

Поиск темной материи в процессах с рождением топ-кварка

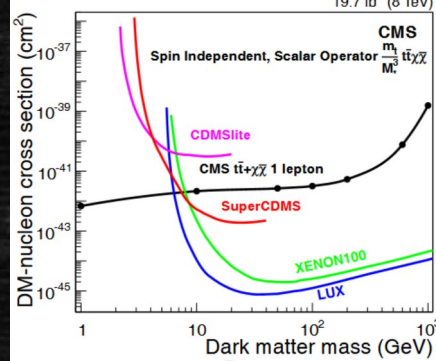
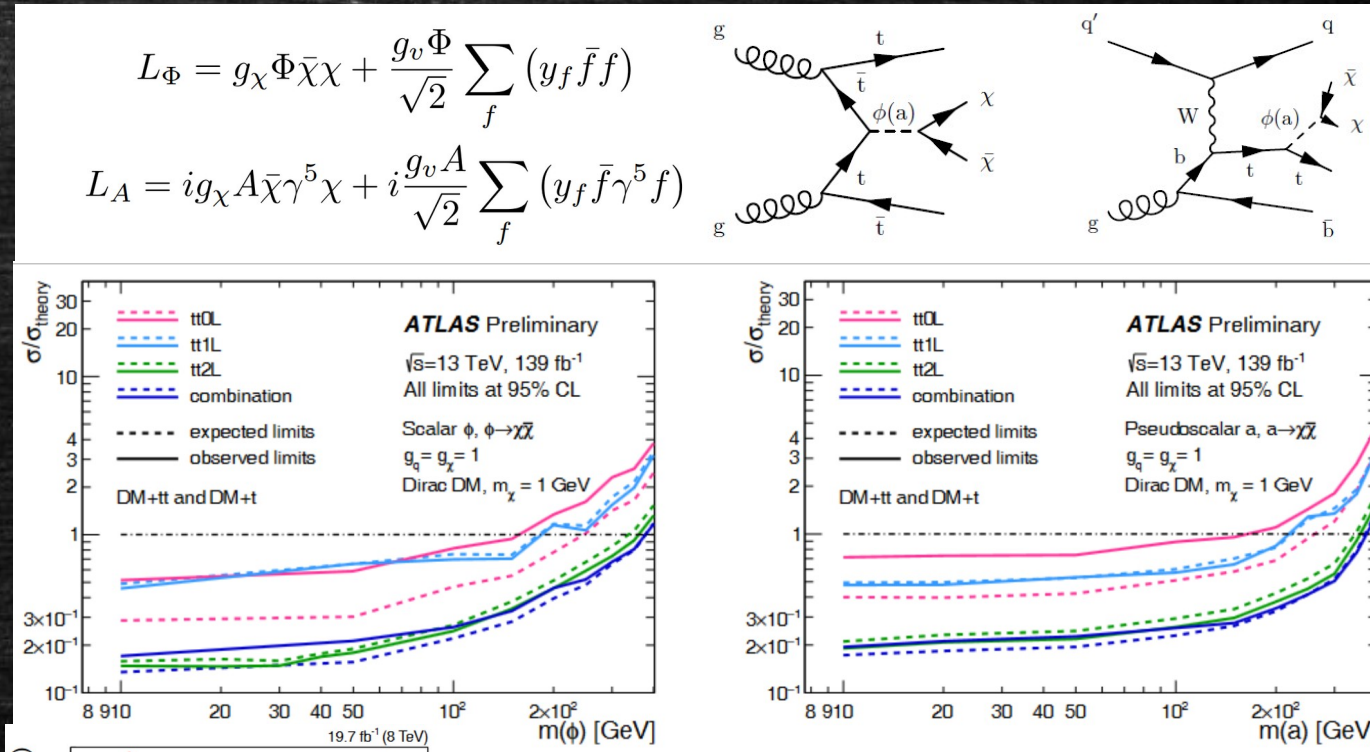
- Теоретические модели и существующие ограничения
- Ассоциированное рождение топ-кварка и темной материи
- Рождение медиатора темной материи с распадом в топ и анти-топ пару

