



Исследования в Лаборатории электрослабых и новых взаимодействий

Бюджетная тема 3.2, РНФ-22-12-00152, НЦФМ

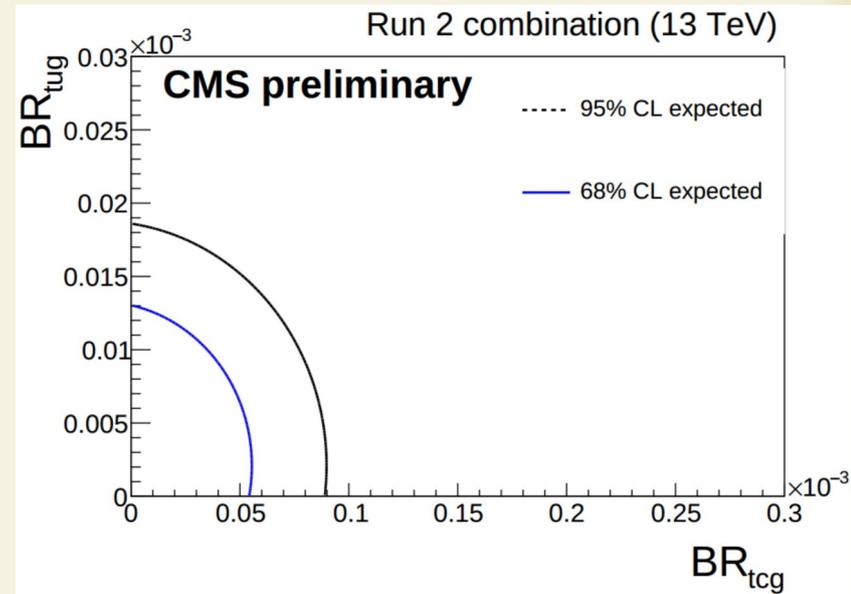
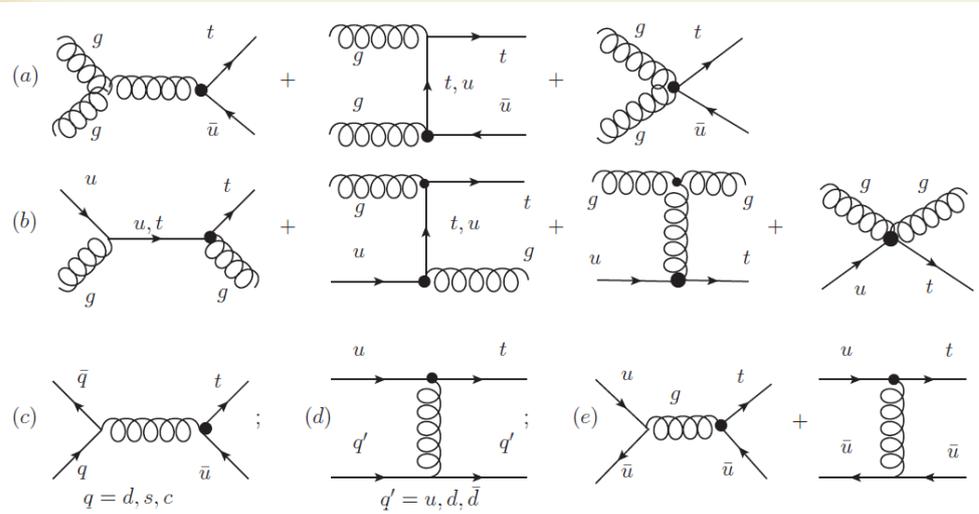
Штатный состав лаборатории

Боос Э.Э (Зав. отд., профессор, член.корр. РАН, д.ф.-м.н.), Дудко Л.В. (Зав. лаб., д.ф.-м.н.), Кузьмин В.А. (с.н.с., к.ф.-м.н.), Левченко Б.Б. (с.н.с., к.ф.-м.н.), Хейн Л.А. (с.н.с., к.ф.-м.н.), Щеглова Л.М. (с.н.с., к.ф.-м.н.), Лукина О.Ю. (с.н.с., к.ф.-м.н.), Соломин А.Н. (с.н.с., к.ф.-м.н.), Перфилов М.А. (с.н.с., к.ф.-м.н.), Поздеева Е.О. (н.с., к.ф.-м.н.), Данилина А.В. (м.н.с.), Маркина А.А. (м.н.с.), Кейзеров С.И. (м.н.с.), Волков П.В. (м.н.с.), Воротников Г.А. (м.н.с.), Чернолужский Г.Ф. (г.с.), Рахметов Э.Р. (вед. программист), Рыбалкина Е.А. (инж. 1 кат.), Абасов Э.Э (студент), Заборенко А.Д. (студент)

