

Разделение процессов парного и одиночного рождения топ-кварков в присутствии аномальных Wtb операторов с помощью нейронных сетей

E. Boos, V. Bunichev, L. Dudko,
M. Perfilov, P. Volkov, G. Vorotnikov

Lomonosov Moscow State University (SINP MSU)

*Научная сессия ядерной физики ОФН РАН
2024, Апрель, 1-5*

Свойства топ кварка

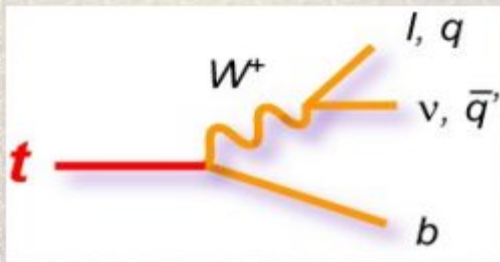
Третье
поколение
кварков

u	c	t
d	s	b

(V-A) вершина взаимодействия

$$\Gamma_{tqW} = -\frac{g}{\sqrt{2}} V_{tq} \bar{q} \gamma_\mu \frac{1}{2} (1 - \gamma_5) W^\mu t$$

Основной
канал распада
(~100%):



t-quark
в CM

$$M_{\text{top}} = 172.69 \text{ GeV} \\ (\text{PDG})$$

...топ кварк хороший
кандидат для проверки
стандартной модели

Одиночной топ-кварк и отклонения от СМ



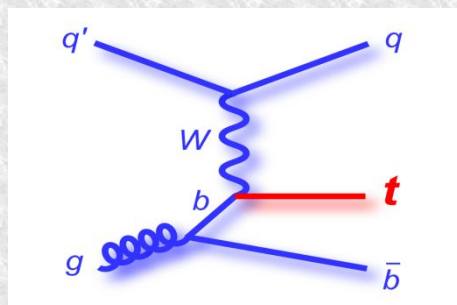
Каналы рождения одиночного топ кварка

284 pb

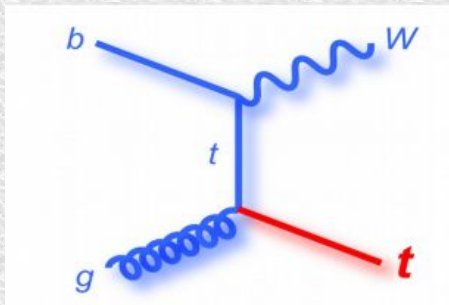
84.4 pb

11.39 pb

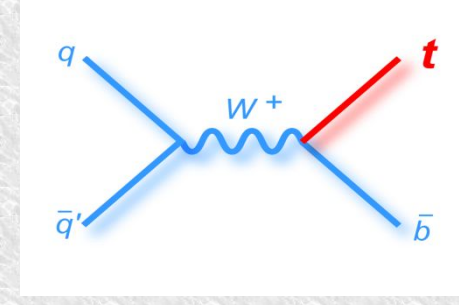
(14 ТэВ)



t-channel



tW-channel



s-channel

Подходы EFT и Аномальные каплинги

- Эффективная теория поля (EFT):

$$\mathcal{L}_{eff} = \mathcal{L}_{SM} + \sum_i \frac{c_i}{\Lambda^2} O_i$$

[Nucl.Phys.B 268 \(1986\) 621-653](#)

[Z. Phys. C31 \(1986\) 433-437](#)

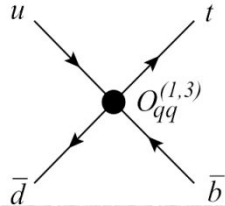
- операторы входящие в Wtb вершину:

$$O_{\phi q}^{(3,3+3)} = \frac{i}{2} \left[\phi^\dagger (\tau^I D_\mu - \overleftarrow{D}_\mu \tau^I) \phi \right] (\bar{q}_{L3} \gamma^\mu \tau^I q_{L3}), \quad O_{\phi\phi}^{33} = i(\tilde{\phi}^\dagger D_\mu \phi)(\bar{t}_R \gamma^\mu b_R),$$

$$O_{dW}^{33} = (\bar{q}_{L3} \sigma^{\mu\nu} \tau^I b_R) \phi W_{\mu\nu}^I, \quad O_{uW}^{33} = (\bar{q}_{L3} \sigma^{\mu\nu} \tau^I t_R) \tilde{\phi} W_{\mu\nu}^I,$$

$$O_{qq}^{(1,3)} = (\bar{q}^i \gamma_\mu \tau^I q^j)(\bar{q} \gamma^\mu \tau^I q)$$

Четырех-фермионное взаимодействие. Дополнительно к Wtb вершине:



- Аномальные каплинги:

[Phys.Rev.D83:034006,2011](#)

$$\mathcal{L} = \frac{g}{\sqrt{2}} \bar{b} \gamma^\mu V_{tb} (f_V^L P_L + f_V^R P_R) t W_\mu^-$$

$$- \frac{g}{\sqrt{2}} \bar{b} \frac{i\sigma^{\mu\nu} q_\nu V_{tb}}{M_W} (f_T^L P_L + f_T^R P_R) t W_\mu^- + h.c.$$

- EFT конвертируется в аномальные каплинги:

$$|f_V^L| = 1 + |C_{\phi q}| \frac{v^2}{V_{tb} \Lambda^2}$$

$$|f_V^R| = \frac{1}{2} |C_{\phi\phi}| \frac{v^2}{V_{tb} \Lambda^2}$$

$$|f_T^L| = \sqrt{2} |C_{bW}| \frac{v^2}{V_{tb} \Lambda^2}$$

$$|f_T^R| = \sqrt{2} |C_{tW}| \frac{v^2}{V_{tb} \Lambda^2}$$

order:

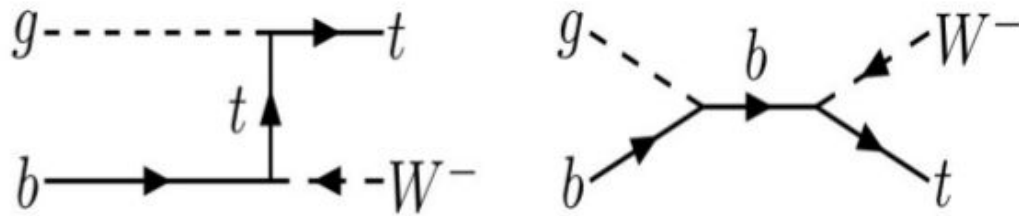
$1/\Lambda^2$	$1/\Lambda^4$
f_V^L	$(f_V^L)^2$
...	$(f_V^R)^2$
...	$(f_T^L)^2$
f_T^R	$(f_T^R)^2$

