

Лаборатория электрослабых и новых взаимодействий ОЭФВЭ НИИЯФ МГУ
Основные результаты полученные в 2022 году.

Исследования проводятся в рамках НИР:

бюджетная тема 3.2

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

ЦИТИС: 115041510056

ПН: 08; ТП: 01; ПНР:3

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

Реферат

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

В рамках участия в эксперименте CMS коллайдера LHC, завершен анализ данных протон-протонных столкновений при энергии 13 ТэВ полученных в Run II эксперимента CMS в 2016, 2017 и 2018 годах, с целью поиска нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействии топ-кварка с u - или s -кварком и глюоном (tq FCNC). Завершен отбор и очистка данных. Проведено полное моделирование всех процессов сигнала и фона, включая необходимые коррекции моделирования. Последовательно были развиты методы оптимизации всех этапов анализа. Проведено исследование возможных путей увеличения эффективности анализа за счет построения каскадов и ансамблей нейронных сетей. В результате получены более строгие ограничения, по сравнению с Run I на коэффициенты Вильсона характеризующие вклад таких аномальных операторов в рамках эффективной теории поля, и выраженные в терминах вероятностей редких распадов топ-кварка на s - или u -кварк и глюон. Полученные экспериментальные результаты проходят одобрение коллаборации CMS. Проведены исследования проявления FCNC во взаимодействии топ-кварка с u - или s -кварком и бозоном Хиггса. Статистически значимых проявлений таких отклонений от предсказаний СМ не обнаружено и установлены верхние ограничения на вероятности соответствующих редких распадов топ-кварка $B(t \rightarrow Nu) < 0.079$ (0.11)% и $B(t \rightarrow Nc) < 0.094$ (0.086)% для канала распада бозона Хиггса на два b -кварка [JHEP 169(2022)], а наиболее жесткие ограничения 0.019% (0.031%) для $B(t \rightarrow Nu)$ и 0.073% (0.051%) для $B(t \rightarrow Nc)$ получены в канале распада бозона Хиггса на два фотона [Phys. Rev. Lett. **129**, 032001]. Продолжен поиск тяжелых резонансов распадающихся в топ-кварк и b -кварк. Получены ограничение на возможное проявление дополнительного векторного заряженного бозона W' с распадом на векторо-подобные T - и V -кварки, и последующим распадом на топ-кварк [JHEP 88(2022)]. Нижнее ограничение на массу W' , в рамках такого модельного анализа составила 3.1 ТэВ. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований в коллаборациях CMS и предыдущих исследований в коллаборации D0 (Tevatron) защищена диссертация Дудко Л.В. на соискание степени доктора физ.-мат. наук. В эксперименте CMS начат анализ по измерению фактора ядерной модификации ("Nuclear modification" фактор), т.е. отношения спектров частиц по поперечному импульсу во взаимодействии протон-ядро к спектрам во взаимодействии протон-протон, в передней

области эксперимента CMS. Продолжается развитие алгоритма “Particle Flow” (PF) в HF калориметре установки CMS, позволяющего измерение спектра частиц, входящих в HF, по энергии и поперечному импульсу.

Продолжены работы по развитию системы мониторинга и контроля крейтов электроники с микроархитектурой для телекоммуникационных вычислений mTCA для установки CMS. Поддерживается функционирование созданных виртуальных машин rscmsmsudcs и rscmsmsudcs1 с установленным специальным ПО, разработанным группой НИИЯФ МГУ. Проводились работы по экспертному сопровождению и дальнейшему развитию данного ПО, отслеживались изменения базы данных мониторируемых крейтов. Изменена конфигурационная настройка крейтов электроники mTCA для ПО сервера, считывающего данные непосредственно с каждого датчика контролируемого крейта. Для тестирования и проверки работоспособности крейтов поддерживалась конфигурационная настройка System manage. Запускающие программные скрипты и настройки загрузки сессии mtcaserver были изменены в связи с изменением активного и резервного серверов.

В 2022 году на основе анализа объединенных данных экспериментов H1 и ZEUS опубликованы *окончательные* результаты КХД фитирования плотностей партонных распределений (PDF) HERAPDF2.0 включающих высшие лидирующие поправки (NNLO). Это позволило существенно уменьшить неопределенности в глюонных PDF и с высокой точностью извлечь из данных полюсное значение параметра сильных взаимодействий, $\alpha_s(M_Z^2) = 0.1156 \pm 0.011$. Для событий со струями в рамках той же процедуры был сформирован отдельный набор PDF, HERAPDF2.0Jets NNLO, что дало возможность с превосходной точностью описывать данные с рождением струй. Исследовались процессы эксклюзивного фоторождения векторных мезонов $J/\psi(1S)$ и $\psi(2S)$. Измерено отношение R сечений рождения мезонов как функции адронной энергии W и квадрата переданного импульса $|t|$. Сравнение зависимости R от W и $|t|$ с предсказаниями моделей показывает приемлемое согласие с данными.

В рамках эксперимента MPD мегасайенс-проекта комплекса «NICA» на базе ОИЯИ, Дубна, продолжена разработка методики и программной системы юстировки время-проекционной камеры (TPC) многофункционального детектора MPD. Исследована возможность разделения близких треков время-проекционными камерами. В частности, при помощи моделирования искусственных событий изучались точностные характеристики предложенного ранее метода юстировки время-проекционной камеры детектора MPD при использовании лазерной системы детектора. Рассчитана точность таких измерений и определена величина статистики, необходимой для измерений и показана независимость результатов от толщины следа лазерного луча. Получен критерий разделения детектором типа время-проекционной камеры близких треков для задач фемтоскопии.

Продолжена разработка методики и программного обеспечения для поиска новых явлений в плотной адронной и кварк-глюонной материи на основе программного пакета Angantyr (PYTHIA) для ядро-ядерных взаимодействий. В результате исследований и тестов пакета Angantyr в рамках программ PYTHIA 8.240 и PYTHIA 8.306 были выявлены проблемы с прерыванием генерации для событий при энергиях меньше нижней границы ускорителя RHIC (PYTHIA 8.240), и для событий в диапазоне 6 - 9 GeV, сбой в генерации которых был связан с неправильной инициализацией программного пакета для дифракции больших масс (PYTHIA 8.306). В рамках кооперации с разработчиками университета Лунда проблемы были зафиксированы в релизе программы PYTHIA 8.307. Указанные выше исследования по разработке программ юстировки и тюнингу генераторов ядро-ядерных взаимодействий являются одними из приоритетных направлений эксперимента MPD [*Eur.Phys.J.A* 58 (2022) 7, 140].

В рамках эксперимента [BM@N](#) продолжен анализ рождения заряженных мезонов аргон-ядерных столкновениях при энергии нуклотрона 3.2A GeV. Проводится реферирование готовящейся к печати коллаборационной статьи «Production of π^+ and K^+ in 3.2A GeV argon-nucleus interactions at the Nuclotron».

Продолжена разработка ПО для эксперимента LHCb в третьем периоде работы ЛHC. В рамках RTA (Real Time Analysis: программная инфраструктура) разработаны основные функциональные элементы системы программной юстировки оптической системы детекторов RICH1 и RICH2 с использованием реальных данных в режиме реального времени для новых конфигураций установки LHCb и соответствующего ПО.

В рамках проводимых теоретических исследований изучены R^4 , R^3 , $R^{3/2}$ расширения инфляционной $R+R^2$ модели модифицированной гравитации, вычислены соответствующие потенциалы в общей теории относительности. Найдены новые потенциалы общей теории относительности позволяющие воспроизвести современные наблюдаемые инфляционного расширения ранней Вселенной, проанализированы соответствующие функции модифицированной гравитации.

Получены точные решения для скалярного поля в метрике Шварцшильда в терминах конфлюэнтных функций Гойна. Получены асимптотики этих решений, совпадающие с результатами, опубликованными в научной литературе. Данные результаты будут полезны для описания любых квантовых процессов с участием скалярных полей в окрестностях черных дыр, магнетаров и нейтронных звезд.

Показано, что за счет эффекта Казимира и взаимодействия между скалярными и векторными полями в теориях типа Калуцы-Клейна может возникать наблюдаемый энергетический масштаб, намного порядков меньший, чем планковский. Это позволяет решить характерную для этих теорий проблему иерархии: при традиционном подходе в теориях типа Калуцы-Клейна невозможно одновременно получить реалистичные константы связи и массы частиц.

Введение

а) Физика топ кварка.

