

Лаборатория электрослабых и новых взаимодействий ОЭФВЭ НИИЯФ МГУ  
Основные результаты полученные в 2016 году.

Исследования проводятся в рамках НИР:  
бюджетная тема 3.2

["Экспериментальные исследования по физике тяжёлых кварков, электрослабых и нестандартных взаимодействий при высоких энергиях."](#)

Грант РФФИ 16-12-10280

[«Феноменологические проявления расширений Стандартной модели в процессах с участием топ-кварка»](#)

Грант РФФИ 16-02-00664

[«Поиск отклонений от предсказаний Стандартной модели в процессах рождения топ-кварка»](#)

Поддержаны грантами:

Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных МК-7835.2016.2 (Е.Поздеева)

Стипендия НИИЯФ МГУ для молодых ученых 2016 (А.Баскаков)

## 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. Исследования были сконцентрированы в рамках внедрения разработанных ранее методов анализа данных эксперимента CMS коллайдера БАК (LHC). Исследованы данные протон-протонных столкновений при энергиях  $\sqrt{s}=7, 8$  и  $13$  ТэВ полученные детектором CMS. Проведен поиск событий одиночного рождения топ-кварка. Измерены сечения предсказываемых в рамках СМ  $t$ - и  $s$ -канального процессов электрослабого рождения топ-кварка. Исследованы возможные отклонения от предсказаний СМ проявляющиеся в процессах одиночного рождения топ-кварка. В частности, исследованы аномальные заряженные токи во взаимодействии топ-кварка с  $W$  бозоном и  $b$ -кварком, нейтральные токи меняющие аромат кварков и проявление дополнительного заряженного векторного бозона  $W'$  распадающегося на топ-кварк и  $b$ -кварк. Статистически значимого отклонения от предсказаний СМ не обнаружено и были найдены ограничения на параметры характеризующие возможные отклонения. Были найдены ограничения на константы характеризующие левые и правые токи векторного и магнитного типов во взаимодействии топ-кварка с  $W$  бозоном и  $b$ -кварком на основе комбинации результатов измерений для столкновений при энергиях  $7$  и  $8$  ТэВ. Получены как одномерные ограничения, так и контуры с учетом корреляций между токами для двух и трехмерных сценариев. Измерены ограничения на константы связи характеризующие нейтральные токи меняющие аромат кварков во взаимодействии топ-кварка с  $u$ - или  $s$ -кварком за счет обмена глюоном. На основе объединения данных столкновений при энергиях  $7$  и  $8$  ТэВ получены одномерные и двумерные ограничения на константы характеризующие взаимодействие с  $u$ - и  $s$ -кварком. На основе измерений были получены ограничения на вероятности редких распадов топ-кварка в  $sg$  и  $ug$ . Результат был отмечен в ноябрьском номере журнала "CERN Courier". Проведен предварительный анализ

доступных данных при энергии столкновений 13 ТэВ с целью поиска дополнительного заряженного векторного бозона  $W'$ . Установлены новые, наиболее жесткие ограничения на массу  $W'$  взаимодействующего с топ-кварком и b-кварком посредством правых токов. Найденное ограничение на нижнюю границу массы  $W'$  составило 2.67 ТэВ.

Широко используемым методом моделирования процессов за рамками СМ является модель эффективного лагранжиана (эффективная теория поля), в которой вклад «новой физики» представляется в виде конечного набора калибровочно-инвариантных операторов, нормированных на эффективный масштаб «новой физики»  $\Lambda$ . В рамках исследований по проекту выведены формулы зависимости сечения трех процессов рождения одиночных топ-кварков от аномальных параметров, в частности, для процессов ассоциированного  $tW$ -рождения такая формула в модели эффективного лагранжиана была получена впервые. На основе полученных формул был разработан метод моделирования процессов одиночного рождения топ-кварка с учетом присутствия аномальных операторов связи в вершине  $Wtb$  как в рождении, так и в распаде топ-кварка. В задачах одновременного поиска проявления нескольких аномальных операторов серьезной проблемой является создание большого набора образцов событий, каждый из которых должен соответствовать одному из значений параметра, определяющего силу аномального взаимодействия. Предложенный метод состоит в том, что дополнительно к бозонам СМ вводятся вспомогательные бозоны, константы и структура взаимодействий каждого из которых с топ-кварком соответствуют одному из аномальных операторов эффективного лагранжиана. Предложена схема реализации этого метода в экспериментальном анализе. Полученные выражения позволяют сделать выводы относительно минимального количества наборов событий. Показано, что для полного моделирования случая одновременного присутствия четырех аномальных операторов в вершине  $Wtb$  в самом общем случае минимальный базис состоит из двенадцати наборов событий.

В данных полученных в эксперименте D0 коллайдера Теватрон (Фермилаб, США) проведен поиск событий с рождением пары  $\psi(2S)$ . Разработан метод нахождения двумерного фона для событий с двумя одинаковыми частицами, регистрируемых детекторами частиц высоких энергий. Измерена поперечная поляризация топ-кварка в парном рождении, в канале распада с образованием одного заряженного лептона и адронных струй.

В 2016 г. коллаборация ZEUS опубликовала пять статей в высоко рейтинговых научных журналах. В основу статей легли результаты анализа данных эксперимента ZEBC (ZEUS), полученных на электрон-протонном коллайдере HERA (г. Гамбург, Германия) при активном участии физиков НИИЯФ МГУ. В рамках модели кварка с формфактором определен эффективный размер кварка, равный  $0.43 \cdot 10^{-16}$  см. Установлен верхний предел на сечение рождения пятикварковых барионов в каналах распада  $pK_S^0(\bar{p}K_S^0)$ . В широком диапазоне кинематических переменных измерены относительные сечения рождения чармониевых систем  $\Psi(2S)$  и  $J/\Psi(1S)$ . Впервые опубликованы результаты измерений сечений эксклюзивного рождения двух струй в глубоко-неупругих дифракционных процессах. В рамках КХД и СМ выполнена одновременная подгонка к данным параметров электрослабого взаимодействия и партонных распределений.

Эксперимент BM@N для изучения барионной материи на Нуклотроне ОИЯИ NICA нацелен на изучение уравнения состояния ядерной материи и динамики ядерных столкновений, изучение свойств адронов в плотной среде, а также на изучение рождения каскадных гиперонов вблизи порога и рождения гиперядер. Разрабатывается методика и программное обеспечение системы юстировки детекторов установки [BM@N](#).