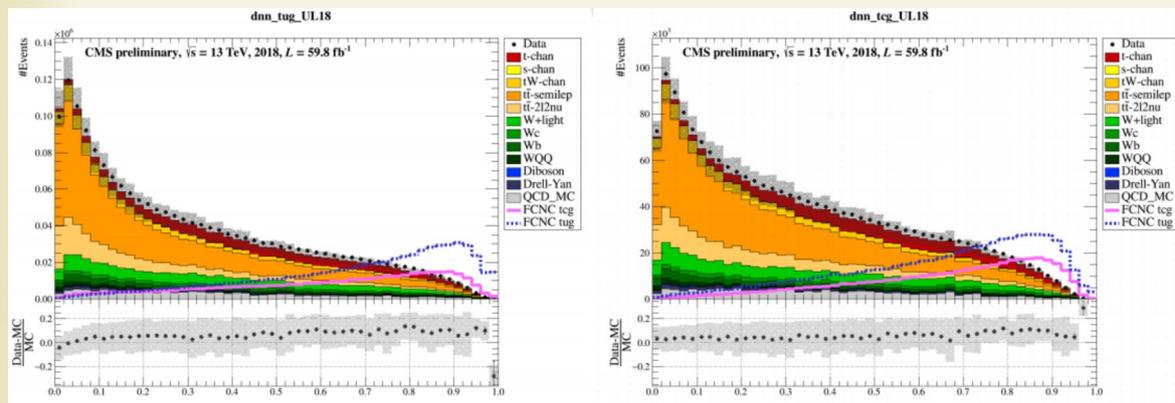
- ~ Участие в проектах CMS, LHCb, ZEUS, NICA
- ~ Теоретические исследования
- ~ Поиск “новой физики” в процессах с топ-кварком
- ~ Полный отчет от Лаборатории доступен на странице <https://www-hep.sinp.msu.ru/hep/leni>

CMS: Gluon mediated FCNC top quark production

hep-ph:2004.14498 Boos, Bunichev, Dudko, Perfilov, Vorotnikov

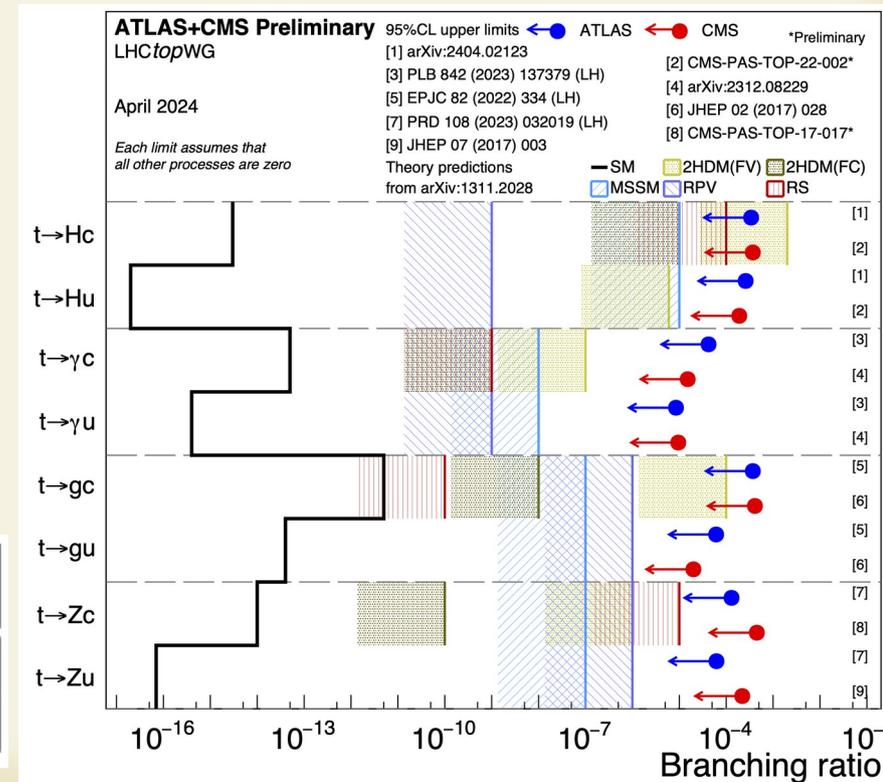


$\mu/e+1(2)\text{jets}+1\text{b-jet}$



CMS 13 TeV, Run II combination CMS-AN-16-371.

Process	$\mathcal{B}(t \rightarrow qg)$	$ \kappa_{tqg}/\Lambda , \text{TeV}^{-1}$	$ \frac{C_{qG}^{i3}}{\Lambda^2} , \text{TeV}^{-2}$
$t \rightarrow cg$	$(14.1) \times 10^{-5}$	$(9.92) \cdot 10^{-3}$	$(6.96) \times 10^{-2}$
$t \rightarrow ug$	$(1.62) \times 10^{-5}$	$(3.36) \cdot 10^{-3}$	$(2.35) \times 10^{-2}$





Азимутальные корреляции между струей и рассеянным лептоном в ер рассеянии

ОЭФВЭ: Дементьев Р.К., Коржавина И.А., Левченко Б.Б., Щеглова Л.М.

