

Поиск аномальных вершин на основе процессов рождения пар электрослабых нейтральных бозонов в данных pp -столкновений с энергией 13 ТэВ в эксперименте ATLAS

Артур Семушин

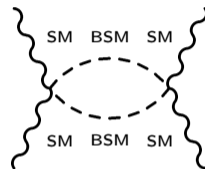
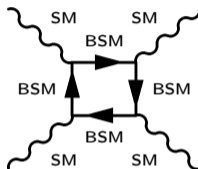
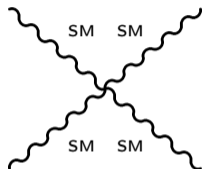
НИЯУ МИФИ

29.06.2022

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Солдатов Е.Ю.

Мотивация: аномальные вершины и эффективная теория поля

Аномальные вершины — косвенные проявления физики вне СМ.



Эффективная теория поля — модельнонезависимый подход для косвенного поиска новой физики. Параметризация лагранжиана операторами высших размерностей:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \mathcal{L}_5 + \mathcal{L}_6 + \mathcal{L}_7 + \mathcal{L}_8 + \dots = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \sum_{d>4} \sum_i \frac{f_i^{(d)}}{\Lambda^{d-4}} \mathcal{O}_i^{(d)}. \quad (1)$$

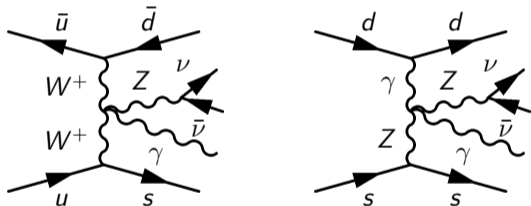
Λ — энергетический масштаб новой физики,

$f_i^{(d)}/\Lambda^{d-4}$ — коэффициент Вильсона перед i -м оператором размерности d .

Мотивация: электрослабое рождение Z -бозона с фотоном

Сигнальный процесс: $pp \rightarrow \nu\bar{\nu}\gamma jj$.

Сигнатура: фотон с большой поперечной энергией E_T^γ , большой потерянный поперечный импульс E_T^{miss} , 2 (или более) струи.



Данный процесс обладает высокой чувствительностью к аномальным четверным бозонным вершинам.

Модель для исследования аномальных четверных бозонных вершин:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \sum_i \frac{f_i}{\Lambda^4} \mathcal{O}_i$$

Бозонные операторы нечетных размерностей запрещены.

Операторы размерности 8 позволяют исследовать аномальные четверные вершины без вклада тройных.

$$\mathcal{O}_{T0} = \text{Tr} [\hat{W}_{\mu\nu} \hat{W}^{\mu\nu}] \text{Tr} [\hat{W}_{\alpha\beta} \hat{W}^{\alpha\beta}]$$

$$\mathcal{O}_{M0} = \text{Tr} [\hat{W}_{\mu\nu} \hat{W}^{\mu\nu}] [(D_\beta \Phi)^\dagger D^\beta \Phi]$$

Рассматриваемые в работе коэффициенты: f_{T0}/Λ^4 , f_{T5}/Λ^4 , f_{T8}/Λ^4 , f_{T9}/Λ^4 , f_{M0}/Λ^4 , f_{M1}/Λ^4 , f_{M2}/Λ^4 .

Цель и задачи

Цель: разработка методов и осуществление косвенного поиска новой физики на основе процесса рождения Z -бозона с фотоном в формализме эффективной теории поля.

Задачи:

- разработка методики и постановка одномерных пределов на коэффициенты Вильсона с использованием данных второго сеанса работы эксперимента ATLAS (pp -столкновения, $\sqrt{s} = 13$ ТэВ, 139 фб^{-1});
- исследование способов повышения чувствительности и уточнения пределов на коэффициенты Вильсона.

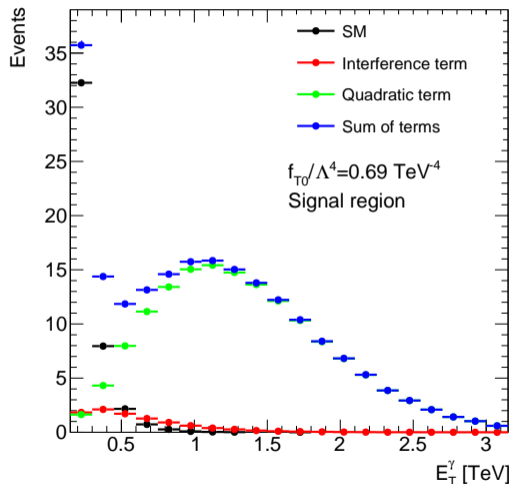
Метод декомпозиции

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{f}{\Lambda^4} \mathcal{O}$$

$$\mathcal{A} = \mathcal{A}_{\text{SM}} + \frac{f}{\Lambda^4} \mathcal{A}_{\text{BSM}}$$

$$|\mathcal{A}|^2 = |\mathcal{A}_{\text{SM}}|^2 + \frac{f}{\Lambda^4} 2\text{Re}(\mathcal{A}_{\text{SM}}^\dagger \mathcal{A}_{\text{BSM}}) + \frac{f^2}{\Lambda^8} |\mathcal{A}_{\text{BSM}}|^2$$