Абасов Э.Э., Боос Э.Э., Буничев В.Е., Волков П.В., Воротников Г.А., Дудко Л.В.,
Заборенко А.Д., Иудин Е.С., Перфилов М.А., Маркина А.А., Савкова Н.
НИИЯФ, МГУ им. М.В. Ломоносова

Исследования выполняются в рамках научной программы Национального центра физики и математики, направление № 5.2 «Физика частиц и космология»

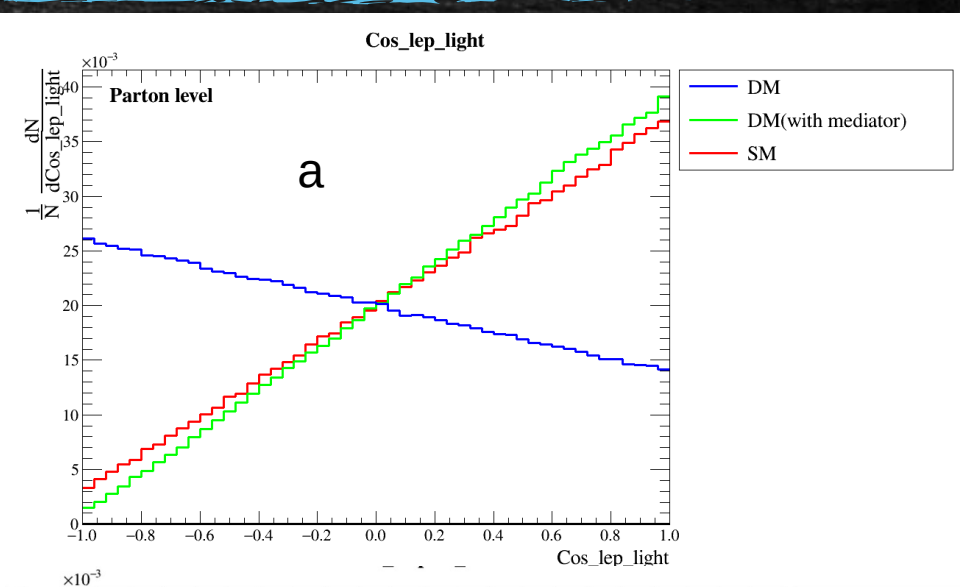
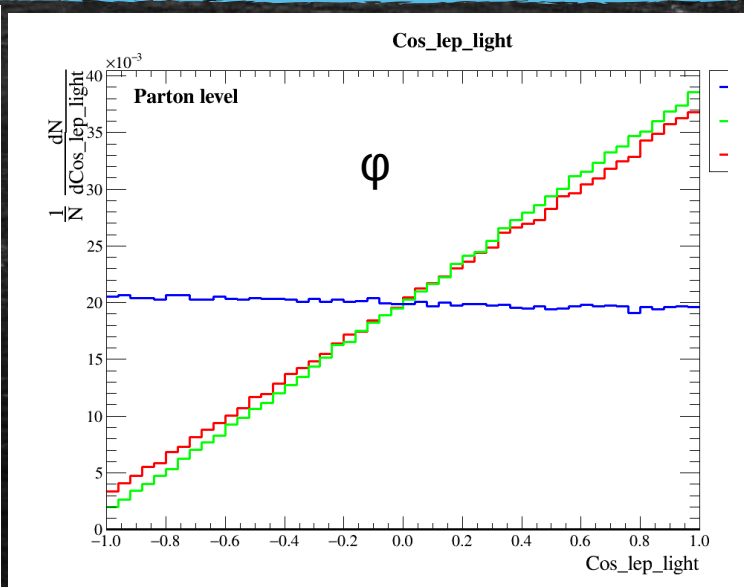
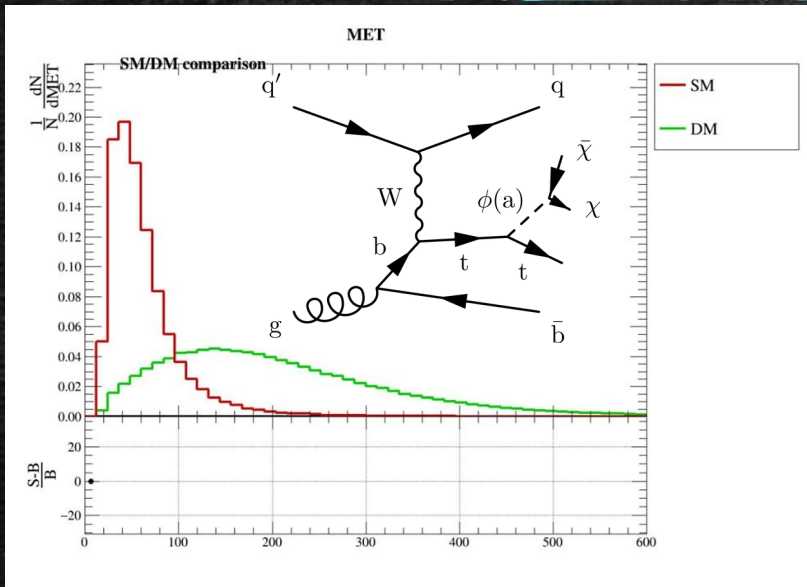
Теоретические модели и существующие ограничения