Проводились исследования феноменологии бозона Хиггса и радиона. Было показано, что различие между процессами с рождением одиночного бозона Хиггса и процессы с рождением одиночного радиона имеют одинаковую форму и различие между ними сводится к замене масс и констант взаимодействия. Аналогично, для процессов с парным рождением бозонов Хиггса либо ассоциированным рождением бозона Хиггса и радиона, различие сводится к замене масс, констант взаимодействия и константы самодействия поля Хиггса третьего порядка. Для эффективного четырехмерного лагранжиана радиона и его взаимодействия с полями СМ с точностью до четвертого порядка по энергетическому масштабу теории получены выражения для всех констант самодействий и взаимодействий с точностью до второго порядка по имеющимся в теории безразмерным малым параметрам.

Проведено исследование ранней Вселенной: получены стабильные решения типа «отскока» с немонотонным параметром Хаббла. предложено описание перехода через космологическую сингулярность и рассмотрен инфляционный сценарий, связанный с квантовой теорией поля.

За 2016 год сотрудники ЛЭНВ ОЭФВЭ НИИЯФ МГУ представили 26 докладов на международных конференциях и большое количество докладов на рабочих совещаниях международных коллабораций. Полученные результаты опубликованы в индивидуальных публикациях и публикациях от имени коллабораций CMS, D0 и ZEUS.

## **Введение**

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 успеваеет распасться практически по единственному каналу распада в  $W$  бозон и  $b$ -кварк. Отсутствие промежуточных адронных состояний с топ-кварком, в отличии 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.

Проводились исследования электрослабого рождения топ кварка в эксперименте CMS коллайдера БАК: завершен анализ данных протон-протонных столкновений при энергиях 7 и 8 ТэВ, результаты прошли одобрение коллаборации CMS и проходят реферирование журнале JHEP (импакт фактор 6.5); проведено моделирование для 13 ТэВ и анализ доступных данных при этой энергии. Исследования проводились как в рамках Стандартной модели (измерения сечения одиночного рождения топ кварка, параметра  $V_{tb}$  матрицы Каббиво-Кобаяши-Маскава, отношения сечения рождения топ- и анти-топ кварка), так и за её пределами (поиск отклонений от предсказаний СМ во взаимодействии топ кварка с  $W$  бозоном и  $b$ -кварком; поиск существования нейтральных токов, меняющих аромат кварков, во взаимодействии топ кварка с  $u$ - или  $s$ -кварком проходящем через обмен глюоном; поиск рождения дополнительного векторного заряженного бозона  $W'$ ). С использованием калориметров HF и CASTOR (эксперимента CMS) измерены плотности потока полной и поперечной энергии в передней области установки CMS в протон-протонных взаимодействиях при энергии 13 ТэВ.

Проведено сравнение с результатами моделирования и измерениями в протон-протонных взаимодействиях при меньших энергиях. Измерения при разных энергиях позволяют проверить выполнимость гипотезы предельной фрагментации.

Завершается анализ данных полученных в эксперименте D0 коллайдера Теватрон (Фермилаб, США). В данных полученных в эксперименте D0 коллайдера Теватрон (Фермилаб, США)

проведен поиск событий с рождением пары  $\psi(2S)$ . Разработан метод нахождения двумерного фона для событий с двумя одинаковыми частицами, регистрируемых детекторами частиц высоких энергий. Измерена поперечная поляризация топ-кварка в парном рождении, в канале распадов с образованием одного заряженного лептона и адронных струй.

В 2016 г. коллаборация ZEUS опубликовала пять статей в высоко рейтинговых научных журналах. В основу статей легли результаты анализа данных эксперимента ZEBC (ZEUS), полученных на электрон-протонном коллайдере HERA (г. Гамбург, Германия) при активном участии физиков НИИЯФ МГУ.

Эксперимент  $BM@N$  для изучения барионной материи на Нуклотроне ОИЯИ NICA нацелен на изучение уравнения состояния ядерной материи и динамики ядерных столкновений, изучение свойств адронов в плотной среде, а также на изучение рождения каскадных гиперонов вблизи порога и рождения гиперядер. Разрабатывается методика и программное обеспечение системы юстировки детекторов установки [BM@N](#).

Проводились исследования феноменологии бозона Хиггса и радиона. Было показано, что различие между процессами с рождением одиночного бозона Хиггса и процессы с рождением одиночного радиона имеют одинаковую форму и различие между ними сводится к замене масс и констант взаимодействия. Аналогично, для процессов с парным рождением бозонов Хиггса либо ассоциированным рождением бозона Хиггса и радиона, различие сводится к замене масс, констант взаимодействия и константы самодействия поля Хиггса третьего порядка. Для эффективного четырехмерного лагранжиана радиона и его взаимодействия с полями СМ с точностью до четвертого порядка по энергетическому масштабу теории получены выражения для всех констант самодействий и взаимодействий с точностью до второго порядка по имеющимся в теории безразмерным малым параметрам.

Проведено исследование ранней Вселенной: получены стабильные решения типа «отскока» с немонотонным параметром Хаббла. предложено описание перехода через космологическую сингулярность и рассмотрен инфляционный сценарий, связанный с квантовой теорией поля.

## Результаты

- В эксперименте CMS коллайдера БАК на данных протон-протонных столкновений при энергии 7 и 8 ТэВ, проведен прямой поиск существования аномальных правых векторных и левых и правых тензорных заряженных токов во взаимодействии топ кварка с W бозоном и b-кварком. Получены первые на коллайдере БАК прямые ограничения на константы связи, характеризующие такие аномальные токи. Получены как одномерные ограничения, так и контуры двумерных ограничений при одновременной вариации двух и трех констант связи.

- В эксперименте CMS на данных протон-протонных столкновений при энергиях 7 и 8 ТэВ проведен прямой поиск существования нейтральных токов, меняющих аромат кварков, во взаимодействии топ кварка с u- или c-кварком, проходящем через обмен глюоном. Измерены ограничения на константы связи, характеризующие такие взаимодействия. Получены как одномерные ограничения, так и контуры двумерных ограничений при одновременной вариации двух констант связи. Найденные ограничения выражены через вероятности распада топ кварка.

- В эксперименте CMS на данных протон-протонных столкновений при энергиях 7 и 8 ТэВ проведено измерение сечения s-канального рождения одиночного топ кварка. Сечение составило  $7.1 \pm 8.1$  пб (7 ТэВ) и  $13.4 \pm 7.3$  пб (8 ТэВ), что согласуется с предсказаниями Стандартной модели. Статистическая значимость измерений составила 2.5 стандартных отклонения.

- В эксперименте CMS коллайдера БАК проведено измерение сечения t-канального рождения одиночного топ кварка при энергии протон-протонных столкновений 13 ТэВ. Сечение составило  $232 \pm 13$  (стат.)  $\pm 28$  (сист.) пб. Измерены также отношение сечений топ- и антитоп-кварка и параметр  $V_{tb}$  матрицы Кабиббо-Кобаяши-Маскава. Результаты всех измерений согласуются с предсказаниями Стандартной модели.