Для моделирования отдельных слагаемых используется MADGRAPH5.



Нарушение унитарности, клиппинг и границы унитарности

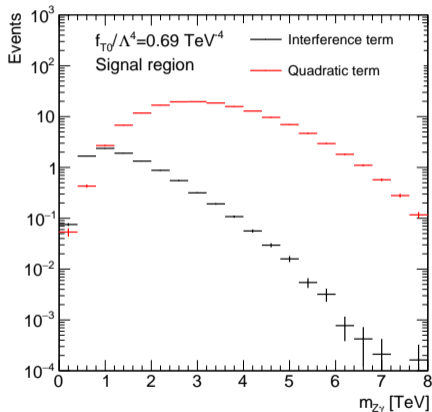
Унитарность S -матрицы: $S^\dagger S = 1$.

При использовании эффективной теории унитарность нарушается. Проявление — неограниченный рост сечения с энергией.

Клиппинг — обрезание вкладов новой физики с энергией, большей некоторой энергии клиппинга (обрезания) E_c .
Обрезаемая энергия — инвариант рассеяния бозонов $m_{Z\gamma}$.

Границы унитарности — теоретические ограничения на коэффициенты, получаемые из условия унитарности парциальных волн.

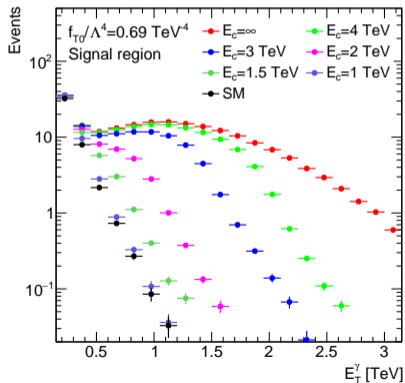
Пример: $|f_{T0}/\Lambda^4| < (12/5)\pi s^{-2}$.



Оптимизация фазового пространства

E_T^γ — одна из самых чувствительных переменных.

Процедуры клиппинга и оптимизации скоррелированы.



E_c , ТэВ	∞	1.7
$E_T^\gamma > 150$ ГэВ	[-0.71; 0.66]	[-2.6; 2.2]
$E_T^\gamma > 300$ ГэВ	[-0.39; 0.35]	[-1.5; 1.2]
$E_T^\gamma > 400$ ГэВ	[-0.27; 0.25]	[-1.12; 0.89]
$E_T^\gamma > 500$ ГэВ	[-0.22; 0.19]	[-0.95; 0.77]
$E_T^\gamma > 600$ ГэВ	[-0.18; 0.16]	[-0.89; 0.73]
$E_T^\gamma > 700$ ГэВ	[-0.15; 0.14]	[-0.93; 0.8]
$E_T^\gamma > 800$ ГэВ	[-0.14; 0.12]	[-1.06; 0.95]
$E_T^\gamma > 900$ ГэВ	[-0.13; 0.12]	[-1.3; 1.2]
$E_T^\gamma > 1000$ ГэВ	[-0.12; 0.11]	[-1.6; 1.5]
$E_T^\gamma > 1100$ ГэВ	[-0.12; 0.11]	—
$E_T^\gamma > 1200$ ГэВ	[-0.12; 0.11]	—
$E_T^\gamma > 1300$ ГэВ	[-0.13; 0.12]	—

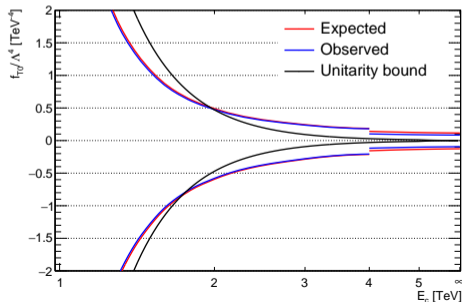
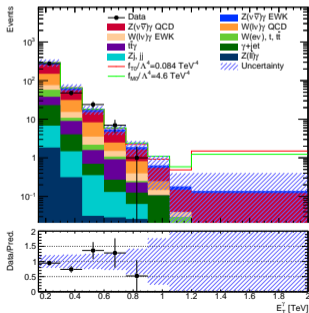
Результаты:

- $E_T^\gamma > 900$ ГэВ для неунитаризованных,
- $E_T^\gamma > 600$ ГэВ для унитаризованных (Т-семейство),
- $E_T^\gamma > 400$ ГэВ для унитаризованных (М-семейство),

Результаты в полной модели

Коэф.	Наблюд., ТэВ ⁻⁴	Ожид., ТэВ ⁻⁴
f_{T0}/Λ^4	[-0.094; 0.084]	[-0.13; 0.12]
f_{T5}/Λ^4	[-0.088; 0.099]	[-0.12; 0.13]
f_{T8}/Λ^4	[-0.059; 0.059]	[-0.081; 0.080]
f_{T9}/Λ^4	[-0.13; 0.13]	[-0.17; 0.17]
f_{M0}/Λ^4	[-4.6; 4.6]	[-6.2; 6.2]
f_{M1}/Λ^4	[-7.7; 7.7]	[-10; 10]
f_{M2}/Λ^4	[-1.9; 1.9]	[-2.6; 2.6]

Коэф.	E_c , ТэВ	Наблюд., ТэВ ⁻⁴	Ожид., ТэВ ⁻⁴
f_{T0}/Λ^4	1.7	[-0.87; 0.71]	[-0.89; 0.73]
f_{T5}/Λ^4	2.4	[-0.34; 0.42]	[-0.35; 0.43]
f_{T8}/Λ^4	1.7	[-0.52; 0.52]	[-0.53; 0.53]
f_{T9}/Λ^4	1.9	[-0.79; 0.79]	[-0.81; 0.81]
f_{M0}/Λ^4	0.7	[-160; 160]	[-150; 150]
f_{M1}/Λ^4	1.0	[-160; 150]	[-140; 140]
f_{M2}/Λ^4	1.0	[-33; 32]	[-30; 30]



Линейная модель: методы и результаты

$$|\mathcal{A}|^2 = |\mathcal{A}_{\text{SM}}|^2 + \frac{f}{\Lambda^4} 2\text{Re} \mathcal{A}_{\text{SM}}^\dagger \mathcal{A}_{\text{BSM}} + \frac{f^2}{\Lambda^8} |\mathcal{A}_{\text{BSM}}|^2.$$

$f \ll 1, \Lambda \gg E_{\text{current}} \rightarrow$ квадратичное слагаемое может быть отброшено.

Используемые методы:

1. Теоретический предел.

$$N_{Z\gamma} = N_{Z\gamma, \text{SM}} + \frac{f}{\Lambda^4} N_{Z\gamma, \text{int}} \geq 0.$$

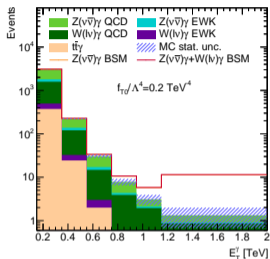
2. Оптимизация по E_T^γ .

$E_T^\gamma > 800$ ГэВ — для Т-семейства,

$E_T^\gamma > 400$ ГэВ — для М-семейства.

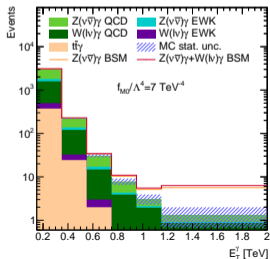
Коэф.	Наблюд., ТэВ ⁻⁴	Ожид., ТэВ ⁻⁴
f_{T0}/Λ^4	[-0.38; 0.84]	[-0.38; 1.35]
f_{T5}/Λ^4	[-0.83; 0.38]	[-1.34; 0.38]
f_{T8}/Λ^4	[-37; 82]	[-37; 133]
f_{T9}/Λ^4	[-57; 126]	[-57; 204]
f_{M0}/Λ^4	[-1140; 950]	[-960; 950]
f_{M1}/Λ^4	[-3100; 3700]	[-3100; 3100]
f_{M2}/Λ^4	[-460; 560]	[-460; 470]

Использования распределения для построения функции правдоподобия



Сравнивались пределы, для получения которых функция правдоподобия строилась двумя разными способами:

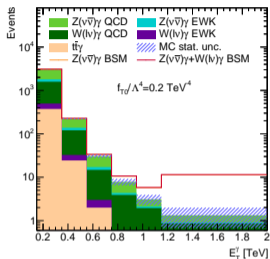
1. На основе одного бина, оптимизированного по E_T^γ .
2. На основе распределения по E_T^γ .