Существующие экспериментальные данные не позволяют предпочесть какой-то выделенный сценарий за рамками Стандартной модели (СМ), и существенные усилия концентрируются на модельно-независимом поиске возможных отклонений от предсказаний СМ. В основе модельно-независимого поиска выбран подход эффективной теории поля, включающей эффективные операторы высших размерностей, сохраняющих симметрии СМ. Такие операторы способны описать все возможные новые взаимодействия частиц СМ между собой, возникающие вследствие их взаимодействия с пока не наблюдаемыми гипотетическими частицами. Формализм эффективной теории поля позволяет исследовать проявления конкретных модельно-независимых операторов, обусловленных моделями за рамками СМ, в различных процессах. Такой подход должен привести к более жестким модельно-независимым ограничениям на коэффициенты при возможных операторах. С другой стороны, возможное проявление конкретных операторов является следствием определенного класса расширений СМ, и такая связь может быть использована для увеличения чувствительности к проявлению таких расширений СМ. Иерархию масс кварков замыкает t-кварк с зарядом $2/3$ из третьего поколения (дублета) фермионов СМ. Топ-кварк является наиболее тяжелым из фундаментальных (бесструктурных) объектов микромира. Обладая массой, сравнимой с массой ядра золота, топ-кварк является точечным в рамках СМ. Время жизни топ-кварка ($\sim 10^{-25}$ с) настолько мало, что он распадается до того, как образовать связанные адронные состояния. Большая масса и ряд других необычных свойств топ-кварка позволяют предположить, что именно во взаимодействиях топ-кварка проявятся первые отклонения от предсказаний СМ и указания на «Новую физику».

Существует несколько механизмов одиночного рождения топ-кварка. Ведущий t-канальный процесс уже неплохо исследован и именно в нем проводятся основные текущие

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

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

б) Физика дифракционных процессов и партонная структура частиц.

Рождение частиц в адронных столкновениях на больших псевдобыстроотах ($\eta > 5$) чувствительно к вкладу от мультипартонных взаимодействий (MPI), к механизму фрагментации исходного адрона и к процессам дифракции. Понимание этих механизмов важно для успешного описания конечных состояний в протон-протонных взаимодействиях на коллайдерах, а также для точного моделирования широких атмосферных ливней (ШАЛ), индуцированных в атмосфере Земли космическими лучами сверхвысоких энергий. В частности, рождение заряженных адронов в передней области взаимодействия оказывает непосредственное влияние на общее количество мюонов. Это важно, так как наиболее значимой проблемой моделирования ШАЛ с использованием существующих моделей взаимодействия является дефицит числа мюонов относительно результатов измерений.

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

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

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

в) Физика взаимодействий с ядрами.

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

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

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

Результаты

1.а Исследования топ-кварка в эксперименте CMS.

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

В эксперименте CMS коллайдера БАК проводятся комплексные исследования физики топ-кварка в событиях протон-протонных столкновений при энергиях 7, 8, 13 и 13.6 ТэВ. Готовятся исследования при более высоких энергиях и в режимах высокой светимости ускорителя.

В 2022 году завершен анализ данных протон-протонных столкновений при энергии 13 ТэВ полученных в Run II эксперимента CMS в 2016, 2017 и 2018 годах, с целью поиска нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействии топ-кварка с u - или s -кварком и глюоном (tqg FCNC). Завершен отбор и очистка данных. Проведено полное моделирование всех процессов сигнала и фона, включая необходимые коррекции моделирования. Проведено исследование возможных путей увеличения эффективности анализа за счет построения каскадов и ансамблей нейронных сетей. В результате получены более строгие ограничения, по сравнению с Run I на коэффициенты Вильсона характеризующие вклад таких аномальных операторов в рамках эффективной теории поля, и выраженные в терминах вероятностей редких распадов топ-кварка на s - или u -кварк и глюон. Полученные экспериментальные результаты проходят одобрение коллаборации CMS.

Проведены исследования проявления FCNC во взаимодействии топ-кварка с u - или s -кварком и бозоном Хиггса. Статистически значимых проявлений таких отклонений от предсказаний СМ не обнаружено и установлены верхние ограничения на вероятности соответствующих редких распадов топ-кварка $B(t \rightarrow Hu) < 0.079$ (0.11)% и $B(t \rightarrow Hc) < 0.094$ (0.086)% для канала распада бозона Хиггса на два b -кварка [JHEP 169(2022)], а наиболее жесткие ограничения 0.019% (0.031%) для $B(t \rightarrow Hu)$ и 0.073% (0.051%) для $B(t \rightarrow Hc)$ получены в канале распада бозона Хиггса на два фотона [Phys. Rev. Lett. **129**, 032001].

Продолжен поиск тяжелых резонансов распадающихся в топ-кварк и b -кварк. Получены ограничение на возможное проявление дополнительного векторного заряженного бозона W' с распадом на векторо-подобные T - и V -кварки, и последующим распадом на топ-кварк [JHEP 88(2022)]. Нижнее ограничение на массу W' , в рамках такого модельного анализа составила 3.1 ТэВ.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований в коллаборациях CMS и предыдущих исследований в коллаборации D0 (Tevatron) защищена диссертация Дудко Л.В. «Физические основы и методы оптимизации исследований

одиночного рождения топ-кварка на адронных коллайдерах» на соискание степени доктора физ.-мат. наук.

1.б Система мониторинга и контроля крейтов электроники с микроархитектурой для телекоммуникационных вычислений (mTCA) установки CMS

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

Продолжены работы по обеспечению функционирования созданных виртуальных машин `rcsmsudcs` и `rcsmsudcs1`, на которых установлено разработанное группой из НИИЯФ МГУ специальное ПО для системы мониторинга и контроля крейтов mTCA. Осуществляется экспертное сопровождение и дальнейшее развитие данного ПО. Поддерживаются изменения базы данных мониторируемых крейтов электроники mTCA. Была изменена конфигурационная настройка крейтов электроники mTCA для ПО сервера, считывающего данные непосредственно с каждого датчика контролируемого крейта. Для тестирования и проверки работоспособности крейтов поддерживается конфигурационная настройка System manager - программы системного администрирования связи с электроникой mTCA крейтов. Запускающие программные скрипты и настройки загрузки сессии `mtcserver` адаптированы к изменениям активного и резервного серверов. Данная программная разработка имеет удобный графический интерфейс, позволяющий просматривать во времени не только каждый одиночный сенсор, но и группы однотипных контролируемых датчиков разных крейтов для сравнения изменений их параметров во времени. Программные скрипты позволяют просматривать данные с контролируемых сенсоров электроники mTCA в цифровом формате и в графическом формате (тренды). Проведена проверка чтения и соответствия контролируемых сенсоров электроники mTCA через `cmsonline system`.

1.в Измерение "Nuclear modification" фактора во взаимодействии протон-ядро в передней области эксперимента CMS.

Л.А. Хейн

Начат анализ по измерению фактора ядерной модификации ("Nuclear modification" фактор), т.е. отношения спектров частиц по поперечному импульсу во взаимодействии протон-ядро к спектрам во взаимодействии протон-протон, в передней области эксперимента CMS. Продолжается развитие алгоритма "Particle Flow" (PF) в HF калориметре установки CMS, позволяющего измерение спектра частиц, входящих в HF, по энергии и поперечному импульсу.

2. Исследования в экспериментах MPD и [BM@N](#) коллайдера NICA.

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

2.1 Юстировка время-проекционной камеры (TPC), Кузьмин В.А.

Исследована точность нахождения юстировки секторов времяпроекционной камеры по мюонам, рожденным в столкновениях ядер в магнитном поле

детектора. На Рис. 1 приведено сравнение ошибок при определении положения секторов по реакции детектора на его лазерные лучи (черные гистограммы) и по мюонам, рожденным в столкновении ядер (синие гистограммы).