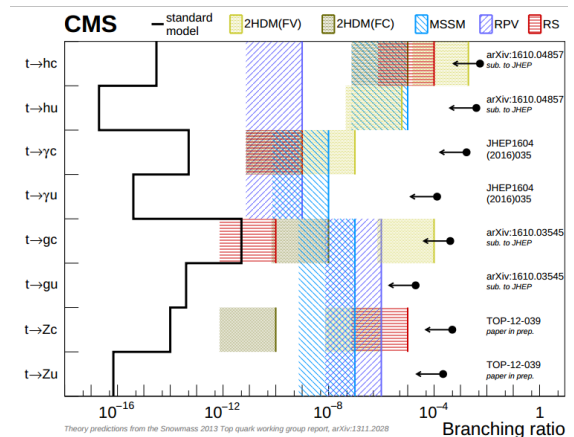
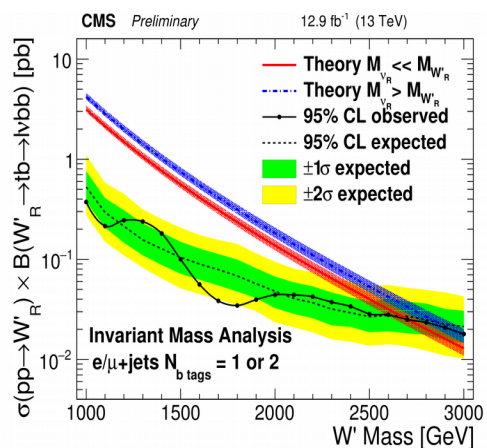


Рисунок 1: Редкие распады топ-кварка, связанные с нейтральными токами, меняющими аромат кварков.

- В эксперименте CMS проведен поиск рождения дополнительного векторного заряженного бозона  $W'$ , распадающегося на топ кварк и b-кварк, при энергии протон-протонных столкновений 8 и 13 ТэВ. Проведенные измерения не выявили сигнала дополнительного бозона, и были установлены ограничения на его минимальную массу. Ограничения составили 2.15 ТэВ (при энергии столкновений 8 ТэВ) и 2.67 ТэВ (13 ТэВ). Последнее ограничение в настоящее время является наиболее жёстким для данной моды распада.

Рисунок 2: Ограничения на сечение и массу дополнительного векторного заряженного бозона  $W'$ , распадающегося на топ-кварк и b-кварк.

- Выведена формула сечения рождения одиночного топ-кварка в процессе ассоциативного  $tW$ -рождения в присутствии левого векторного, а также аномальных правого векторного и тензорных - правого и левого - операторов. Полученное



выражение для зависимости сечения ассоциативного  $t\bar{W}$ -рождения топ-кварка от аномальных параметров определяет стратегию первого поиска аномальных операторов в вершине  $Wtb$  в процессах ассоциативного  $t\bar{W}$ -рождения топ-кварков.

- Разработан метод моделирования процессов ассоциированного  $t\bar{W}$ -рождения с учетом присутствия аномальных параметров связи вершины  $Wtb$  как в рождении, так и в распаде топ-кварка для последующей его реализации в эксперименте, и представлено минимальное количество генераторов, позволяющих полностью смоделировать присутствие аномальных операторов в вершине  $Wtb$ .

- Проведено исследование вкладов различных диаграмм в процесс  $t\bar{t}Wtb$ , созданы Монте-Карло генераторы событий, учитывающие присутствие аномального векторного оператора в вершине  $Wtb$ , а также созданы тестовые наборы событий (для СМ и аномального вклада в вершину  $Wtb$ ) для продолжения исследований по теме гранта.

- В эксперименте CMS решались сервисные задачи: валидация б-тагирования, развитие программного пакета CMSSW в области идентификации струй, порождённых b-кварками; нахождение параметров для отбора и реконструкции треков, с целью оптимизации алгоритмов офлайн обработки данных. В качестве эксперта осуществлялась поддержка Топ группы коллаборации CMS в вопросах идентификации струй порожденных b-кварками.

- В эксперименте CMS проведено измерение зависимости от псевдобыстроты плотности потока энергии в протон-протонных взаимодействиях при энергии в системе центра масс 13 ТэВ. Измерения предоставляют важные данные для проверки и настройки теоретических моделей, используемых для Монте-Карло моделирования взаимодействий при высоких энергиях. Полученные результаты также полезны для генераторов, используемых в космических лучах, предоставляя опорные данные для экстраполяции к более высоким энергиям.

Предсказания моделей находятся в пределах систематических ошибок измерения. Следует отметить отличия в наклоне зависимости от псевдобыстроты данных от Монте Карло в диапазоне  $3.15 < |\eta| < 5.2$ .

- Проведено исследование присутствия в данных Д0-коллаборации событий с рождением пары  $\psi(2S)$ . Разработан метод нахождения двумерного фона для событий с двумя одинаковыми частицами, регистрируемых детекторами частиц высоких энергий. Измерена поперечная поляризация топ-кварка в парном рождении, в канале распада с образованием одного заряженного лептона и адронных струй. В районе значения массы  $\psi(2S)$  частицы наблюдается избыток событий, статистическая значимость которого равна  $3\sigma$ . Аппроксимация области масс  $\psi(2S)$  двумерным Гауссом и плоским фоном дает  $15 \pm 7$  событий с двойными  $\psi(2S)$  и положение пика на  $3.64 \pm 0.04$  ГэВ/ $c^2$  при ширине распределения  $84 \pm 41$  ГэВ/ $c^2$ , что соответствует разрешению Д0 детектора. Около значения массы  $7.55$  ГэВ/ $c^2$  наблюдается пик, величина которого в 16 событий соответствует числу событий найденных выше под двумерным Гауссом.

Таким образом, проведенный анализ со статистической обеспеченностью в  $3\sigma$  указывает на существование состояния из  $2x$   $c$  и  $2x$  анти- $c$  кварков, которое соответствует мезонной молекуле, состоящей из  $2x$   $\psi(2S)$ . Далее, планируется связать вместе исследование мезонных молекул  $[\psi(1S)-\psi(1S)]$ ,  $[\psi(1S)-\psi(2S)]$ ,  $[\psi(2S)-\psi(2S)]$ , т.е. решить вопрос о непротиворечивости(согласии) наблюдаемых событий с этими состояниями.

- Разработан метод нахождения двумерного фона для событий рождения двух одинаковых частиц, регистрируемых детекторами частиц высоких энергий. Обычно используемое



двумерное интегрирование заменено аппроксимацией специально построенной одномерной функции. Величина сигнала находится вычитанием фона из общего числа событий, что позволяет определить чистоту отобранного множества событий с парными частицами. На событиях сгенеренных методом Монте-Карло было показано, что применение обычно используемого интегрирования функцией близкой к двумерному распределению Гауса и модельной функцией фона, повторяющих среднюю форму исходных данных, приводит к существенному сдвигу результата от истинного значения. По этой причине становится важным дополнительная проверка результата предложенным методом.