Анализировались 12 млн. событий данных эксперимента **ZEUS** на **e±p коллайдере HERA** (г. Гамбург, Германия), содержащих не менее одной адронной струи. Изучены распределения по азимутальному углу $\Delta\phi$ **лидирующей** струи относительно рассеянного лептона в глубоко неупругих процессах, $Q^2 \in (10, 350) \text{ ГэВ}^2$, $p_T^{(jet)} \in (2.5, 30) \text{ ГэВ}/c$.

В рамках пКХД такие процессы интересны тем, что требуют учёта вклада от разных масштабов, т.е. учет как мягких, так и жёстких процессов КХД. В борновском приближении, $O(\alpha_s^0)$, струя и лептон должны разлетаться на угол $\Delta\phi = \pi$. Но при рассеянии излучаются как **мягкие, так и жёстких глюоны** (процессы порядка $O(\alpha_s^{k>0})$) порождая дополнительные струи в событии, что приводит к значительному уширению распределений по $\Delta\phi$.

На Рис. приведены дифференциальные сечения в зависимости от азимутального угла корреляции $\Delta\phi$, которые сравниваются с предсказаниями пКХД фиксированного порядка. Видно, что в области $\Delta\phi < 3\pi/4$ учет процессов только порядка недостаточно для описания величины инклюзивных сечений. Для количественного описания сечений в этой области $\Delta\phi$ необходимо учитывать КХД процессы порядка $O(\alpha_s^1)$.

Экспериментальные данные также сравнивались с предсказаниями генератора событий по лундовской модели цветowych диполей ARIADNE. Как следует из анализа, во всей области $\Delta\phi$ алгоритм моделирования партонных ливней в ARIADNE хорошо имитирует процессы порядка $O(\alpha_s^2)$ пКХД расчетов.

Методы анализа и полученные результаты будут важны при планировании будущих экспериментов, например, Электрон-Ионного Коллайдера (EIC). $O(\alpha_s^2)$

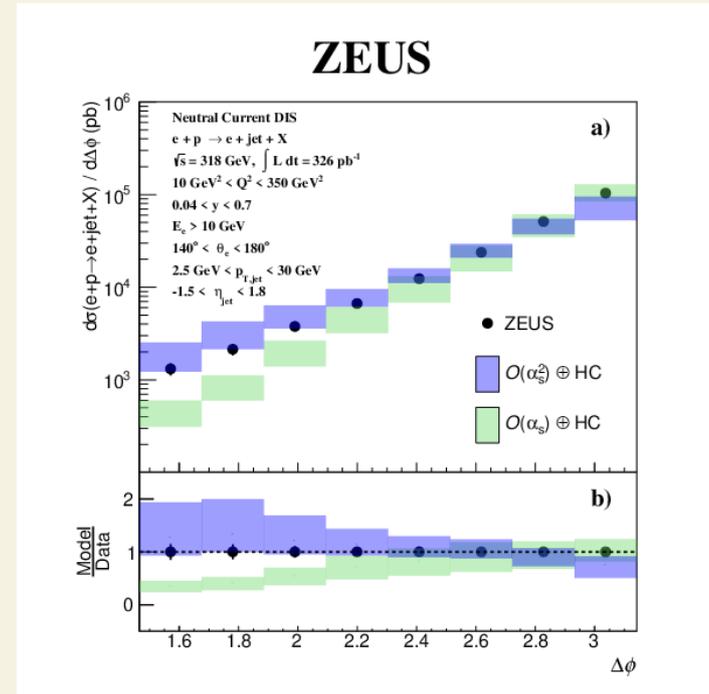


Рис. Дифференциальное сечение $d\sigma/d\Delta\phi$ процесса $e+p \rightarrow e+jet(lead)+X$ в полной области выделенного фазового пространства. **Зеленая** и **синяя** полосы представляют пертурбативные расчеты КХД с точностью $O(\alpha_s^1)$ и $O(\alpha_s^2)$, соответственно, с поправкой на эффекты адронизации.

Публикации

-ZEUS collaboration: Dementiev R.K., Korzhavina I.A., Levchenko B.B., Shcheglova L.M. et al.: The azimuthal correlation between the leading jet and the scattered lepton in deep inelastic scattering at HERA. Eur. Phys. J. C 84, 1334 (2024), Preprint DESY-24-070, arXiv:2406.01430v3

