

Институт ядерной физики и технологий
Кафедра №40 «Физика элементарных частиц»

Моделирование процесса ассоциативного рождения бозона Хиггса с одиночным топ-кварком на БАК

Научный руководитель: Гусейнов Н.А., к.ф.-м.н.

Научный консультант: Бойко И.Р., к.ф.-м.н.

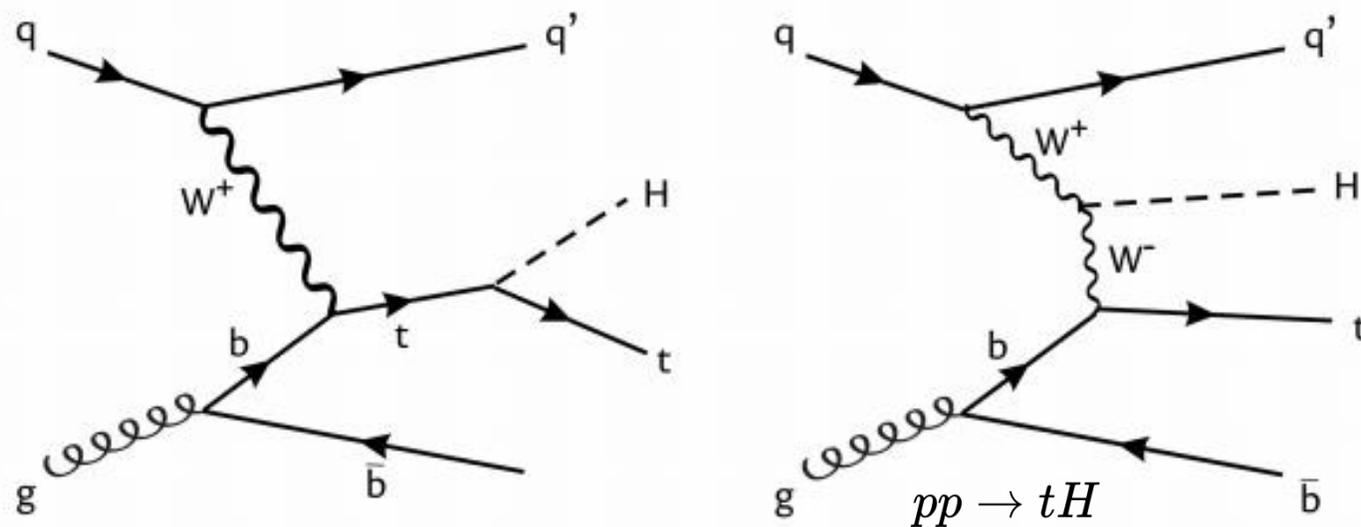
Студент: Дадашова А.Э.

Москва 2024

Мотивация и цели

Цель: методом Монте-Карло смоделировать события ассоциативного рождения бозона Хиггса с одиночным топ-кварком и соответствующих фоновых процессов для последующего их использования в нейронных сетях.

Мотивация: поиск редкого процесса $pp \rightarrow tH$ на БАК с целью измерения комплексной фазы константы взаимодействия бозона Хиггса с топ-кварком и ее сравнение с теоретическими предсказаниями Стандартной Модели.



Диаграммы Фейнмана для процесса $pp \rightarrow tH$

Информация о генерации событий

PDF set: CT10
 $m(b) = 4.2 \text{ GeV}$
 $m(t) = 172.5 \text{ GeV}$
 $Y_b * m(b) = 4.2 \text{ GeV}$
 $Y_t * m(t) = 172.5 \text{ GeV}$

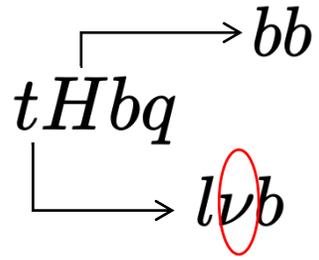
Генерация: MadGraph5_aMC@NLO 3.5.5
Адронизация: PYTHIA 8.310
Реконструкция струй: FastJet 3.4.3

Jets:
anti-KT
 $p_T^{\min} = 20.0 \text{ GeV}$
 $|\eta|^{\max} = 5.0$
 $R = 0.5$

Информация о смоделированных процессах и условия отбора событий

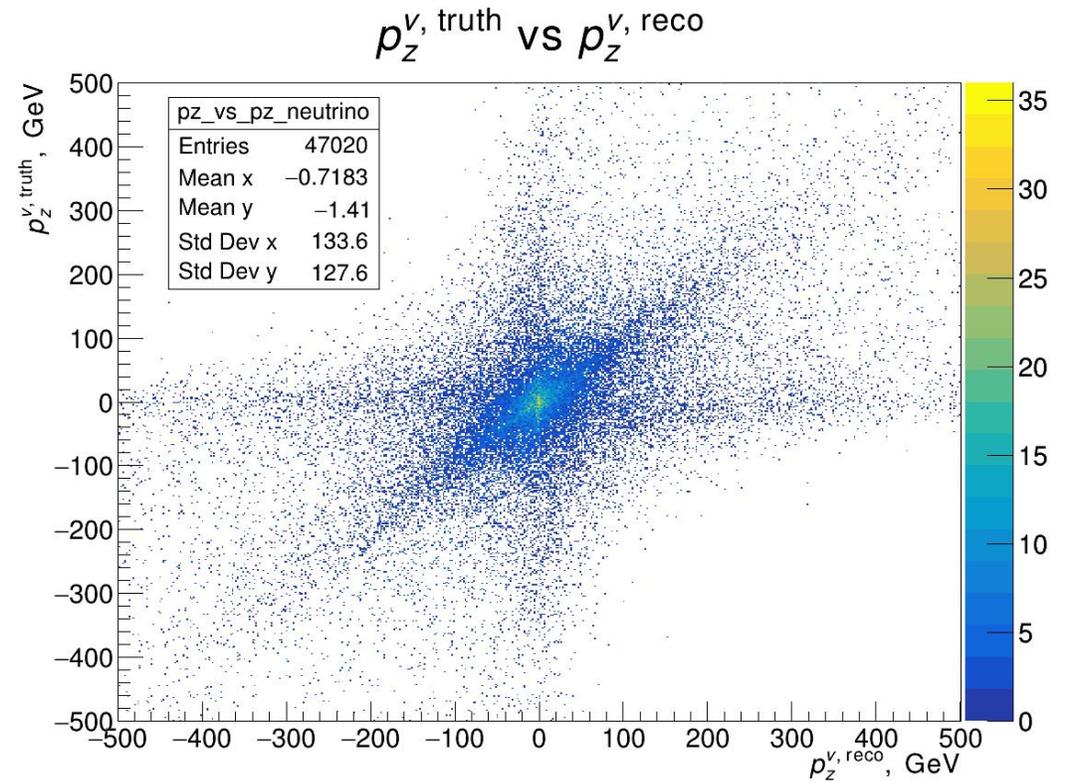
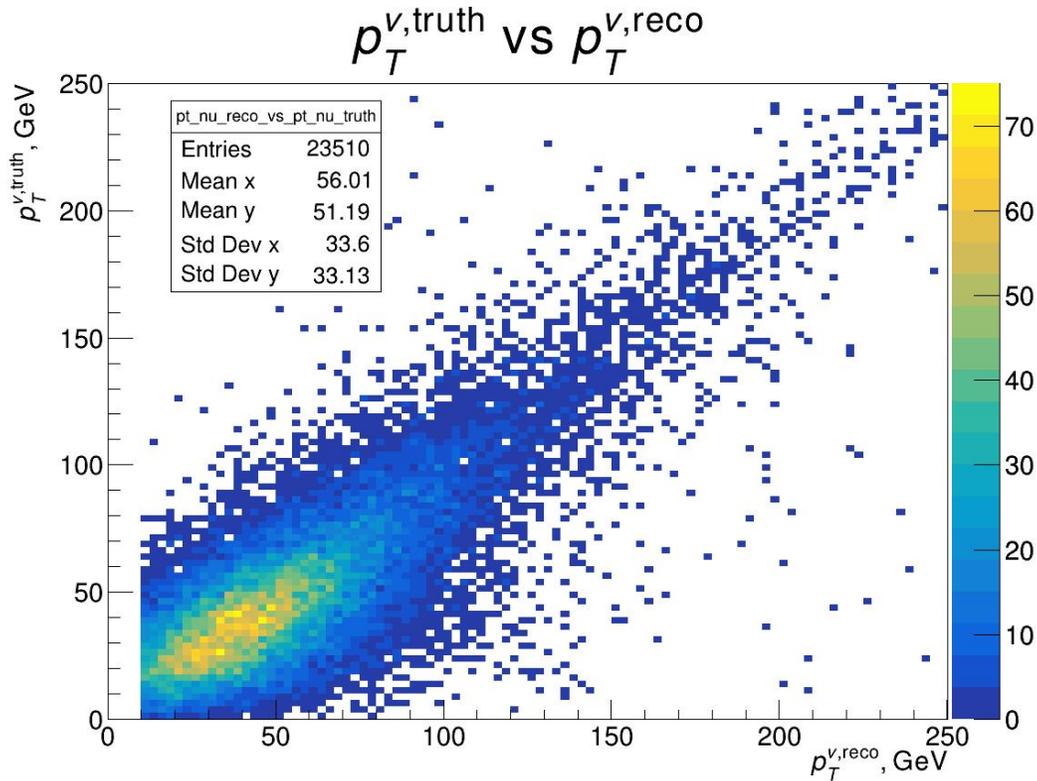
Процесс	Сгенерировано событий	$3 \leq N^{\text{b-jets}} \leq 4$	$p_T^{\text{lead}} > 27 \text{ GeV}$ $p_T^{\text{v, reco}} \geq 10 \text{ GeV}$ $ \eta ^{\text{lead}} \leq 2.7$
tHbq	100 000	31 303	23 510
ttZ	100 000	38 336	26 059
ttH	100 000	38 148	26 862
ttbb	100 000	16 236	11 096
tt	1 000 000	10 933	7308
tZbq	100 000	25 838	16 334