[Nucl.Phys.B 812 \(2009\) 181-204](#)

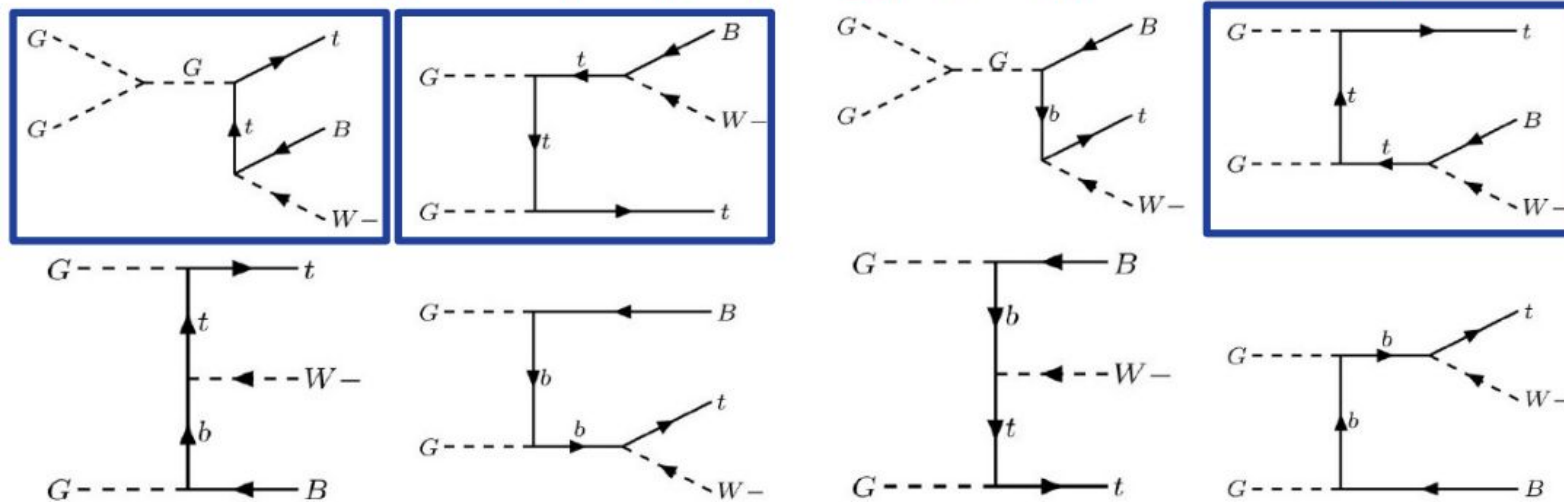
[PoS ICHEP2010:378,2010](#)

Одно- и двух-резонансное рождение топ кварка (tWb)

- Leading order (LO) process $2 \rightarrow 2$: **tW**-production



- Next to leading order (NLO), $O(1/\log(m_t/m_b))$, $2 \rightarrow 3$: **tWb**-production



Top pair ($t \bar{t}$) production

Figure 1: Diagrams for the process $gg \rightarrow t \bar{t} W^-$.

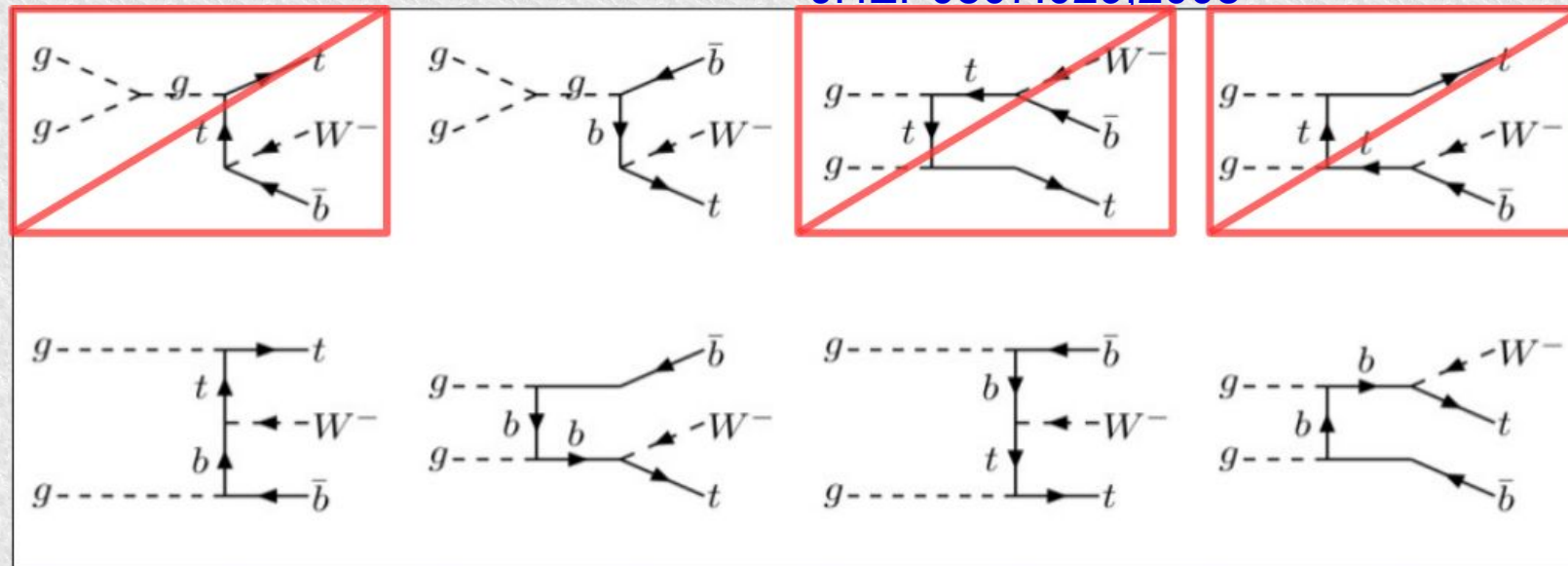
- Структура матричного элемента

$$|ME|^2 \sim tT^2 + \dots + tWb^2$$

Схемы удаления диаграмм tWb процесса

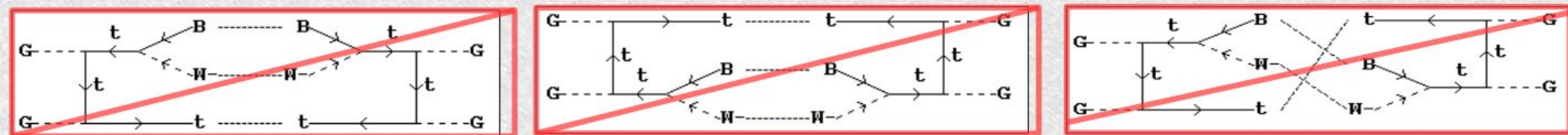
DR1 (Схема удаления диаграмм)

