



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.), Катков И.И. (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)

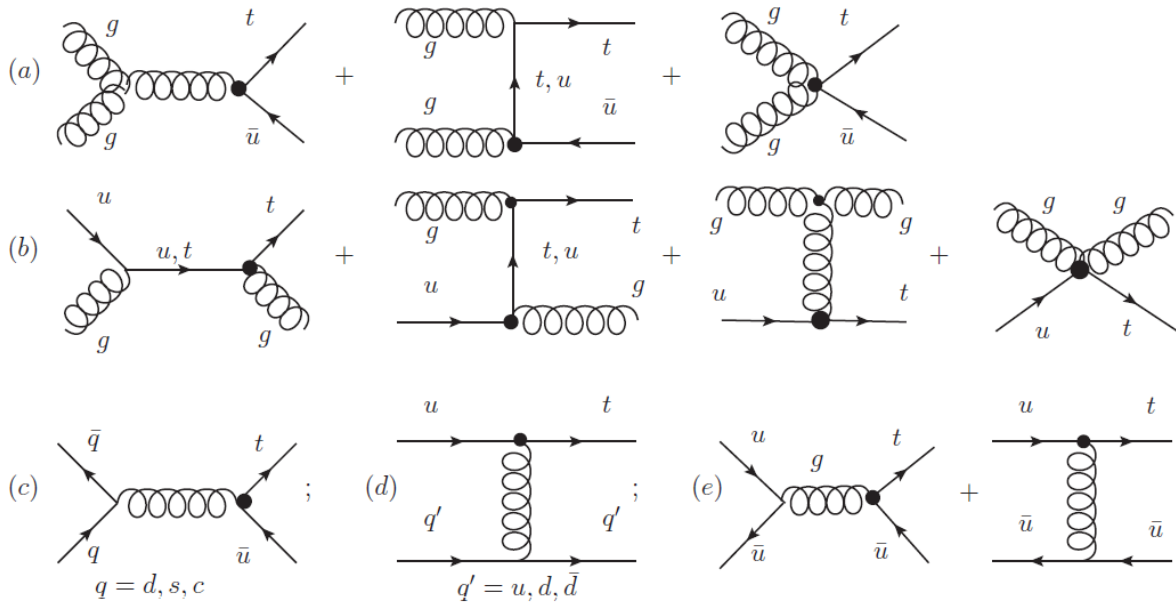
- ~ Поиск нейтральных токов FCNC tqg, EFT операторов, темной материи в процессах с топ-кварком
- ~ Участие в проектах ZEUS (HERA), MPD и BM@N (NICA)
- ~ Полный отчет от Лаборатории доступен на странице <https://www-hep.sinp.msu.ru/hep/leni>

Gluon mediated FCNC top quark production

$$\mathcal{L}_{\text{EFT}} = \frac{v+h}{\sqrt{2}} \frac{1}{\Lambda^2} \left(C_{qG}^{i3} \bar{q} \sigma^{\mu\nu} t^a t + (C_{qG}^{i3})^* \bar{t} \sigma^{\mu\nu} t^a q \right) G_{\mu\nu}^a$$

$$|\kappa_{tqg}|/\Lambda = \frac{1}{g_s} \frac{v}{\sqrt{2}} \frac{C_{qG}^{i3}}{\Lambda^2}$$

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



Unitarity bound for the current limits
(approach does not violate unitarity):

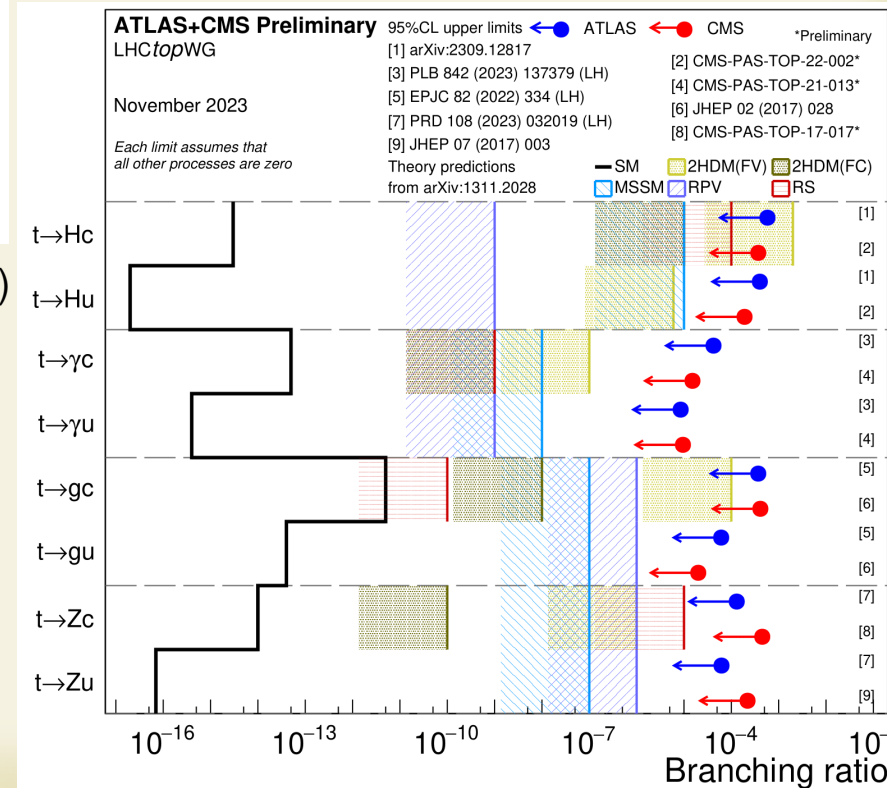
$$\sqrt{s} < \frac{1}{4\pi\alpha_s} \cdot \frac{\Lambda}{|\kappa_{tqg}|} \approx 200 \text{ TeV}$$