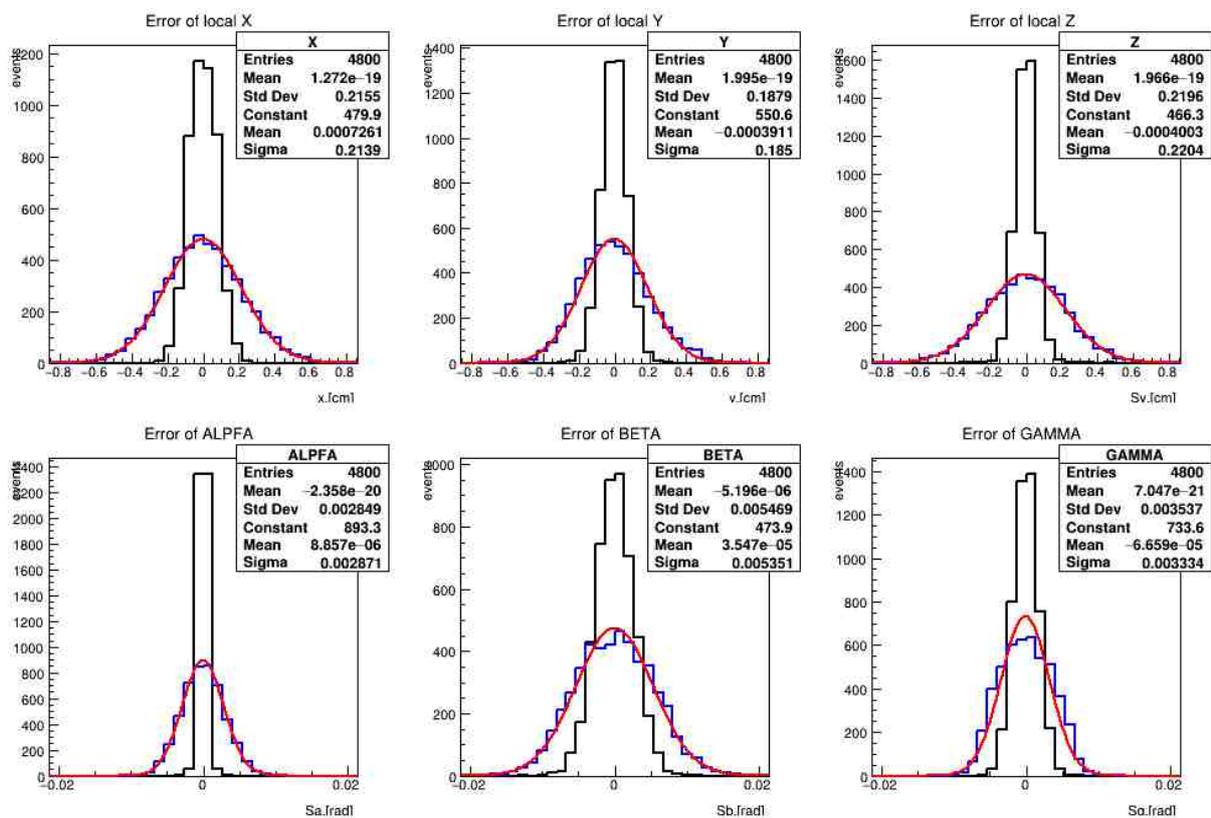


Рис.1. Модельный эксперимент по нахождению координат секторов и их положения в пространстве. Распределение линейных и угловых ошибок.

Получен критерий разделения близких треков время проекционной камерой.

$$Lq/p \geq d_{track} + 2a,$$

Где L — расстояние до места разделения, q — разница поперечных моментов треков, p — средний поперечный момент, d_{track} — ширина следа трека на плоскости чувствительных элементов и a — ширина чувствительного элемента камеры.

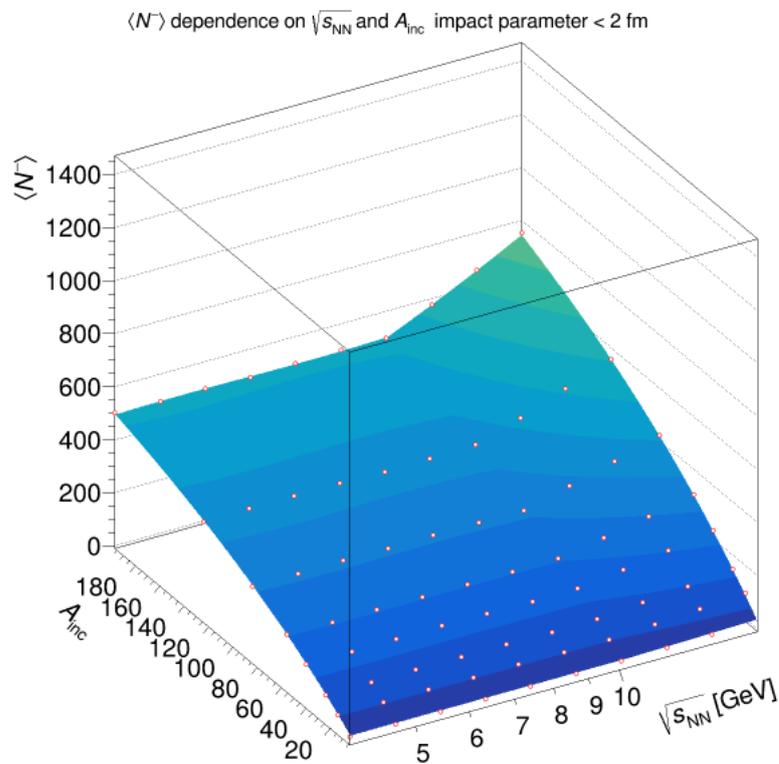
Рассчитанная точность приведённых измерений оказалась порядка 700 мкм для пространственного положения начала координат сектора и 7 угловых минут для углов Эйлера. Определена величина статистики, необходимой для измерений и показана независимость результатов от толщины следа лазерного луча. Получен критерий разделения детектором типа время-проекционной камеры близких треков для задач фемтоскопии.

2.2 Поиск параметров критической области на основе генератора РУТИА

Соломин А.Н., Щеглова Л.М.

Продолжены исследования в рамках разработки нового метода поиска параметров критической окрестности в релятивистских столкновениях тяжёлых ионов, где плотная адронная материя переходит в кварк-глюонную плазму, при энергии коллайдера NICA. Выдвигаемый подход основан на базе детального сканирования по энергии столкновения выхода частиц и других наблюдаемых на тяжёлых ядрах (в частности, ^{197}Au) в зависимости от атомного номера налетающего ядра в диапазоне от протона до ^{197}Au . Анализ проводится на базе генератора PYTHIA, в котором, начиная с версии PYTHIA 8.325, имплементирован пакет Angantyr для моделирования столкновений релятивистских ядер. Angantyr не содержит предположения о горячей термализованной среде, поэтому модель может служить основой для понимания неколлективного фона для наблюдаемых объектов, чувствительных к коллективному поведению.

В ходе разработки методики и программного обеспечения на основе программного пакета Angantyr в рамках программ PYTHIA 8.240 и PYTHIA 8.306 при анализе глобальных двумерных распределений были выявлены проблемы с прерыванием генерации для событий при энергиях меньше нижней границы ускорителя RHIC (PYTHIA 8.240), и для событий в диапазоне 6 - 9 GeV, сбой в генерации которых был связан с неправильной инициализацией программного пакета для дифракции больших масс (PYTHIA 8.306). В рамках кооперации с разработчиками университета Лунда проблемы были зафиксированы в релизе программы PYTHIA 8.307. На Рис. 1 представлена двумерная зависимость средней множественности отрицательно заряженных адронов от массы ядра, A_{inc} , сталкивающегося с ядром золота, ^{197}Au , и от энергии нуклон- нуклонного столкновения в системе центра их масс в диапазоне энергий NICA, полученная с версией генератора PYTHIA 8.307 для центральных событий.



Для фитирования использовалась эмпирическая функция $f(E, A_{\text{inc}}, A_t)$ с параметрами, полученными из соответствующих одномерных фитов (см.Препринт НИИЯФ МГУ No 2018-

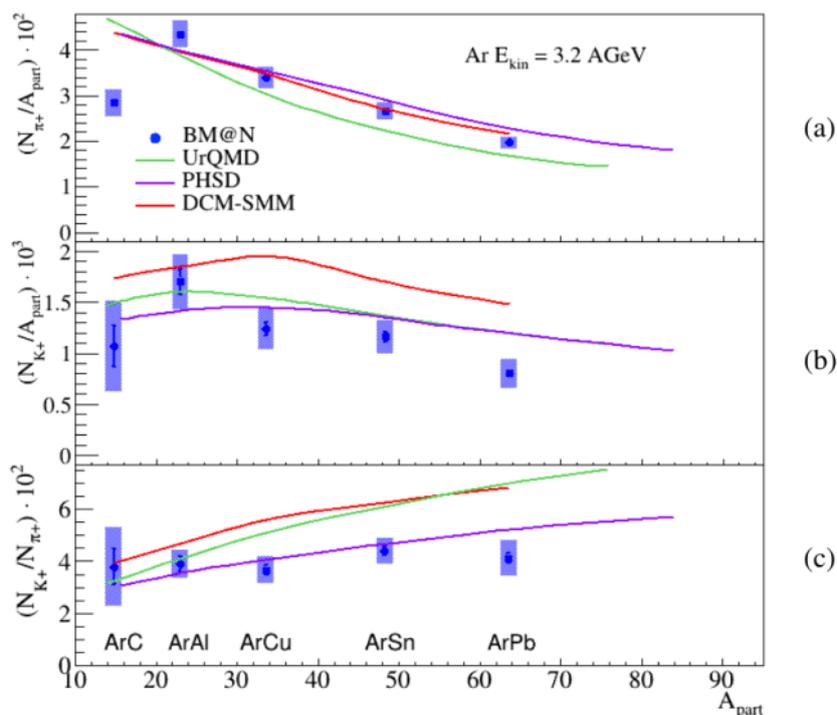
2/893). Как видно из Рис. 2 зависимость средней множественности частиц в области энергий NICA хорошо аппроксимируется глобальной двумерной монотонной функцией, отражающей экспериментальное поведение средней множественности частиц при энергиях ниже $\sqrt{s} < 10$, что является следствием устранения ошибок в версиях PYTHIA 8.240 и PYTHIA 8.306.

В настоящее время не имеется данных по адаптации и тестированию PYTHIA(Angantyr) и сравнению с экспериментальными данными для энергий диапазона NICA, поэтому данные исследования представляют существенный интерес в рамках проводимой физической программы физики для MPD.

2.3 Эксперимент BM@N

Соломин А.Н.