Исследования, проводимые в эксперименте LHCb

А.Н. Соломин

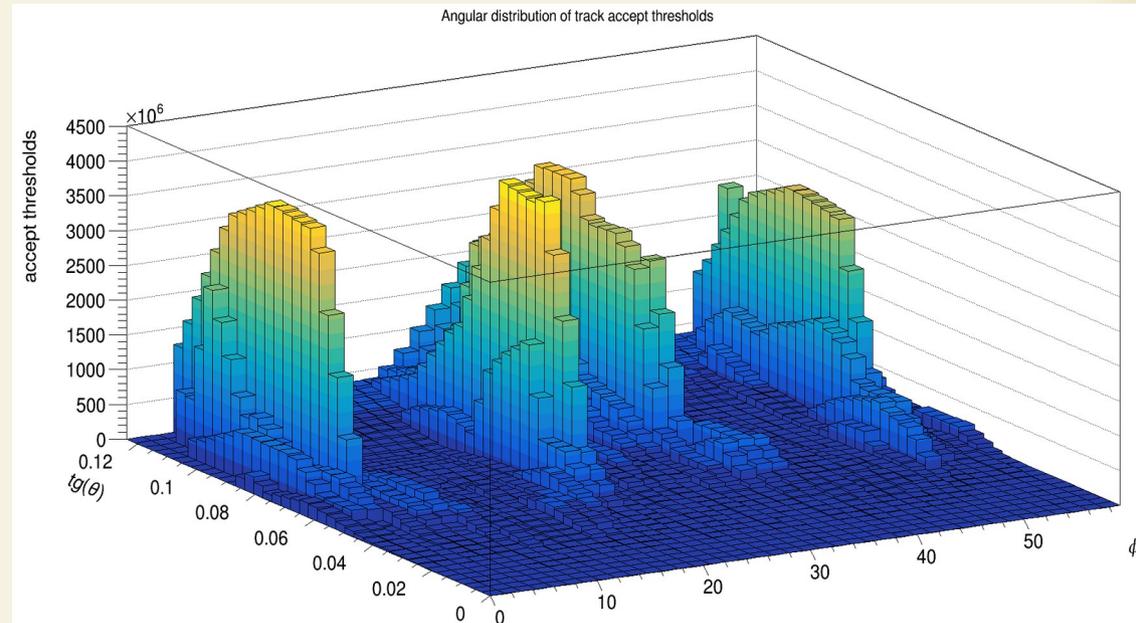
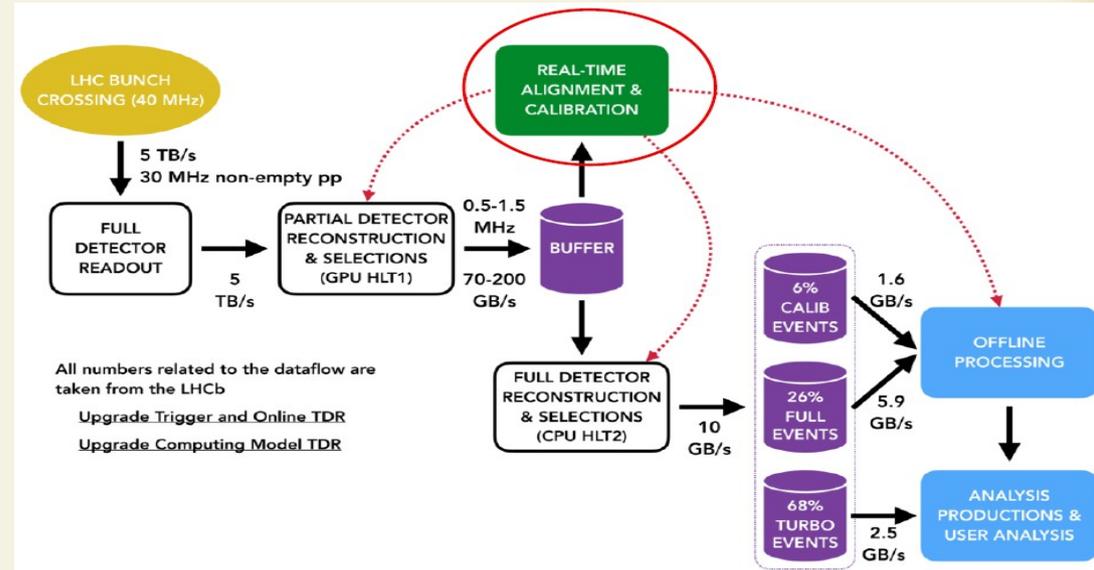
Продолжена разработка методов юстировки детектора и ПО для эксперимента LHCb в третьем периоде работы LHC (Run 3) в рамках проекта RTA (Real Time Analysis). Система юстировки входит в состав структуры RTA (красный овал на схеме).

Выдвинут и разработан **новый метод «интеллектуального детерминистически рандомизированного прескейлинга»** для предварительного отбора событий в первом триггере высокого уровня HLT1 для кардинального увеличения — до двух порядков по сравнению с Run 2 — производительности процедуры юстировки детекторов RICH1 и RICH2 с последующей полной реконструкцией событий во втором триггере высокого уровня HLT2 и вычислением соответствующих поправок.

В 2024 г. найдена и разработана новая оптимизация триггерных линий для RICH1 и RICH2 для графических процессоров HLT1 на языке CUDA C++ в рамках программного проекта LHCb «Allen».

На рисунке представлено новое, трансформированное представление матрицы пороговой вероятности оптимального отбора треков по углам (коренная компонента каждой триггерной линии) для RICH2.