Реконструкция нейтрино

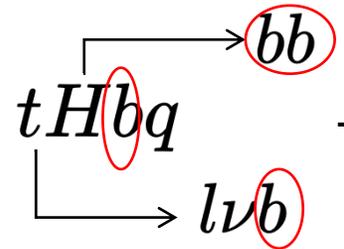


Формула для расчета z-компоненты импульса нейтрино:
$$P_{Z,\nu}^{\pm} = \frac{1}{P_{T,l}^2} \left(\mu P_{Z,l} \pm E_l \sqrt{\mu^2 - P_{T,l}^2 (E_T^{miss})^2} \right),$$

где
$$\mu = \frac{m_W^2}{2} + P_{X,l} E_T^{miss,x} + P_{Y,l} E_T^{miss,y}; \quad m_W = 80.35 \text{ GeV}$$



Алгоритм реконструкции масс топ-кварка и бозона Хиггса



$b_1^{jet}, b_2^{jet}, b_3^{jet}$
 Если число b-струй равно
 четырем, то отбираются три
 из них с наибольшим p_T

$$\left[\begin{aligned} m_H^{reco} &= b_i^{jet} + b_j^{jet} & i, j, k = 1, 3 \\ m_t^{reco} &= l + \nu^{reco, \pm} + b_k^{jet} & i \neq j \neq k \end{aligned} \right.$$

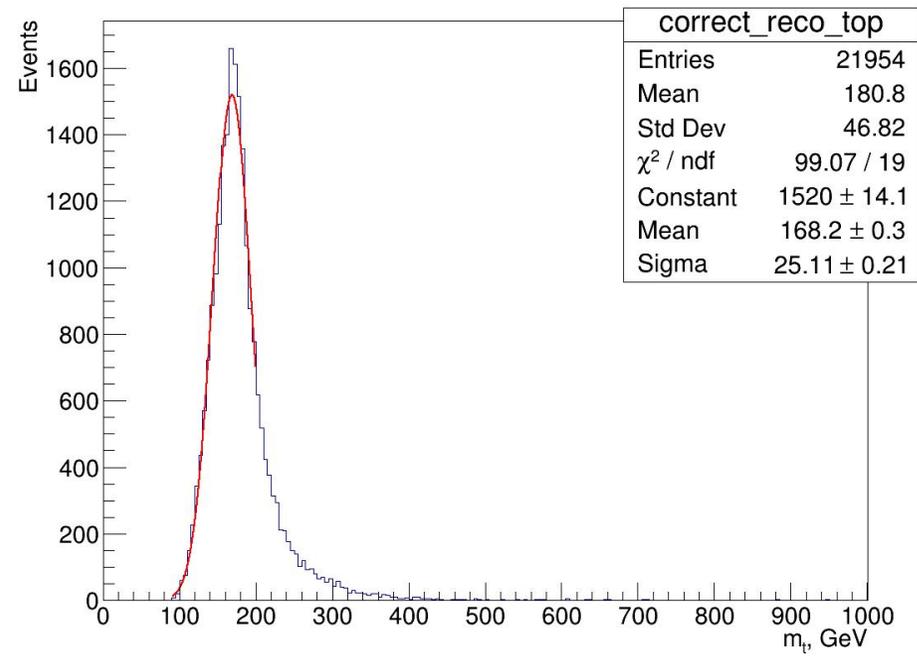
шесть
 комбинаций с
 учетом двух
 решений для
 нейтрино

Отбор лучшей комбинации:

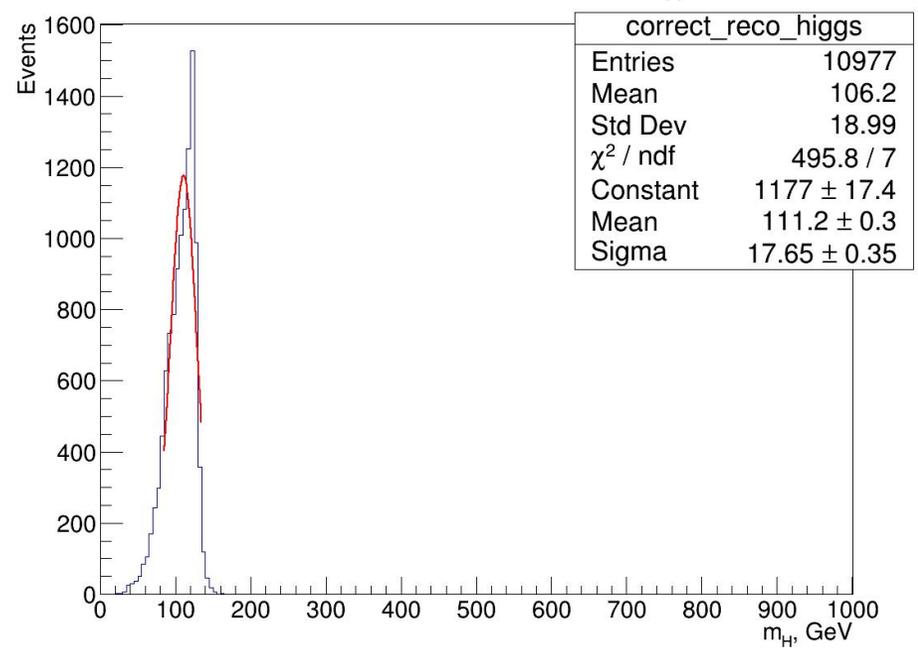
$$\chi^2 = \left(\frac{m_{bb} - m_H}{\sigma_H} \right)^2 + \left(\frac{m_{bl\nu} - m_t}{\sigma_t} \right)^2 \rightarrow min$$

Параметры $m_H, m_t, \sigma_H, \sigma_t$
 берутся из фита
 правильной
 комбинации