В рамках продолжения сотрудничества в эксперименте [BM@N](#) продолжен анализ рождения частиц в ядро-ядерных столкновениях при энергиях нуклотрона. В частности проводится реферирование готовящейся к печати коллаборационной статьи «Production of π^+ and K^+ in 3.2A GeV argon-nucleus interactions at the Nuclotron». В статье представлены первые физические результаты эксперимента BM@N по образованию π^+ и K^+ мезонов при взаимодействии пучка ядер аргона с энергией 3,2A GeV с фиксированными мишенями. Измерены поперечные импульсы, спектры по быстроте и множественности π^+ и K^+ мезонов. Результаты сравниваются с предсказаниями теоретических моделей и с измерениями, полученными в экспериментах с тяжелыми ионами при более низких энергиях



На Рис. 3 приведены первые экспериментальные данные в рамках проекта NICA по отношению выходов π^+ и K^+ мезонов к числу партисипантов-нуклонов (a,b), а также

отношение множественностей K^+ мезонов к π^+ мезонам. Показано также сравнение с рядом теоретических моделей.

Полученные результаты представляют уникальную возможность сравнения этих экспериментальных данных с аналогичными данными по выходу частиц с использованием пакета программ, разработанного для MC генератора PYTHIA (Angantyr) рамках эксперимента MPD.

3. Исследования в экспериментах ZEUS и H1 коллайдера HERA.

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

В 2022 г. в рамках НИР “Экспериментальные исследования по физике тяжёлых кварков, электрослабых и нестандартных взаимодействий при высоких энергиях” опубликована одна статья в высоко рейтинговом научном журнале и ещё одна статья направлена на публикацию.

Среди наиболее значимых следует отметить следующие физические результаты, полученные при активном участии физиков НИИЯФ МГУ в 2022 году.

За. Влияние данных по рождению струй на параметризацию партонных распределений HERAPDF2.0 учитывающей высшие лидирующие поправки.

В основу статьи легли результаты анализа данных экспериментов ZEUS и H1, полученных на электрон-протонном коллайдере HERA (г. Гамбург, Германия) набранных в период 1993-2007 гг. Главной целью проекта HERA было детальное изучение структуры протона, сравнение сечений измеренных процессов с предсказаниями Стандартной Модели (СМ) электрослабых и сильных взаимодействий, извлечение из данных плотности партонных распределений (ППР) и изучение кварк-глюонной динамики взаимодействий в рамках пертурбативной квантовой хромодинамики (пКХД).

Настоящий *итоговый* анализ базируется на объединенных данных экспериментов ZEUS и H1 по инклюзивному глубоко неупругому рассеянию электрона на протоне. В описании эволюции ППР с Q^2 и x применен пКХД-формализм Докшицера-Грибова-Липатова-Альтарелли-Паризи (ДГЛАП).

Существенным отличием от предыдущего подобного анализа, где были введены ППР HERAPDF2.0, является включение в анализ выделенных событий с рождением струй и учет при пКХД-подгонке высших лидирующих поправок (NNLO). Данные теоретические поправки и сечения рождения струй в NNLO-приближении стали доступны лишь недавно. Стратегия анализа повторяет ту, что была применена ранее и включает следующие шаги: - подгонка глюонных ППР к данным по сечениям рождения струй; - одновременная подгонка полюсного значения параметра сильных взаимодействий, $\alpha_s(M_Z^2)$, учитывая его связь с глюонным распределением. Это позволило существенно уменьшить неопределенности в глюонных ППР и с высокой точностью извлечь из данных полюсное значение параметра сильных взаимодействий, $\alpha_s(M_Z^2) = 0.1156 \pm 0.0011 (\text{exp}) \pm 0.0029 (\text{scale})$ (см Рис. 1); - на следующем шаге, значение $\alpha_s(M_Z^2)$ фиксировалось, и подгонка ППР повторялась, что давало информацию о точностях найденных ППР.

Для событий со струями в рамках той же процедуры был сформирован отдельный набор ППР, HERAPDF2.0Jets NNLO. Безмассовые струи идентифицировались k_T алгоритмом, с параметром $R=1$. Кроме бинов по Q^2 , использовались и бины по поперечному импульсу струи и паре струй. Из-за отсутствия теоретических расчетов, из анализа исключены события с числом струй более двух. Для учета рождения струй с тяжелыми c - и b -

кварками и определения параметров их масс M_c и M_b , выполнялась отдельная пКХД-подгонка к объединенным инклюзивным данным и сечениям рождения тяжелых кварков, измеренных ранее.

На Рис. 2 показаны результирующие партонные распределения как функции Бьеркеновского x на масштабе $Q^2=10 \text{ ГэВ}^2$.

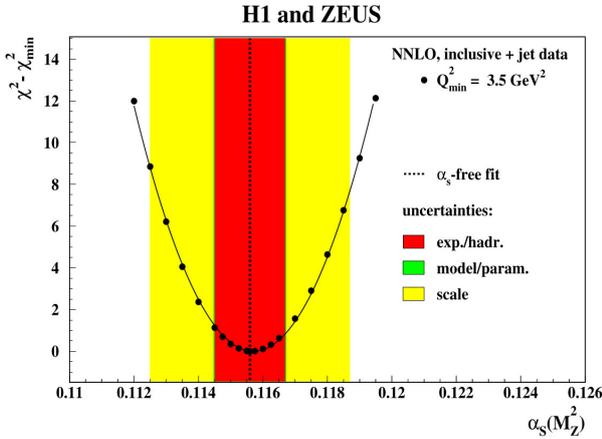


Рис. 1. Разница между χ^2 и χ^2_{min} как функция $\alpha_s(M_Z^2)$ для подгонки ППР HERAPDF2.0Jets NNLO с фиксированным $\alpha_s(M_Z^2) = 0.1155$. Цветом показаны разные источники неопределенностей.

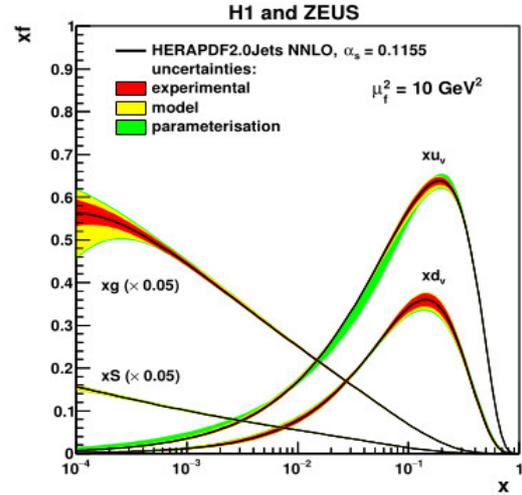


Рис. 2. Плотности распределения партонных xU, xD, xg и $xS = x(U + D)$ из HERAPDF2.0Jets NNLO с фиксированным $\alpha_s(M_Z^2) = 0.1155$ на масштабе 10 ГэВ^2 . Цветом показаны разные источники неопределенностей.

Кроме набора ППР с $\alpha_s(M_Z^2) = 0.1155$, был создан и ППР HERAPDF2.0Jets NNLO с $\alpha_s(M_Z^2) = 0.118$ и набор ППР HERAPDF2.0 NNLO, для которого не использовались события со струями. Все наборы ППР были проверены на согласованность на NNLO уровне.

Заключительная проверка полученных партонных распределения состояла в сравнении данных по дифференциальным сечениям рождения струй как функции поперечного импульса струй, p_T , с предсказаниями на основе ППР HERAPDF2.0 NNLO при $\alpha_s(M_Z^2) = 0.1155$. На Рис 3 и 4 демонстрируется, что найденные ППР с превосходной точностью описывают данные с рождением струй.

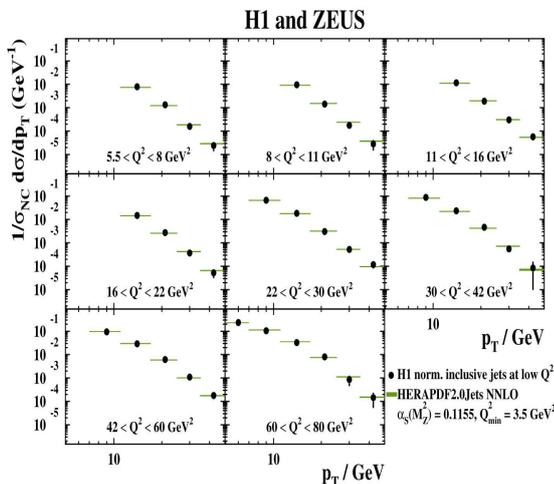


Рис.3. Дифференциальные сечения образования струй

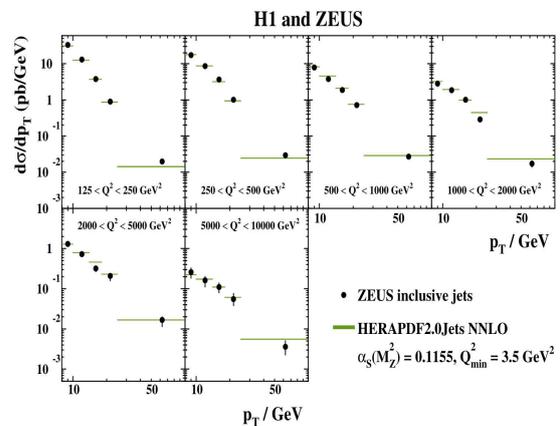


Рис.4. Дифференциальные сечения образования

как функция поперечного импульса струи в разных бинах по Q^2 . Точки - данные эксперимента H1, гистограммы — предсказания на основе ППР HERAPDF2.0Jets NNLO.