Предполагается окончательная настройка, развёртывание и применение новых оптимизированных линий в наборе данных.



Исследования в экспериментах MPD и $BM@N$ коллайдера NICA

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

➤ Юстировка многофункционального детектора MPD мегапроекта NICA.

На основе разработанного метода нахождения юстировки время-проекционной камеры (TPC) детектора MPD вычислены погрешности, вносимые ошибками в юстировке детектора, в реконструированные параметры треков. Полученные результаты, а именно, расчет искажений перпендикулярного импульса и быстроты из-за неопределенностей в юстировке не имеют аналогов для детекторов подобного типа. Показано, что влияние неправильной юстировки для TPC MPD незначительно.

➤ Эксперимент MPD: Тестирование PYTHIA (модель «Angantyr») для NICA

Продолжены исследования по анализу рождения частиц в релятивистских столкновениях ядер на базе генератора PYTHIA с имплементированным пакетом Angantyr в области энергий коллайдера NICA. Впервые получены данные с новой версией генератора PYTHIA 8.310 (Angantyr) в области нижней границы коллайдера NICA, $\sqrt{s}=4$ GeV, и нижней кинематической границы генератора, проведено сравнение с экспериментальными данными в этой области в условиях 4л- геометрии.

➤ Эксперимент $BM@N$: Исследование образования Λ -гиперонов во взаимодействиях ядер углерода с ядерными мишенями при энергиях пучка 4 и 4.5 A GeV

Проводится анализ рождения Λ -гиперонов во взаимодействиях углеродного пучка с мишенями C, Al, Cu, на детекторе $BM@N$ при энергиях Нуклотрона 4,0 и 4,5 A ГэВ с. Были получены результаты по выходу Λ -гиперонов и проведено их сравнение с предсказаниями различных моделей и другими экспериментами.

Теоретические исследования (I)

➤ Предложена модель модифицированной гравитации, объединяющая инфляцию и генерацию первичных чёрных дыр, основанная на $R+R^2$ инфляционной модели А.А. Старобинского (R скаляр Риччи).

Установлено, что для генерации первичных черных дыр необходима вторая инфляционная стадия проходящая около решения квази-де-Ситтера, причем длина плато параметра Хаббла в системе Эйнштейна влияет на массу первичных черных дыр [Поздеева Е.О., Вернов С.Ю. Пространство, время и фундаментальные взаимодействия, издательство, № 1 (46), с. 90-94].

➤ Для анализа моделей индуцированной гравитации с одним полем соответствующих второй инфляционной стадии вблизи квази-де -Ситтера был развит метод суперпотенциала [A.Y. Kamenshchik, E.O. Pozdeeva, A. Tribolet, A. Tronconi, G. Venturi and S.Y. Vernov, Phys. Rev. D 110, no.10, 104011 (2024)].

Метод суперпотенциала — это метод реконструкции, который полезен для построения точных космологических решений. Метод суперпотенциала применен для реконструкции характеристик, необходимых для того, чтобы потенциал инфлатона управлял инфляцией и приводил к усилению возмущений кривизны. Такое усиление на длинах волн короче тех, которые наблюдаются в космическом микроволновом фоне, необходимо для того, чтобы после окончания инфляции произошло значительное образование первичных черных дыр.

➤ Разработаны уточненные приближения медленного скатывания, позволяющие аналитически более точно описать инфляцию в моделях с Гаусс-Бонне слагаемыми [Е.О. Pozdeeva, M.A. Skugoreva, A.V. Toporensky and S.Y. Vernov, JCAP 09, 050 (2024)].

➤ Предложена модель индуцированной гравитации, которая при конформном преобразование переходит в киральную космологическую модель с двумя полями. В такой модели сначала происходит скатывание по классическому инфлатону, а после по второму растущему полю. Параметр Хаббла на второй стадии имеет плато нужное количество е-фолдингов и допускает генерацию первичных черных дыр на стадии радиационного доминирования с массами кандидатов в темную материю. [Е.О. Поздеева, С.Ю. Вернов, принято к публикации в ЭЧАЯ].

Теоретические исследования (II)

Квантование полей в окрестности черных дыр. (С. Кейзеров, Э. Рахметов)

Получены стационарные физические решения уравнения Клейна-Гордона для массивного скалярного поля в гравитационных полях различных типов сферически симметричных и вращающихся черных дыр общей теории относительности в вакууме. Для таких состояний скалярного поля вычислена их нормировка и получен спектр. Для метрики Рейснера-Нордстрема с магнитным зарядом, а также для метрик Керра и Керра-Ньюмена выявлено удвоение числа состояний инфинитного движения скалярного поля. Для физических состояний массивного скалярного поля впервые получены явные выражения через известные специальные функции – конфлюэнтные функции Гойна. Полученные результаты важны для более последовательного описания эффекта Хокинга и процесса испарения черных дыр, включая оценку времени их жизни. Точная оценка времени жизни черных дыр (и в особенности первичных черных дыр) оказывается важной для современной космологии и астрофизики. Волобуев И.П., Кейзеров С.И., Рахметов Э.Р., Точные решения для массивного скалярного поля в гравитационном поле черной дыры Шварцшильда, в журнале Физмат, издательство АНО «Национальный центр физики и математики» (Москва), том 1, № 2, с. 75-87