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

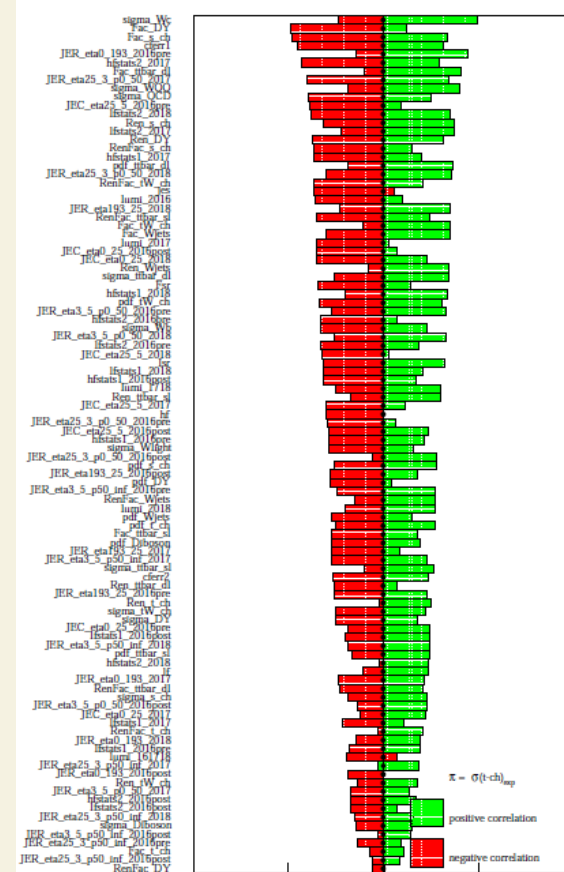
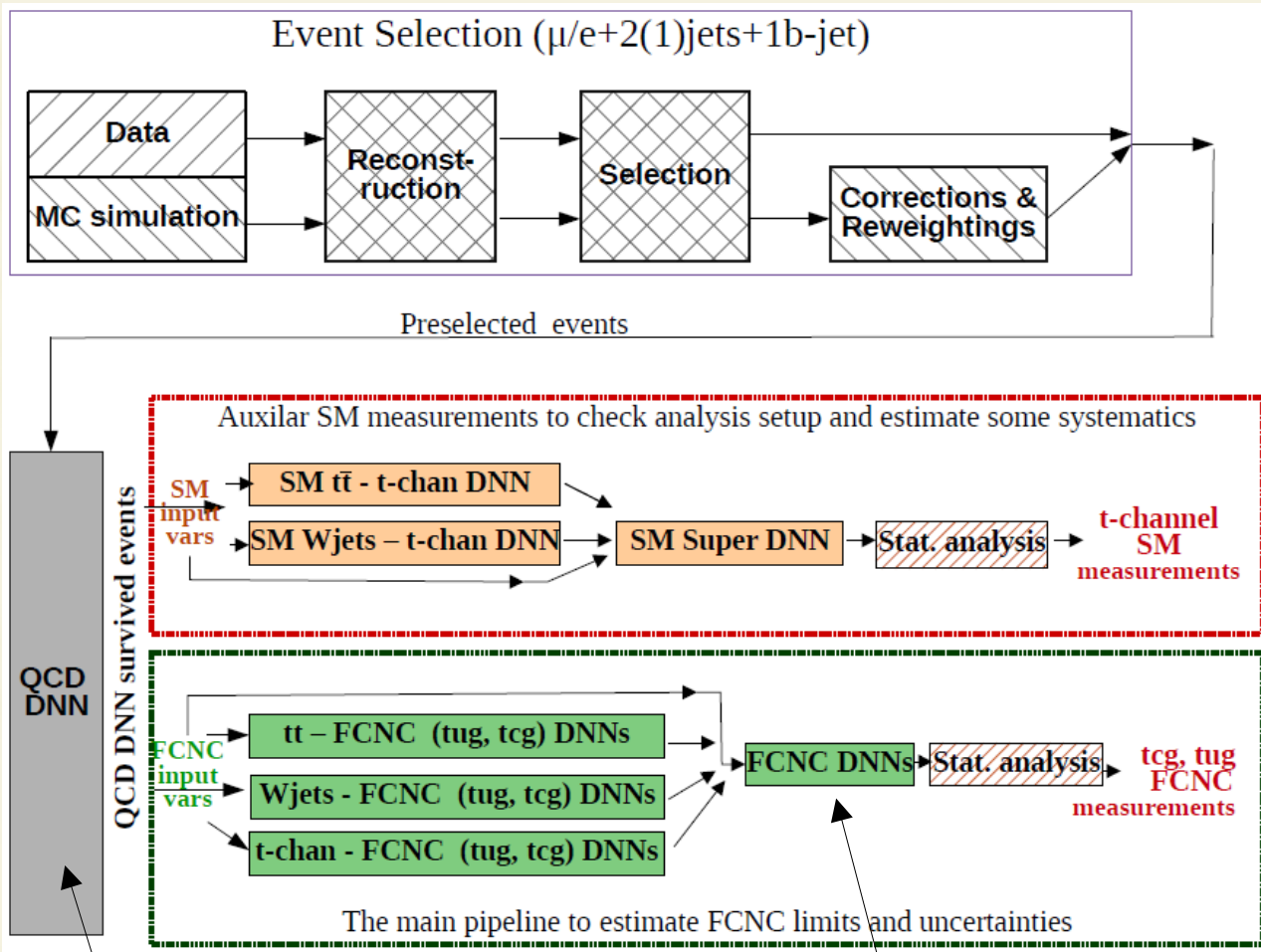
$gg - 2\%$ (a), $qg - 89\%$ (b), $q\bar{q} - 0.03\%$ (c), $uq' - 7.8\%$ (d), $u\bar{u} - 1.2\%$ (e)

Energy, TeV	FCNC "tug" CompHEP LO CS [pb]	FCNC "tcg" CompHEP LO CS [pb]
7	33.2	4.9
8	41.7	6.7
13	91.6	18.5
14	102.8	21.4
27	268.6	71.1
100	1720	575

$\kappa/\Lambda = 0.03 \text{ TeV}^{-1}$
 NLO K-factor (tgu) = 1.52
 NLO K-factor (tgc) = 1.4
 (Phys.Rev. D72 (2005) 074018)