струй как функция поперечного импульса струи в разных бинах по Q^2 . Точки - данные эксперимента ZEUS, гистограммы — предсказания на основе ППР HERAPDF2.0Jets NNLO.

36. Исследование процессов рождения векторных мезонов в эксклюзивном фоторождении на HERA

Продолжено изучение процессов рождения векторных мезонов на коллайдере HERA с помощью детектора ZEUS. Исследования рождения 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. Выполнен анализ данных по эксклюзивному фоторождению систем $J/\psi(1S)p$ и $\psi(2S)p$ во взаимодействиях γ -p при интегральной светимости 373 пб^{-1} в кинематическом диапазоне $30 < W < 180 \text{ ГэВ}$, $Q^2 < 1 \text{ ГэВ}^2$ и $|t| < 1 \text{ ГэВ}^2$, где W - энергия центра масс фотон-протон, Q^2 - виртуальность фотона и t - квадрат передачи четырех импульса в вершине протона. Измерялись каналы распада $J/\psi(1S) \rightarrow \mu^+\mu^-$, $\psi(2S) \rightarrow \mu^+\mu^-$ и $\psi(2S) \rightarrow J/\psi(1S)\pi^+\pi^-$ с последующим распадом $J/\psi(1S) \rightarrow \mu^+\mu^-$. Отношение поперечных сечений рождения, $R = \sigma_{\psi(2S)} / \sigma_{J/\psi(1S)}$, измерено как функции адронной энергии W и квадрата переданного импульса $|t|$. Результаты сравнены с полученными ранее данными в области фоторождения и глубокого неупругого рассеяния и с предсказаниями основанных на КХД моделей для описания эксклюзивного рождения векторных мезонов. Сравнение зависимости R от W и $|t|$ с предсказаниями моделей показывает приемлемое согласие с данными.

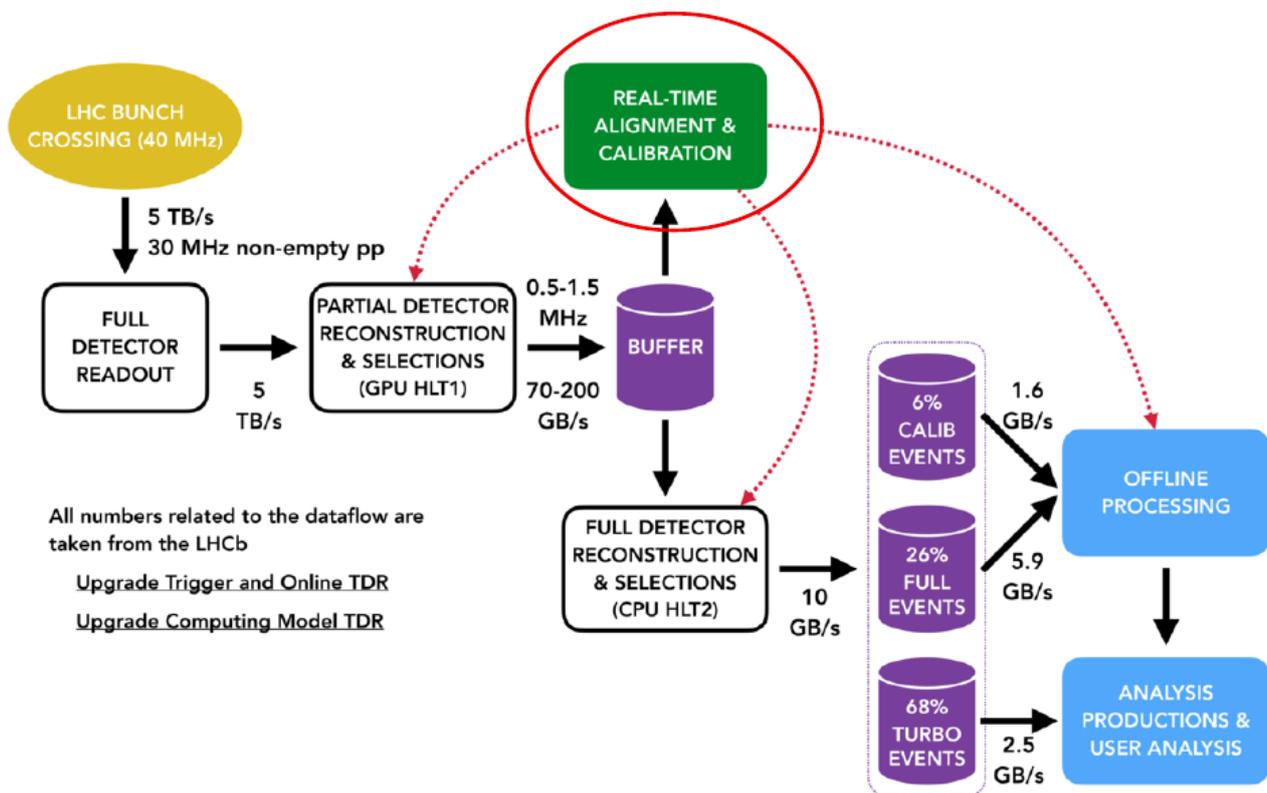
Результаты исследований опубликованы в виде препринта DESY-22-107 « Measurement of the cross-section ratio $\sigma_{\psi(2S)}/\sigma_{J/\psi(1S)}$ in exclusive photoproduction at HERA » [11] .

4. Исследования проводимые в эксперименте LHCb

А.Н. Соломин,

Одной из наиболее сильных сторон эксперимента LHCb является наличие в конструкции его установки RICH детекторов: RICH1 и RICH2 способных идентифицировать частицы в диапазоне импульсов до $\sim 100 \text{ ГэВ}/c$. Оптические системы этих детекторов требуют постоянного мониторинга состояния их прецизионной юстировки. Для этого используется специальная методика, основанная на анализе данных о реальных событиях.

Вся система юстировки входит в состав RTA (выделена красным овалом на схеме RTA:



Продолжена работа по усовершенствованию алгоритмов преселекции событий в триггере высокого уровня 1 (HLT1) с целью прецизионной юстировки оптических систем RICH1 и RICH2 в режиме реального времени. Получаемые поправки должны применяться при полной реконструкции событий в триггере высокого уровня 2 (HLT2).

По линии подготовки третьего периода работы LHC, Run 3, в рамках программы апгрейда установки LHCb, в частности, детекторов RICH1 и RICH2, выдвинут и разработан новый метод предварительного отбора событий в первом триггере высокого уровня HLT1 для оптимизации производительности процедуры юстировки с полной реконструкцией событий во втором триггере высокого уровня HLT2.

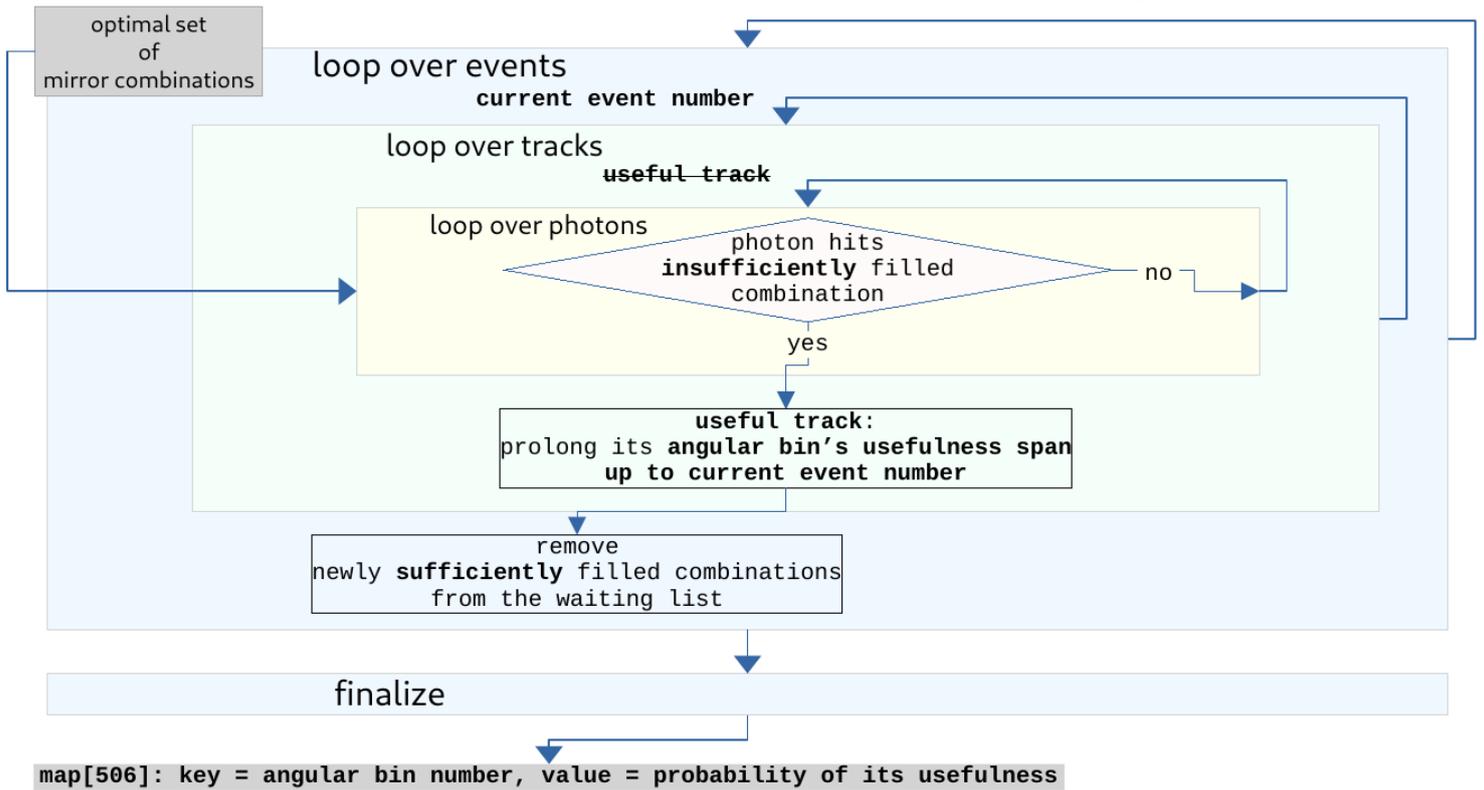
Этот метод получил название «интеллективный рандомизированный прескейлинг»

