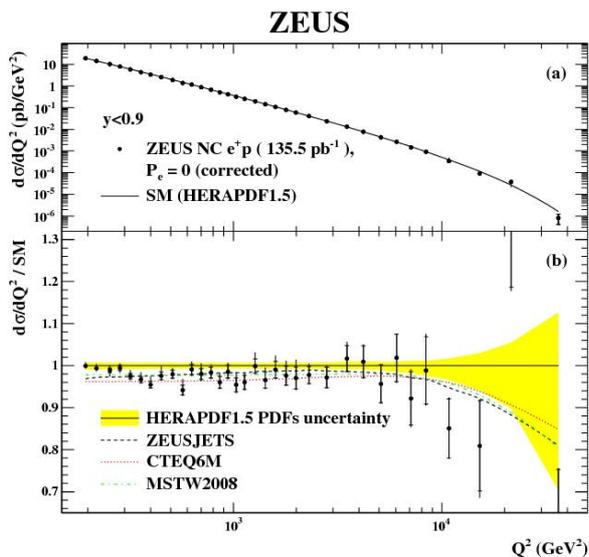


Рисунок 4.8. На левом рисунке показано распределение сечения рассеяния по переменной  $Q^2$  (точки) сравнивается с предсказанием СМ. Справа - Структурная функция  $F_3(\gamma Z)$  (точки), экстраполированная к значению  $Q^2=1500 \text{ ГэВ}^2$ , сравнивается с СМ при разных параметризациях партонных распределений.

## 4.2 Выполняемые анализы данных эксперимента ZEUS

- Продолжен анализ полных данных эксперимента ZEUS за период 1996-2007 гг (HERA I, HERA II) с целью поиска рождения странного экзотического бариона состоящего из пяти кварков  $\theta_s$  (1530). Получены первые положительные указания на рождение “пентакваркового” бариона на данных HERA II. Планируется получить оценку сечения рождения экзотического бариона и по результатам выполненного анализа подготовить статью для научной публикации.

- Имеются и теоретические основания, и экспериментальные возможности для обнаружения при помощи данных ZEUS новых, отличных от  $\theta_s$  (1530), экзотических барионов. Многообещающий анализ экспериментальных данных в этом направлении уже ведется. Результаты будут представлены коллаборации ZEUS в 2014 г.

- В рамках исследования фрагментационных функций (FF) в области мишени в Брейт системе проводится анализ зависимости FF от переменной Бьёркена  $x$ . Как видно из рисунка 4.9, в интервале  $10 < Q^2 < 20 \text{ GeV}^2$  наблюдается две области с различным поведением фрагментационных функций:  $x < 2.4 \times 10^{-3}$ , где имеется явная  $x$ -зависимость процессов фрагментации, и область с  $x > 2.4 \times 10^{-3}$ , где FF практически не зависят от  $x$ . Подобное указание получено впервые в ер-взаимодействиях и указывает на наличие двух механизмов адронизации в области мишени, предсказанное расчётами пертурбативной КХД. Представляет интерес дальнейшее исследование данной зависимости в области больших  $x$  и  $Q^2$ .

В связи с переходом эксперимента ZEUS на новый формат данных (Common Ntuples) согласно проекту DPHER, проводится работа по созданию программного обеспечения на базе C++ и ROOT для анализа фрагментационных функций.

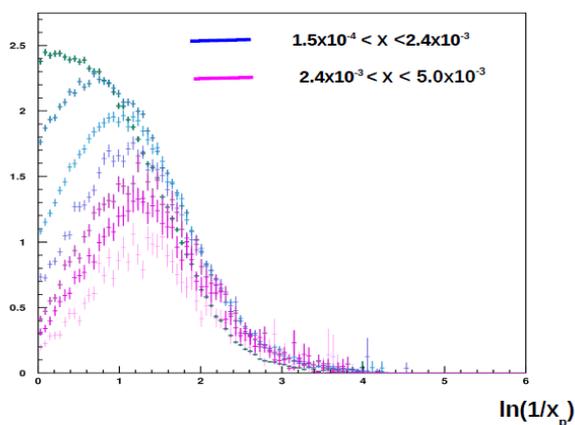


Рисунок 4.9. На рисунке представлено изменение зависимости фрагментационных функций

от переменной Бьёркена  $x$  при малых  $Q^2$  (ослабление интенсивности цвета соответствует увеличению значения  $x$  в областях 1- и 2-).