Коэф.	1 бин	Распределение	Уточн.
f_{T0}/Λ^4	[-0.134; 0.129]	[-0.125; 0.119]	7.2%
f_{T5}/Λ^4	[-0.136; 0.141]	[-0.125; 0.132]	7.2%
f_{M0}/Λ^4	[-6.81; 6.81]	[-6.04; 6.04]	11.3%
f_{M2}/Λ^4	[-2.73; 2.73]	[-2.42; 2.42]	11.4%

Пределы указаны в ТэВ^{-4} .

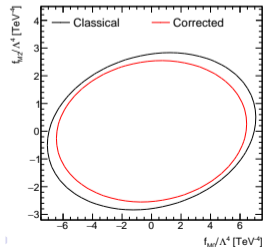
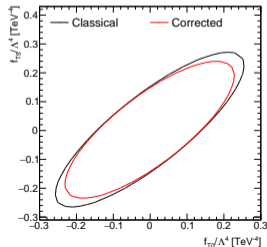
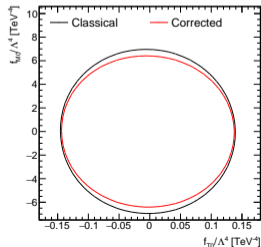
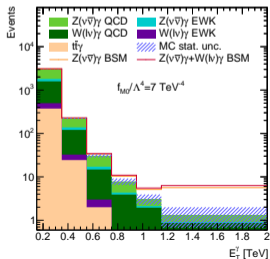
Поправки к пределам от аномальных вкладов в фоновых процессах



Классический подход: аномальные вклады учитываются только для сигнального процесса ($Z(\nu\bar{\nu})\gamma$).

Ненулевой коэффициент Вильсона будет влиять на все процессы \rightarrow поправки к пределам от фоновых процессов ($W(l\nu)\gamma$).

Коэф.	Классич., ТэВ^{-4}	Поправл., ТэВ^{-4}	Уточн.
f_{T0}/Λ^4	[-0.125; 0.119]	[-0.124; 0.118]	0.8%
f_{T5}/Λ^4	[-0.125; 0.132]	[-0.122; 0.129]	2.3%
f_{M0}/Λ^4	[-6.04; 6.04]	[-5.58; 5.57]	7.7%
f_{M2}/Λ^4	[-2.42; 2.42]	[-2.20; 2.20]	9.1%



Заключение

- Поставлены пределы на 7 коэффициентов Вильсона на основе процесса электрослабого рождения Z -бозона с фотоном: в полной модели (неунитаризованные и унитаризованные) и в линейной модели.
- Некоторые из поставленных пределов являются наиболее точными в мире на данный момент.
- Предложены методы уточнения пределов с целью использования их в будущих подобных исследованиях; уточнение пределов составляет 7-11% и 1-9%.

BACK-UP

Базис операторов

$$\mathcal{O}_{T0} = \text{Tr} [\hat{W}_{\mu\nu} \hat{W}^{\mu\nu}] \text{Tr} [\hat{W}_{\alpha\beta} \hat{W}^{\alpha\beta}],$$

$$\mathcal{O}_{T1} = \text{Tr} [\hat{W}_{\alpha\nu} \hat{W}^{\mu\beta}] \text{Tr} [\hat{W}_{\mu\beta} \hat{W}^{\alpha\nu}],$$

$$\mathcal{O}_{T2} = \text{Tr} [\hat{W}_{\alpha\mu} \hat{W}^{\mu\beta}] \text{Tr} [\hat{W}_{\beta\nu} \hat{W}^{\nu\alpha}],$$

$$\mathcal{O}_{T5} = \text{Tr} [\hat{W}_{\mu\nu} \hat{W}^{\mu\nu}] [B_{\alpha\beta} B^{\alpha\beta}],$$

$$\mathcal{O}_{T6} = \text{Tr} [\hat{W}_{\alpha\nu} \hat{W}^{\mu\beta}] [B_{\mu\beta} B^{\alpha\nu}],$$

$$\mathcal{O}_{T7} = \text{Tr} [\hat{W}_{\alpha\mu} \hat{W}^{\mu\beta}] [B_{\beta\nu} B^{\nu\alpha}],$$

$$\mathcal{O}_{T8} = [B_{\mu\nu} B^{\mu\nu}] [B_{\alpha\beta} B^{\alpha\beta}],$$

$$\mathcal{O}_{T9} = [B_{\alpha\mu} B^{\mu\beta}] [B_{\beta\nu} B^{\nu\alpha}].$$