- Впервые на Теватрон измерена поляризация топ-кварка в канале с рождением одного заряженного лептона и струй в процессах парного рождения топ-кварков. Впервые измерена поперечная поляризация топ-кварка в парном рождении. Поляризация измерялась по распределению угла вылета лептона по отношению к трем осям квантования. Наблюдаемые распределения согласуются с предсказаниями стандартной модели.

- В 2016 г. коллаборация ZEUS опубликовала пять статей в высоко рейтинговых научных журналах. В основу статей легли результаты анализа данных эксперимента ZEBC (ZEUS), полученных на электрон-протонном коллайдере HERA (г. Гамбург, Германия) при активном участии физиков НИИЯФ МГУ. Изложим кратко основные полученные результаты.

**1. Ограничения на эффективный радиус кварка из инклюзивного ер рассеяния.** Процессы и обмены вне рамок Стандартной Модели (СМ) могут обусловить конечный эффективный радиус кварков  $R_q$  в протоне. Не нулевой  $R_q$  при очень больших значениях виртуальности фотона  $Q^2$ , должен видоизменять поведение экспериментальных сечений рассеяния электрона на кварках в сравнении с предсказаниями СМ. Используя все доступные данные по процессам с  $Q^2 > 10^3$  ГэВ<sup>2</sup> и выполняя одновременную подгонку партонных распределений и сечения рассеяния, в рамках формфакторной модели получено в два раза улучшенное значение эффективного радиуса кварка, равное  $0.43 \cdot 10^{-16}$  см.

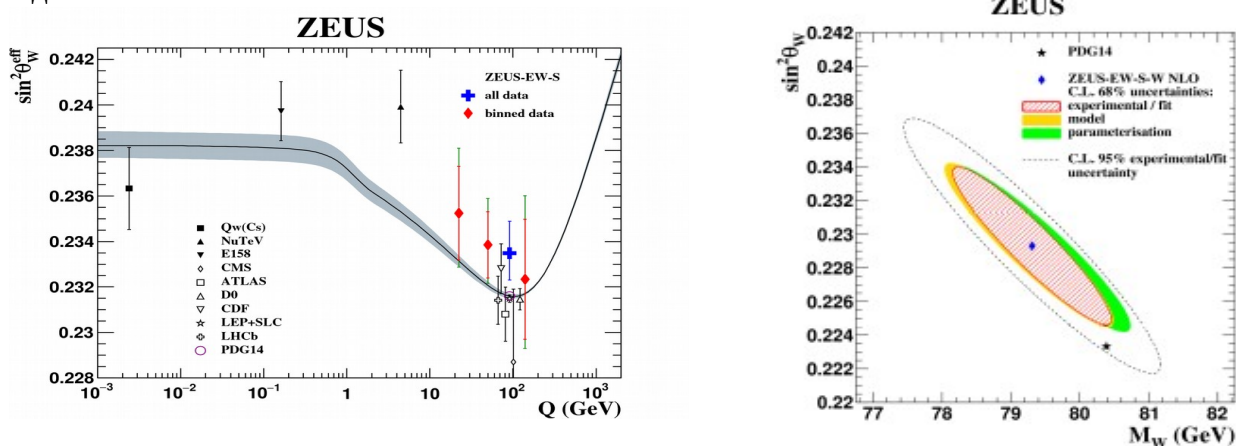
**2. Поиск узкого барионного состояния распадающегося на  $pK_S^0$  и  $\bar{p}K_S^0$ .** Силы конфайнмента, обусловленные обменом цветными глюонами между кварками, позволяют сформировать наблюдаемые двухкварковые (мезоны) и трехкварковые (барионы) системы. Однако, до настоящего времени нет достаточно убедительных данных о формировании частиц с большим (четыре, пять) числом составляющих кварков. В этой связи в ZEUS на большем объеме данных был повторен поиск рождения экзотического пятикваркового бариона  $\Theta_S$ . Новый поиск не дал прямого доказательства существования узкого барионного состояния при массе  $pK_S^0$  системы вблизи 1.52 ГэВ. Установлены верхние пределы на сечение рождения  $\Theta_S$  бариона в ер столкновениях при энергии HERA II.

**3. Измерение отношения сечений  $\sigma(\Psi(2S))/\sigma(J/\Psi(1S))$  в глубоко-неупругих эксклюзивных процессах.** Исследования S-волновых чармониев  $\Psi(2S)$  и  $J/\Psi(1S)$  позволяет совершенствовать теоретические расчеты в рамках эффективных теорий поля и, в первую очередь, нерелятивистской квантовой хромодинамики. В то же время, чармониевые системы обладают очень чистыми экспериментальными сигналами, что делает возможным детальное изучение их свойств. Электророждение чармониевых состояний исследовалось в эксклюзивных процессах глубоко-неупругого ер-рассеяния при энергии  $\sqrt{s} \approx 317$  ГэВ в кинематической области  $2 < Q^2 < 80$  ГэВ<sup>2</sup>,  $30 < W < 210$  ГэВ и  $|t| < 1$  ГэВ<sup>2</sup>. Анализировались моды распада  $J/\Psi(1S) \rightarrow \mu^+\mu^-$ ,  $\Psi(2S) \rightarrow \mu^+\mu^-$  и  $\Psi(2S) \rightarrow J/\Psi(1S)\pi^+\pi^-$ . Отношение сечений R были определены во всей кинематической области как функции переменных  $Q^2$ , W и |t|. Проведено также детальное сравнение отношения сечений R с модельными предсказаниями шести различных групп: НИКТ, KNNPZZ, AR, LP, FFJS и KMW, обозначенных по первым буквам авторов (см. ссылки в [3]). Все модели предсказывают слабую зависимость R от W и |t|, что согласуется с экспериментом. Однако

найденно, что  $R$  растет с  $Q^2$  довольно быстро, и не все модели способны описать подобный рост.

**4. Комбинированный анализ данных с ускорителя HERA в рамках КХД и электрослабых взаимодействий.** В данной работе представлены результаты одновременной подгонки данных по структурным функциям, моделируемых распределениями партонов (PDF) и параметров электрослабого взаимодействия. При этом учитывалась поляризация электронного пучка. Для анализа использовались данные эксперимента ZEUS, набранные в период с 2004 по 2007. Для описания эволюции PDF-распределений был использован ДГЛАП-формализм.

Извлечены константы векторной и аксиальной связи Z-бозона с u- и d-кварками, значения электрослабого угла смешивания (угол Вайнберга) и массы W-бозона (см. Рис ). Значения электрослабых параметров находятся в хорошем согласии с предсказаниями Стандартной модели.