[JHEP0807:029,2008](#)



DR2 (Diagram subtraction Scheme)

[Phys. Rev. D 61, 034001](#)



DS1, DS2 схемы

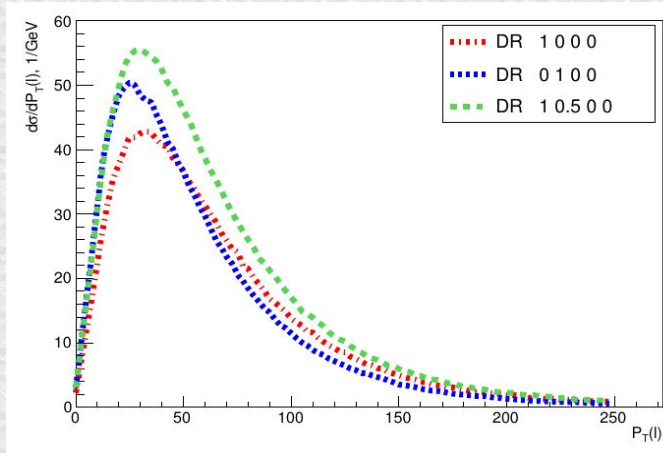
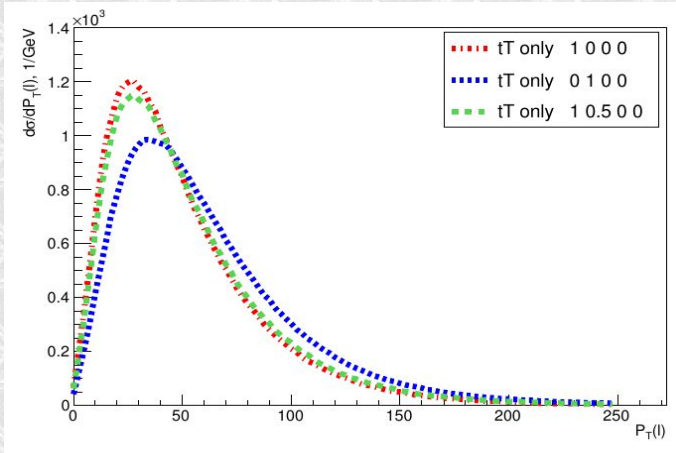
[EPJC 77, 34 \(2017\)](#)

- Удаление из квадрата матричного элемента специального вычитающего члена

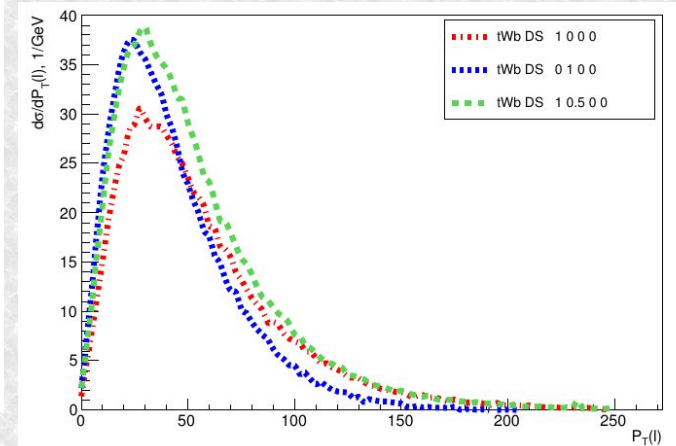
$$|\mathcal{A}_{tWb}|_{\text{DS}}^2 = |\mathcal{A}_{1t} + \mathcal{A}_{2t}|^2 - \mathcal{C}_{2t}$$

Схемы удаления диаграмм tWb процесса

- Какая схема лучше подходит для поиска AnomWtb каплингов?

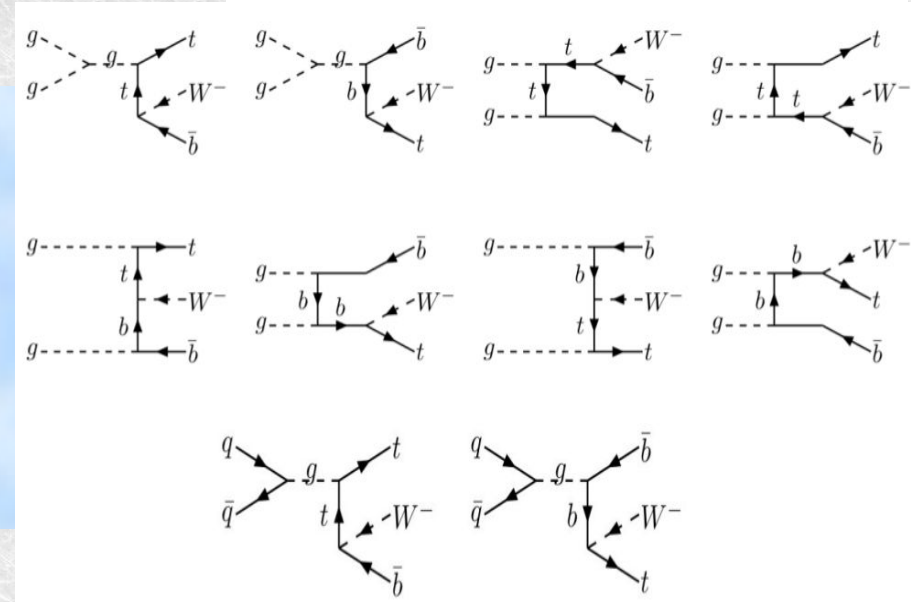


$$\mathcal{L} = \frac{g}{\sqrt{2}} \bar{b} \gamma^\mu V_{tb} (f_V^L P_L + f_V^R P_R) t W_\mu^- - \frac{g}{\sqrt{2}} \bar{b} \frac{i\sigma^{\mu\nu} q_\nu V_{tb}}{M_W} (f_T^L P_L + f_T^R P_R) t W_\mu^- + h.c.$$



[EPJ Web Conf., 158 \(2017\) 04004](#)