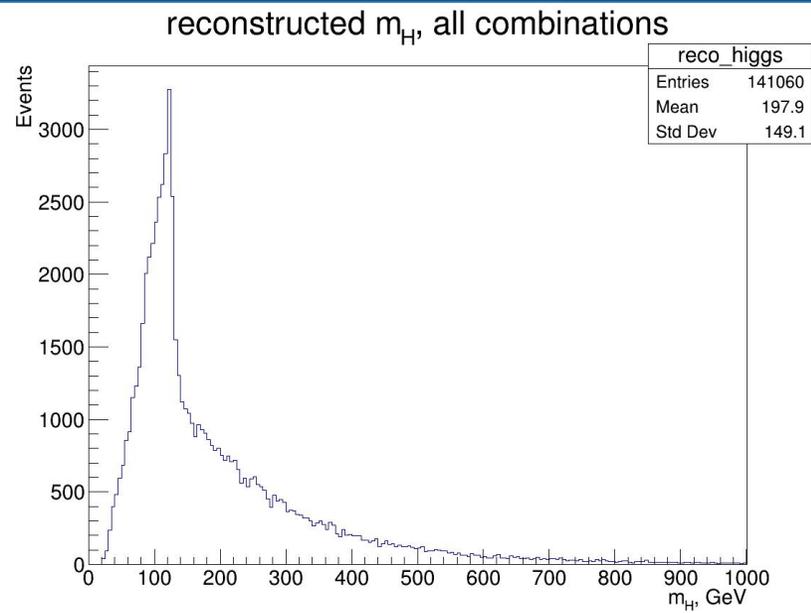
correct reconstructed m_t , all combination



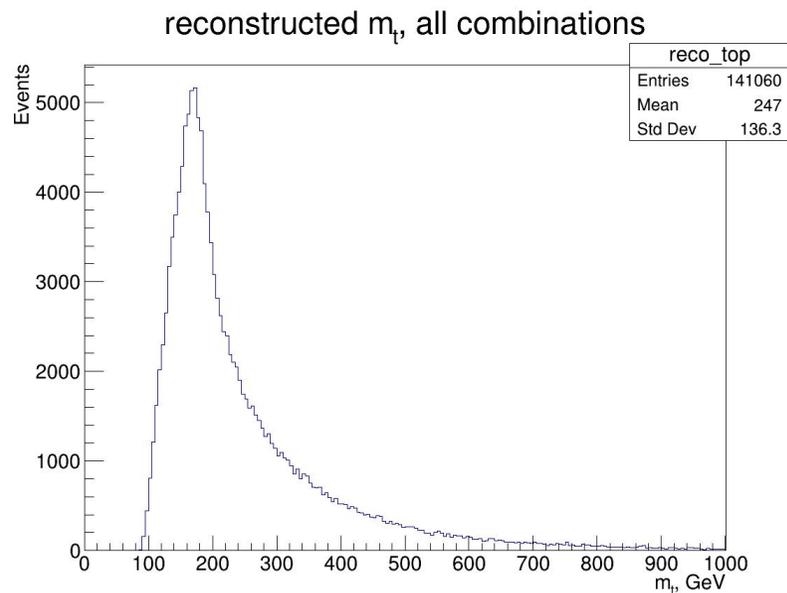
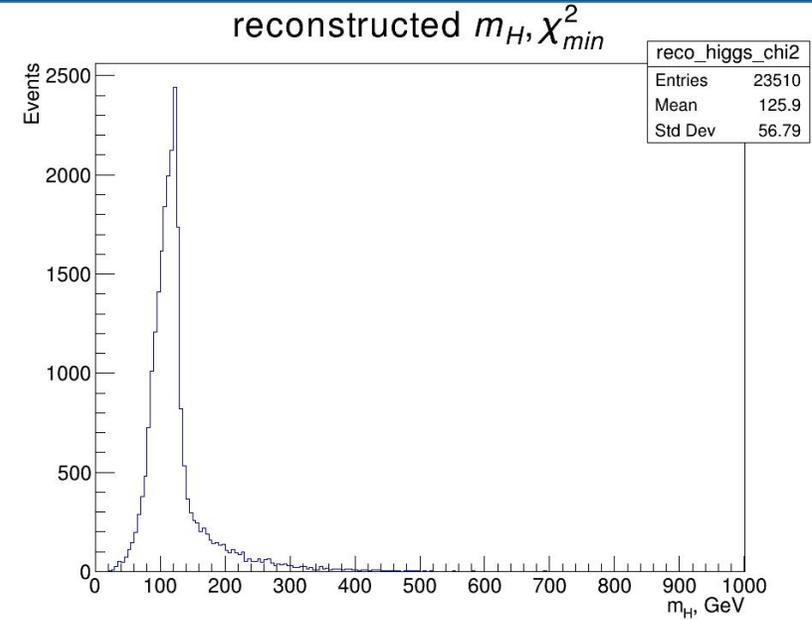
correct reconstructed m_H



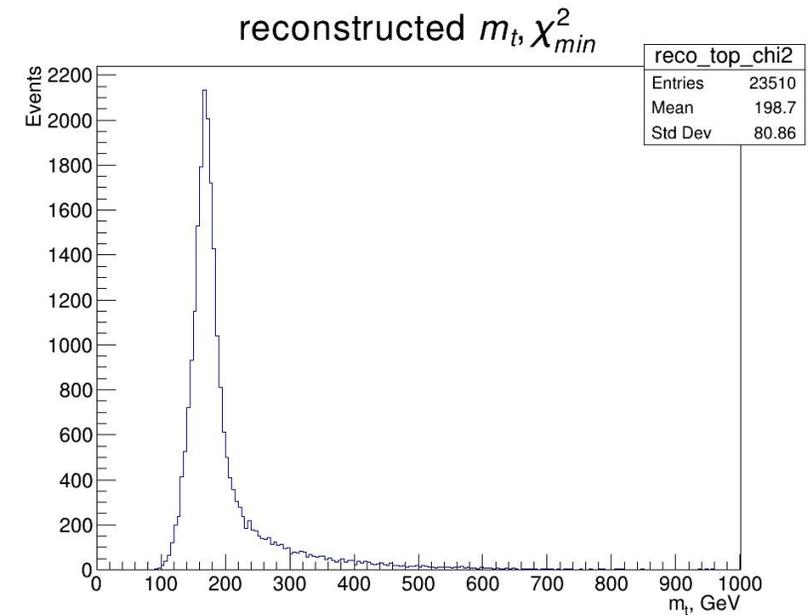
Реконструированные массы топ-кварка и бозона Хиггса для сигнального процесса