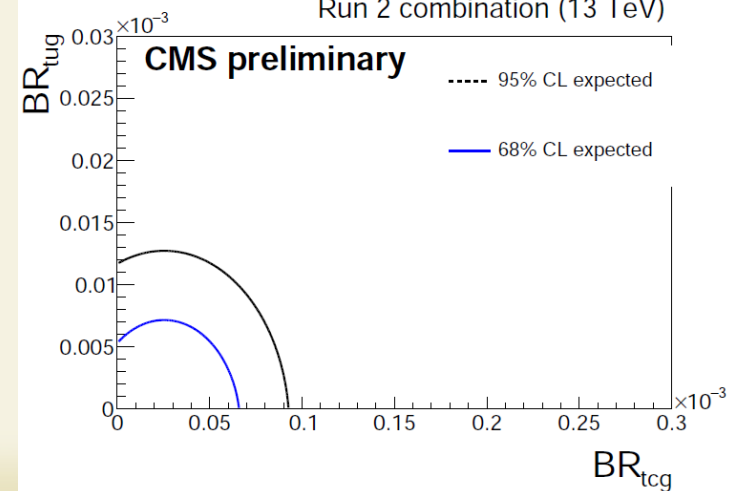
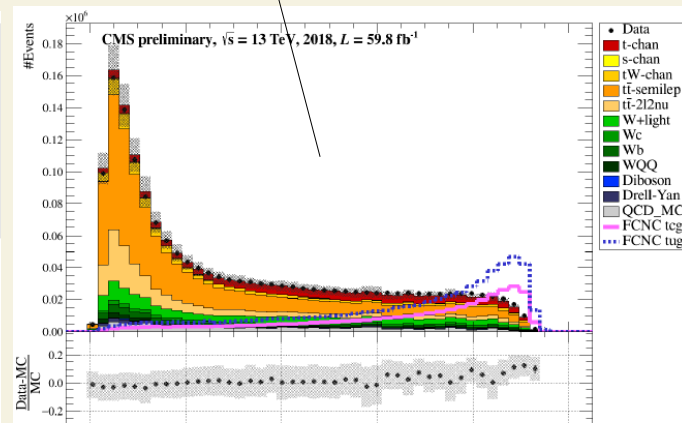
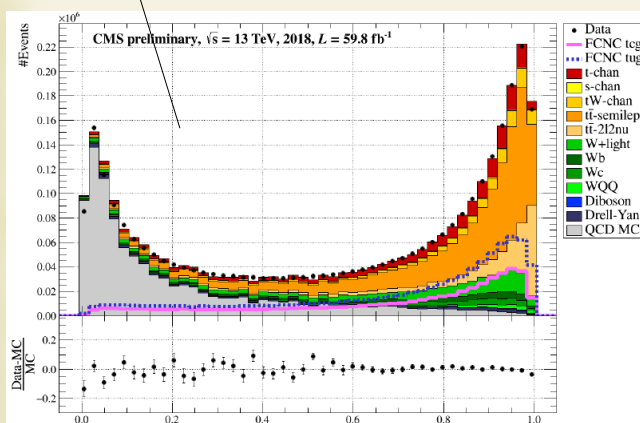


Стратегия анализа в эксперименте CMS (LHC, CERN)



$$-0.1 \quad (\pi_{\theta \pm \sigma_{\theta}} - \pi_0) / \pi_0^{0.1}$$

Run 2 combination (13 TeV)

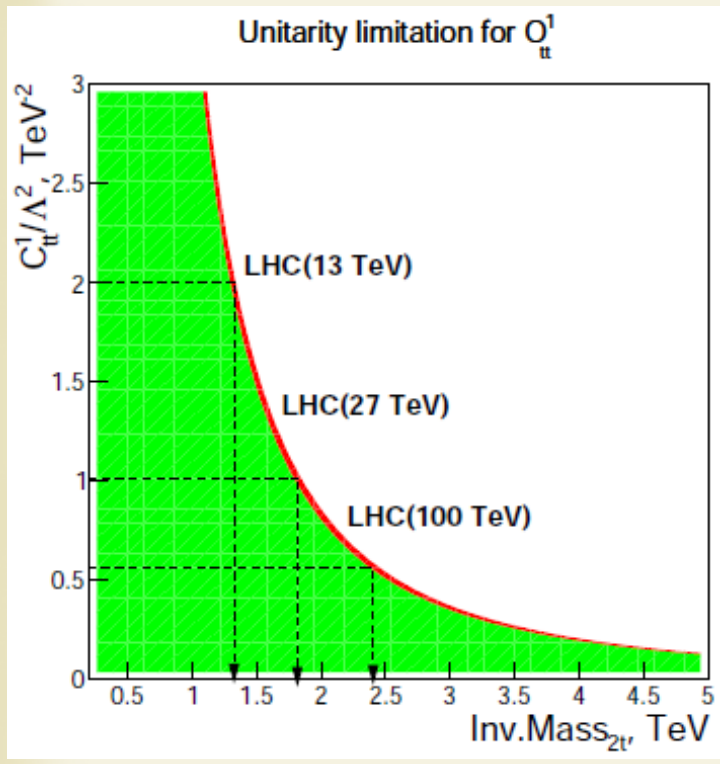
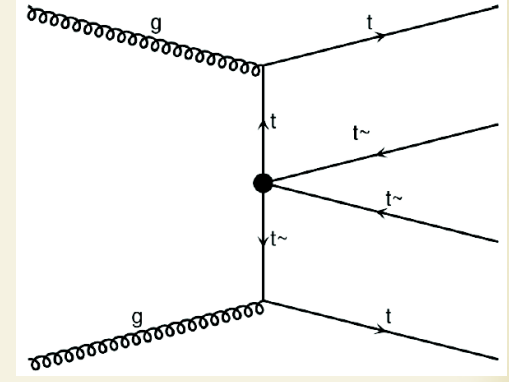
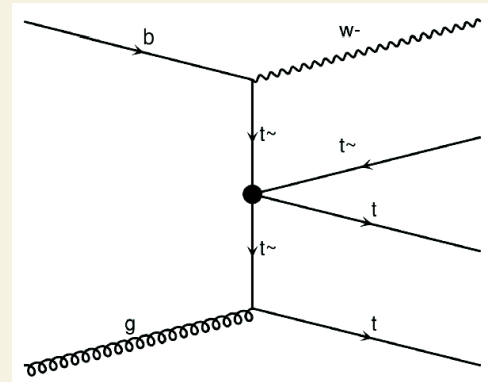


Поиск отклонений от СМ в процессах с 3-я и 4-я топ-кварками в рамках эффективной теории поля (EFT)

[2309.12514 A. Aleshko, E. Boos, V. Bunichev, L. Dudko]

$$L = L_{SM} + \sum_i \frac{C_i^{(6)}}{\Lambda^2} O_i^{(6)} + \sum_i \frac{C_i^{(8)}}{\Lambda^4} O_i^{(8)} + \dots,$$