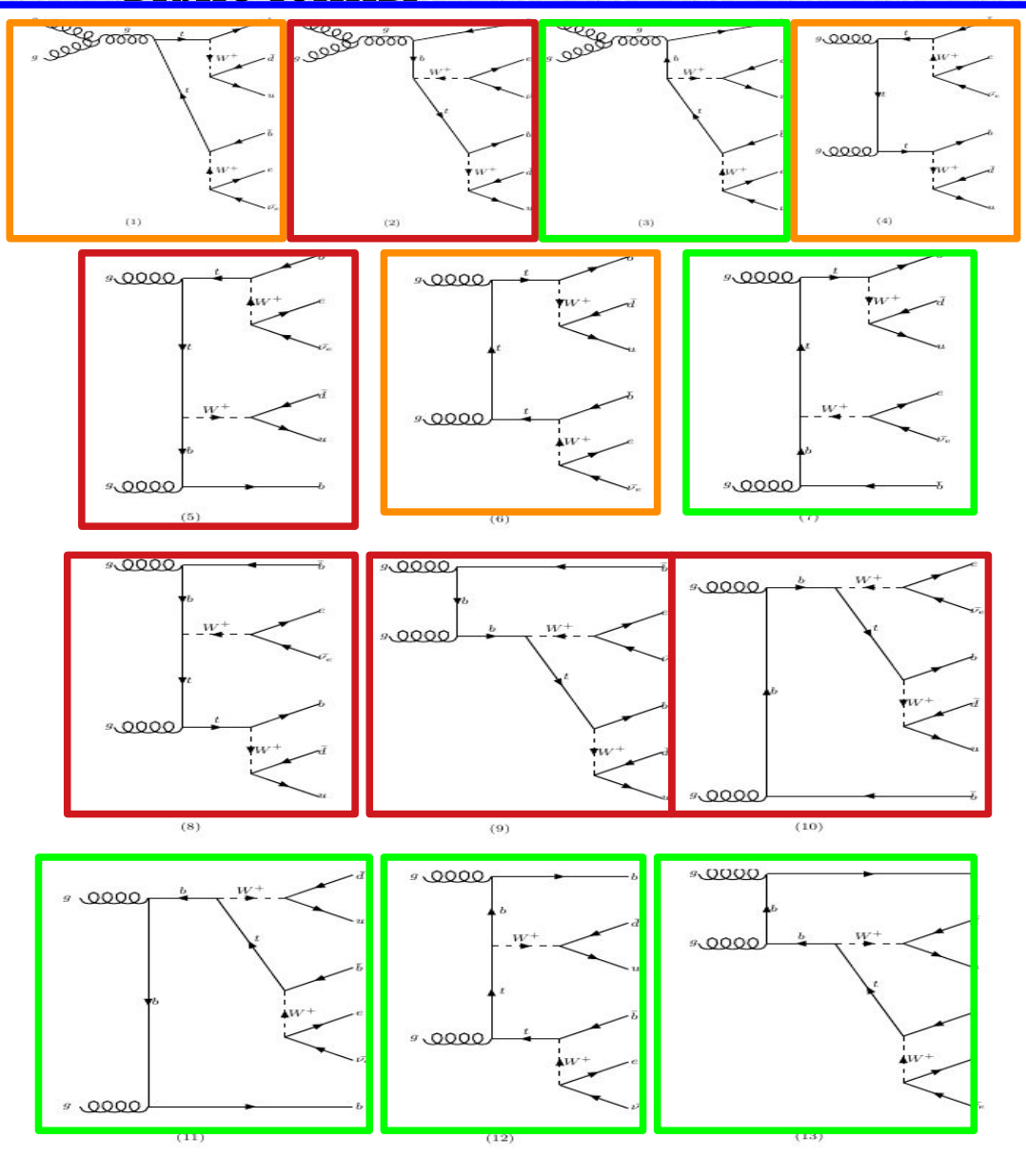
- Различные схемы описания tW показывают разную чувствительность к аномальным каплингам
- Двух резонансное рождение так же чувствительно к Wtb каплингам
- Наиболее перспективным выглядит использования полной схемы моделирования без использования приближенных DR схем.



Идея : разделить одно- и двух-резонансное рождение из полной схемы с помощью нейронных сетей. Для примера рассмотрен самый сложный случай разделения левого-векторного (LV) и правого векторного (RV) каплингов.

Конечное состояние tWb, Монте-Карло моделирование

Для Тренировки нейронной сети (DNN) подпроцессы разделены
Описание: а) лидирующий подпроцесс $gg \rightarrow \dots$ б) все распады
ВКЛЮЧЕННЫ



Наборы событий:

“tT_tW”

“tT”

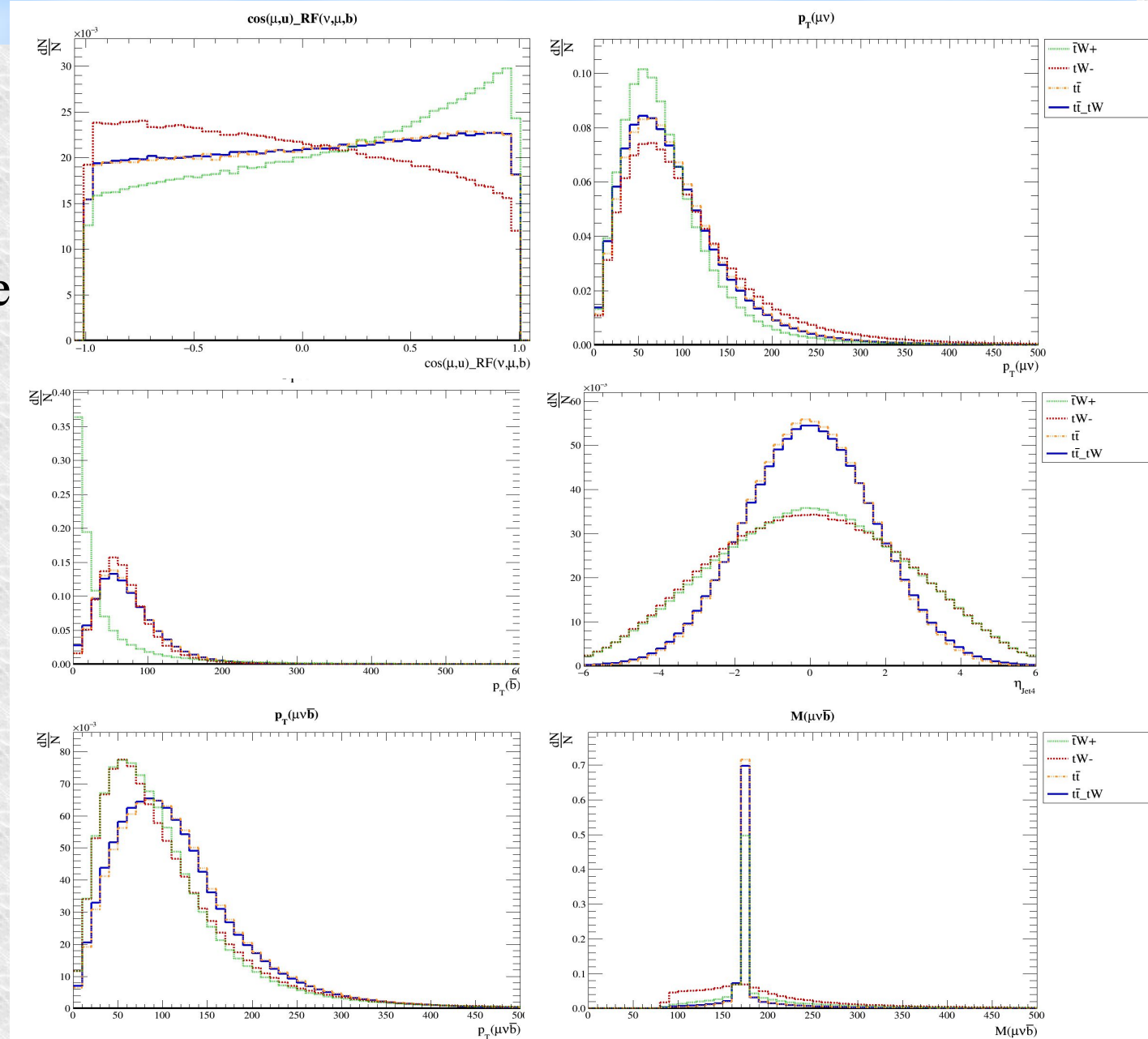
“tW-B”