Он состоит из двух шагов:

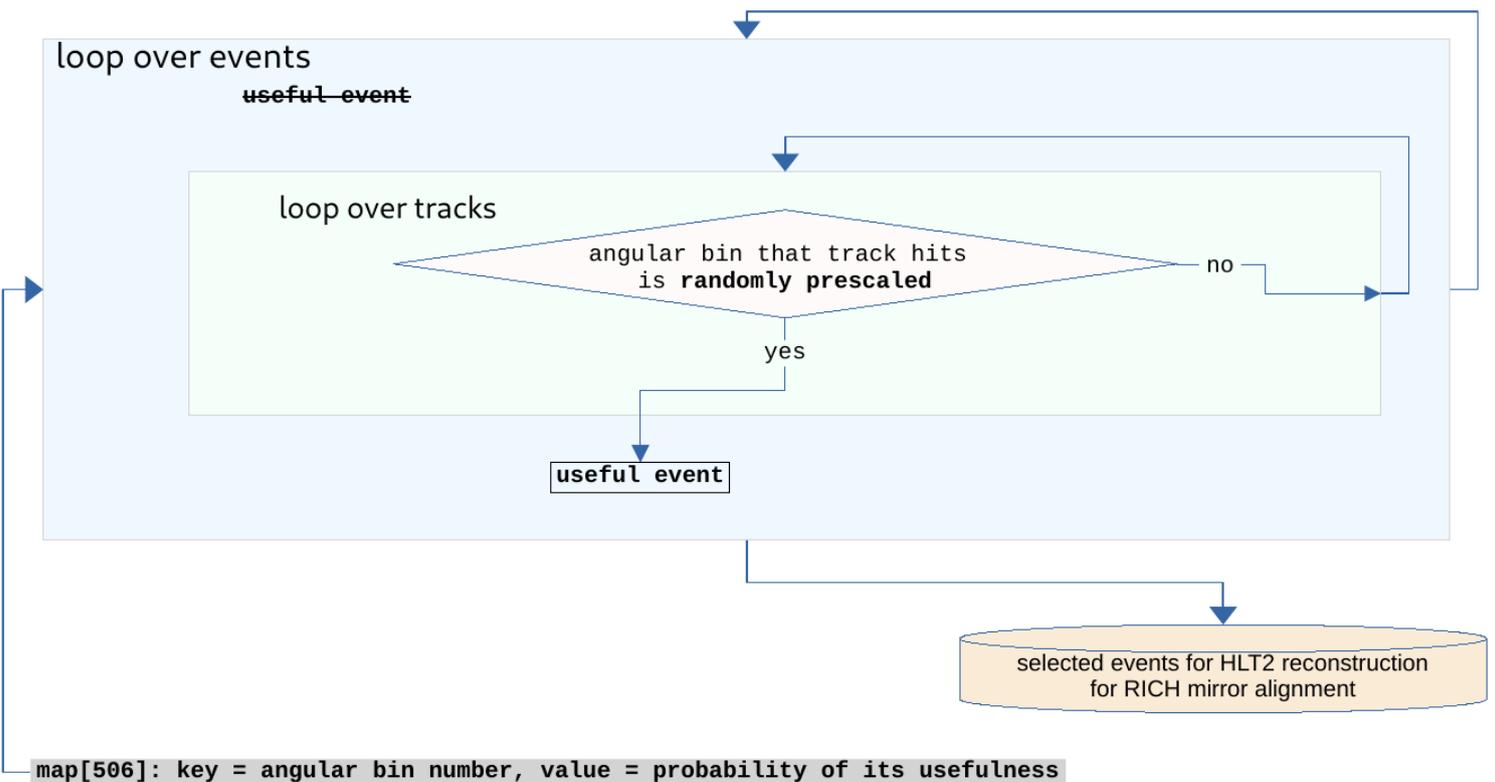
1. предварительное создание словаря вероятностей отбора событий с использованием критерия величины заполненности минимально заселяемого квантиля гистограммы рассогласования углов черенковских фотонов;
2. случайный отбор событий по этому словарю в HLT1.

Эти шаги иллюстрируются следующими двумя схемами рабочего процесса:

Explanation of the mechanism: creation of the Map



Explanation of the mechanism: using the Map for the event selection at HLT1



В результате происходит 50-кратное сокращение времени обработки событий по сравнению с Run 2.

Это усовершенствование позволит существенно сократить вычислительные ресурсы для определения поправок в режиме реального времени, и кроме того, обеспечить возможность

бессрочного хранения необходимой информации с целью гарантированной воспроизводимости физических результатов.

С этой же целью создана и внедрена новая система хранения версий параметров и настроек алгоритмов на основе сериализации с помощью языка YAML.

В связи с разработкой в ЛHCb проекта «реально-временной анализ» (RTA) и принятием к использованию совершенно новой программной инфраструктуры, произведена коренная переработка и усовершенствование ПО юстировки детекторов RICH для работы в новой инфраструктуре. Группа ЛHCb МГУ является автором развития методики и ПО юстировки детекторов RICH1 и RICH2 и единственной российской группой, которая вносит вклад в разработку ПО юстировки детекторов RICH ЛHCb для Run 3 ЛHC. Разработчиком является А.Н. Соломин.

5. Теоретические исследования.

5а. Исследование инфляционных моделей $f(R)$ гравитации.

Е.О. Поздеева

Применение конформного преобразования позволяют преобразовать модели модифицированной $f(R)$ гравитации (где R — скаляр Риччи) в модели общей теории относительности с потенциалами зависящими от скалярного поля. Представление $R+R^2$ гравитации возможно с помощью общей теорией относительности с потенциалом, включающим экспоненциальную зависимость от поля, минимально взаимодействующего со скалярной кривизной. Расширение модели $R+R^2$ модифицированной гравитации проводится из соображений непротиворечивости новых моделей современным наблюдаемым данным. В частности, возможно, построение новых моделей как введением дополнительных слагаемых в функцию модифицированной $f(R)$ гравитации, так и введением дополнительных слагаемых в потенциал общей теории относительности. Нами рассмотрены расширения инфляционной $R+R^2$ модели Старобинского слагаемыми, пропорциональными R^4 , $R^{3/2}$, или R^3 , и найдены новые потенциалы, включающие экспоненту от поля минимально взаимодействующего со скаляром кривизны, проанализированы соответствующие функции модифицированной гравитации. Проведен анализ допустимых параметров моделей на основе современных данных наблюдений.

5б. Развитие квантовой механики стационарных состояний частиц различных спинов в искривленном пространстве-времени классических черных дыр.

Э. Рахметов, С. Кейзеров

5б.1 Задача квантования скалярного поля в пространстве-времени Шварцшильда уже давно обсуждается в научной литературе. Хорошо известно, что для проведения процедуры канонического квантования необходимо иметь полную систему одночастичных решений для скалярного поля в гравитационном поле черной дыры. Однако, поскольку точные решения для этого случая были неизвестны, до сих пор свойства решений исследовались качественно или численно. Для этого уравнения скалярного поля в метрике Шварцшильда обычно записывались в черепашьих координатах, в которых они сводятся к одномерному уравнению типа Шредингера. Затем свойства решений этого уравнения исследовались качественно на основании вида потенциала. Такой подход позволил авторам работы [Phys. Rev. D, 84, 083008, (2011)] выделить физически адекватные решения и найти их асимптотики. Однако в любом случае для более строгого анализа желательно иметь точные решения соответствующих уравнений. В работе [Il Nuovo Cim. B, 124, 1251, (2009)] было показано,

что решения уравнений для скалярного поля в пространстве-времени Шварцшильда могут быть приведены к виду уравнения Гойна, но физические решения при этом выделены не были.