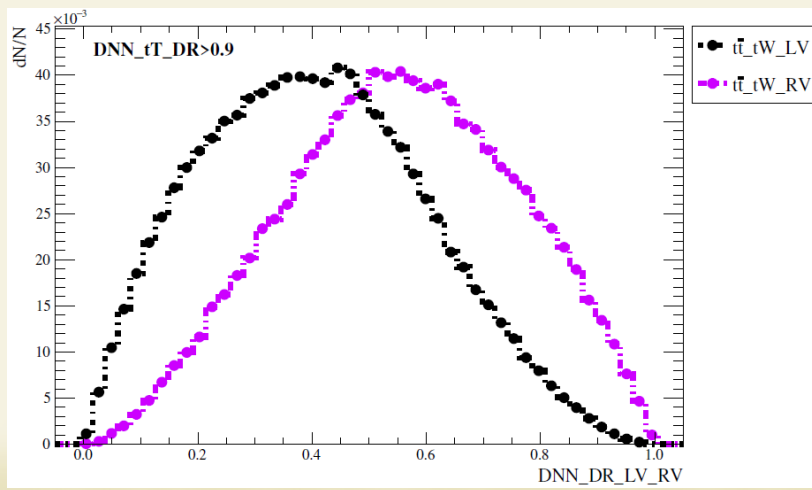
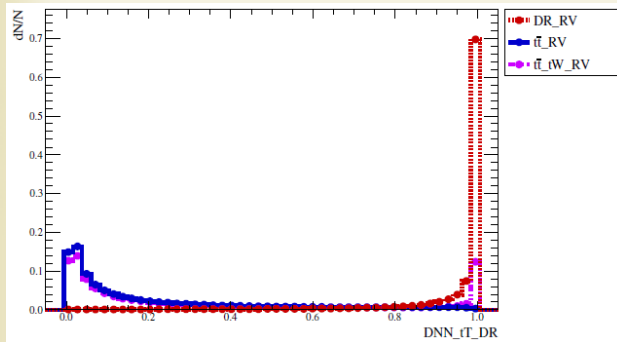
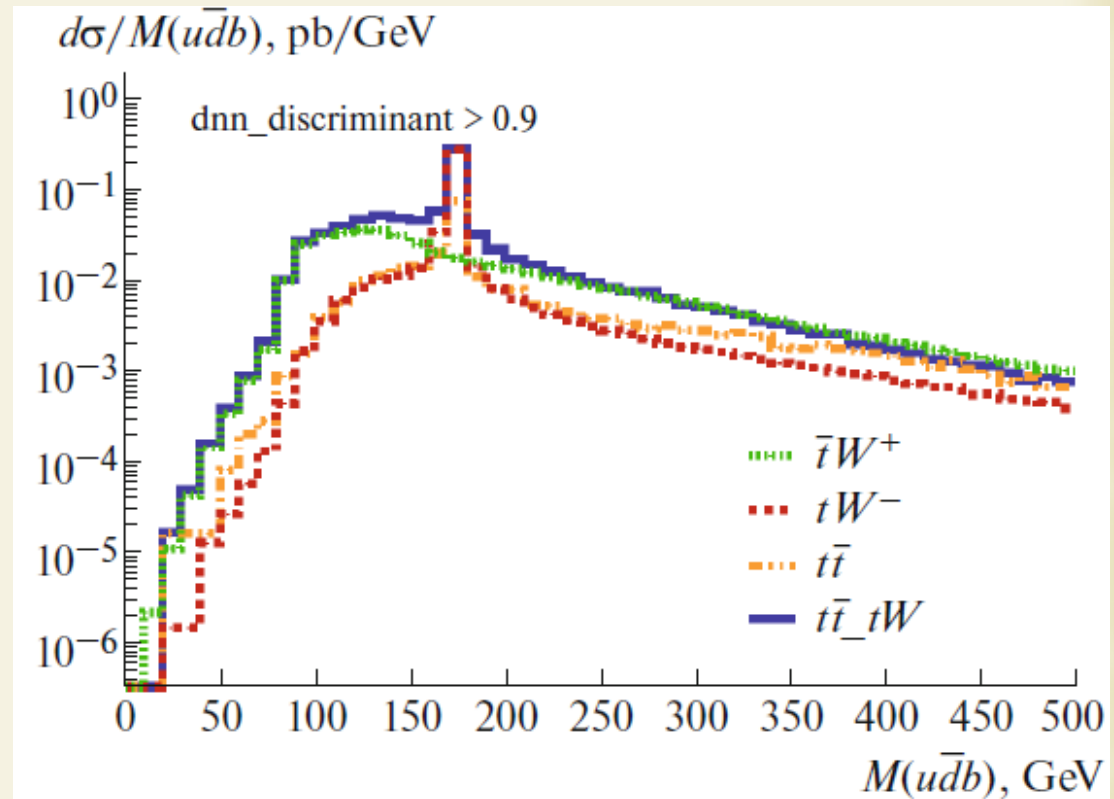
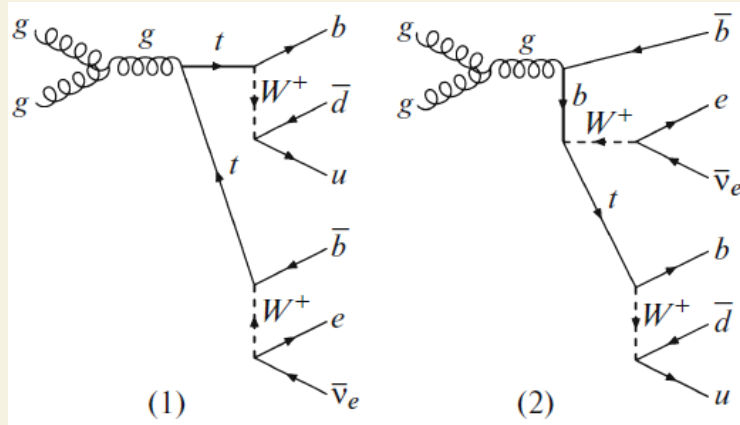
$$\sigma = \sigma_{SM} + \sum_k \frac{C_k}{\Lambda^2} \sigma_k^{(1)} + \sum_{j \leq k} \frac{C_k C_j}{\Lambda^4} \sigma_{k,j}^{(2)}$$