➤ **Построение новых моделей темной материи и исследование пространства параметров этих моделей, согласующихся с современными ускорительными и астрофизическими экспериментами.**

Исследование квантовых эффектов, в том числе эффекта Казимира, для скалярных полей в пространствах с дополнительными измерениями

Волобуев И.П., Кейзеров С.И., Рахметов Э.Р., Устойчивость стабилизированной модели Рэндалл-Сундрума относительно квантовых поправок, Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия, издательство Моск. ун-та (М.), том 79, № 2, (2024).

➤ **Защищена диссертация к.ф.-м.н. Кейзеров С.И. «Самодействие и взаимодействие радиона с полями стандартной модели»**

Теоретическое изучение свойств виртуальных частиц (Б.Б. Левченко)

Выведены новые неравенства между канонически сопряженными переменными и формула для *нижней оценки* групповой скорости U^* виртуальных частиц.

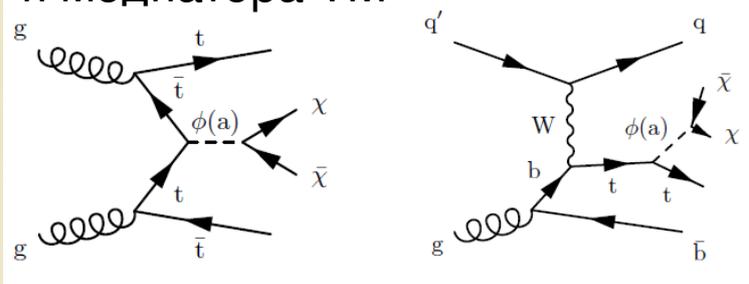
BB Levchenko, Moscow University Physics Bulletin, v 79, Suppl. 1, pp. S357-S361 (2024)

BB Levchenko, arXiv:2408.02696v2 (2024)

Поиск темной материи в процессах с топ-кварком

Э.Э.Абасов, Э.Э.Боос, В.Е.Буничев, П.В.Волков, Г.А.Воротников, Л.В.Дудко, А.Заборенко, Е.Иудин, А.Маркина, М.Перфилов, Н.Савкова

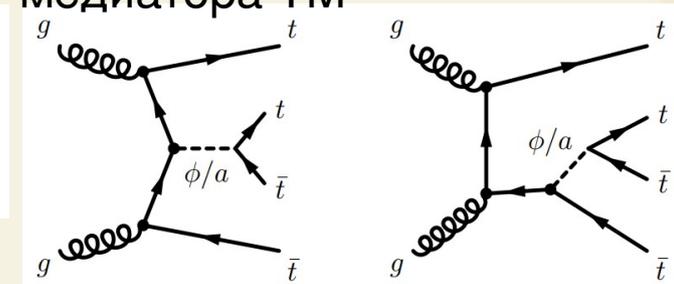
Ассоциированное рождение топ-кварка и медиатора ТМ



$$L_\Phi = g_\chi \Phi \bar{\chi} \chi + \frac{g_v \Phi}{\sqrt{2}} \sum_f (y_f \bar{f} f)$$

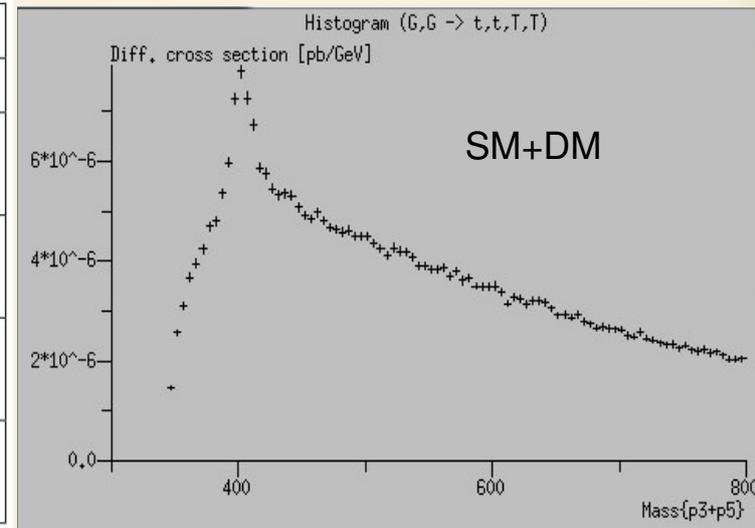
$$L_A = i g_\chi A \bar{\chi} \gamma^5 \chi + i \frac{g_v A}{\sqrt{2}} \sum_f (y_f \bar{f} \gamma^5 f)$$