#### 4.3 Поддержка и развитие проекта «AMADEUS» в эксперименте ZEUS

Пакет генераторов событий, используемых в эксперименте ZEUS (проект «AMADEUS») включает 17 генераторов событий и примерно столько же сопутствующих библиотек. В 2011 году все пакеты были адаптированы под ОС Scientific Linux 5. В 2012 - 2013 году была закончена необходимая работа по информационному обеспечению пакетов в связи с их изменениями и модификацией. В настоящее время работа пакета генераторов событий поддерживается на трех платформах: SL 3, SL4 и SL5.

В рамках проекта «Сохранение данных HERA» продолжалась начатая в 2011-2012 годах селекция/модификация генераторов и библиотек с удалением устаревших и неактуальных пакетов.

Большой объем данных эксперимента ZEUS, в рамках проекта "Сохранение данных HERA", размещен на лентах в сжатом формате. Это вызывало проблемы при анализе данных в рабочей среде PAW. Был написан новый вспомогательный пакет программ, позволяющий весьма просто начать новый анализ в PAW используя сжатые данные.

Модифицирован интерфейс пакета генераторов AMADEUS со стандартным пакетом HepMC, обеспечивающим унифицированную, независимую от языка программирования передачу смоделированных физических событий для дальнейшего моделирования отклика экспериментальной установки.

В связи с новой структурой коллаборации ZEUS, Ю. Голубков был включен в Technical Support Team в качестве эксперта по поддержке (существующих и новых) генераторов событий, используемых в ZEUS.

Осуществлялась поддержка участников ZEUS по теоретическим, математическим и техническим вопросам моделирования физических процессов в эксперименте ZEUS и, в частности, по использованию пакета AMADEUS/FORMOZA.

#### 4.4 Публикации по результатам исследований в коллаборации ZEUS за 2013г. :

1. ZEUS Collaboration; H. Abramowicz et al.

Production of  $Z^0$  bosons in elastic and quasi-elastic ep collisions at HERA  
Phys. Lett. B 718 (2013) 915-921

2. H1 and ZEUS Collaboration; F.D. Aaron et al.

Combination and QCD Analysis of Charm Production Cross Section Measurements in Deep-Inelastic ep Scattering at HERA, Eur. Phys. J. C73 (2013) 2311

3. ZEUS Collaboration; H. Abramowicz et al.

Measurement of Inelastic  $J/\Psi$  and  $\Psi'$  Photoproduction at HERA, JHEP02(2013)071

4. ZEUS Collaboration; H. Abramowicz et al.

Measurement of  $D^\pm$  Production in Deep Inelastic ep Scattering with the ZEUS Detector at HERA, JHEP 05 (2013) 023

5. ZEUS Collaboration; H. Abramowicz et al.

Measurement of  $D^{*\pm}$  Production in Deep Inelastic Scattering at HERA, JHEP 05 (2013) 097

6. ZEUS Collaboration; H. Abramowicz et al.

Measurement of Charm Fragmentation Fractions in Photoproduction at HERA, JHEP09(2013) 058

7. ZEUS Collaboration; H. Abramowicz et al.

Production of the excited charm mesons  $D_1$  and  $D_2^*$  at HERA, Nuclear Phys. B 866 (2013) 229-254

8. ZEUS Collaboration; H. Abramowicz et al.

Measurement of high- $Q^2$  neutral current deep inelastic  $e+p$  scattering cross sections with a longitudinally polarised positron beam at HERA, Phys Rev D Vol 87: 052014