Energy, model	C_{tt}^1	C_{QQ}^1	C_{Qt}^1	C_{Qt}^8	C_{QQ}^8
13 TeV, 4t	[-1.2, 1.2]	[-2.4, 2.3]	[-2.2, 2.2]	[-6.8, 5.0]	[-6.0, 5.7]
13 TeV, 3t	[-4.3, 4.2]	[-2.9, 3.2]	[-3.1, 3.2]	[-6.9, 7.3]	[-6.4, 7.7]
13 TeV, 3+4t	[-1.2, 1.2]	[-2.2, 2.2]	[-2.1, 2.1]	[-5.8, 4.8]	[-5.2, 5.4]
14 TeV, 4t	[-1.1, 1.0]	[-2.1, 2.0]	[-1.9, 1.9]	[-5.8, 4.2]	[-5.2, 4.9]
14 TeV, 3t	[-2.5, 2.5]	[-1.6, 2.0]	[-1.8, 1.9]	[-3.9, 4.4]	[-3.7, 5.1]
14 TeV, 3+4t	[-1.1, 1.0]	[-1.5, 1.7]	[-1.5, 1.6]	[-3.8, 3.6]	[-3.5, 4.3]
27 TeV, 4t	[-0.90, 0.83]	[-1.7, 1.6]	[-1.6, 1.6]	[-4.9, 3.6]	[-4.4, 4.2]
27 TeV, 3t	[-2.0, 2.0]	[-1.3, 1.5]	[-1.4, 1.6]	[-3.3, 3.9]	[-2.7, 4.1]