Рождение пары $t\bar{t}$ в распаде медиатора ТМ



2407.08308, Int.J.Mod.Phys.A 39 (2024) 31, 2450126, 2406.07704

Process $gg \rightarrow t\bar{t}t\bar{t}W^-b$	MadGraph Cross-section (fb)
Full set of diagrams in the SM	$15.55 \pm 4.7 * 10^{-2}$
Full set of diagrams in the DM model, excluding loop diagrams	$23.02 \pm 6.2 * 10^{-2}$
Full set of diagrams in the DM model, including loop diagrams	$23.16 \pm 6 * 10^{-2}$
Contribution of diagrams with a DM mediator, excluding loop diagrams	$6.03 \pm 1.2 * 10^{-2}$
Contribution of loop diagrams with a DM mediator	$0.17 \pm 5 * 10^{-4}$



Стандартная модель:

КХД диаграммы 14 fb
 EW диаграммы 6 fb
 Полное сечение 15.5b
 интерференция - 4.5 fb

Скалярный медиатор + СМ

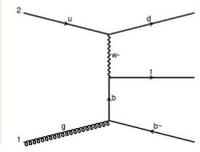
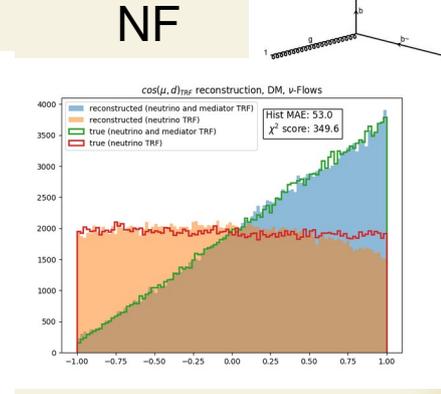
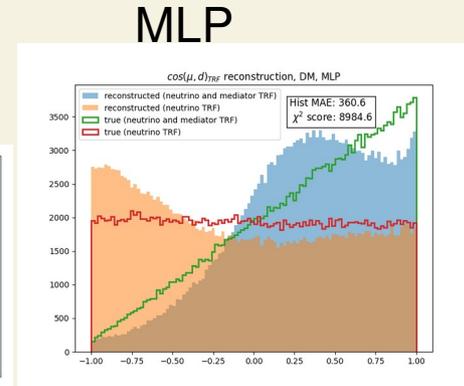
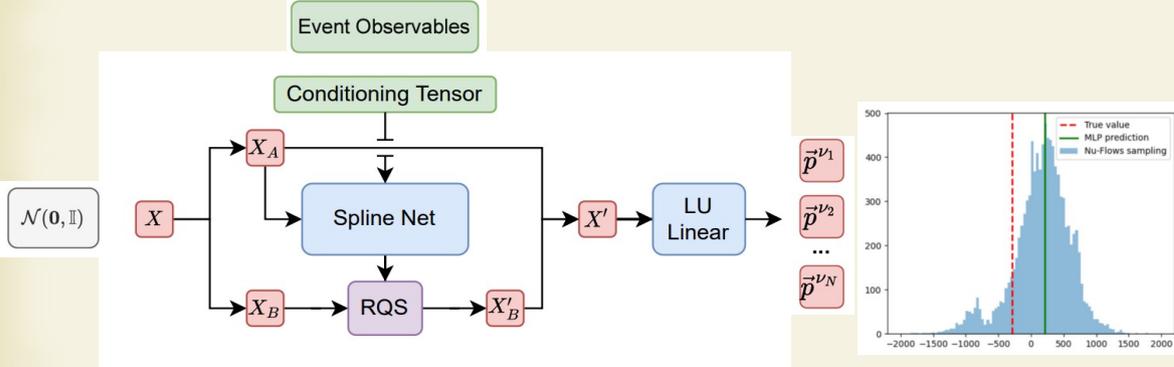
Полное сечение 23 fb
 СМ 15.5 fb
 Темная материя 7.5 fb

Вклад темной материи в $t\bar{t}t\bar{t}Wb$: 33% , в $t\bar{t}$: 0.1%
 $m_{\text{mediator}} = 400 \text{ GeV}$, каплинги 1