- Упрощенные модели со скалярным и псевдоскалярным медиатором покрывают необходимые классы моделей
- Рассматриваются процессы ассоциированного рождения топ-кварка и медиатора темной материи, или рождение пары топ-кварков в распаде медиатора
- Основной свободный параметр, это масса медиатора ($M > 400$ GeV), константы взяты 1 (рекомендации LCH-DM-WG)

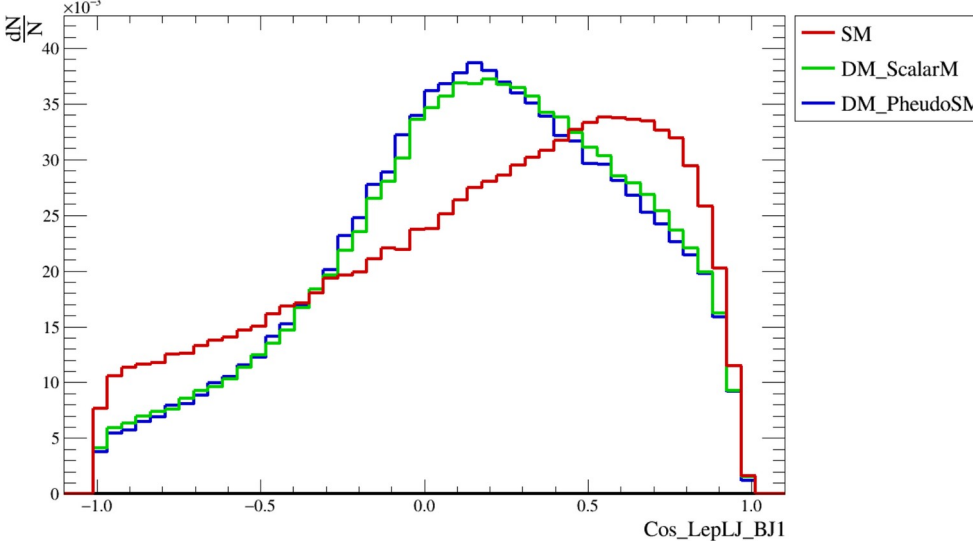


Методика поиска и наблюдаемые.

Предложено использовать спиновые корреляции в рождении и распаде топ-кварка в СМ



Учет спиновых корреляций требует разделить вклад нейтрино (от распада W от топ-кварка) и импульс Медиатора темной материи в измеряемом суммарном недостающем поперечном импульсе (MET)



Попытка аналитического разграничения нейтрино и медиатора

$$(P_l + P_\nu)^2 = M_w^2$$

$$(P_l + P_\nu + P_b)^2 = M_t^2$$

$$MET_x = p_{\nu_x} + p_{\phi_x}$$

$$MET_y = p_{\nu_y} + p_{\phi_y}$$

$$P_\phi^2 = M_\phi^2$$

$$\left(\frac{E_\phi}{M_\phi}\right)^2 - \left(\frac{MET_x - p_{\nu_x}}{M_\phi}\right)^2 - \left(\frac{MET_y - p_{\nu_y}}{M_\phi}\right)^2 - 1 = 0$$