27 TeV, 3+4t	[-0.88, 0.83]	[-1.2, 1.3]	[-1.3, 1.3]	[-3.2, 3.2]	[-2.6, 3.5]
100 TeV, 4t	[-0.68, 0.66]	[-1.3, 1.3]	[-1.2, 1.2]	[-3.8, 3.0]	[-3.7, 3.6]
100 TeV, 3t	[-1.3, 1.4]	[-0.89, 1.0]	[-1.0, 1.1]	[-2.1, 2.6]	[-1.8, 2.7]
100 TeV, 3+4t	[-0.67, 0.64]	[-0.85, 0.94]	[-0.93, 0.94]	[-2.1, 2.3]	[-1.8, 2.5]

Выделение однорезонансных и двухрезонансных вкладов в процессе tWb с помощью DNN, поиск аномальных Wtb вкладов

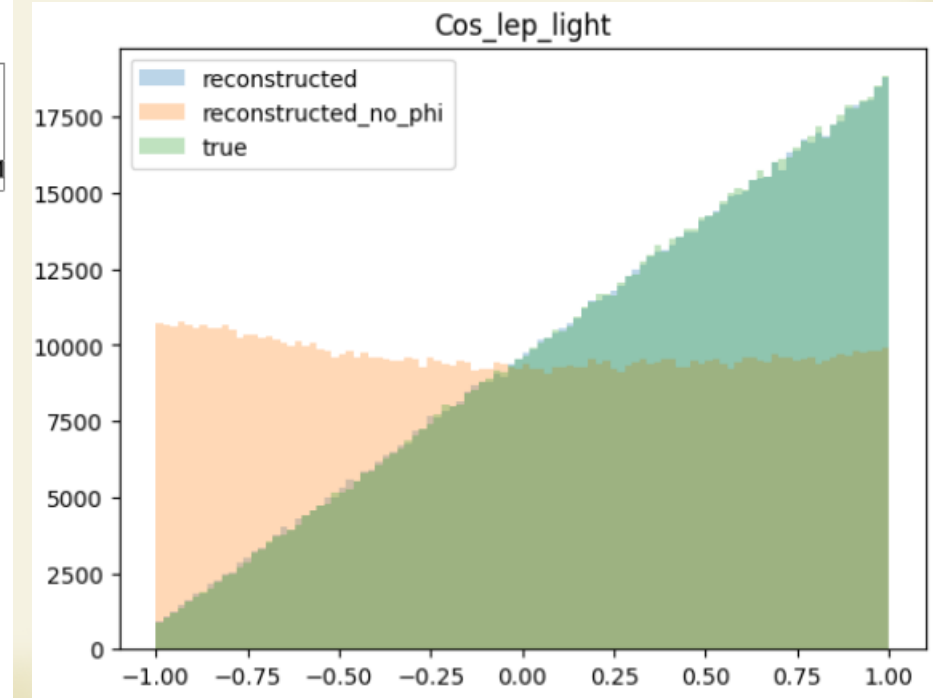
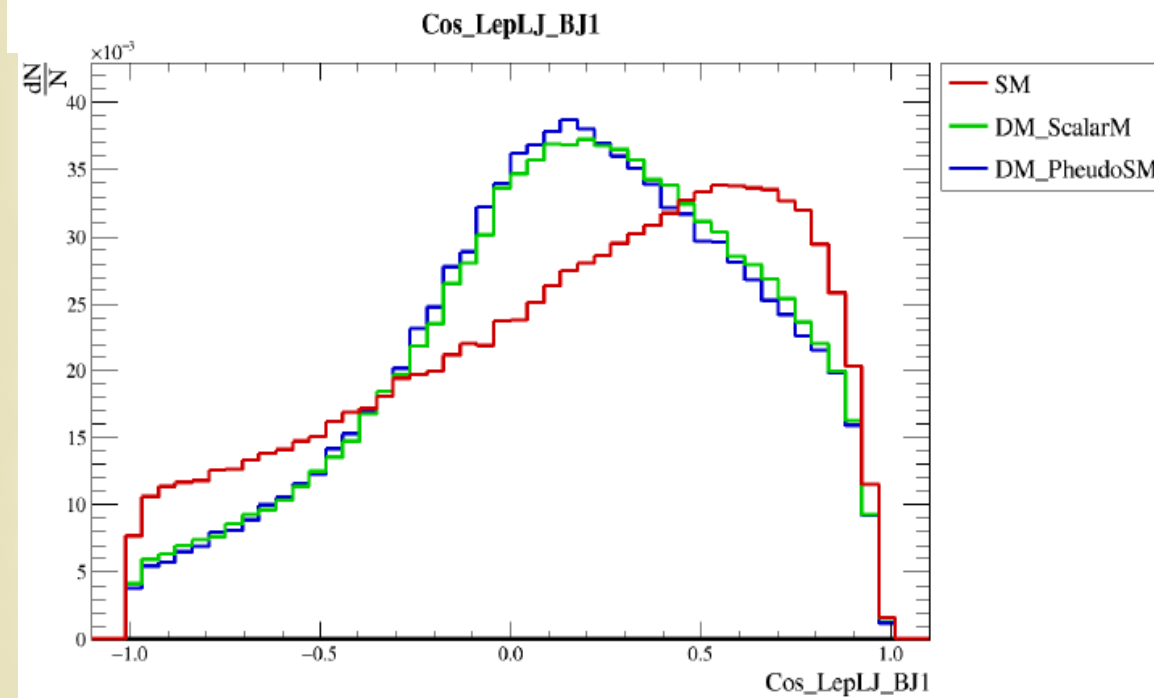
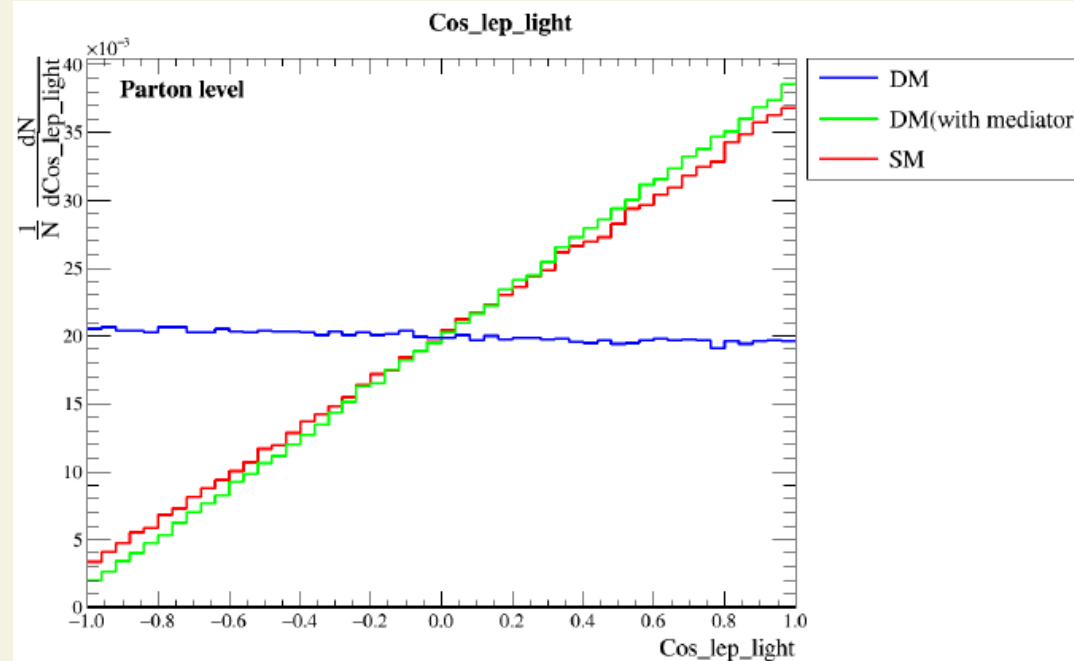
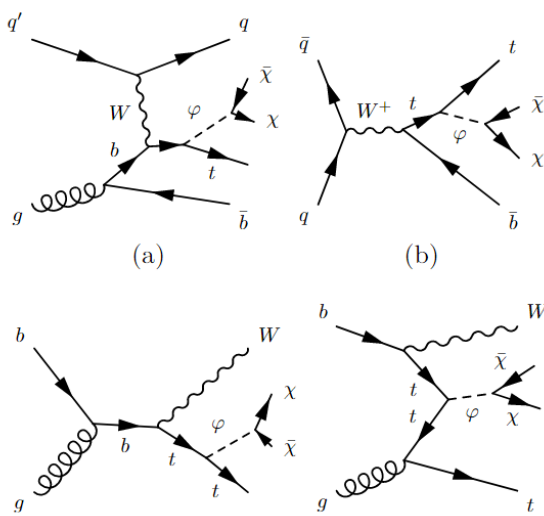
[Moscow University Physics Bulletin, 2023, Vol. 78, No. 6, Boos, Bunichev, Volkov, Dudko, Perfilov]