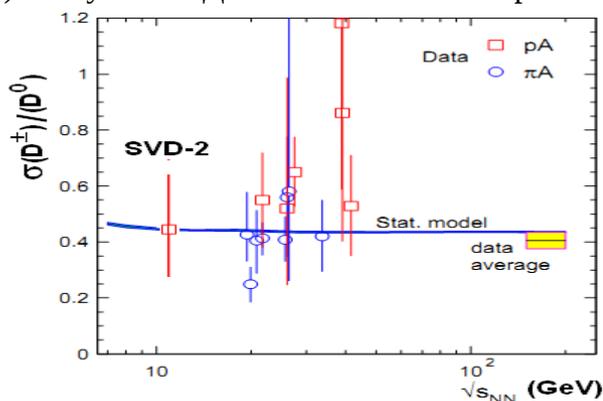
## 5. Исследования в эксперименте СВД (Протвино, Россия)

При непосредственном участии группы НИИЯФ МГУ, коллаборацией СВД (НИИЯФ – ОИЯИ - ИФВЭ) завершён поиск и анализ трехчастичных распадов заряженных  $D$ -мезонов, рожденных в  $pA$ -взаимодействиях в пучке протонов с энергией 70 ГэВ ускорителя ИФВЭ У-70, с использованием ядерных мишеней из углерода, кремния и свинца. На статистике 52 млн. неупругих событий были выделены распады нейтральных ( $D^0 \rightarrow K\pi$ ) и заряженных ( $D^\pm \rightarrow K\pi\pi$ ) очарованных мезонов. Отношение выхода заряженных и нейтральных  $D$ -мезонов ( $D^+ + D^-)/(D^0 + \text{анти } D^0)$  получилось равным  $0.44 \pm 0.24$ . Было проведено сравнение этой величины с данными других экспериментов (см. рисунок). В данных СВД-2 детально изучалось поведение параметра  $\alpha$  в  $A$ -зависимости ( $\sigma \sim A^\alpha$ ) сечения рождения  $D$ -мезонов как функция поперечного ( $p_\perp$ ) и продольного ( $x_F$ ) импульсов. Для обоих типов очарованных мезонов найденная усредненная величина параметра  $\alpha$  оказалась близкой к  $\alpha=1$ , что наблюдается в данных по очарованным  $D$ -мезонам в широком интервале энергий от 70 до 920 ГэВ. Совместные данные по рождению заряженных и нейтральных очарованных  $D$ -мезонов при энергиях до 100 ГэВ в одном эксперименте получены впервые в мире.

Проведен отбор двухчастичных распадов  $K^0$  и  $\Lambda^0$ -частиц в расширенной кинематической области, получены первые результаты анализа по  $\Lambda^0$ -частицам. В частности, получено указание на увеличение поперечного импульса с увеличением массы ядра-мишени.

Публикации:

1. В. В. Авдейчиков и др. (Сотрудничество СВД), «Спектрометр с вершинным детектором для экспериментов на ускорителе ИФВЭ», Приборы и техника эксперимента, № 1(2013), с. 14-37 (Instruments and Experimental Techniques, 2013, Vol. 56, No. 1, pp. 9–31).
2. Е.Н.Ардашев и др. (Сотрудничество СВД), «Регистрация заряженных очарованных  $D^\pm$  мезонов в  $pA$ -взаимодействиях при 70 ГэВ на установке СВД-2», препринт ИФВЭ 2013–9 (направлено в ЯФ).
3. Е.Н.Ардашев, Г.И.Бритвич, А.П.Воробьев, В.Ф.Головкин, С.Н.Головня, А.А.Киряков,



В.Х.Маляев, В.А.Сенько, М.М.Солдатов, А.Г.Холоденко, Ю.П.Цюпа, Г.А.Богданова, В.Ю.Волков, А.К.Лефлат, В.Б.Дунин, Е.С.Кокоулина, В.А.Никитин, И.А.Руфанов «Калориметр мягких фотонов установки СВД-2», препринт ИФВЭ 2013-17 (направлено в ПТЭ).