$$p_{\nu_x} = \pm \sqrt{dp_{\nu_y}^2 + ep_{\nu_y} + f} - \frac{\tilde{C}_x}{\tilde{C}_{x^2}} - \frac{\tilde{C}_{xy}}{\tilde{C}_{x^2}} p_{\nu_y}$$

$$d = \frac{\tilde{C}_{xy}^2 - \tilde{C}_{x^2}\tilde{C}_{y^2}}{\tilde{C}_{x^2}^2}, e = \frac{2\tilde{C}_{xy}\tilde{C}_x - 2\tilde{C}_{x^2}\tilde{C}_y}{\tilde{C}_{x^2}^2}, f = \frac{\tilde{C}_x^2 - \tilde{C}\tilde{C}_{x^2}}{\tilde{C}_{x^2}^2}$$

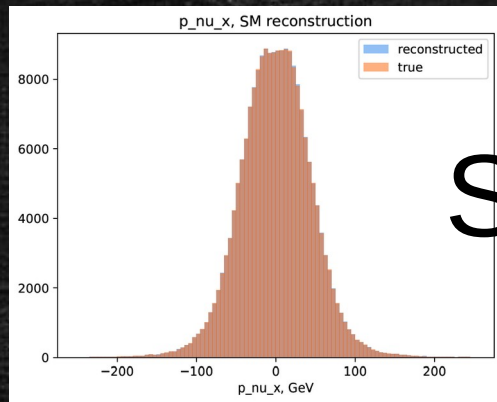
$$\tilde{C} = C^2 - \left(\frac{\tilde{A}}{p_{1b_z}}\right)^2, \tilde{C}_{x^2} = C_x^2 - \left(1 + \left(\frac{p_{1b_x}}{p_{1b_z}}\right)^2\right), \tilde{C}_{y^2} = C_y^2 - \left(1 + \left(\frac{p_{1b_y}}{p_{1b_z}}\right)^2\right),$$

$$\tilde{C}_{xy} = C_x C_y - \frac{p_{1b_x} p_{1b_y}}{p_{1b_z}^2}, \tilde{C}_x = C C_x - \frac{\tilde{A} p_{1b_x}}{p_{1b_z}^2}, \tilde{C}_y = C C_y - \frac{\tilde{A} p_{1b_y}}{p_{1b_z}^2}$$

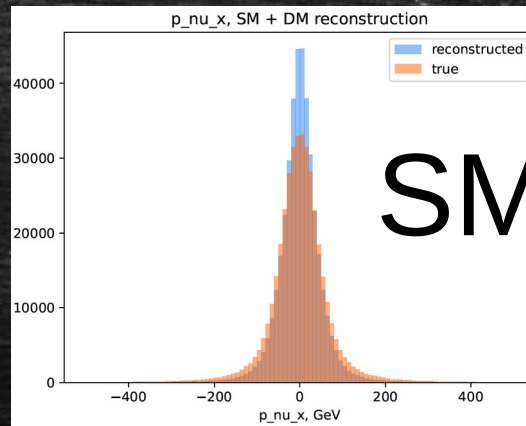
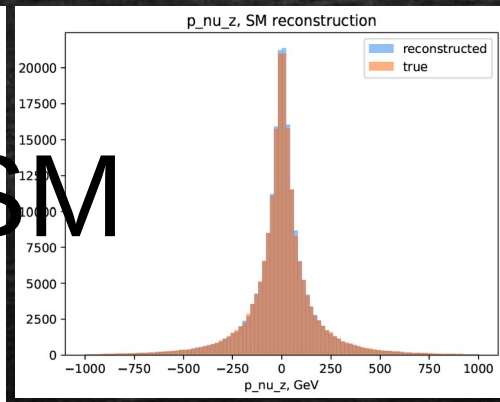
Хороших аналитических зависимостей не найдено, требуются дополнительные приближения и предположения, или другие методы.

$$C = \frac{M_w^2 p_{1b_z} - 2p_{l_z} \tilde{A}}{2E_l p_{1b_z}}, C_x = \frac{p_{l_x} p_{1b_z} - p_{l_z} p_{1b_x}}{E_l p_{1b_z}}, C_y = \frac{p_{l_y} p_{1b_z} - p_{l_z} p_{1b_y}}{E_l p_{1b_z}},$$