Model	Cross-section, pb	
	DNN < 0.9	DNN ≥ 0.9
" $t\bar{t}$ "	14.94	0.26
" $\bar{t}W^+$ "DR1	0.26	0.44
" tW^- "DR1	0.26	0.44
" $t\bar{t}_tW$ "	15.18	0.84
Interference	-0.28 (1.8%)	-0.30 (36%)

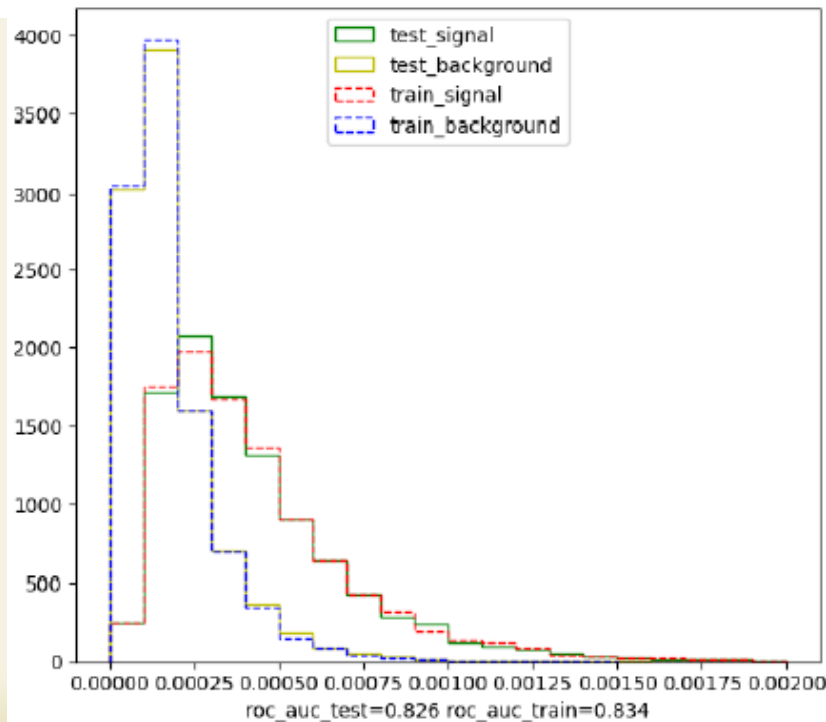
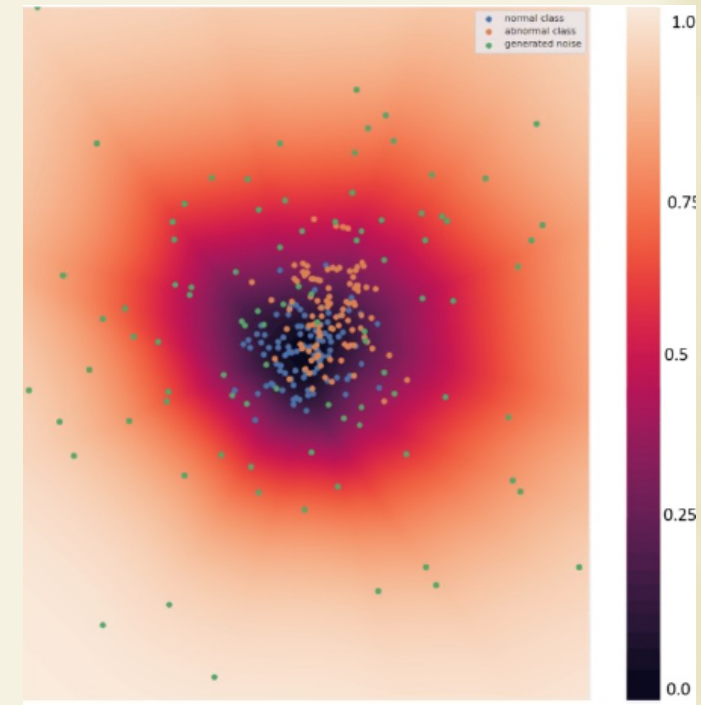
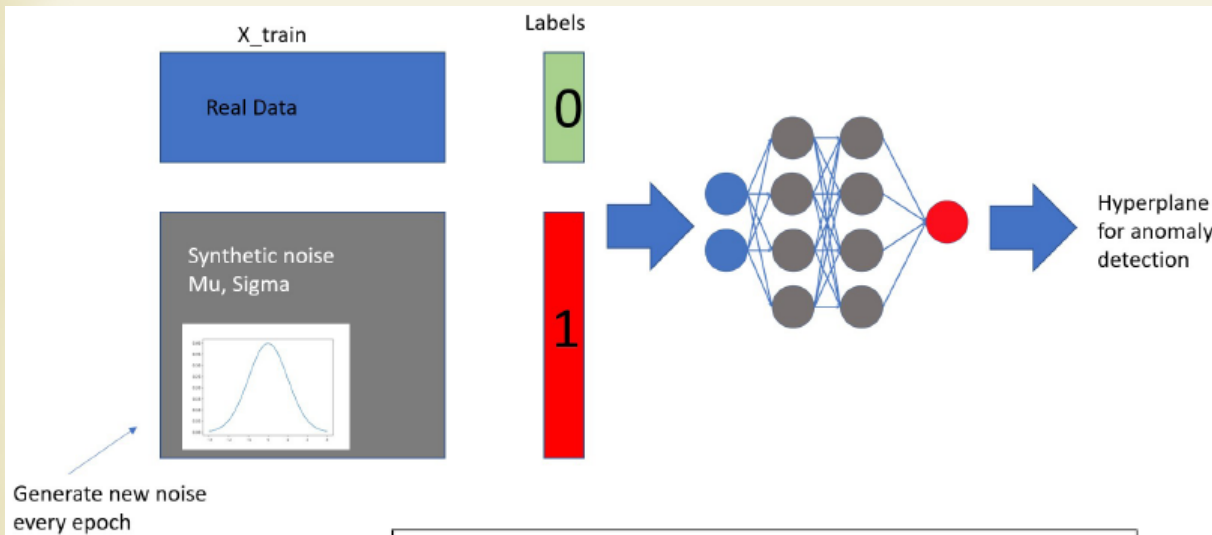
Поиск темной материи в процессах с рождением топ-кварка (1,2,3,4 топ-кварка), в рамках участия в НЦФМ (Саров)

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



Novelty Detection Neural Networks for Model-Independent New Physics Search

[Moscow Univ.Phys.Bull. 78 (2023) Suppl 1, S80-S84,
Zaborenko, Volkov, Dudko, Perfilov]



One Class DNN (OCDNN)

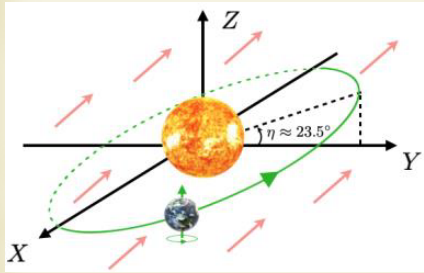
Model	ROC AUC
Autoencoder	0.628
KNN	0.691
OCSVM	0.811
OCDNN	0.826
Supervised NN	0.864



Поиск нарушений фундаментальных симметрий: СРТ и Лоренц инвариантность

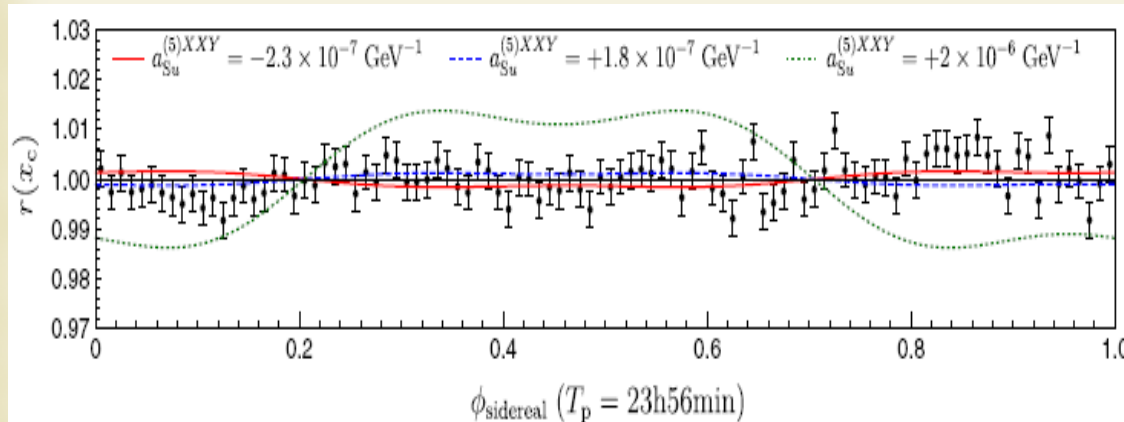
Phys. Rev. D(2023) 107, 092008

- Нарушение данных симметрий должны проявляться как зависимость сечений процессов от времени.
- Принцип относительности: результаты идентичных измерения, выполненных **с разной ориентацией в пространстве и в разные периоды времени**, должны выявлять совпадающие законы движения.
- **Анализ данных 2003-2007 гг. эксперимента ZEUS на ер коллайдере HERA** (г. Гамбург, Германия).
- Идея анализа. Допуская наличие механизмов **нарушения вращательной инвариантности**, СМ расширяется введением операторов $c^{[4]}$ размерности 4 (КЭД) и $a^{[5]}$ размерности 5 (КХД), изменяя вершины, пропагаторы легких u, d, s кварков и внутренние переменные (x, Q^2).
- Рассматривается две системы отсчета (СО): - **неинерциальная СО Земли (СОЗ)** и **инерциальная система Солнца (СОС)**.