“TW+b”

Кинематические переменные

Для тренировки DNN: сформулированы различные кинематические наблюдаемые.

Набор переменных
низкого уровня
Набор переменных
основанных на анализе
диаграмм Фейнмана



Physics of Atomic Nuclei 71,
388–393 (2008)

International Journal
of Modern Physics A
Vol. 35, No. 21 (2020)
2050119

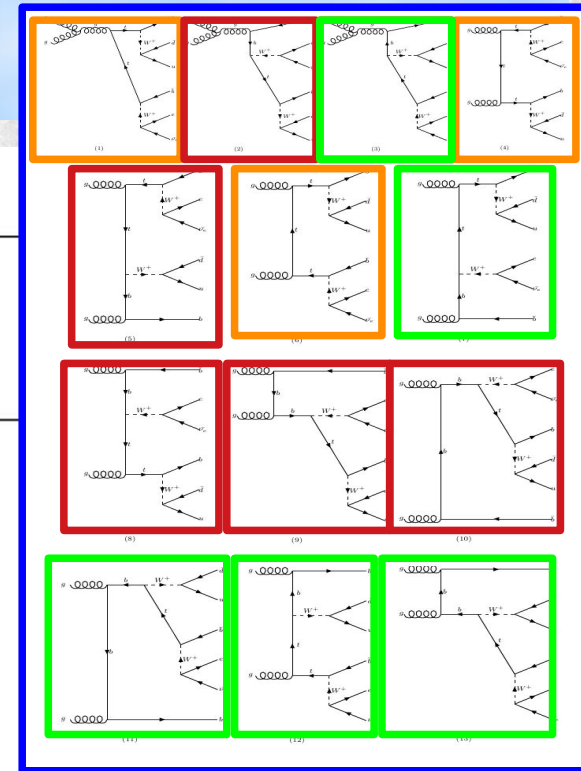
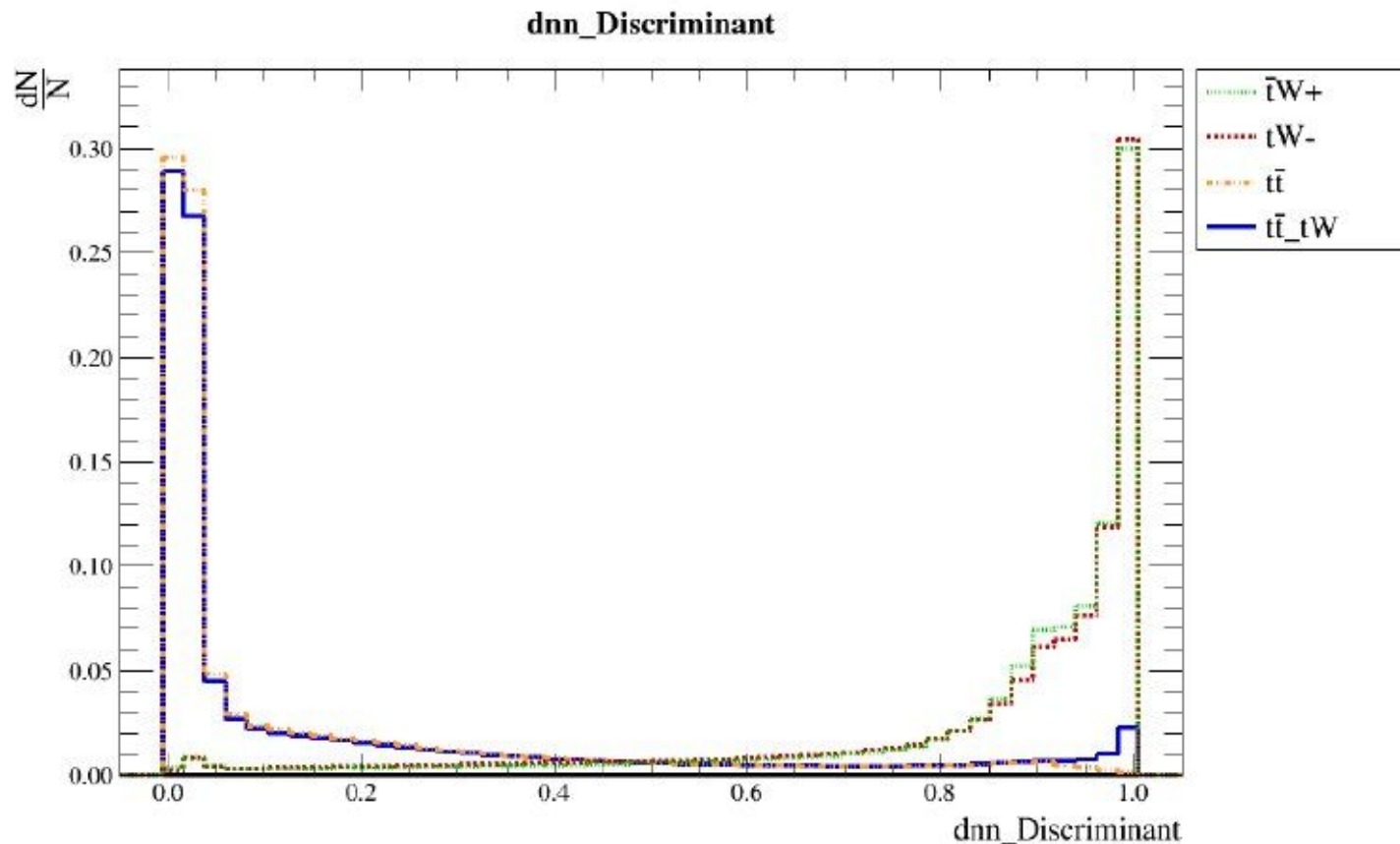
Phys.Lett.B 534 (2002) 97-105