На рисунке показаны (слева) зависимость квадрата синуса угла Вайнберга от переданного импульса  $Q$ , и (справа) зависимость квадрата синуса угла Вайнберга от массы W-бозона. Звездочкой показано среднемировое значение.

**5. Эксклюзивное рождение двух струй в дифракционном глубоко неупругом рассеянии на коллайдере HERA.** 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  $\mathbb{P}$ . Коллаборация ZEUS впервые представила измерения дифракционного рождения двух струй в глубоко неупругом ер рассеянии,  $\gamma^* + p \rightarrow \text{jet1} + \text{jet2} + p$ . Дифференциальные сечения  $d\sigma/d\beta$  и  $d\sigma/d\phi$  в пяти интервалах по величине  $\beta$ , измерены в кинематической области  $Q^2 > 25$  ГэВ<sup>2</sup> и  $90 < W < 250$  ГэВ,  $M_X > 5$  ГэВ. Измеренные абсолютные сечения выше, чем предсказывается моделью двух-глюонного (2G) обмена, и моделью составного померона (см. рисунок ниже). При  $\beta > 0.4$  различие между данными и моделью составного померона достигают значительной величины. В тоже время, 2G-модель вполне приемлемо воспроизводит данные.

- Участие в эксперименте [BM@N](#) проекта NICA. Разработка методики и программного обеспечения системы юстировки детекторов установки [BM@N](#)

Эксперимент BM@N для изучения барионной материи на Нуклотроне ОИЯИ нацелен на изучение уравнения состояния ядерной материи и динамики ядерных столкновений, изучение свойств адронов в плотной среде, а также на изучение рождения каскадных гиперонов вблизи порога и рождения гиперядер [1].



Начаты (с июля 2016 г.) работы по созданию программного обеспечения (ПО) для глобальной юстировки всех компонентов установки. Реконструкция треков частиц пока осуществлена только в детекторах GEM (газового электронного усиления), поэтому алгоритмы сопряжения трековых сегментов и обобщения юстировки получают полноценное развитие в дальнейшем, по мере появления ПО реконструкции вершинного детектора, других трековых подсистем и накопления экспериментальных данных.

- Был проведен анализ свойств подобия радиона и бозона Хиггса в процессах одиночного рождения скаляра (бозона Хиггса либо радиона), а также парного рождения (двух бозонов Хиггса либо бозона Хиггса и радиона). Типы процессов, а также набор и количество других частиц СМ (калибровочных бозонов, фермионов) участвующих в процессах являются произвольными. Было показано, что несмотря на существенное различие в формах вершин взаимодействия поля Хиггса с полями СМ с аналогичными вершинами взаимодействия поля радиона с полями СМ, в процессах с рождением одиночной скалярной частицы (бозона Хиггса либо радиона), различие уже на уровне матрицы сводится к замене констант взаимодействия с полями СМ и масс скаляров. Для процессов с рождением двух скалярных частиц (парного рождения бозона Хиггса либо ассоциированного рождения бозона Хиггса и радиона) различие сводится к замене масс скаляров, констант взаимодействия с полями СМ, а также константы самодействия поля Хиггса третьего порядка, причем при равенстве масс скалярных частиц изменение константы самодействия сводится только к замене масс и констант взаимодействий с полями СМ. Также, в рамках Стабилизированной модели РС был получен эффективный четырехмерный лагранжиан с полем радиона до четвертого порядка включительно по обратному характерному энергетическому масштабу теории (совпадающему с константой взаимодействия радиона с полями СМ в низшем приближении). Учтены как члены взаимодействия с полями СМ, так и члены самодействия радиона. Полученный лагранжиан имеет кинетический член неканонического вида, который можно привести к каноническому виду нелинейным преобразованием поля радиона. Получены приближенные выражения для всех констант самодействия радиона и его взаимодействия с полями СМ как в форме с неканоническим кинетическим членом, так и в форме, приведенной к канонической с требуемой точностью (до второго порядка по характерным безразмерным малым параметрам теории). Для эффективного четырехмерного лагранжиана радиона и его взаимодействия с полями СМ с точностью до четвертого порядка по энергетическому масштабу теории получены выражения для всех констант самодействий и взаимодействий с точностью до второго порядка по имеющимся в теории безразмерным малым параметрам (отношению массы радиона и параметра скорости падения пятимерного фонового стабилизирующего скалярного поля к параметру скорости падения пятимерной фонового метрического тензора между бранами).

- Оценка коллайдерного потенциала в постановке ограничений на массу  $W'$  бозона, проводилась в рамках стабилизированной модели мира на бране. Вклад  $W'$  бозона и оставшейся КК башни оценивался в процессе распада бозона Хиггса в два фотона и в процессе рождения одиночного топ кварка. Проводилась оценка расчетных значений силы сигнала с современными и будущими экспериментальными значениями.

- Проведено исследование космологических моделей с неминимальным взаимодействием скалярного поля и гравитации, способных описывать инфляционный и доинфляционный этапы развития Вселенной. Рассмотрены сценарии развития ранней Вселенной без космологической сингулярности.

Рассмотрен переход через сингулярность в пространственно-плоской метрике в формулировках Жордана и Эйнштейна. На основе связи между формулировками Жордана и Эйнштейна и того факта, что сингулярность в одной системе может не приводить к сингулярности в другой системе, проанализированы возможности перехода через

космологическую сингулярность в пространственно-плоской метрике Фрийдмана. Рассмотрен переход через сингулярность в модели с безмассовым скалярным полем и в модели с постоянным потенциалом в формулировке Эйнштейна. Детально описана динамика решений этих интегрируемых моделей и моделей, конформно связанных с ними. Предложен метод продолжения космологических эволюций за сингулярность [A.Yu. Kamenshchik, E.O. Pozdeeva, S. Yu. Vernov, A. Tronconi, G. Venturi, Phys.Rev. D94 (2016) № 6, 063510].

Исследована динамика космологических моделей с решениями типа «отскока» в пространственно-плоской метрике Фрийдмана. Рассмотрена космологическая модель с неминимальным взаимодействием, включающим член Гильберта-Эйнштейна и отрицательное слагаемое индуцированной гравитации, и с потенциалом полиномиального вида. Были получены и проанализированы решения типа «отскока» с немонотонным параметром Хаббла. Детально изучен случай потенциала типа Хиггса с отрицательным знаком в модели конформного взаимодействия скалярного поля и гравитации. В этой модели эволюция параметра Хаббла на решениях типа «отскока» существенным образом зависит от знака космологической постоянной [E.O. Pozdeeva, M.A. Skugoreva, A.V. Toporensky, S.Yu. Vernov, Possible evolution of a bouncing universe in cosmological models with non-minimally coupled scalar fields, JCAP12(2016)006].