χ^2_{min}

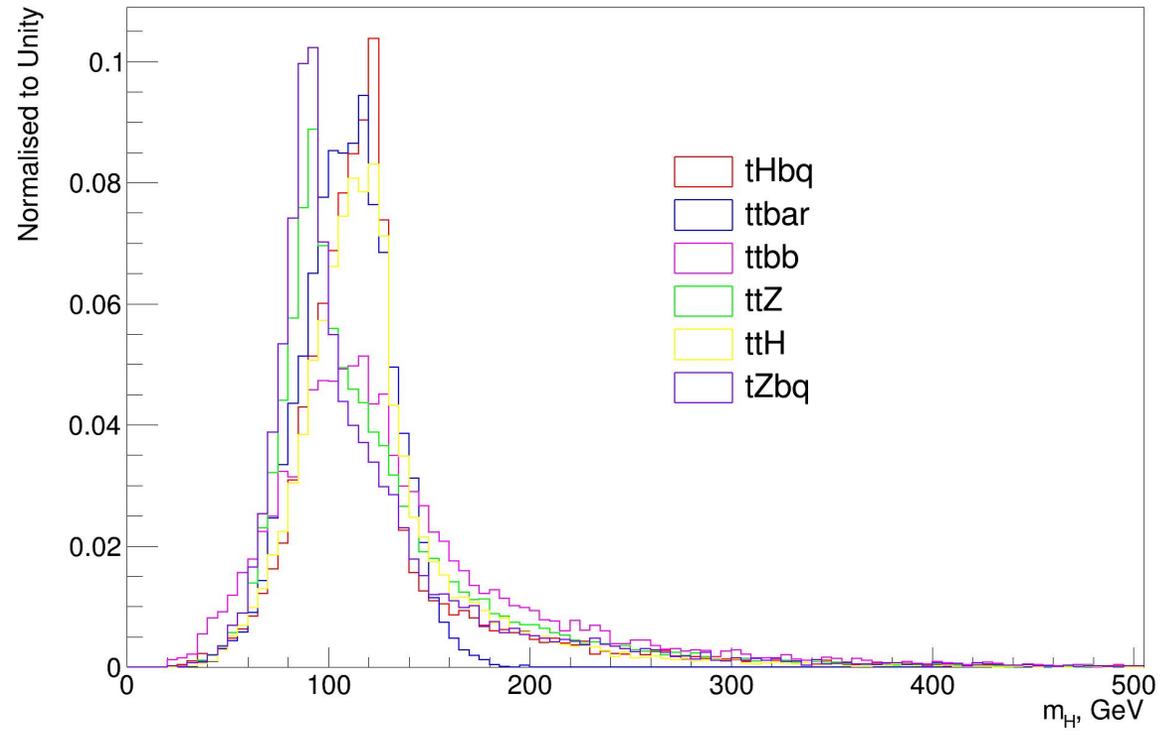


χ^2_{min}

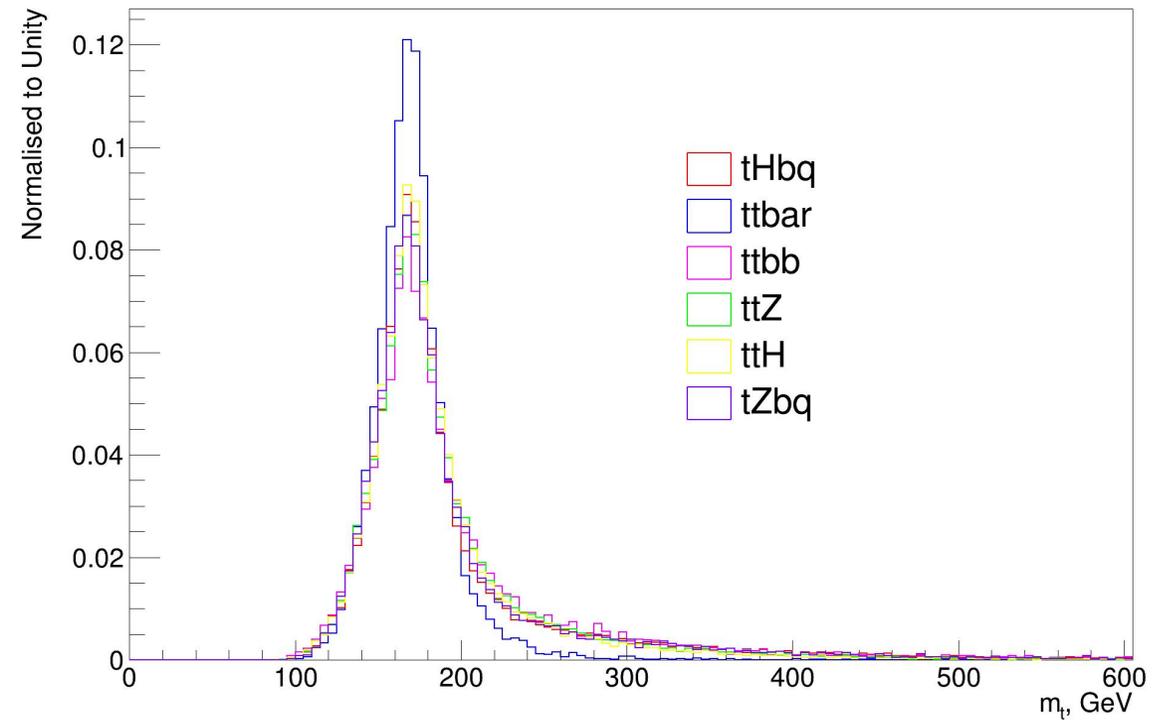


Реконструированные массы топ-кварка и бозона Хиггса для сигнального и фоновых процессов

reconstructed m_H, χ_{min}^2



reconstructed m_t, χ_{min}^2



Заключение

- Получены навыки работы с Монте-Карло генераторами Madgraph и Pythia.
- Проведены моделирование в рамках первого порядка теории возмущения (LO) и первичная реконструкция сигнального ($t\bar{t}bq$) и фонового ($t\bar{t}$, $t\bar{t}b\bar{b}$, $t\bar{t}Z$, $t\bar{t}H$, $t\bar{t}Zbq$) процессов.

Дальнейший план работы:

- Вычислить чувствительные к отбору событий сигнального процесса переменные и создать базу данных для тестирования нейронной сети.
- Довести статистику до уровня, пригодного для тренировки нейронной сети.
- Смоделировать и провести первичную реконструкцию тех же самых процессов в более высоком порядке теории возмущения (NLO).

Спасибо за внимание

BACK-UP

$$m_W^2 = (p_{lead} + p_\nu)^2 \leftarrow \begin{array}{l} \text{закон сохранения} \\ \text{четыре-импульса W-} \\ \text{бозона} \end{array}$$

$$P_{Z,\nu}^\pm = \frac{1}{P_{T,l}^2} \left(\mu P_{Z,l} \pm E_l \sqrt{\mu^2 - P_{T,l}^2 (E_T^{miss})^2} \right)$$

$$\mu = \frac{m_W^2}{2} + P_{X,l} E_T^{miss,x} + P_{Y,l} E_T^{miss,y}; \quad m_W = 80.35 \text{ GeV}$$

$$E_T^{miss,x} = - \sum p_{\text{charged lepton}}^x - \sum p_{\text{jet}}^x \quad E_T^{miss,y} = - \sum p_{\text{charged lepton}}^y - \sum p_{\text{jet}}^y$$

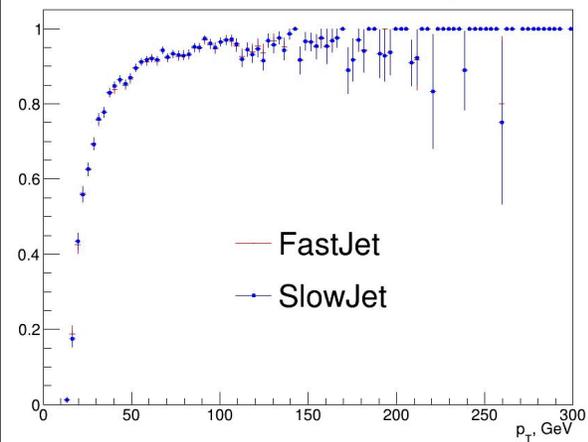
$$E_T^{miss} = \sqrt{E_T^{miss,x2} + E_T^{miss,y2}} \leftarrow \text{импульс нейтрино}$$

$$\left. \begin{array}{l} p_{\nu,1} = Vec4(E_T^{miss,x}, E_T^{miss,y}, p_{z,\nu}^+, \sqrt{E_T^{miss2} + p_{z,\nu}^{+2}}) \\ p_{\nu,2} = Vec4(E_T^{miss,x}, E_T^{miss,y}, p_{z,\nu}^-, \sqrt{E_T^{miss2} + p_{z,\nu}^{-2}}) \end{array} \right\}$$