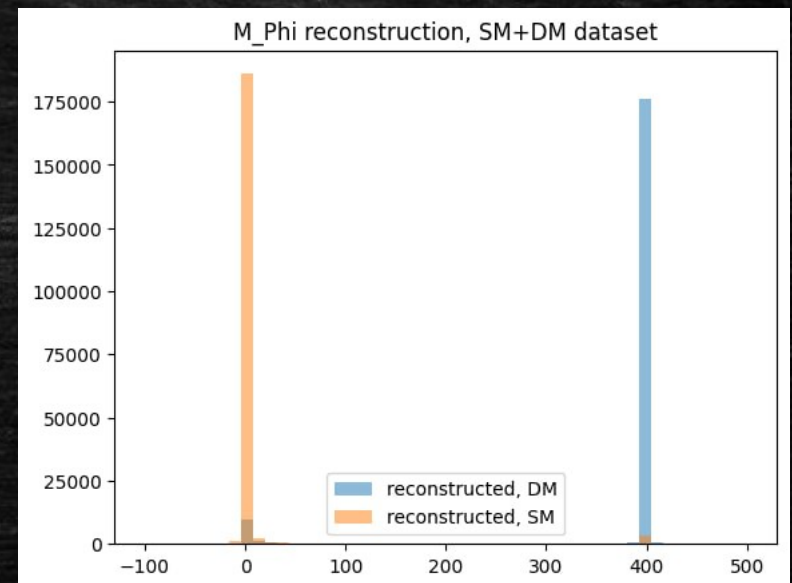
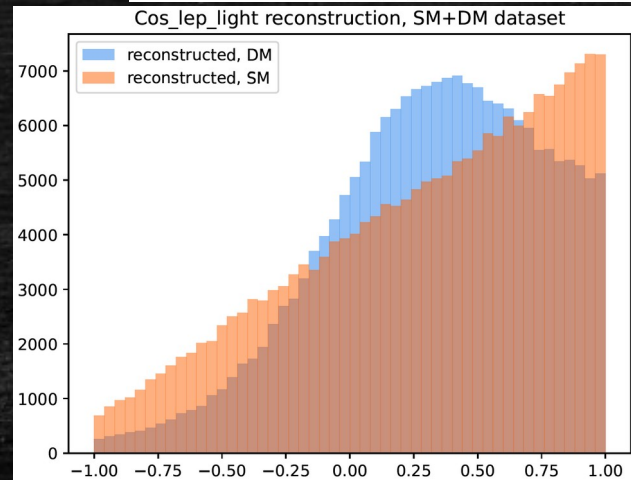
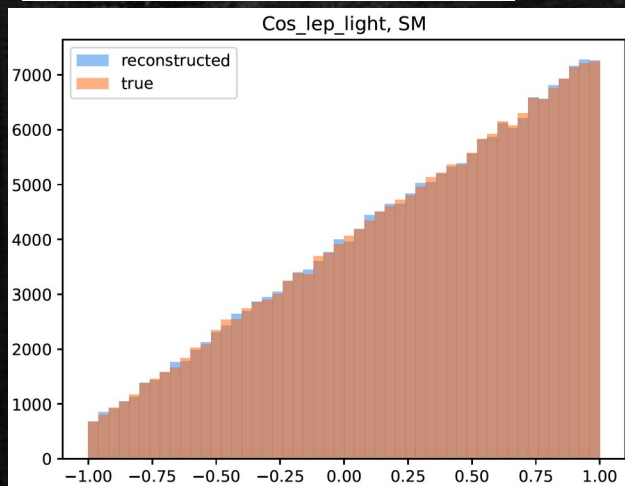
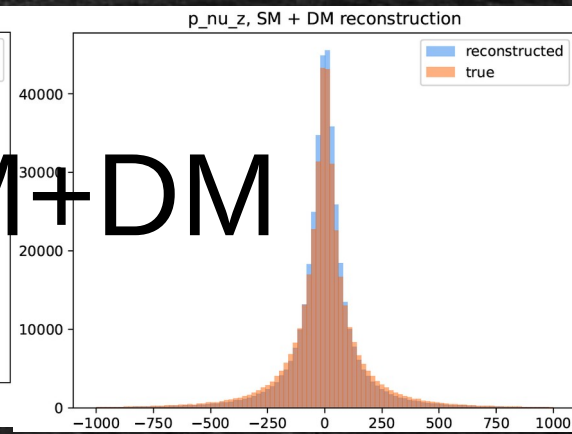
Применение нейронных сетей для задачи восстановления компонент импульса нейтрино и медиатора