$$\mathcal{O}_{M0} = \text{Tr} [\hat{W}_{\mu\nu} \hat{W}^{\mu\nu}] [(D_\beta \Phi)^\dagger D^\beta \Phi],$$

$$\mathcal{O}_{M1} = \text{Tr} [\hat{W}_{\mu\nu} \hat{W}^{\nu\beta}] [(D_\beta \Phi)^\dagger D^\mu \Phi],$$

$$\mathcal{O}_{M2} = [B_{\mu\nu} B^{\mu\nu}] [(D_\beta \Phi)^\dagger D^\beta \Phi],$$

$$\mathcal{O}_{M3} = [B_{\mu\nu} B^{\nu\beta}] [(D_\beta \Phi)^\dagger D^\mu \Phi],$$

$$\mathcal{O}_{M4} = [(D_\mu \Phi)^\dagger \hat{W}_{\beta\nu} D^\mu \Phi] B^{\beta\nu},$$

$$\mathcal{O}_{M5} = [(D_\mu \Phi)^\dagger \hat{W}_{\beta\nu} D^\nu \Phi] B^{\beta\mu} + \text{h.c.},$$

$$\mathcal{O}_{M7} = [(D_\mu \Phi)^\dagger \hat{W}_{\beta\nu} \hat{W}^{\beta\mu} D^\nu \Phi].$$

$$\mathcal{O}_{S0} = [(D_\mu \Phi)^\dagger D_\nu \Phi] [(D^\mu \Phi)^\dagger D^\nu \Phi],$$

$$\mathcal{O}_{S1} = [(D_\mu \Phi)^\dagger D^\mu \Phi] [(D_\nu \Phi)^\dagger D^\nu \Phi].$$

Влияние операторов на вершины

Оператор	WWWW	WWZZ	WWZ γ	WW $\gamma\gamma$	ZZZZ	ZZZ γ	ZZ $\gamma\gamma$	Z $\gamma\gamma\gamma$	$\gamma\gamma\gamma\gamma$
$\mathcal{O}_{T0}, \mathcal{O}_{T1}, \mathcal{O}_{T2}$	○	○	○	○	○	○	○	○	○
$\mathcal{O}_{T5}, \mathcal{O}_{T6}, \mathcal{O}_{T7}$		○	○	○	○	○	○	○	○
$\mathcal{O}_{T8}, \mathcal{O}_{T9}$					○	○	○	○	○
$\mathcal{O}_{M0}, \mathcal{O}_{M1}, \mathcal{O}_{M7}$	○	○	○	○	○	○	○		
$\mathcal{O}_{M2}, \mathcal{O}_{M3}, \mathcal{O}_{M4}, \mathcal{O}_{M5}$		○	○	○	○	○	○		
$\mathcal{O}_{S0}, \mathcal{O}_{S1}$	○	○			○				

Параметризация амплитуды

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{f}{\Lambda^{d-4}} \mathcal{O}, \quad (2)$$

$$|\mathcal{A}|^2 = |\mathcal{A}_{\text{SM}}|^2 + \frac{f}{\Lambda^{d-4}} 2\text{Re} \mathcal{A}_{\text{SM}}^\dagger \mathcal{A}_{\text{BSM}} + \frac{f^2}{\Lambda^{2(d-4)}} |\mathcal{A}_{\text{BSM}}|^2 \quad (3)$$

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{f_1}{\Lambda^{d-4}} \mathcal{O}_1 + \frac{f_2}{\Lambda^{d-4}} \mathcal{O}_2, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} |\mathcal{A}|^2 = & |\mathcal{A}_{\text{SM}}|^2 + \frac{f_1}{\Lambda^{d-4}} 2\text{Re} \mathcal{A}_{\text{SM}}^\dagger \mathcal{A}_{\text{BSM},1} + \frac{f_2}{\Lambda^{d-4}} 2\text{Re} \mathcal{A}_{\text{SM}}^\dagger \mathcal{A}_{\text{BSM},2} + \\ & + \frac{f_1^2}{\Lambda^{2(d-4)}} |\mathcal{A}_{\text{BSM},1}|^2 + \frac{f_2^2}{\Lambda^{2(d-4)}} |\mathcal{A}_{\text{BSM},2}|^2 + \frac{f_1 f_2}{\Lambda^{2(d-4)}} 2\text{Re} \mathcal{A}_{\text{BSM},1}^\dagger \mathcal{A}_{\text{BSM},2} \end{aligned} \quad (5)$$