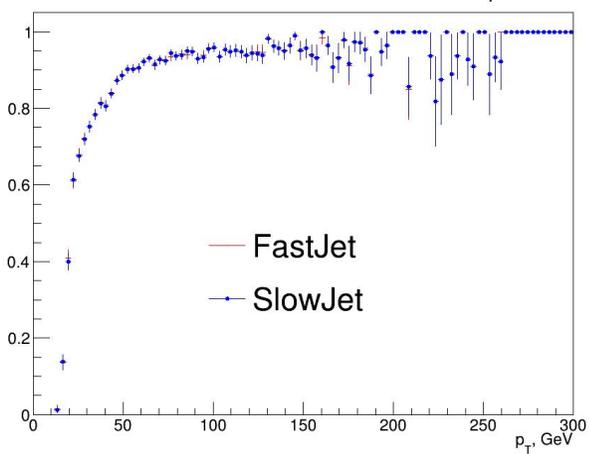
два решения для
импульса нейтрино

FastJet vs SlowJet

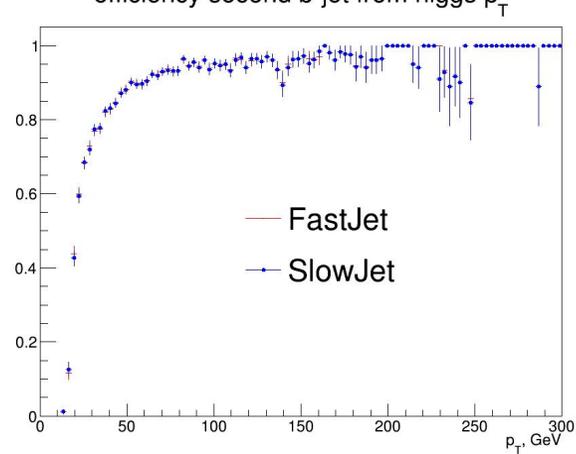
efficiency b-jet from top p_T



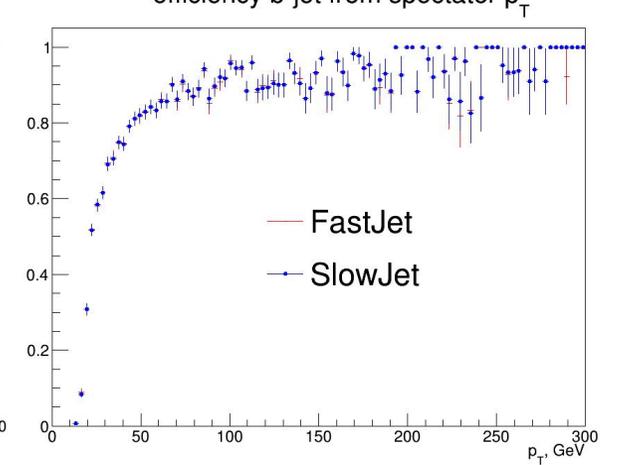
efficiency first b-jet from higgs p_T



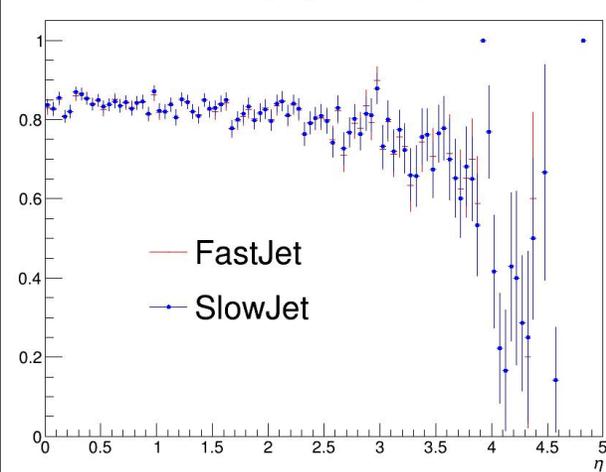
efficiency second b-jet from higgs p_T



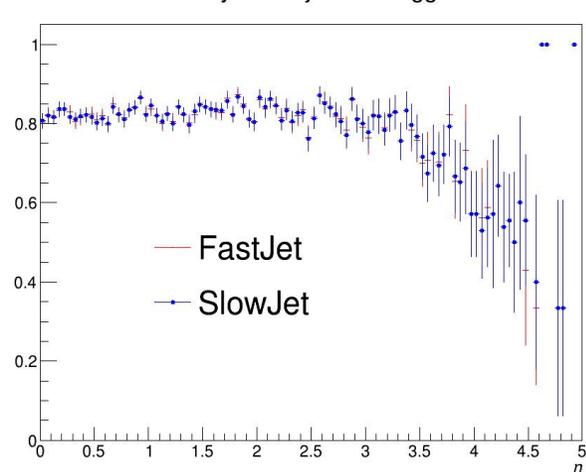
efficiency b-jet from spectator p_T



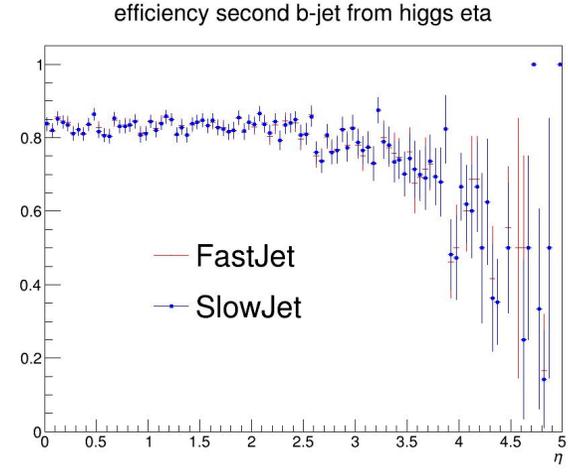
efficiency b-jet from top eta