SM



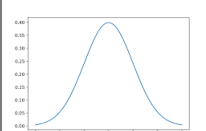
SM+DM



Метод модельно-независимого поиска отклонений от СМ. Нейронная сеть с одним классом (OCDNN)

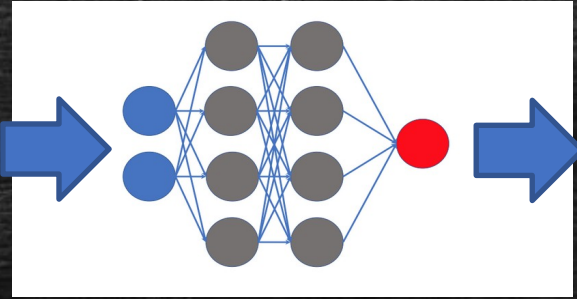
Реальные данные, СМ

Синтетический шум μ , σ

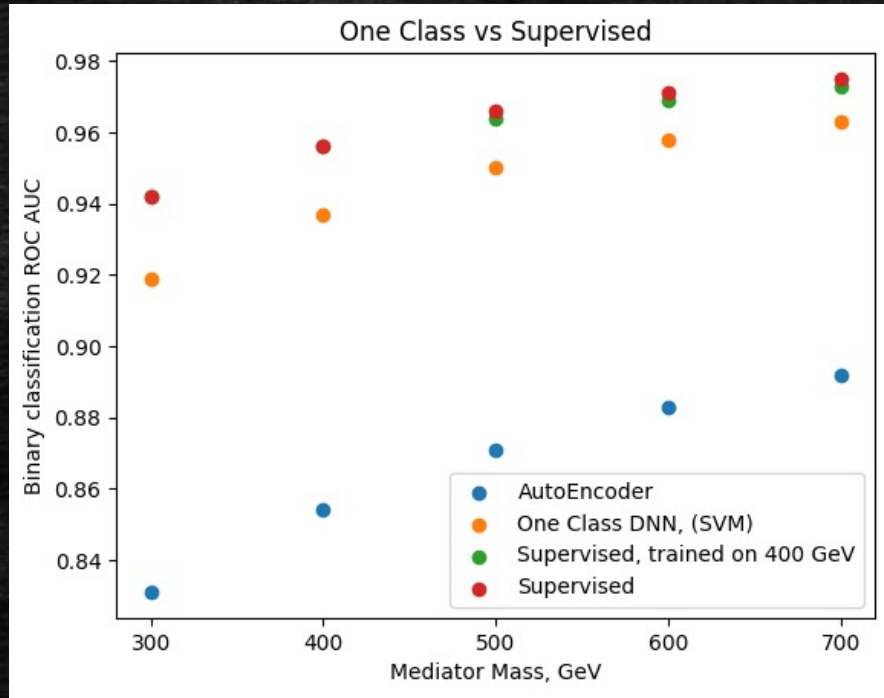
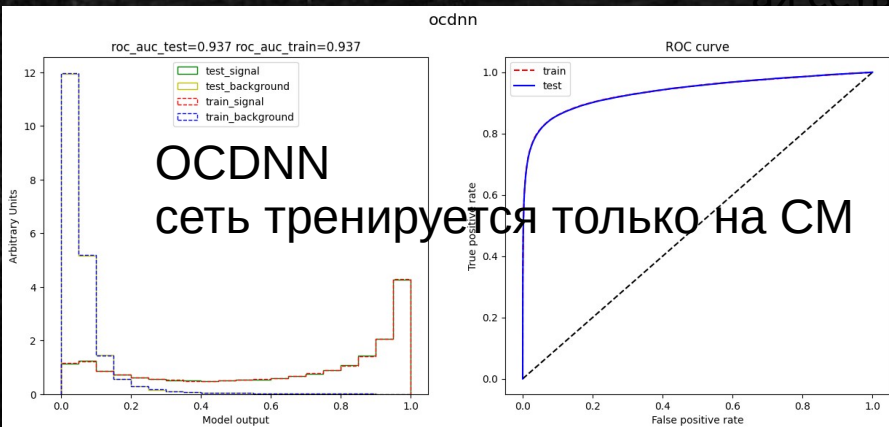
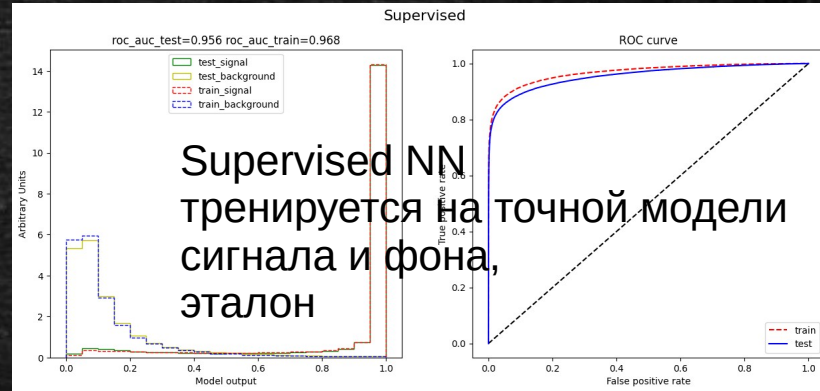