Сигнальный регион и фоны

$$\begin{array}{l} N_\gamma = 1, N_{\text{leptons}} = 0, N_{\text{jets}} \geq 2 \\ E_T^\gamma > 150 \text{ ГэВ} \quad E_T^{\text{miss}} > 120 \text{ ГэВ} \\ E_T^{\text{miss}}\text{-significance} > 12 \quad |\Delta\varphi(\vec{p}_T^{\text{miss}}, j)| > 0.3 \\ |\Delta\varphi(\vec{p}_T^{\text{miss}}, \gamma)| > 0.3 \quad \rho_T^{\text{SoftTerm}} < 16 \text{ ГэВ} \\ m_{jj} > 300 \text{ ГэВ} \quad \zeta_\gamma < 0.6 \end{array}$$

Процесс	Вклад
$Z\gamma$ EWK	12%
$Z\gamma$ QCD	37%
$W\gamma$ QCD	25%
$W\gamma$ EWK	6%
$W(e\nu), t, t\bar{t}$	6%
$t\bar{t}\gamma$	6%
γ +jet	5%
Zj, jj	2%
$Z(l\bar{l})\gamma$	1%

Статистический метод

μ — вектор параметров интереса, θ — вектор несущественных параметров, реализующих неопределенности.

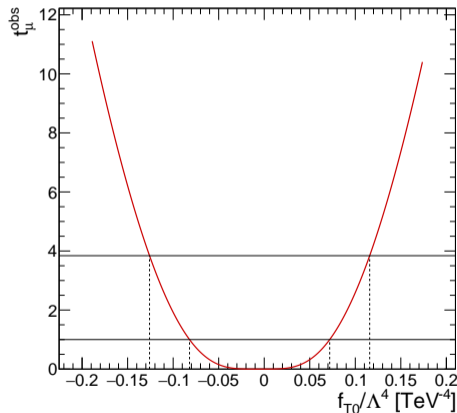
Тестовая статистика: $t_\mu = -2 \ln \frac{L(\mu, \hat{\theta}(\mu))}{L(\hat{\mu}, \hat{\theta})}$.

Метод CL_{s+b} : доверительный интервал на уровне доверия 95% — область в пространстве параметров интереса μ , в которой

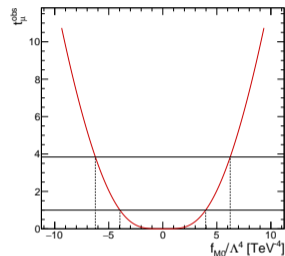
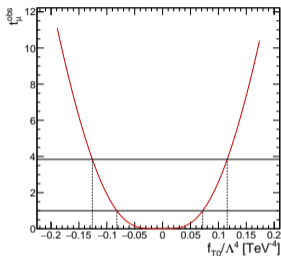
$$p_\mu = \int_{t_\mu^{\text{obs}}}^{\infty} f(t_\mu | \mu) dt_\mu > 0.05.$$

В пределе большой выборки распределение тестовой статистики $f(t_\mu | \mu)$ сходится к распределению $\chi^2_{\text{dim}(\mu)}$.

Нахождение одномерных пределов (95% CL) сводится к условию $t_\mu^{\text{obs}} = 3.84$.



Применимость асимптотического распределения



Отбор	Ожидание СМ	Данные	Асимпт., ТэВ^{-4}	Псевдоэксп., ТэВ^{-4}
$E_T^\gamma > 150 \text{ ГэВ}$	375	356	$[-0.880; 0.794]$	$[-0.873; 0.784]$
$E_T^\gamma > 400 \text{ ГэВ}$	36.8	41	$[-0.372; 0.315]$	$[-0.374; 0.313]$
$E_T^\gamma > 600 \text{ ГэВ}$	8.12	8	$[-0.203; 0.167]$	$[-0.205; 0.167]$
$E_T^\gamma > 800 \text{ ГэВ}$	1.89	1	$[-0.127; 0.102]$	$[-0.125; 0.102]$
$E_T^\gamma > 900 \text{ ГэВ}$	0.919	0	$[-0.105; 0.084]$	$[-0.103; 0.081]$