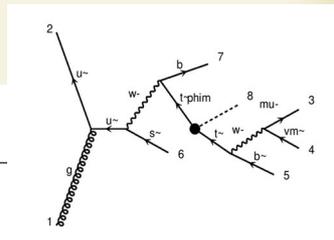
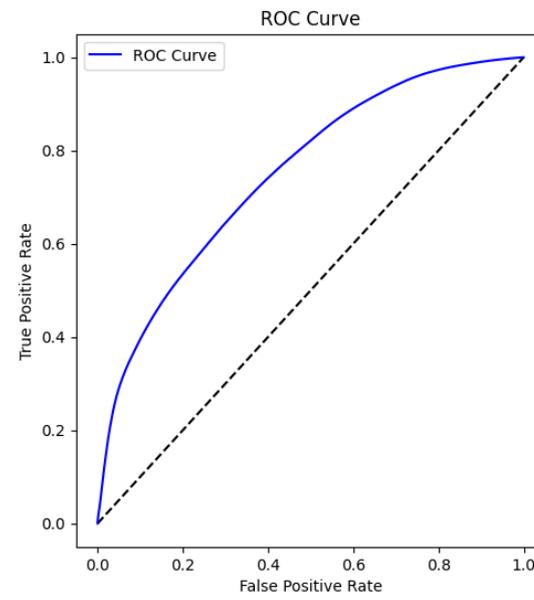
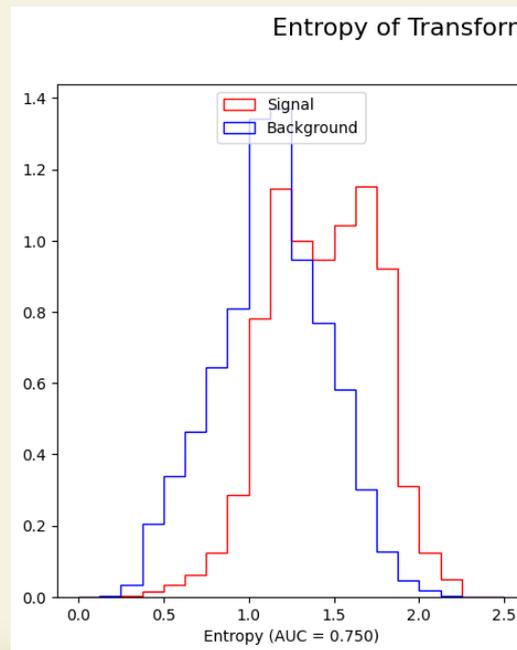
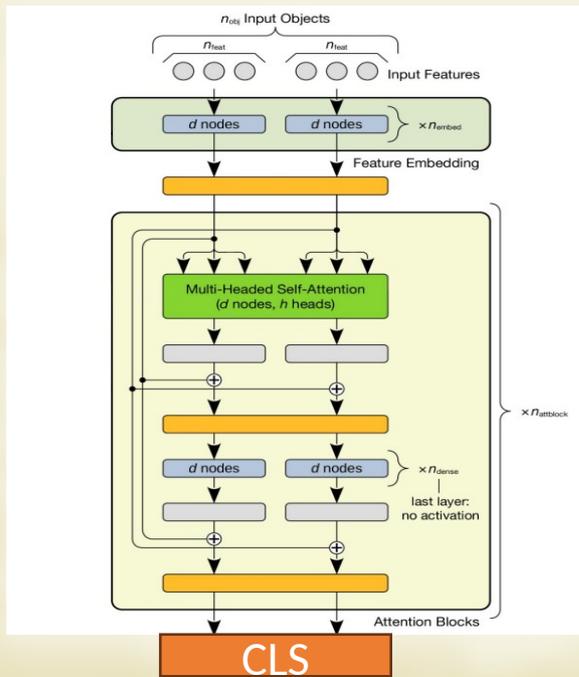
Разработка новых методов анализа процессов с топ-кварком

- Восстановление угловых корреляций в процессе ассоциированного рождения топ-кварка и медиатора темной материи, Абасов Э.Э., Васильев О.В., Волков П.В., Воротников Г.А., Дудко Л.В., Заборенко А.Д., Иудин Е.С., Маркина А.А., Перфилов М.А.

Архитектура NN Normalizing Flows



- Создание базовых универсальных моделей трансформерных архитектур NN



Список результатов в отчете Лаборатории электрослабых и новых взаимодействий ОЭФВЭ

<https://www-hep.sinp.msu.ru/hep/leni>

- Исследования топ-кварка в эксперименте CMS коллайдера LHC
- Измерение "Nuclear modification" фактора во взаимодействии протон-ядро в передней области эксперимента CMS.
- Юстировка время-проекционной камеры (TPC), эксперимент MPD коллайдера NICA.
- Тестирование и настройка моделирования в PYTHIA для MPD (NICA)
- Эксперимент BM@N: Исследование образования Λ -гиперонов во взаимодействиях ядер углерода с ядерными мишенями при энергиях пучка 4 и 4.5 A GeV (NICA)
- Исследования в экспериментах ZEUS и H_1^+ коллайдера HERA.
- Исследования проводимые в эксперименте LHCb коллайдера LHC (юстировка)
- Исследование инфляционных моделей $f(R)$ гравитации.
- Квантование полей в окрестности черных дыр. Построение новых моделей темной материи и исследование пространства параметров этих моделей, согласующихся с современными ускорительными и астрофизическими экспериментами.
- Теоретическое изучение свойств виртуальных частиц
- Исследование рождения темной материи в процессах с топ-кварком
- Разработка новых методов анализа данных коллайдерных экспериментов. Создание универсальных базовых моделей NN на основе трансформерных архитектур.

...

Сотрудниками представлено 36 докладов на международных конференциях и большое количество докладов на рабочих совещаниях.

Статей в журналах за 2024 год – 168, из них в Топ-25 - 137