Рассмотрена возможность построения инфляционного сценария на основе квантовых поправок к древесному потенциалу, соответствующих хиггсовским секторам моделей квантовой теории поля. Учет квантовых поправок к потенциалу имеет важное значение для успешной реализации инфляционного сценария при разумных значениях параметров модели. Показано, что инфляционный сценарий, полученный таким образом для скалярной электродинамики, приводит к инфляционным параметрам, находящимся в хорошем согласии с самыми последними данными наблюдений [E.O. Pozdeeva, S. Yu. Vernov, Renormalization-group improved inflationary scenarios, принята к публикации в «Письма в ЭЧАЯ», arXiv:1604.02272 [gr-qc]].

В метриках Фрийдмана и Бьянки I изучаются интегрируемые модели со скалярными полями, минимально и неминимально взаимодействующие с гравитацией, и соответствия между их общими решениями. Используя модель с минимально связанного скалярного поля и постоянного потенциала в качестве примера, мы показываем, как можно получить общие решения соответствующих моделей в формулировке Йордана. Продемонстрирована разница между общими решениями соответствующих моделей в формулировках Йордана и Эйнштейна. [A. Yu. Kamenshchik, E.O. Pozdeeva, A. Tronconi, G. Venturi, S. Yu. Vernov, Integrable cosmological models in the Einstein and in the Jordan frames and Bianchi-I cosmology, принята к публикации в «ЭЧАЯ», arXiv:1606.04260[gr-qc]; A. Yu. Kamenshchik, E.O. Pozdeeva, A. Tronconi, G. Venturi, S. Yu. Vernov, General solutions of integrable cosmological models with non-minimal coupling, принята к публикации в «Письма в ЭЧАЯ», arXiv:1604.01959 [gr-qc]].

Описан способ получения интегрируемых моделей с неминимально связанными скалярными полями, обладающих решениями типа «отскока». Сравнение дальнейшей эволюции таких решений двух известных интегрируемых моделей, позволило показать, что только одна из двух рассмотренных моделей имеет решение типа «отскока», которое стремится к устойчивому решению де Ситтера [Ekaterina Pozdeeva, Sergey Vernov, EPJ Web Conf. 125 (2016) 03008 ].

## **Заключение**

Продолжаются исследования в экспериментах CMS коллайдера БАК, D0 коллайдера Теватрон и ZEUS коллайдера HERA. Проводятся теоретические и феноменологические исследования в рамках Стандартной модели и различных ее расширениях. За 2016 год сотрудники ЛЭНВ ОЭФВЭ НИИЯФ МГУ представили 26 докладов на международных конференциях и большое количество докладов на рабочих совещаниях международных

коллабораций. Полученные результаты опубликованы в индивидуальных публикациях и от имени коллабораций CMS, D0 и ZEUS.

### **Доклады на конференциях:**

1) Heavy Flavour Data Mining workshop, University of Zurich, Irchel Campus, Швейцария, 18-20 февраля 2016

«Optimized Methods to Apply Neural Networks in HEP» (секционный доклад, автор Дудко Л.В.)

- Международная сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН РАН, Дубна, 12-15 апреля 2016

2) «Search for anomalous  $Wtb$  couplings in single top quark events in the CMS» (секционный доклад, авторы А. Баскаков, Э. Боос, Г. Воротников, Л. Дудко, Н. Корнеева, И. Мягков, М. Перфилов, А. Попов)

3) «Search for FCNC with single top events in the CMS experiment» (секционный доклад, авторы А. Баскаков, Э. Боос, Г. Воротников, Л. Дудко, Н. Корнеева, И. Мягков, М. Перфилов, А. Попов)

4) «Optimized Methods to Apply Neural Networks in HEP» (секционный доклад, авторы Л. Дудко, П. Волков)

5) «Single top quark production in heavy ion collisions» (секционный доклад, авторы Баскаков А.В., Боос Э.Э., Дудко Л.В., Лохтин И.П., Снигирев А.М.)

6) «Сравнение процессов парного рождения бозонов Хиггса и ассоциативного рождения радиона и бозона Хиггса» (Устный)

Авторы: Боос Э.Э., Кейзеров С.И., Рахметов Э.Р., Свирина К.С.

7) «Cosmological attractor and inflation from the RG - improved Higgs sector»  
E. Pozdeeva

8) "Моделирование процессов парного и  $tW$ -ассоциированного рождения топ-кварков с аномальными взаимодействиями при помощи введения дополнительных полей"  
Баскаков А., Боос Э., Буничев В., Дудко Л., Перфилов М.

- Научная конференция "Ломоносовские чтения", МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 18-27 апреля 2016

9) «Поиск нейтральных токов меняющих аромат кварков в событиях одиночного рождения топ кварка зарегистрированных экспериментом CMS» (секционный доклад, авторы А. Баскаков, Э. Боос, В. Буничев, Г. Воротников, Л. Дудко, Н. Корнеева, И. Мягков, М. Перфилов, А. Попов)

10) «Поиск аномальных связей во взаимодействии топ кварка с  $W$  бозоном и  $b$ -кварком в эксперименте CMS» (секционный доклад, авторы А. Баскаков, Э. Боос, В. Буничев, Г. Воротников, Л. Дудко, Н. Корнеева, И. Мягков, М. Перфилов, А. Попов)

11) «Моделирование парного и ассоциированного  $tW$  рождения топ кварка с учетом возможных отклонений от предсказаний Стандартной модели» (секционный доклад, авторы Э. Боос, В. Буничев, Л. Дудко, М. Перфилов)

12) «Новый жесткий пробник кварк-глюонной плазмы в столкновениях тяжелых ионов при энергиях БАК(LHC)» (секционный доклад, авторы Баскаков А.В., Боос Э.Э., Дудко Л.В., Лохтин И.П., Снигирев А.М.)

13) «Методы оптимизации применения нейронных сетей в анализе данных коллайдерных экспериментов» (секционный доклад, авторы Л. Дудко, П. Волков)

14) «Сравнение процессов парного рождения бозонов Хиггса и ассоциативного рождения радиона и бозона Хиггса» (Устный)

Авторы: Боос Э.Э., Кейзеров С.И., Рахметов Э.Р., Свирина К.С.