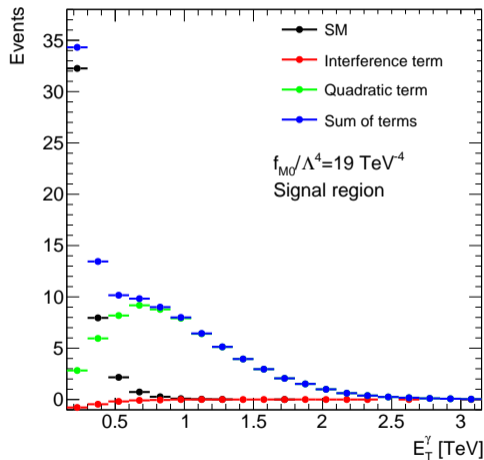
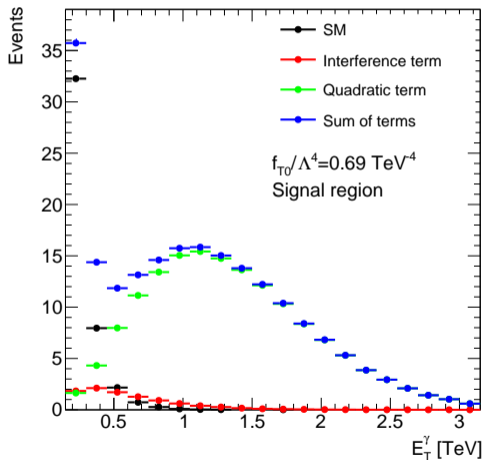
Функция правдоподобия

$$L(\mu, \theta) = \prod_i \frac{(N_{\text{pred}}^i(\mu, \theta))^{N_{\text{data}}^i}}{N_{\text{data}}^i!} e^{-N_{\text{pred}}^i(\mu, \theta)} \times \prod_j \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\theta_j^2/2}, \quad (6)$$

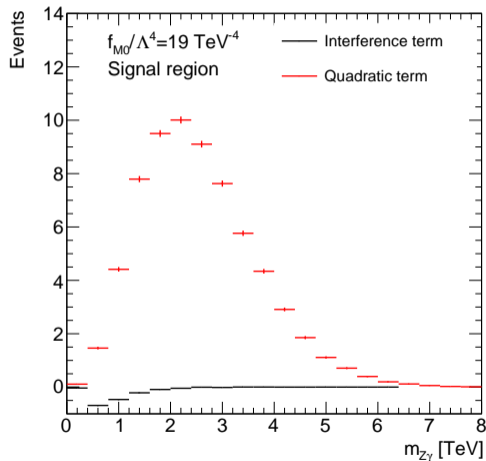
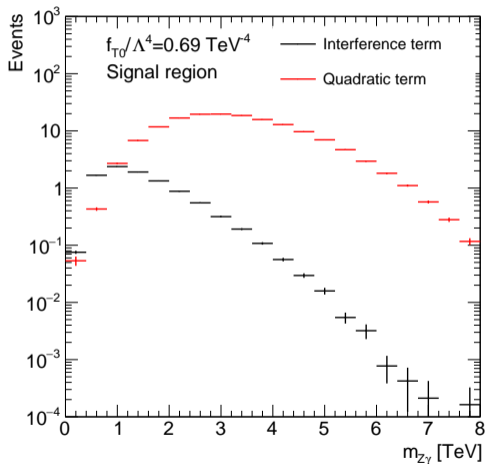
$$N_{\text{pred}}(\mu, \theta) = \left(N_0(1 + \sigma_0\theta_0) + \frac{f}{\Lambda^4} N_1(1 + \sigma_1\theta_1) + \frac{f^2}{\Lambda^8} N_2(1 + \sigma_2\theta_2) \right) \times \\ \times (1 + \sigma_{\text{sys}}\theta_{\text{sys}}) \quad (7)$$

$$N_{\text{pred}}(\mu, \theta) = \left(N_0(1 + \sigma_0\theta_0) + \frac{f_1}{\Lambda^4} N_{1,1}(1 + \sigma_{1,1}\theta_{1,1}) + \frac{f_2}{\Lambda^4} N_{1,2}(1 + \sigma_{1,2}\theta_{1,2}) + \right. \\ \left. + \frac{f_1^2}{\Lambda^8} N_{2,1}(1 + \sigma_{2,1}\theta_{2,1}) + \frac{f_2^2}{\Lambda^8} N_{2,2}(1 + \sigma_{2,2}\theta_{2,2}) + \frac{f_1 f_2}{\Lambda^8} N_{12}(1 + \sigma_{12}\theta_{12}) \right) \times \\ \times (1 + \sigma_{\text{sys}}\theta_{\text{sys}}) \quad (8)$$