## 6. Теоретические исследования

**6.1** В настоящее время ведутся активные теоретические и экспериментальные исследования кварк-глюонной плазмы, которая образуется в результате столкновения тяжелых ионов. В рамках голографического подхода образование кварк-глюонной плазмы в четырехмерном мире связывается с формированием черных дыр в пятимерном пространстве анти-де Ситтера. При этом множественность образования частиц при столкновении тяжелых ионов определяется энтропией пятимерной черной дыры, которая оценивается площадью ловушечной поверхности. При таком подходе можно моделировать зависимость энтропии от энергии сталкивающихся ионов и тем самым зависимость множественности от энергии, а также сравнивать теоретические результаты с экспериментальными данными. Для получения различной модельной зависимости множественности рождения частиц от энергии столкновения рассмотрено образование черных дыр в модифицированных пространствах анти-де Ситтера (в пространствах с различными  $b$ -факторами) в присутствии скалярных полей и потенциалов. Найдена динамика изменения площади ловушечной поверхности в зависимости от энергии для каждого исследуемого пространства. Результаты опубликованы в работе И.Я. Арефьева, Е.О. Поздеева, Т.О. Поздеева, Теор. Мат. Физ. 176 (2013) 35-49).

Проводятся исследования связанные с модифицированной гравитацией четырехмерного пространства. В частности, рассмотрены модели нелокальной гравитации, которые не предполагают нового пространственного параметра, а в исходное действие включена функция от обратного оператора д'Аламбера действующая на скаляр кривизны. На основе скалярно-тензорного формализма получена модифицирующая функция для которой модель допускает решения с обратно пропорциональным параметром Хаббла  $H = n/t$ , для любых значений постоянной  $n$ . Для произвольного  $n$  модифицирующая функция является суммой экспоненциальных функций. Соответствующие обратно пропорциональному параметру Хаббла решения получены в явном виде. Рассмотрен в деталях случай модифицирующей функции, допускающей как решение с постоянным параметром Хаббла так и с обратно пропорциональным времени. Результаты опубликованы в работе E. Elizalde, E.O. Pozdeeva, S.Yu. Vernov, Class. Quant. Grav. 30 (2013) 035002;

В модель модифицированной гравитации, с включенной в действие модифицирующей функцией от обратного оператора д'Аламбера действующего на скаляр кривизны, добавлена материя и получены соответствующие решения при параметра Хаббла обратно пропорциональном времени во фрейме Жордана. Получены новые решения для обратно пропорционального параметра Хаббла во фрейме Эйнштейна. Решения в обоих фреймах, связанные конформным преобразованием, существенно уточнены. Соответствие между решениями при параметре Хаббла обратно пропорциональным времени в двух фреймах полезно для получения новых решений во фрейме Эйнштейна. Результаты опубликованы в работе E. Elizalde, E.O. Pozdeeva, S.Yu. Vernov, Y.-l. Zhang, J. Cosmol. Astropart. Phys. 1307 (2013) 034.

**6.2** Исследованы вклады возбуждений Калуца-Клейновских мод  $W$ - и  $Z$ -бозонов и гравитона

в процессы одиночного рождения топ-кварка и процессов Дрелла-Яна дающих дополнительный вклад в проявление  $W'$ - и  $Z'$ -бозонов. Посчитаны сечения рождения одиночного топ-кварка и процессов Дрелла-Яна с учётом влияния бозонов Стандартной модели, первых мод и соответствующих башен Калуцы-Клейна, приведены оценки вклада интерференции таких мод. Для коллайдера LHC показано, что присутствие таких частиц приводит к изменениям в предсказываемых СМ стандартных распределениях.