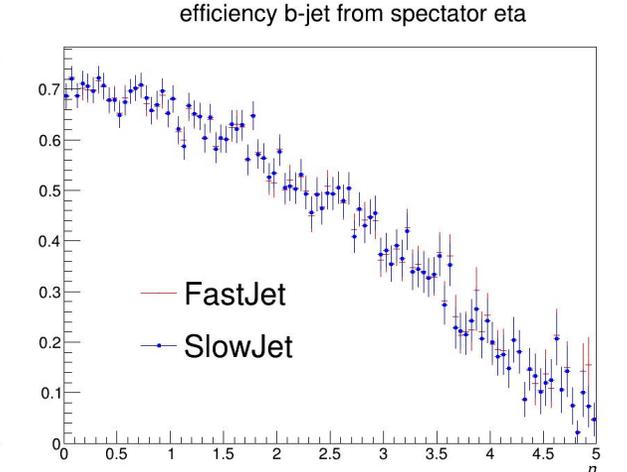
efficiency first b-jet from higgs eta



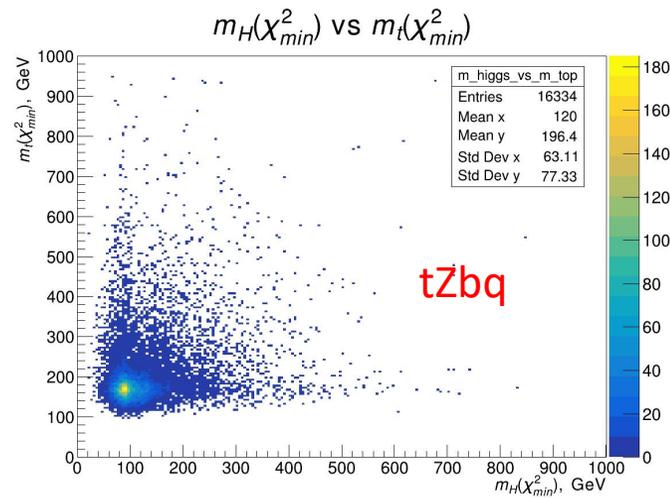
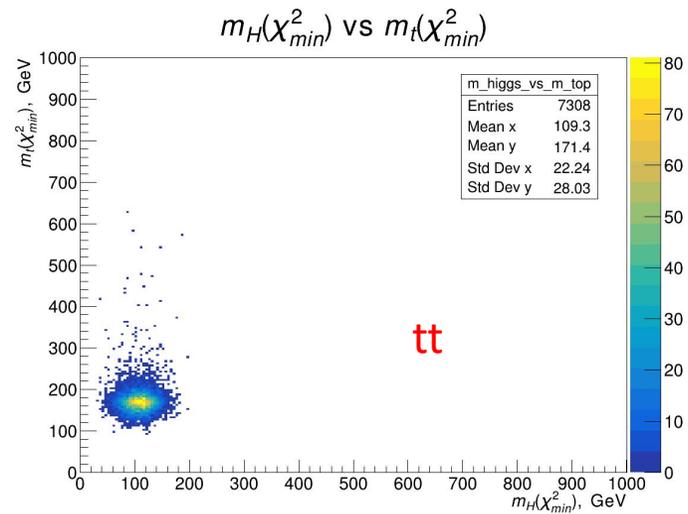
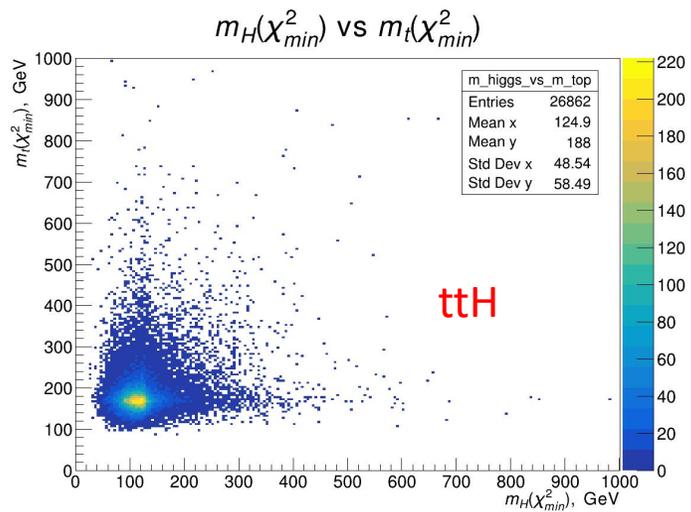
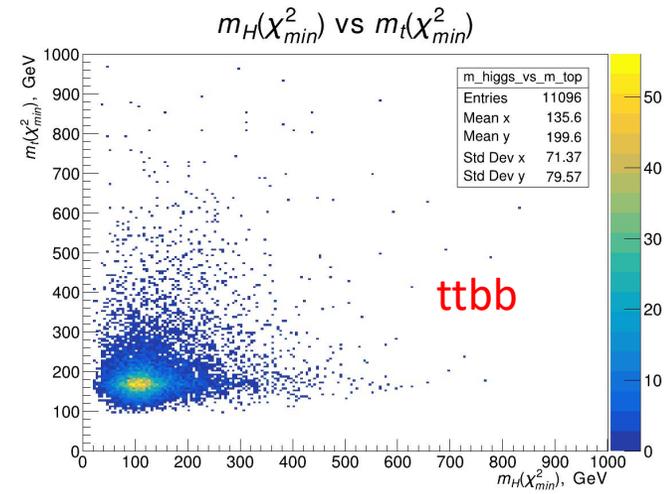
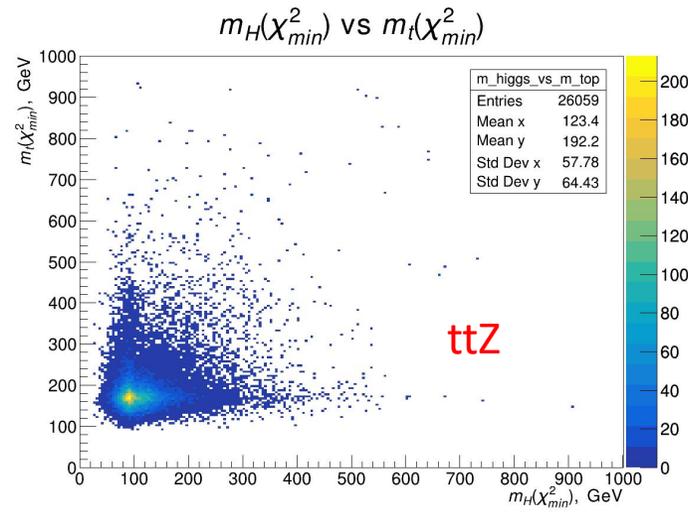
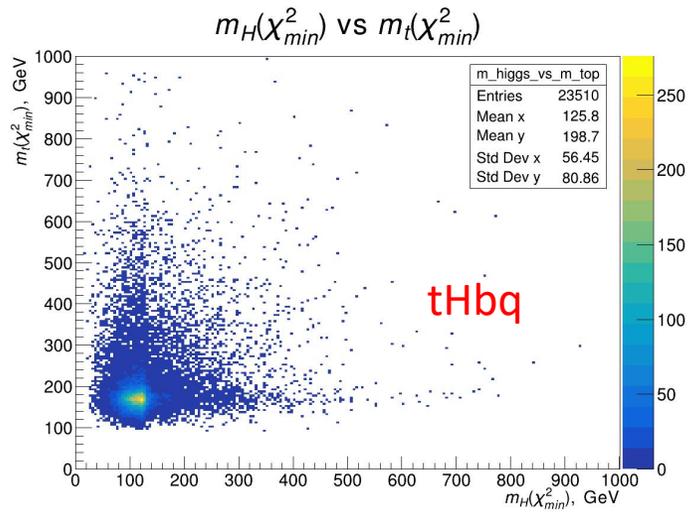
efficiency second b-jet from higgs eta



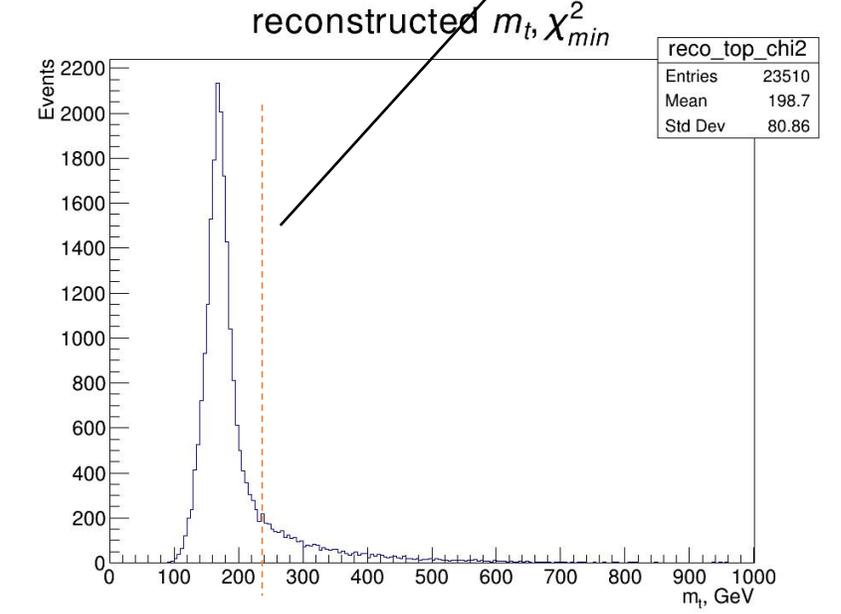
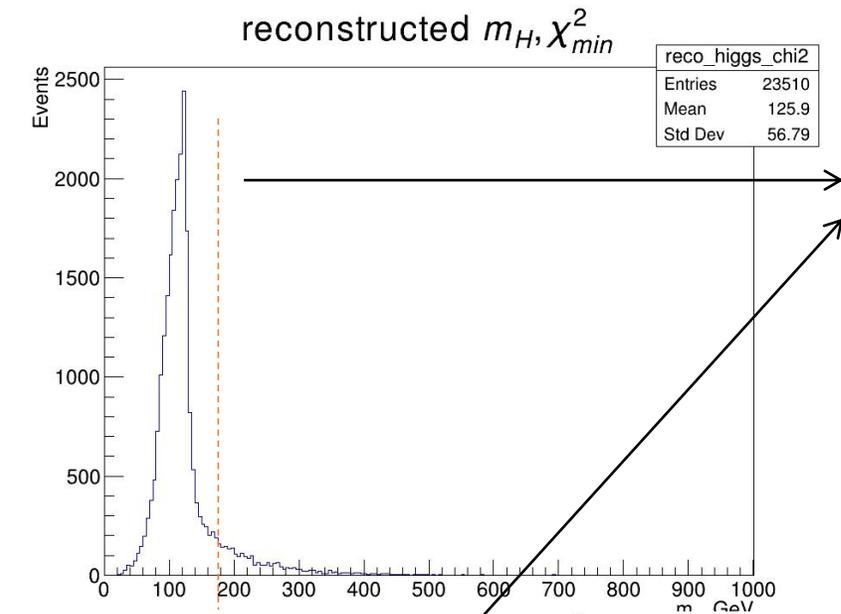
efficiency b-jet from spectator eta