Мы нашли точные физически адекватные решения для действительного скалярного поля в пространстве-времени Шварцшильда, необходимые для проведения канонического квантования скалярного поля в гравитационном поле черной дыры. Для этого уравнение Клейна-Гордона, записанное в координатах Шварцшильда, было приведено к виду конфлюэнтного уравнения Гойна и найдены его решения в окрестностях особых точек в виде рядов. Исследование асимптотического поведения этих решений и сравнение его с известными ранее из результатов качественного анализа в черепаших координатах асимптотиками позволило выделить точные решения с правильными физическими асимптотиками, выраженные через конфлюэнтные функции Гойна. Этот анализ, в том числе, подтвердил правильность полученных ранее качественных результатов о поведении решений на горизонте и пространственной бесконечности. Полученные решения несомненно будут востребованы для построения строгой процедуры квантования действительного скалярного поля в пространстве-времени Шварцшильда.

5б.2 Проблема теоретического описания иерархии наблюдаемых масштабов характерна для многих современных фундаментальных физических теорий и схематически может быть описана следующим образом. Предположим, что в теории есть некоторый фундаментальный энергетический масштаб, задаваемый, например, размерной константой в лагранжиане. Может ли такая теория без введения других фундаментальных размерных констант естественным образом порождать иерархию масштабов? Другими словами, может ли она описывать явления с характерными энергетическими масштабами, на много порядков отличающимися от фундаментального? Если да, то за счет каких механизмов такие масштабы могут возникать?

Теории типа Калуцы-Клейна также сталкиваются с проблемой иерархии в изложенной ниже формулировке. Решение спонтанной компактификации, которое, как правило, возникает в таких теориях, имеет характерный размер

$$r = \frac{\sqrt{\pi \kappa_4}}{g_4} = \frac{\sqrt{\pi}}{M_{Pl} g_4}$$

где g_4 – эффективная четырехмерная калибровочная константа, связанная с многомерной константой g_{4+N} выражением $g_4 = g_{4+N} / \sqrt{V^N}$, а четырехмерная гравитационная постоянная тождественно равная обратному квадрату массы Планка – $\kappa_4 \equiv M_{Pl}^{-2}$, выражается через многомерную гравитационную константу κ_{4+N} формулой $\kappa_4 = \kappa_{4+N} / V^N$. Из формулы следует, что если в рассматриваемой теории мы хотим иметь реалистичные (порядка единицы) калибровочные четырехмерные константы, то радиус компактификации r должен быть планковским: $r \sim M_{Pl}^{-1}$.

Теперь, если мы введем в такую теорию поля материи (скалярные или спинорные), то после проведения процедуры размерной редукции, наблюдаемые массы четырехмерных полей, образующих так называемую башню Калуцы-Клейна, будут иметь порядок $r^{-1} \sim M$, то есть будут планковскими. Таким образом проблема иерархии возникает в теориях типа Калуцы-Клейна в следующем виде: в этих теориях не существует естественного механизма, который бы позволял ввести непланковские массы четырехмерных полей и при этом одновременно обеспечивал реалистичные четырехмерные константы связи.

В нашей работе промежуточный масштаб в теории возникает как следствие учета эффекта Казимира в пространстве дополнительного измерения. Однако, недостаточно просто найти

механизм, который естественным образом обеспечивает появление в теории нового масштаба. Необходимо также, чтобы этот масштаб каким-то образом проявлялся в наблюдаемых величинах. Рассмотрим, например, комплексное скалярное поле со спонтанным нарушением симметрии и планковскими параметрами в лагранжиане в пространстве-времени, дополнительные измерения которого компактифицированы в сферу. Для поля в таком пространстве-времени эффект Казимира будет ненулевым. Однако его учет приведет только к тому, что планковская масса массивной вещественной моды изменится на незначительную величину, а вторая вещественная мода – голдстоуновский бозон – останется безмассовой, и таким образом возникший в результате учета эффекта Казимира новый масштаб будет ненаблюдаемым.

Для того чтобы транслировать новый масштаб в наблюдаемый сектор, мы рассматриваем более сложную модель: комплексное скалярное поле со спонтанным нарушением симметрии, взаимодействующее со спинорным полем в пространстве-времени с дополнительными измерениями, компактифицированными в сферу. Все параметры полей в многомерном лагранжиане планковские. Новый масштаб возникает за счет учета эффекта Казимира для спинорного поля, что приводит к возникновению у него ненулевого вакуумного среднего. Слагаемые, описывающие в лагранжиане взаимодействие скалярного поля с ненулевым вакуумным средним спинорного поля, приводят к искажению потенциала скалярного поля, в результате чего голдстоуновский бозон приобретает малую массу, по порядку величины равную масштабу, привнесённому эффектом Казимира.

Планы исследований на 2023 год.

Исследования в эксперименте CMS коллайдера БАК проводятся в нескольких направлениях. В основе исследований, лежит анализ данных полученных при энергии протон-протонных столкновений 13 ТэВ. Данные при такой энергии накапливались в эксперименте в течении 2016, 2017 и 2018 годов (Run II). В настоящий момент завершена обработка и понимание данных Run II. Обработка данных эксперимента по столкновению протонов при энергии 13 ТэВ позволила провести поиск нейтральных токов меняющих аромат кварков во взаимодействии топ кварка с u - или s -кварком и глюоном. Полученные результаты должны пройти многоступенчатую проверку и одобрение коллаборации CMS для возможности опубликования. На полученных данных готовится экспериментальное исследование структуры взаимодействия топ кварка с W бозоном и b -кварком и поиск отклонений от предсказанной в Стандартной модели (SM) структуры этих взаимодействий. В случае отсутствия экспериментального проявления таких отклонений будут получены верхние ограничения на параметры характеризующие такие взаимодействия. Будут продолжены работы по измерению "Nuclear modification" фактора во взаимодействии протон-ядро в передней области эксперимента CMS. В дальнейшем предусматривается продолжение работ по развитию проектов мониторинга электроники стандарта мTCA и системы тестирования и подключения к центральной системе управления и контроля (DCS) установки CMS новых электронных карт регистрации крейтов. На будущее перенесены работы по разработке ПО для DIM сервера (Distributed Information Management System) и системы предупреждающих сообщений Alert System.

Будет продолжена работа в группе математического обеспечения эксперимента MPD. Адаптирование комплекса программ юстировки к реальному эксперименту и сопровождение его в процессе набора данных. Развитие метода юстировки на другие компоненты детектора по мере их создания. Анализ существующего алгоритма реконструкции треков детектора MPD с целью улучшения эффективности для задач фемтоскопии.

Продолжение исследований в рамках эксперимента MPD по разработке физических подходов для нового метода поиска параметров критической окрестности в релятивистских столкновениях тяжёлых ионов, где плотная адронная материя переходит в кварк-глюонную плазму, при энергии коллайдера NICA. А также продолжить разработку методики и

программного обеспечения для поиска новых явлений в плотной адронной и кварк-глюонной материи на основе программного пакета Angantyr (PYTHIA) для ядро-ядерных взаимодействий в кооперации с разработчиками университета Лунда (Швеция).

В рамках исследований по эксперименту BM@N провести сравнение первых экспериментальных данных по выходу частиц в столкновениях ядер аргона с ядрами C, Al, Cu, Sn и Pb с аналогичными данными по выходу частиц с использованием пакета программ, разработанного для MC генератора PYTHIA (Angantyr) рамках эксперимента MPD.

Будет продолжен анализ данных, полученных на коллайдере HERA, в частности, исследование образования чарма в фоторождении, а также исследование фрагментационных функций в области мишени в Брейт системе.

Завершение разработки целостной системы программной юстировки оптической системы детекторов RICH1 и RICH2 с использованием реальных данных для новых конфигураций установки LHCb и соответствующего ПО для Run 3 LHC.

Планируется рассмотреть модификацию $R+R^2$ гравитации редуцированной четырехмерной суперструнной поправкой, а именно, квадратом тензора Бела-Робинсона, предложенным в качестве ведущей квантовой поправки. Планируется проанализировать $R+R^2$ гравитацию с поправкой вида $(R+C)^{3/2}$, где C постоянная. Исследование моделей с Гаусс-Бонне слагаемым. Предполагается поиск моделей модифицированной гравитации, допускающих генерацию первичных черных дыр.

Будут продолжены исследования квантования полей материи в сферически и осесимметричных метриках. В частности, планируется получить точные решения для скалярного и спинорного полей в метрике Керра и Керра-Ньюмена. Так же планируется рассмотреть черные дыры с магнитным зарядом.

Запланировано продолжение исследований и разработка методов применения нейронных сетей глубокого обучения в экспериментальных анализах проводимых на современных и будущих коллайдерах.