Публикации:

1. E. Elizalde, E. O. Pozdeeva and S. Yu. Vernov, Y.-li Zhang, *Cosmological Solutions of a Nonlocal Model with a Perfect Fluid (JCAP)*, 1307 (2013) 034 [arXiv:1302.4330]

2. I.Ya Aref'eva, E.O. Pozdeeva, T.O. Pozdeeva, *Holographic estimation of multiplicity and the collision of membranes in modied AdS5 spaces, Theoretical and Mathematical Physics*, том 176, с. 861-872 (2013)

3. E. Elizalde, E. O. Pozdeeva and S. Yu. Vernov *Reconstruction Procedure in Nonlocal Models, Class. Quantum Grav.* 30, 035002 (2013) [arXiv:1209.5957]

2. [\*The specificity of searches for  \$W'\$ ,  \$Z'\$  and  \$\gamma'\$  coming from extra dimensions\*](#)  
[\*E.E. Boos, V.E. Bunichev, M.A. Perfilov, M.N. Smolyakov, I.P. Volobuev. Nov 23, 2013. 14 pp.\*](#)  
*e-Print: [arXiv:1311.5968 \[hep-ph\]](#) | [PDF](#)*  
*Submitted to JHEP*

## 7. Доклады на Конференциях (17):

7.1. Международная сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий» 5-8 Ноября 2013, Протвино, Россия.

«[Физические результаты в эксперименте D0](#)» Дудко Л.В.

«[Single top quark studies with the CMS detector](#)» Цирова Н.А.

«[De Sitter and power-law solutions in nonlocal cosmology](#)» Поздеева Е.В.

«[Introduction of the artificial fields for the anomalous  \$Wtb\$  vertex modelling](#)» Перфилов М.А.

7.2. The XXI International Workshop High Energy Physics and Quantum Field Theory June 23 – June 30, 2013 Saint Petersburg Area, Russia

«Heavy-ion collisions in modified AdS spaces» Поздеева Е.В.

«Study of single top quark production with the CMS detector» Цирова Н.А.

« $Wtb$  vertex anomalous operators in the production and decay of top quark for the single and pair top quark production processes» Дудко Л.В.

«Spherically symmetric solutions in Møller gravity» Кейзеров С., Рахметов Э.

7.3 41st ITEP Winter School, Moscow, Russia, February, 12-19 2013

«Measurement of the single-top t-channel production cross-section in the pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV with the CMS detector» Попов А.А.

7.4 16th Annual RDMS CMS Collaboration Conference Нор-Амберд, Армения, 3-5 сентября, 2013

«Single top-quark production in t-channel at CMS» Швецов И.А.

«Search for deviations from the Standard Model prediction in single top-quark production at CMS» Дудко Л.В.

7.5 Workshop “Supersymmetries and Quantum Symmetries” -'SQS' 2013, 28.07.2013-03.08.2013, Дубна, Россия.

«[Reconstruction procedure in nonlocal models with perfect fluids](#)» Поздеева Е.О.

7.6 XXIX -th International Workshop on High Energy Physics: new results and actual problems in particle & astroparticle physics and cosmology, 26.06.2013-28.06.2013, Протвино, Россия

«[Quark-gluon plasma multiplicity from AdS spaces modifications](#)» Поздеева Е.О.

7.7 II Russian – Spanish Congress “ Particle and Nuclear Physics at all Scales and Cosmology”, 01.10.2013-04.10.2013, Санкт-Петербург, Россия

«[Multiplicity and membranes collision in modified AdS](#)» Поздеева Е.О.

7.8 «Ломоносовские чтения», МГУ им. М.В. Ломоносова, секция ядерной физики. 16 апреля, 2013

«О величине электрического заряда Солнечной Системы.» Левченко Б.Б.

«Методы учета систематических неопределенностей на примере анализа одиночного рождения топ кварка в эксперименте CMS коллайдера LHC» Швецов И.А.

«Изучение влияния триггеров на измерение сечения электрослабого рождения топ кварка в эксперименте CMS коллайдера LHC.» Мягков И.А.

## **8. Участие в грантах, госконтрактах, договорах и других источниках дополнительного финансирования (номера, суммы).**

Грант РФФИ 13-02-01050 550 000 руб.

Грант РФФИ 12-02-93108-НЦНИЛ\_а 750 000 руб.

Грант РФФИ 12-02-31109\13\_мол\_а, 350 000 руб.