0

1



Гиперплоскость для выделения аномалий



Прямой поиск ТМ в процессах с топ-кварком, в разных конечных сигнатурах

lepton+jets

- $tX+M$, $tt+M$

di-lepton+jets

- $tt+M$, $tttX+M$, $tttt+M$

Same sign di-lep+jets

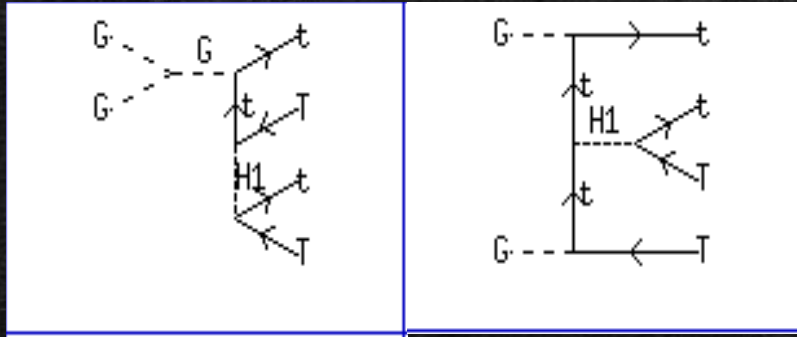
- $tttX+M$, $tttt+M$

3 leptons + jets

- $tttX+M$, $tttt+M$

- Моделирование всех сигнальных процессов
- Моделирование фоновых процессов для каждой сигнатуры
- Формирование наблюдаемых для каждой сигнатуры
- Проведение отдельных анализов для каждой сигнатуры и их объединение, или
- Тренировка трансформера для всех сигнатур