Двумерные распределения по реконструированной массе бозона Хиггса и топ-кварка



Хвосты в распределениях реконструированной масса бозона Хиггса и топ-кварка для сигнального процесса



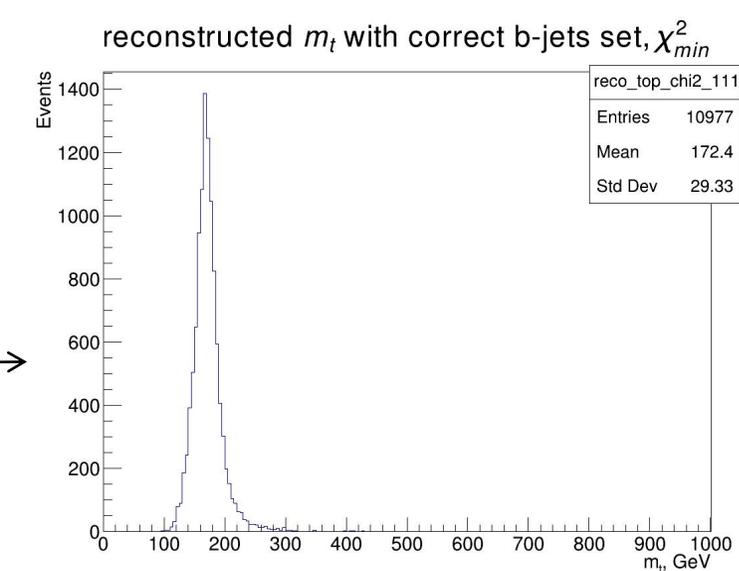
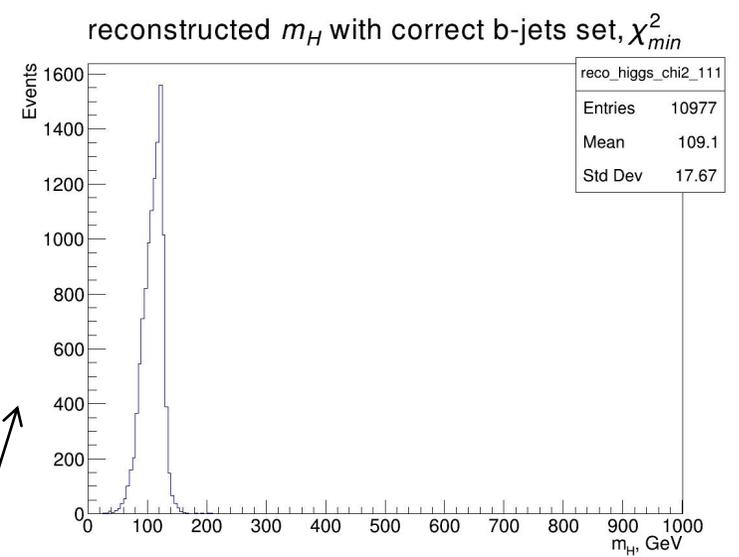
Откуда хвосты ?

↓

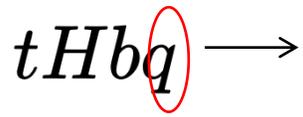
Примерно в половине отобранных событий набор трех b-струй, из которых восстанавливаются массы бозона Хиггса и топ-кварка, содержат b-струю от кварка-спектатора

↓

Что будет, если рассматривать только события с корректным набором b-струй?



Критерий χ^2 не отбирает в этом случае неправильные массы

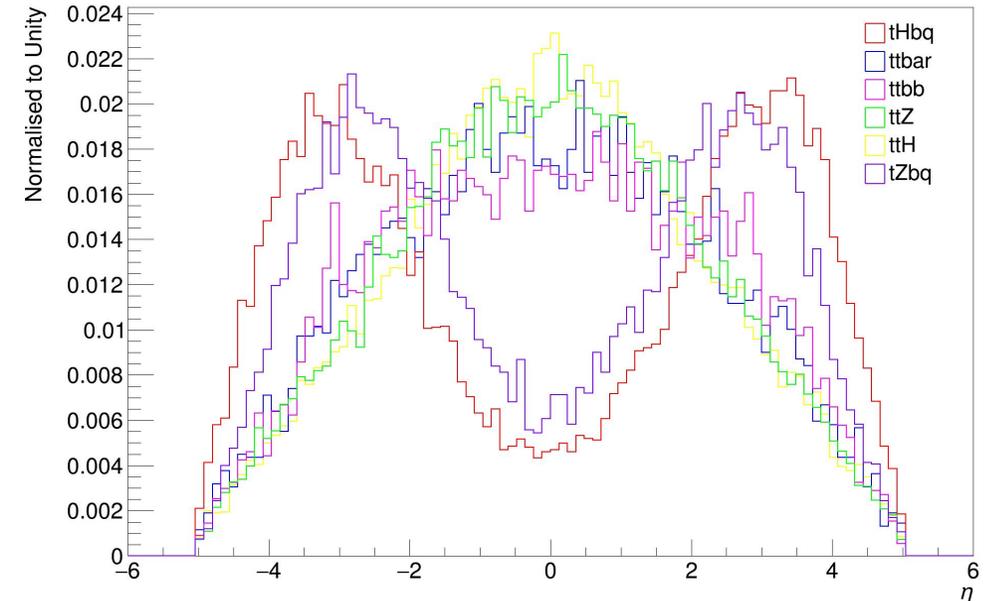
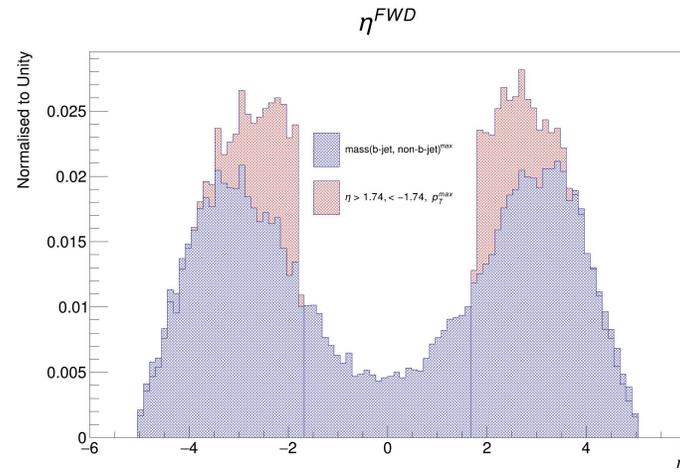
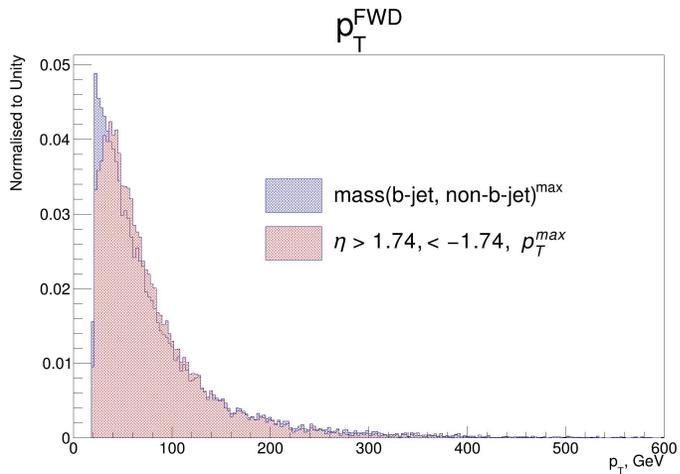