Заключение

Продолжаются исследования в экспериментах CMS и LHCb коллайдера БАК, ZEUS коллайдера HERA, а также BM@N и MPD комплекса NICA. Проводятся теоретические и феноменологические исследования в рамках Стандартной модели и различных ее расширениях. За 2022 год сотрудники ЛЭНВ ОЭФВЭ НИИЯФ МГУ представили 19 докладов на международных конференциях и большое количество докладов на рабочих совещаниях. Полученные результаты опубликованы в индивидуальных публикациях и от имени коллабораций CMS, ZEUS, MPD, LHCb.

Доклады на конференциях в 2022 г.:

1) [Методология применения глубоких нейронных сетей в анализе данных коллайдерных экспериментов.](#) (Устный)

[Абасов Э.Э., Белоброва М.И., Воротников Г.А., Дудко Л.В., Волков П.В., Перфилов М.А., Сивакова Е.С., Заборенко А.Д.](#)

[Ломоносовские чтения 2022 секция "Физика высоких энергий"](#), НИИЯФ МГУ, Россия, 15-18 апреля 2022

2) [Методология статистического анализа дискриминанта нейронных сетей для измерений и постановки ограничений в коллайдерных экспериментах](#) (Устный)

[Абасов Э.Э., Белоброва М.И., Воротников Г.А., Дудко Л.В., Волков П.В., Перфилов М.А., Сивакова Е.С., Заборенко А.Д.](#)

Ломоносовские чтения 2022 секция "Физика высоких энергий", НИИЯФ МГУ, Россия, 15-18 апреля 2022

3) Status of tqg FCNC search in Run II (Приглашенный)

Авторы: Воротников Г.А., Боос Э.Э., Дудко Л.В., Перфилов М.А., Волков Петр Владимирович, Абасов Э.Э., Заборенко А.Д., Белоброва М.И., Сивакова Е.С.
Top EFT WG meeting, CERN, Швейцария, 10 февраля 2022

4) Status of tqg FCNC search in Run II (Приглашенный)

Авторы: Воротников Г.А., Боос Э.Э., Дудко Л.В., Перфилов М.А., Волков Петр Владимирович, Абасов Э.Э., Заборенко А.Д., Белоброва М.И., Сивакова Е.С.
Top EFT WG meeting, CERN, Швейцария, 14 апреля 2022

5) Status of tqg FCNC search in Run II (Приглашенный)

Авторы: Воротников Г.А., Боос Э.Э., Дудко Л.В., Перфилов М.А., Волков Петр Владимирович, Абасов Э.Э., Заборенко А.Д.,
Top EFT WG meeting, CERN, Швейцария, 14 июля 2022

6) Status of tqg FCNC search in Run II (Приглашенный)

Авторы: Воротников Г.А., Боос Э.Э., Дудко Л.В., Перфилов М.А., Волков Петр Владимирович, Абасов Э.Э., Заборенко А.Д.
Top EFT WG meeting, CERN, Швейцария, 29 сентября 2022

7) "FCNC tqg search in Run II and anomalous Wtb interactions in EFT interpretation"

Воротников Г.А., Боос Э.Э., Дудко Л.В., Перфилов М.А., Волков Петр Владимирович, Абасов Э.Э., Заборенко А.Д.,

Top EFT WG round table meeting, CERN, Швейцария, 01.12.2022

8) Применение нейронных сетей в анализе данных современных коллайдерных экспериментов (Приглашенный, пленарный)

Дудко Л.В.

XXIV Международная научно-техническая конференция "Нейроинформатика-2022", МФТИ, Россия, 17-21 октября 2022

9) Deep learning in the collider physics (Приглашенный, пленарный доклад)

Дудко Л.В.

DLCP-22, ОИЯИ, Дубна, Россия, 6-8 июля 2022

10) Юстировка времяпроекционной камеры детектора MPD мегопроекта NICA (Дубна) по космическим лучам и с использованием лазерной системы детектора. Кузьмин В.А.

Ломоносовские чтения 2022 секция "Физика высоких энергий", НИИЯФ МГУ, Россия, 15-18 апреля 2022

11) «TPC alignment(current status)», Kuzmin V., 9-th Collaboration meeting of the MPD Experiment at NICA Facility, April 2022.

12) MPD TPC Alignment. Kuzmin V. The 6th international conference on particle physics and astrophysics, г. Москва, Россия, 29 ноября - 2 декабря 2022

13) Pythia 8.3 in the energy range of NICA, Physics of the relativistic heavy ion collisions.

А.Соломин, Л.Щеглова, Ломоносовские чтения 2022, секция "Физика высоких энергий", НИИЯФ МГУ, Россия, 15 -18 апреля 2022 г. Москва, НИИЯФ МГУ

14) Inflationary models with Gauss-Bonnet term (Устный), Pozdeeva Ekaterina, The 6th international conference on particle physics and astrophysics (ICPPA-2022), Москва, Россия, 29 ноября - 2 декабря 2022

15) Inflation with Gauss-Bonnet term (Приглашенный), Pozdeeva Ekaterina,

V Международная зимняя школа-семинар по гравитации, астрофизике и космологии "Петровские чтения – 2022", Казань, Россия, 21-25 ноября 2022

16) De Sitter solutions in Einstein-Gauss-Bonnet gravity (Приглашенный), Pozdeeva Ekaterina, New Trends in Mathematical Physics, Moscow, Russia, Россия, 7-12 ноября 2022

17) Polynomial modifications of Starobinsky model (Приглашенный), Pozdeeva Ekaterina, International Workshop Supersymmetries and Quantum Symmetries – SQS'22, Dubna, Bogoliubov

Laboratory of Theoretical Physics of the Joint Institute for Nuclear Research, Россия, 8-13 августа 2022

18) Einstein-Gauss-Bonnet inflation (Устный), Pozdeeva Ekaterina,

International Conference on Quantum Field Theory, High-Energy Physics, and Cosmology, Дубна, ОИЯИ, Россия, 18-21 июля 2022

19) Степенное расширение модели R^2 гравитации (Устный), Поздеева Е.О.,

Ломоносовские чтения - 2022 (Секция физика), Москва, Россия, 15-22 апреля 2022

Публикации за 2022 год:

[1] E. Boos, L. Dudko “Triple top quark production in Standard Model” [International Journal of Modern Physics A](#), Vol. 37, No. 05, 2250023 (2022)

[2] *CMS Collaboration*: “Search for flavor-changing neutral current interactions of the top quark and the Higgs boson decaying to a bottom quark-antiquark pair at $\sqrt{s}=13$ TeV” *JHEP* 169 (2022)

[3] *CMS Collaboration*: “Search for Flavor-Changing Neutral Current Interactions of the Top Quark and Higgs Boson in Final States with Two Photons in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV” *Phys. Rev. Lett.* 129, 032001 (2022)

[4] *CMS Collaboration*: “Search for a W' boson decaying to a vector-like quark and a top or bottom quark in the all-jets final state at $\sqrt{s}=13$ TeV” *JHEP* 88 (2022)

[5] *CMS Collaboration*: “Study of dijet events with large rapidity separation in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=2.76$ TeV”, *JHEP* том 2022, № 3, с. 189.

[6] “Particle multiplicity fluctuations and spatiotemporal properties of particle-emitting source of strongly Interacting matter for NICA and RHIC energies.”

Cheremnova Mariya, Chernyshov Alexey, Khyzhniak Yevheniia, Kodolova Olga, Kuzmin Valentin, Lokhtin Igor, Malinina Ludmila, Mikhaylov Konstantin, Nigmatkulov Grigory в журнале *Symmetry*, издательство *MDPI (Basel, Switzerland)*, том 14, № 7, с. 1316.

[7] «Status and initial physics performance studies of the MPD experiment at NICA.»

Bogdanova G., Boos E., ... , Kuzmin V., A. Solomin..., L. Shcheglova, ..V.N. Zryuev. (MPD Collaboration) в журнале *European Physical Journal A*, издательство Springer Verlag (Germany), том 58, №7, с.140.

[8] «Performance of the LHCb RICH detectors during LHC Run 2.» Calabrese R., ...A.Solomin,...S. Topp-Jorgensen, *JINST* 17 (2022) 07, P07013

[9] «A Comparison of CPU and GPU Implementations for the LHCb Experiment Run 3 Trigger.» R. Aaij...A.Solomin...X.Zhu, *Comput.Softw.Big Sci.* 6 (2022) 1, 1

[10] H1 and ZEUS collaboration ; I. Abt et al.

«Impact of jet-production data on the next-to-next-to-leading-order determination of HERAPDF2.0 parton distributions.» *Eur. Phys. J. C* (2022) 82:243

[11] ZEUS collaboration; I. Abt et al.

«Measurement of the cross-section ratio $\sigma_{\gamma(2S)}/\sigma_{\gamma(1S)}$ in exclusive photoproduction at HERA.» Препринт DESY-22-107 (2022)

[12] Vsevolod R. Ivanov, Sergei V. Ketov, Ekaterina O. Pozdeeva and Sergey Yu. Vernov «Analytic extensions of Starobinsky model of inflation», *JCAP*03(2022)058, DOI:10.1088/1475-7516/2022/03/058