Задача разделения одно- и двух-резонансного

DNN classification:

0: дву резонансное рождения

1: одно резонансное рождение

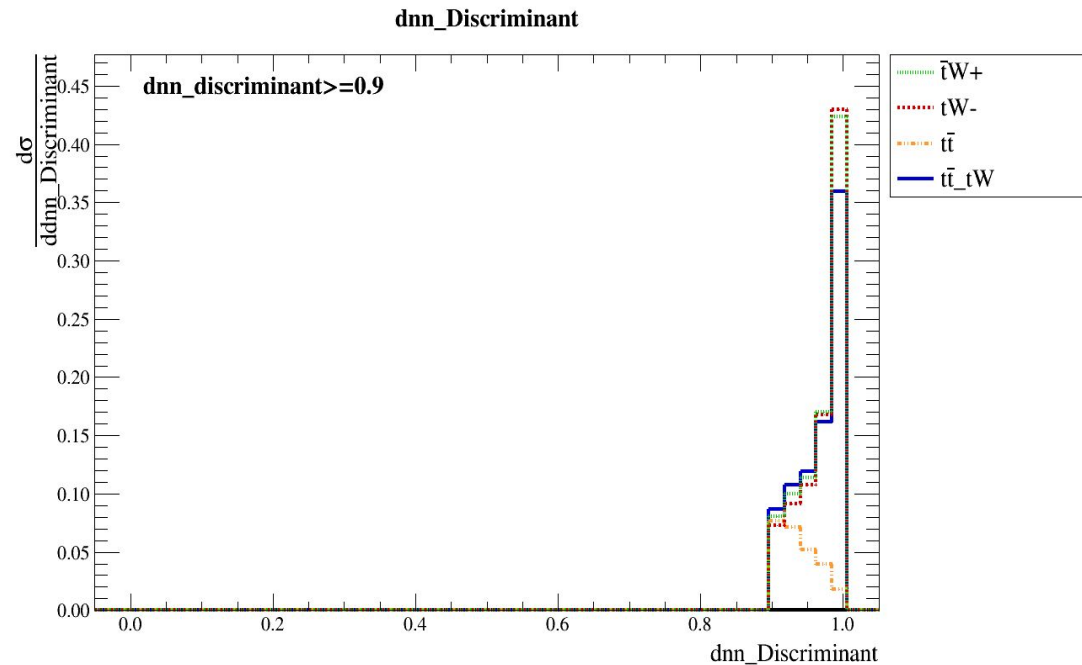
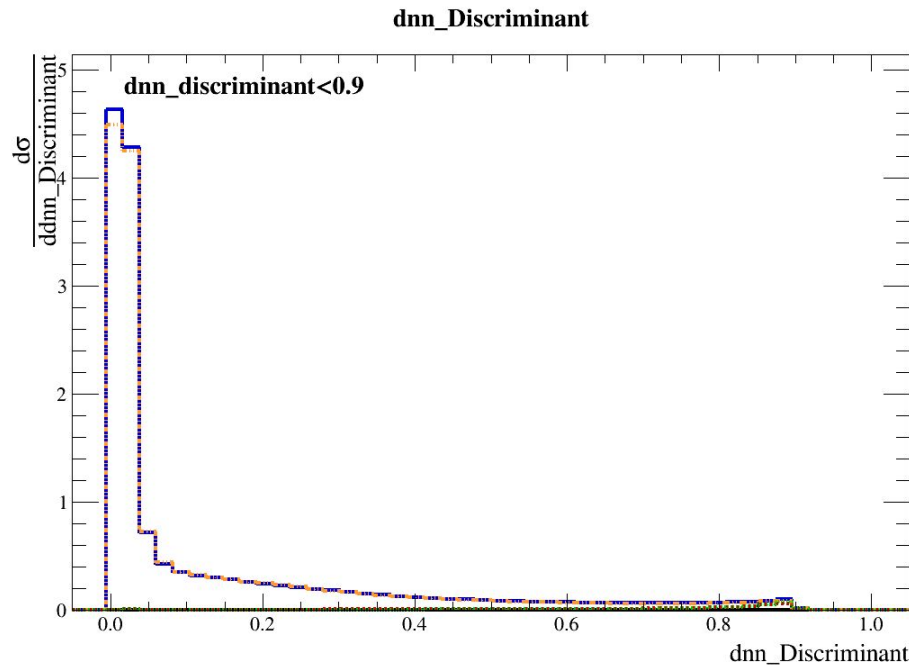


NN separation power

- **DNN** успешно разделяет одно и двухрезонансное рождение топ кварка в tWb конечном состоянии
- Интерференция “размыта” между квалифицированными событиями

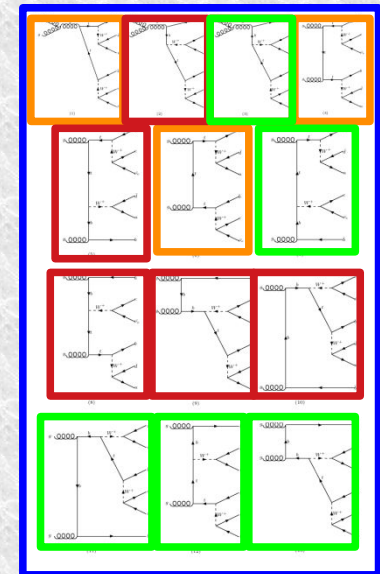
Задача разделения одно- и двух-резонансного

- DNN обрезание:**
 < 0.9 : двух-резонансное рождение ≥ 0.9 : однорезонансное рождение