- В СОЗ коэффициенты $c_f^{[4]\mu\nu}$ и $a_f^{[5]\alpha\beta\gamma}$ полагаются постоянными. После лоренцевых преобразований операторов $c^{[4]}$, $a^{[5]}$, **координат DESY и пучков коллайдера** из СОЗ в СОС, появляется зависимость от локального звездного времени T_\oplus и частоты вращения Земли $\omega_\oplus = 2\pi/T_{sid}$.
- Коэффициенты c_u^{TY} , $c_u^{XX} - c_u^{YY}$, $a_{Su}^{(5)XXY}$ дают зависимость от $\omega_\oplus, 2\omega_\oplus, 3\omega_\oplus$
- Наблюдаемой для выявления зависимости сечений от хода звездного времени взято отношение $r_c(PS_1, PS_2)$ интегралов трижды дифференциальных сечений по x_{Bj}, Q^2 и фазового фактора Φ_{T_p} в областях PS_1, PS_2 фазового пространства.

- Выполнена тщательная синхронизация времени, координатных осей DESY и пучков с временем и осями СОС. Моментом, $T=0$, был выбран день весеннего равноденствия 2000 года, 20 марта, 7:35 по UTC.



Пример для $a_{Su}^{(5)XXY}(3\omega_\oplus)$. Кривые: **Сплошная и пунктир** отмечают нижние и верхние значения коэффициентов. **Точечная кривая** показывает, как выглядит эффект, **будь он на порядок больше**.

Результаты **не выявили** значительной ($>2\sigma$) зависимости $r_c(x_c)$ от звездного времени и в согласуются с СМ. Наложены ограничения на 42 коэффициента $c^{[4]}$, и $a^{[5]}$ -типа.

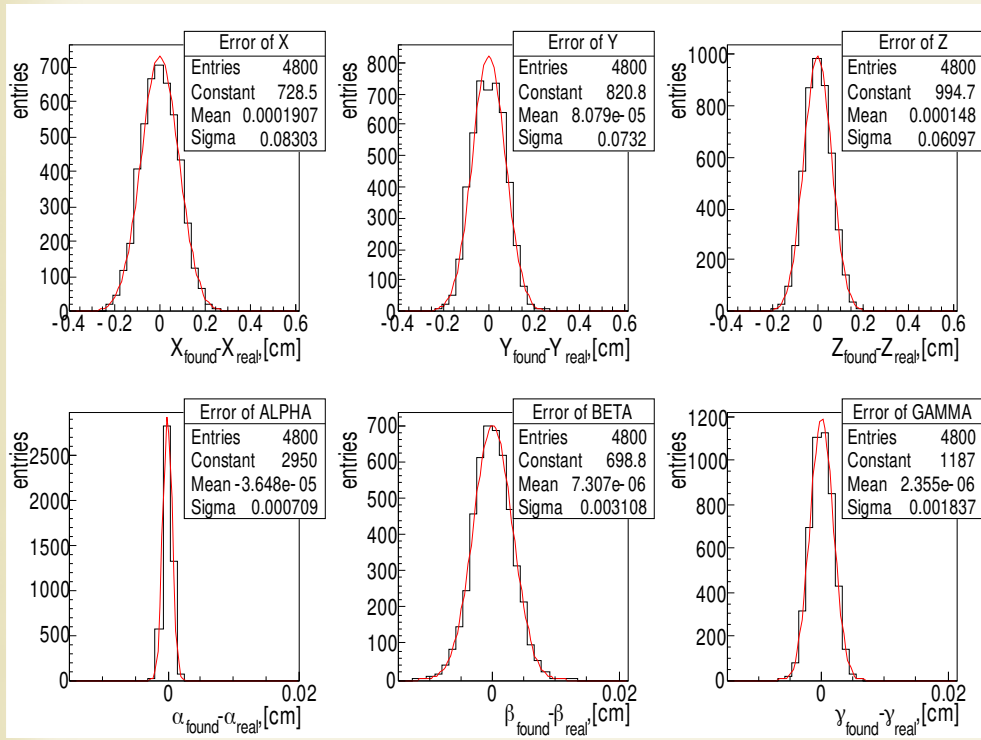
Юстировка MPD детектора мегапроекта NICA

Ошибки определения положения сектора

Sample	S_x^{tl} [cm]	S_y^{tl} [cm]	S_z^{tl} [cm]	α [rad]	β [rad]	γ [rad]
cosmic muons	0.0837	0.0737	0.0613	0.00065	0.00314	0.00184
laser rays	0.0781	0.0709	0.0577	0.00063	0.00261	0.00171
nuclei interaction muons	0.216	0.183	0.221	0.00278	0.00535	0.00333

На данный момент выполнена первая часть – юстировка трекового детектора TPC.

- Разработана методика определения положения секторов TPC, причем **впервые для трековых детекторов найдены ошибки этой процедуры**. Подробно результаты описаны в Kuzmin, V. MPD TPC Alignment. Physics 2023, 5, 508-516. <https://doi.org/10.3390/physics5020036>.
- Показано, что для юстировки TPC может быть использована его лазерная система, которая была спроектирована исключительно для мониторинга свойств газа в камере.
- Точность юстировки была оценена для 3х видов событий: **космические мюоны без магнитного поля в детекторе, лучи лазерной системы и мюоны в магнитном поле детектора**, рожденные во взаимодействиях ядер. В случае космических мюонов и лазерных лучей точность положения сектора порядка 750 мкм, для событий с мюонами в магнитном поле она в несколько раз хуже.
- Предложенный метод юстировки может быть применен к любому трековому детектору, состоящему из отдельных частей с сенсорами, жестко закрепленными на них. Например, для вершинных кремневых детекторов.
- Продолжение этой темы — разработка методики глобальной юстировки детектора с учетом всех его компонент.



Распределение ошибок координат и углов Эйлера сектора

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
- Поддержка мониторинга и контроля крейтов электроники с микроархитектурой для телекоммуникационных вычислений (mTCA) установки CMS
- 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: Рождение π^+ и K^+ мезонов в аргон-ядерных столкновениях при энергии 3.2 AGeV (NICA)
- Исследования в экспериментах ZEUS и H1 коллайдера HERA.
- Исследования проводимые в эксперименте LHCb коллайдера LHC (юстировка, подготовка Run III)
- 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

Сотрудниками представлено 22 доклада на международных конференциях и большое количество докладов на рабочих совещаниях.

Статей в журналах за 2023 год – 174, из них в Топ-25 - 159