- 15) «Интегрируемые космологические модели со скалярными полями» Е. Поздеева
- 16) I. Katkov for CMS Collaboration. «Forward energy flow per pseudorapidity and limiting fragmentation with CMS at 13 TeV», 24th International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS 2016), Гамбург, Германия, 11-15 апреля 2016
- 17) Lev Kheyn, “Forward energy measurement with CMS”, ISVHECRI 2016, August 24, 2016.
- 18) «XXIII International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems». Дубна, Россия, 19-24 сентября, 2016,  
Левченко Б.Б., «QCD and Hadronic Final State measurements at HERA» (посвящен памяти Н.П. Зотова и П.Ф. Ермолова)
- 19) «Search for "New Physics" in the events of single top quark production» (Устный)  
Авторы: Baskakov A., Boos E., Bunichev V., Dudko L., Myagkov I., Perfilov M., Popov A., Korneeva N., Vorotnikov G.  
19th Annual RDMS CMS Collaboration Conference, Варна, Болгария, 7-10 сентября 2016
- 20) «FCNC and anomalous Wtb couplings» (Устный)  
Авторы: BASKAKOV A., BOOS E., BUNICHEV V., DUDKO L., KORNEEVA N., MANDRIK P., MIAGKOV I., PERFILOV M., Popov A.A., VOROTNIKOV G.  
3rd CMS Single-Top Workshop, Strasbourg, Франция, 2-3 июня 2016
- 19th International Seminar on High Energy Physics "QUARKS-2016",  
Санкт-Петербург, Россия, 29 мая - 4 июня 2016
- 21) «Higgs-radion phenomenology in stabilized brane world models» (Приглашенный)  
Авторы: Боос Э.Э., Буничев В.Е., Волобуев И.П., Перфилов М.А., Рахметов Э.Р., Свирина К.С., Смоляков М.Н.
- 22) «New Physics search with electroweak top quark production processes» Baskakov A., Boos E., Bunichev V., Dubinin M., Dudko L., Myagkov I., Perfilov M., Vorotnikov G.
- 23) “Inflationary scenarios from RG-improved models, cosmological attractor” Е. Pozdeeva
- 24) “Cosmological models with non-minimal coupling and bounce solutions”,  
Helmholtz - DIAS International Summer School "Cosmology, Strings, New Physics", Дубна, август-сентябрь 2016  
Е. Pozdeeva
- 25) “Inflation from non-minimal coupled Higgs sector”, New Trends in Mathematical and Theoretical Physics, Москва, октябрь 2016  
Е. Pozdeeva
- 26) “Inflationary scenarios motivated by Grand Unification Theory”, [Вторая Международная зимняя школа-семинар по гравитации, астрофизике и космологии «Петровские чтения»](#), Казань, Россия, декабрь 2016  
Е. Pozdeeva

**Публикации за 2016 год:**

1. [Search for anomalous  \$Wtb\$  couplings and flavour-changing neutral currents in t-channel single top quark production in pp collisions at  \$\sqrt{s} = 7\$  and 8 TeV](#)  
CMS Collaboration Oct 11, 2016. 40 pp.  
CMS-TOP-14-007, CERN-EP-2016-207  
e-Print: [arXiv:1610.03545](#)  
направлена в JHEP
2. [Search for  \$W\$ prime boson resonances decaying into a top quark and a bottom quark in the leptonic final state at  \$\sqrt{s}=13\$  TeV](#)  
CMS Collaboration. 2016.  
CMS-PAS-B2G-16-017  
<http://cds.cern.ch/record/2204923>
3. [Search for  \$W' \rightarrow tb\$  in proton-proton collisions at  \$s\sqrt{=} 8\$  TeV +](#)  
CMS Collaboration Sep 20, 2015. 40 pp.  
Published in JHEP 1602 (2016) 122  
CMS-B2G-12-009, CERN-PH-EP-2015-231  
DOI: [10.1007/JHEP02\(2016\)122](#)  
e-Print: [arXiv:1509.06051](#)
4. [Cross section measurement of t-channel single top quark production in pp collisions at  \$s\sqrt{=} 13\$  TeV](#)  
CMS Collaboration ([Albert M Sirunyan](#) ([Yerevan Phys. Inst.](#)) *et al.*). Oct 3, 2016. 36 pp.  
Submitted to: Phys.Lett.B  
CMS-TOP-16-003, CERN-EP-2016-233  
e-Print: [arXiv:1610.00678](#) [hep-ex]
5. [Search for s channel single top quark production in pp collisions at  \$s\sqrt{=}7\$  and 8 TeV +](#)  
CMS Collaboration ([Vardan Khachatryan](#) ([Yerevan Phys. Inst.](#)) *et al.*). Mar 8, 2016. 36 pp.  
Published in JHEP 1609 (2016) 027  
CMS-TOP-13-009, CERN-EP-2016-045  
DOI: [10.1007/JHEP09\(2016\)027](#)  
e-Print: [arXiv:1603.02555](#) [hep-ex]
6. Поиск аномальных связей во взаимодействии топ-кварка с  $W$ -бозоном и  $b$ -кварком, а также нейтральных токов, меняющих аромат кварков, в анализе данных эксперимента CMS / Э. Э. Боос, В. Е. Буничев, Г. А. Воротников, Л. В. Дудко, И.А. Мягков, М.А. Перфилов, А.А. Попов, Н.А. Цирова, И.А. Швецов // Ядерная физика. — 2016. — Т. 79, № 1. — С. 61–65. +
7. CMS Collaboration (V. Khachatryan, ... I. Katkov, ... et al.), «Measurement of the pseudorapidity dependence of the energy and transverse energy density in pp collisions at  $\sqrt{s}=13$ TeV with CMS», CMS-PAS-FSQ-15-006, <http://cds.cern.ch/record/2146007>
8. [Azimuthal decorrelation of jets widely separated in rapidity in pp collisions at  \$\sqrt{s} = 7\$  TeV](#)  
[Baskakov A.](#), [Belyaev A.V.](#), [Boos E.](#), [Ershov A.](#), [Gribushin A.](#), [Khein L.](#), [Katkov I.](#), [Klyukhin V.](#), [Kodolova O.](#), [Lokhtin I.](#), [Lukina O.](#), [Myagkov I.](#), [Obraztsov S.](#), [Petrushanko S.](#), [Popov A.A.](#), [Savrin V.](#), [Snigirev A.](#), [Zhukov V.Yu.](#), CMS Collaboration  
в журнале [Journal of High Energy Physics](#), издательство [Institute of Physics Publishing](#) (United Kingdom), том 2016, № 8, с. 139 DOI +
9. [Evidence for exclusive  \$\gamma\gamma \rightarrow W^+ W^-\$  production and constraints on anomalous quartic gauge couplings in pp collisions at  \$\sqrt{s} = 7\$  and 8 TeV](#)

[Baskakov A.](#), [Belyaev A.V.](#), [Boos E.](#), [Ershov A.](#), [Gribushin A.](#), [Katkov I.](#), [Khein L.](#), [Klyukhin V.](#), [Kodolova O.](#), [Lokhtin I.](#), [Lukina O.](#), [Miagkov I.](#), [Obraztsov S.](#), [Petrushanko S.](#), [Popov A.A.](#), [Savrin V.](#), [Snigirev A.](#), [Zhukov V.Yu.](#), [CMS Collaboration](#)