Струя, порожденная кварком-спектатором может быть использована для выделения сигнального процесса

- 1) $p_T^{FWD} > 30 \text{ GeV}, |\eta^{FWD}| > 1.74$ ← Классический алгоритм поиска
- 2) $m(bjet^{lep. top}, non-bjet)^{max}$ ← Альтернативный алгоритм поиска

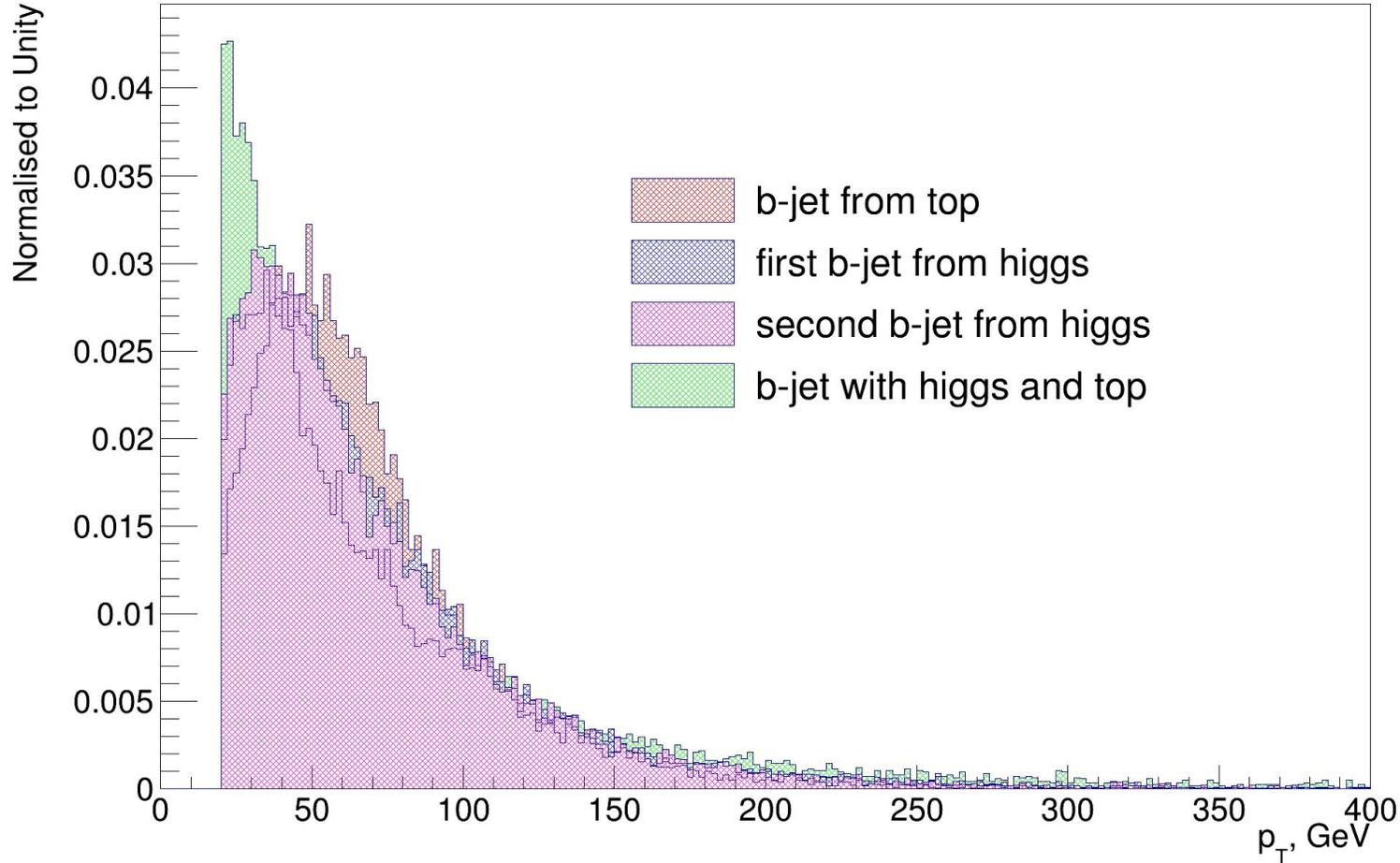
Распределения по поперечному импульсу и псевдобыстроте передней струи для сигнального процесса для обоих методов

Распределения по псевдобыстроте передней струи для всех смоделированных процессов

$$\eta^{FWD}$$


Выбор альтернативного метода улучшает разрешающую способность

p_T b-jets



Если в событие число b-струй равно четырем, то выбор трех из них с наибольшим поперечным импульсом должен исключить b-струю от зрителя, так как у нее преимущественно наименьший поперечный импульс среди других b-струй

Набор переменных, наиболее чувствительных к отбору событий сигнального процесса

Название	Определение
M_{3J}	Инвариантная масса трех струй с наибольшим p_T
N_b	Количество струй, порожденных b-кварками
$Sphresity_{all jets}$	Мера равномерности распределения струй в пространстве
$Sphresity_{t\nu}$	Мера равномерности распределения объектов в пространстве
$Aplanarity_{all jets}$	Мера отклонения струй от одной общей плоскости
$\Delta(\eta_{t,FWD})$	Разность псевдобыстрот топ-кварка и передней струи
$Aplanarity_{t\nu}$	Мера отклонения объектов от одной общей плоскости
$\Delta(\eta_{t,H})$	Разность псевдобыстрот топ-кварка и бозона Хиггса
$M_{t,H}$	Восстановленная масса топ-кварка и бозона Хиггса
M_H	Восстановленная масса бозона Хиггса
fwm_{nujet1}	Первый момент Фокса-Вольфрама, составленный из импульсов объектов
P_t^{FWD}	Поперечный импульс передней струи
$M_{H,FWD}$	Инвариантная масса бозона Хиггса и передней струи
$M_{H, cen. jet}$	Инвариантная масса бозона Хиггса и центральной легкой струи
η^{FWD}	Псевдобыстрота передней струи
χ^{min}	Качество (критерий χ^2) определения масс бозона Хиггса и топ-кварка
M_t	Восстановленная масса топ-кварка

Q_{lep}	Заряд лептона с наибольшим p_T
$\Delta(R_{qqW})$	Угол между струями от адронного распада W -бозона
N_{nonb}	Количество струй, порожденных кварками, отличных от b-кварка
$fwm2$	Второй момент Фокса-Вольфрама, составленный из импульсов струй
RapGap_maxptb	Разность псевдобыстрот передней струи и b-струи с наибольшим p_T
RapGap_closetb	Разность псевдобыстрот передней струи и ближайшей к ней b-струи
$P_{nonb_max}^t$	Наибольший поперечный импульс среди легких струй
W_T_m	Поперечная масса всех струй
M_{FWD}	Инвариантная масса передней струи и топ-кварка
η_{lep}	Псевдобыстрота лептона с наибольшим p_T
E_{b2}	Энергия третьей по поперечному импульсу b-струи
$\Delta(\phi_{t,H})$	Разность азимутальных углов топ-кварка и бозона Хиггса
HT_alljets	Алгебраическая сумма поперечных импульсов всех струй
$\Delta(\eta_{H,FWD})$	Разность псевдобыстрот бозона Хиггса и передней струи
P_H^t	Восстановленный поперечный импульс бозона Хиггса
P_{b0}^t	Поперечный импульс b-струи с наибольшим p_T
P_{b1}^t	Поперечный импульс второй по p_T b-струи
η_H	Восстановленная псевдобыстрота бозона Хиггса
η_{b1}	Псевдобыстрота второй по p_T b-струи
M_{b0}	Инвариантная масса передней струи и b-струи с наибольшим p_T