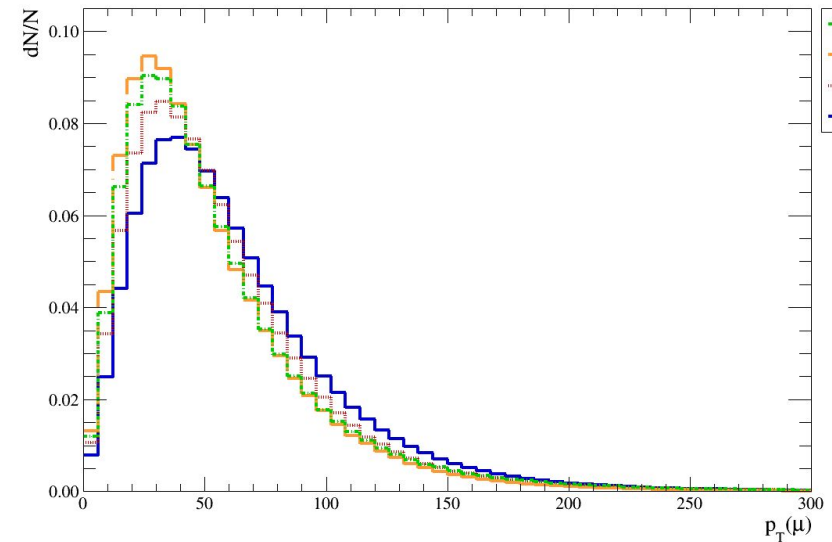
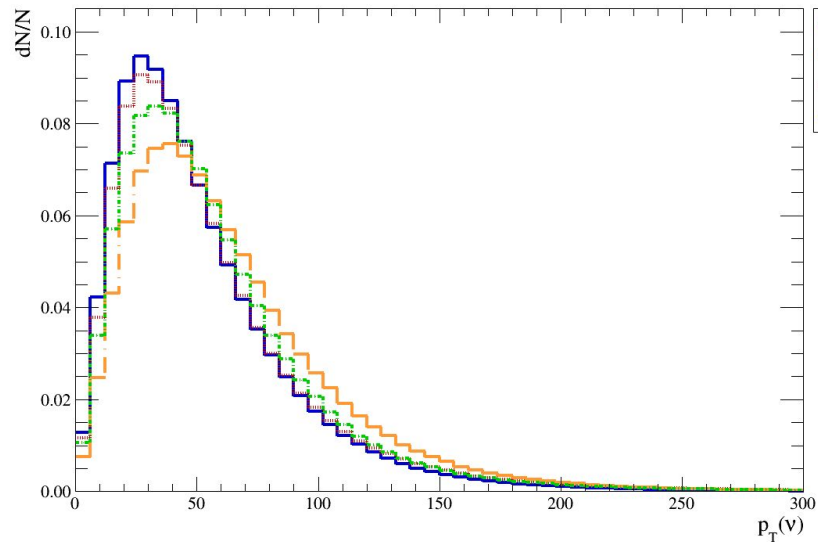


[Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия, Изд-во Моск. ун-та \(М.\), 78, № 6, 2360201](#)

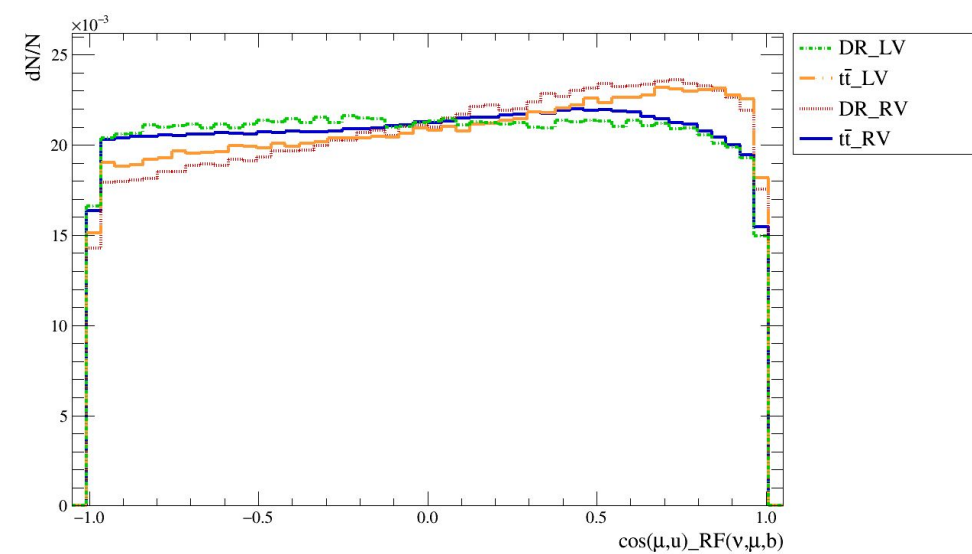
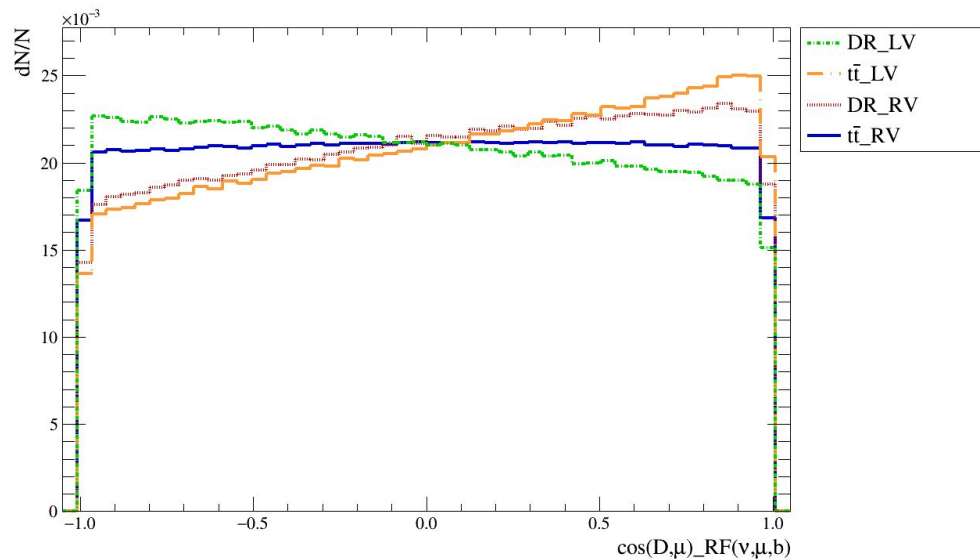
Модель	Сечение, [пб]		Сумма, [пб]
	DNN < 0.9	DNN ≥ 0.9	
" $t\bar{t}$ "	14.94	0.26	15.20
" $\bar{t}W+$ " DR1	0.26	0.44	0.7
" $tW-$ " DR1	0.26	0.44	0.7
" $t\bar{t}_tW$ "	15.18	0.84	16.02
интерференция	-0.28 (1.8%)	-0.30 (36%)	-0.6 (3.7%)