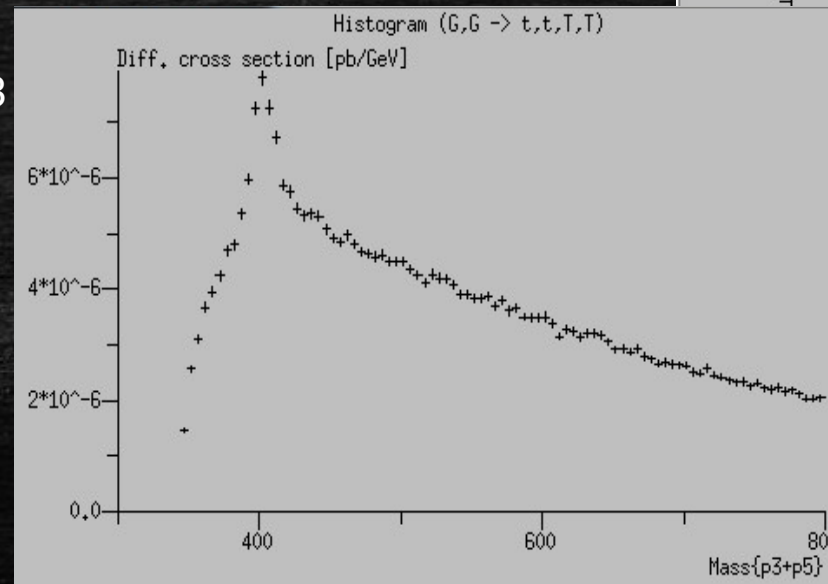
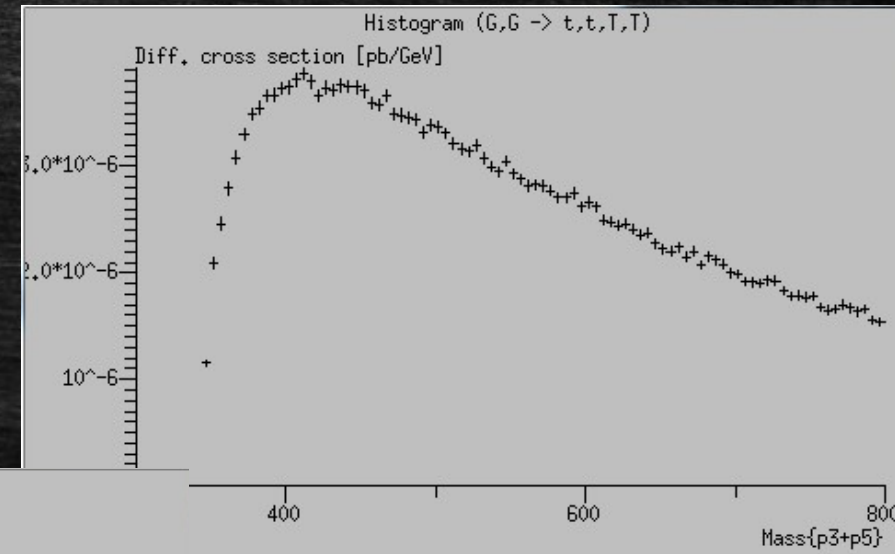
Поиск медиатора ТМ в рождении четырех топ-кварков



$gg \rightarrow 4t$, SM cross section [pb] = $7.7088e-03$

$gg \rightarrow 4t$, SM+DM cross section [pb] = $11.152e-03$

Вклад ТМ 24%
cross section [pb] = $2.7297e-03$



Поиск медиатора ТМ в рождении трех и четырех топ-кварков. Учет интерференции.

Процесс рождения 3-х топ-кварков, SM LO

tt(t)tW	subprocess	Cross section [pb]
1	$\bar{b}, g \rightarrow W^+, t, \bar{t}, \bar{t}$	3.40e-04
2	$b, g \rightarrow W^-, t, t, \bar{t}$	3.40e-04
G	Sum of gluon diags.	1.01e-03
EW	Sum of EW diags.	0.962e-03
Int	Interference	-0.612e-03
Total cross section		1.36e-03

$g, g \rightarrow t, T, t, W, b$

Вычисления в MadGraph

Рождение 3-х топ-кварков, древесное NLO
+ Рождение 4-х топ-кварков

2107.07629

Стандартная Модель

Sum of gluon diags. 14.22e-03 pb
Sum of EW diags. 6.19e-03 pb
Total cross section 15.77e-03 pb
Interference - 4.64e-03 pb

Упрощенная модель ТМ
со скалярным медиатором

Sum of gluon diags. 14.22e-03 pb
Sum of EW diags.. 16.25 e-03 pb
Total cross section 24.69e-03 pb
Interference -5.78 e-03 pb

Вклад ТМ 36%

TM cross section [pb] = $8.9e-03 \pm 6.8e-05$ pb

Заключение

- Процессы с топ-кварком очень интересны для поиска проявления темной материи
- Для прямого поиска ТМ предложена новая наблюдаемая основанная на спиновых корреляциях в рождении и распаде топ-кварка
- Предложен метод модельно-независимого поиска ТМ с помощью нейронной сети натренированной только на событиях СМ
- Перспективен поиск рождения медиатора ТМ распадающегося в пару топ анти-топ кварков, в процессах с тремя и четырьмя топ-кварками. Необходимо дальнейшее исследование интерференции диаграмм с медиатором и СМ диаграмм.