в журнале [Journal of High Energy Physics](#), издательство [Institute of Physics Publishing](#) (United Kingdom), том 2016, № 8, с. 119 [DOI](#) +

10. [Measurement of long-range near-side two-particle angular correlations in pp collisions at  \$\sqrt{s} = 13\$  TeV](#)

[Baskakov A.](#), [Belyaev A.V.](#), [Boos E.](#), [Ershov A.](#), [Gribushin A.](#), [Katkov I.](#), [Khein L.](#), [Klyukhin V.](#), [Kodolova O.](#), [Lokhtin I.](#), [Lukina O.](#), [Myagkov I.](#), [Obraztsov S.](#), [Petrushanko S.](#), [Popov A.A.](#), [Savrin V.](#), [Snigirev A.](#), [Zhukov V.Yu.](#), [CMS Collaboration](#)

в журнале [Physical Review Letters](#), издательство [American Physical Society](#) (United States), том 116, № 17, с. 172302 [DOI](#) +

11. [Measurement of the inelastic cross section in proton-lead collisions at  \$\sqrt{s\[NN\]} = 5.02\$  TeV](#)

[Baskakov A.](#), [Belyaev A.V.](#), [Boos E.](#), [Ershov A.](#), [Gribushin A.](#), [Khein L.](#), [Klyukhin V.](#), [Katkov I.](#), [Kodolova O.](#), [Lokhtin I.](#), [Lukina O.](#), [Myagkov I.](#), [Obraztsov S.](#), [Petrushanko S.](#), [Popov A.A.](#), [Savrin V.](#), [Snigirev A.](#), [Zhukov V.Yu.](#), [CMS Collaboration](#)

в журнале [Physics Letters, Section B: Nuclear, Elementary Particle and High-Energy Physics](#), издательство [Elsevier BV](#) (Netherlands), том 759, с. 641-662 [DOI](#) +

12. Подготовлена статья “Purity calculation method for events samples with two the same particles” для журнала “Nuclear Instruments & Methods”.

[arXiv:1610.09862](#) [hep-ex]

13. [Measurement of top quark polarization in  \$t\bar{t}\$  lepton+jets final states](#)

[D0 Collaboration](#) ([Victor Mukhamedovich Abazov](#) ([Dubna, JINR](#)) *et al.*). Jul 26, 2016. 8 pp.

Accepted to: **Phys.Rev.Lett.**

FERMILAB-PUB-16-284-E

e-Print: [arXiv:1607.07627](#) [hep-ex]

14. ZEUS Collaborations; H. Abramowicz et al. +

Limits on the effective quark radius from inclusive ep scattering at HERA

[Phys. Lett. B 757 \(2016\) 468](#)

15. ZEUS Collaborations; H. Abramowicz et al. +

Search for a narrow baryonic state decaying to  $pK_S^0$  and  $\bar{p}K_S^0$  in deep inelastic scattering at

HERA. [Phys. Lett. B 759 \(2016\) 446](#)

16. ZEUS Collaboration; H. Abramowicz et al. +

Measurement of the cross-section ratio  $\sigma_{\{\Psi(2S)\}}/\sigma_{\{J/\Psi(1S)\}}$  in deep inelastic exclusive ep scattering at HERA. [Nucl. Phys. B 909 \(2016\) 934](#)

17. ZEUS Collaboration; H. Abramowicz et al. +

Combined QCD and electroweak analysis of HERA data. [Phys. Rev. D 93 \(2016\) 092002](#)

18. ZEUS Collaboration; H. Abramowicz et al. +

Production of exclusive dijets in diffractive deep inelastic scattering at HERA.

[Eur. Phys. J. C 76 \(2016\) 1](#)



19. "Comparison of associated Higgs boson-radion and Higgs boson pair production processes"

Boos E., Keizerov S., Rakhmetov E., Svirina K.

в журнале Physical Review D - Particles, Fields, Gravitation and Cosmology, издательство American Physical Society (United States), том 94, № 2, с. 024047 DOI

20) Kamenshchik A.Y.; Pozdeeva E.O.; Vernov S.Y.; Tronconi A.; Venturi G., Transformations between Jordan and Einstein frames: Bounces, antigravity, and crossing singularities, Physical Review D - Particles, Fields, Gravitation and Cosmology, 4 (2016) № 6, 063510, doi:10.1103/PhysRevD.94.063510

21) Ekaterina Pozdeeva and Sergey Vernov, Integrable cosmological models with non-minimal coupling and bounce solutions, EPJ Web of Conferences 125, 03008 (2016), <http://dx.doi.org/10.1051/epjconf/201612503008>

22) Ekaterina O. Pozdeeva, Maria A. Skugoreva, Alexey V. Toporensky, Sergey Yu. Vernov, Possible evolution of a bouncing universe in cosmological models with non-minimally coupled scalar fields, JCAP12(2016)006, <http://dx.doi.org/10.1088/1475-7516/2016/12/006>

23) A. Yu. Kamenshchik, E.O. Pozdeeva, A. Tronconi, G. Venturi, S. Yu. Vernov, Integrable cosmological models in the Einstein and in the Jordan frames and Bianchi-I cosmology, cosmology [arXiv:1606.04260](https://arxiv.org/abs/1606.04260) [gr-qc], принято к публикации в ЭЧАЯ

24) A. Yu. Kamenshchik, E.O. Pozdeeva, A. Tronconi, G. Venturi, S. Yu. Vernov, General solutions of integrable cosmological models with non-minimal coupling, [arXiv:1604.01959](https://arxiv.org/abs/1604.01959) [gr-qc] принято к публикации в Письма в ЭЧАЯ

25) E.O. Pozdeeva, S. Yu. Vernov, Renormalization-group improved inflationary scenarios, arXiv:1604.02272 [gr-qc], принято к публикации в ЭЧАЯ

26) New Physics search in the processes of the electroweak top quark production

Alexey Baskakov, Edward Boos, Vycheslav Bunichev, Mikhail Dubinin, Lev Dudko, Igor Myagkov, Maxim Perfilov, Georgy Vorotnikov (SINP, Moscow). 2016. 9 pp.

Published in EPJ Web Conf. 125 (2016) 02008

DOI: 10.1051/epjconf/201612502008

27) Modeling of anomalous Wtb interactions in single top quark events using subsidiary fields

E. Boos (SINP, Moscow), V. Bunichev, L. Dudko, M. Perfilov (Moscow State U.). Jul 2, 2016. 17 pp.

e-Print: arXiv:1607.00505 [hep-ph]

accepted to International Journal of Modern Physics A