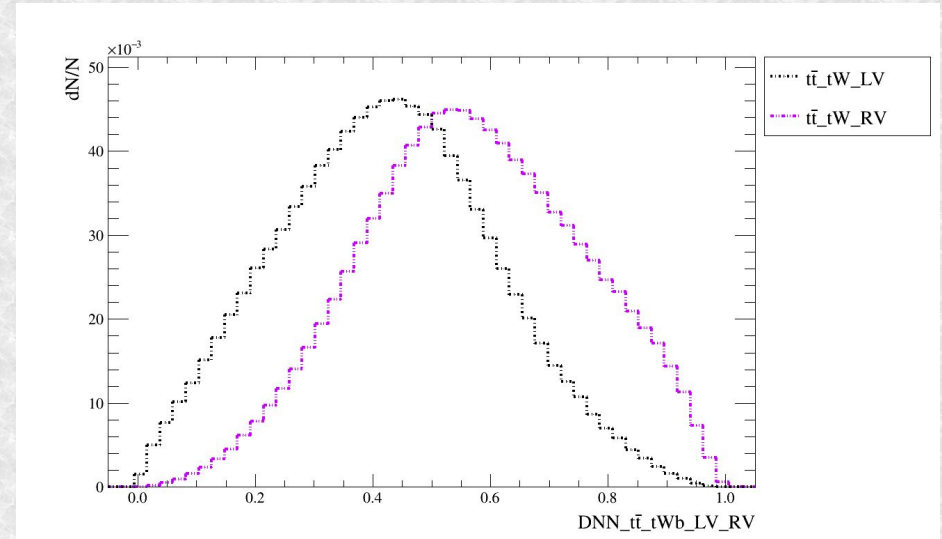
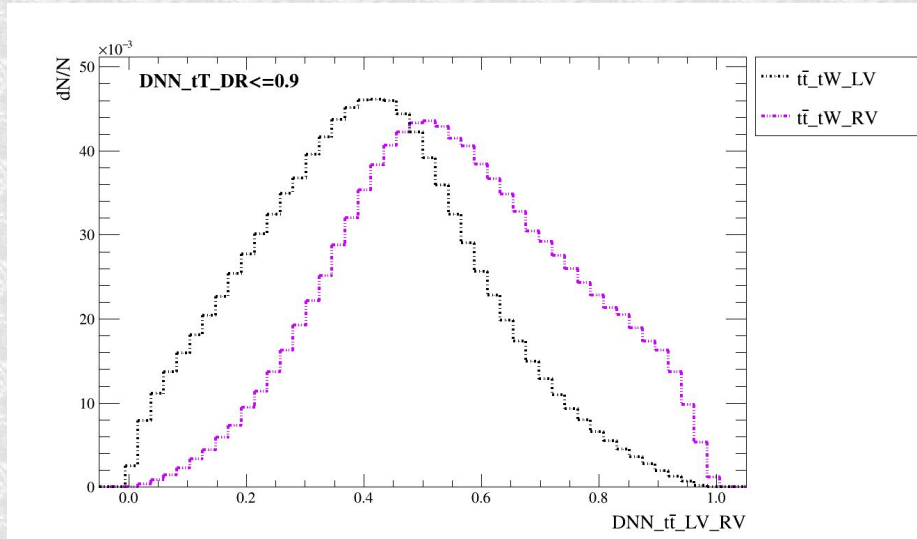
Задача разделения Аномальных Каплингов



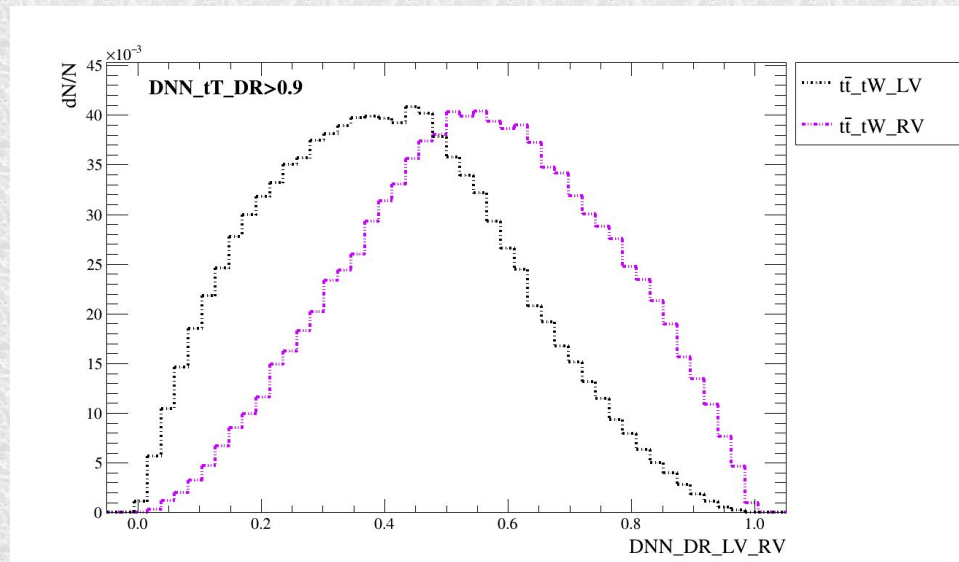
Некоторые кинематические переменные для разделения LV и RV
[*Physics Letters B* 534 \(2002\): 97-105](#)



Задача разделения Аномальных Каплингов



Предварительные результаты применения нейронных сетей для разделения RV/LV моделей



Заключение

- Нейронные сети позволяют разделить одно- и двух-резонансное рождение топ кварка в конечном состоянии tWb .
- Для решения задачи сформулирован набор чувствительных кинематических наблюдаемых.
- Метод позволяет отказаться от использования приближенных DR схем моделирования.
- Выделенные нейронной сетью области фазового пространства одно и двух резонансного рождения топ кварка, позволяют по отдельности исследовать влияние аномальных каплингов в этих областях, что увеличивает общую чувствительность.
- Получены первые результаты выделения аномальных каплингов с помощью нейронных сетей, для областей одно и двух резонансного рождения топ кварка
- Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 22-12-00152