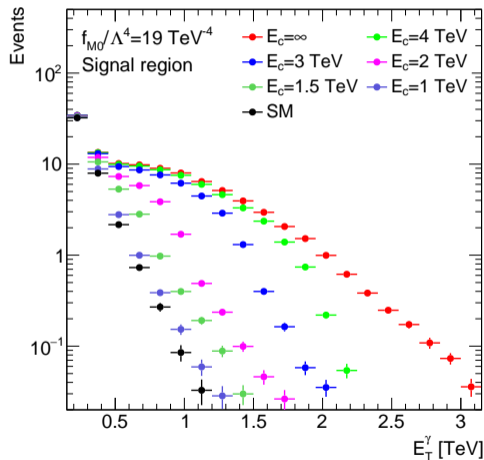
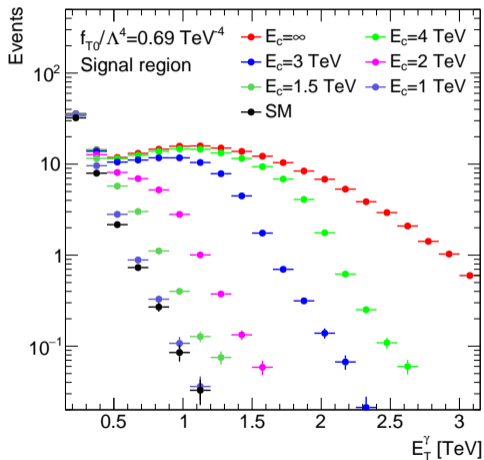
Метод декомпозиции



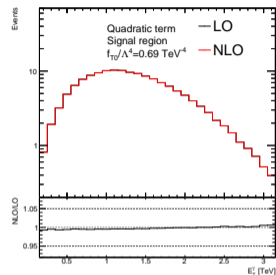
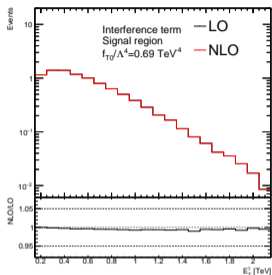
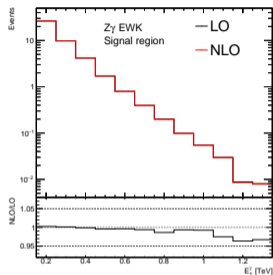
Клиппинг



Корреляция клиппинга и оптимизации



NLO КХД поправки к сигналу



E_c , ТэВ	Без NLO поправок, ТэВ $^{-4}$	С NLO поправками, ТэВ $^{-4}$
∞	[-0.126; 0.118]	[-0.126; 0.118]
5	[-0.136; 0.127]	[-0.136; 0.127]
4	[-0.159; 0.147]	[-0.159; 0.147]
3	[-0.242; 0.222]	[-0.243; 0.222]
2	[-0.905; 0.848]	[-0.908; 0.852]

Оптимизация (полная модель, f_{T0}/Λ^4)

E_c , ТэВ	∞	5	4	3	2	1.7	1
$E_c > 150$ ГэВ	[-0.71; 0.66]	[-0.75; 0.7]	[-0.83; 0.77]	[-1.08; 0.99]	[-1.9; 1.7]	[-2.6; 2.2]	[-7.8; 6.4]
$E_c > 300$ ГэВ	[-0.39; 0.35]	[-0.41; 0.37]	[-0.46; 0.41]	[-0.6; 0.52]	[-1.1; 0.91]	[-1.5; 1.2]	[-5.2; 4.1]
$E_c > 400$ ГэВ	[-0.27; 0.25]	[-0.29; 0.26]	[-0.33; 0.29]	[-0.43; 0.37]	[-0.81; 0.66]	[-1.12; 0.89]	[-4.6; 3.7]
$E_c > 500$ ГэВ	[-0.22; 0.19]	[-0.23; 0.2]	[-0.26; 0.22]	[-0.34; 0.29]	[-0.67; 0.54]	[-0.95; 0.77]	[-4.8; 4.1]
$E_c > 600$ ГэВ	[-0.18; 0.16]	[-0.19; 0.17]	[-0.21; 0.19]	[-0.29; 0.24]	[-0.59; 0.49]	[-0.89; 0.73]	[-5.4; 5]
$E_c > 700$ ГэВ	[-0.15; 0.14]	[-0.16; 0.15]	[-0.19; 0.16]	[-0.25; 0.22]	[-0.58; 0.49]	[-0.93; 0.8]	[-5.9; 5.6]
$E_c > 800$ ГэВ	[-0.14; 0.12]	[-0.15; 0.13]	[-0.17; 0.15]	[-0.24; 0.21]	[-0.6; 0.53]	[-1.06; 0.95]	[-6.5; 6.3]
$E_c > 900$ ГэВ	[-0.13; 0.12]	[-0.14; 0.12]	[-0.16; 0.14]	[-0.23; 0.2]	[-0.69; 0.62]	[-1.3; 1.2]	[-8.3; 8.2]
$E_c > 1000$ ГэВ	[-0.12; 0.11]	[-0.13; 0.12]	[-0.15; 0.14]	[-0.24; 0.22]	[-0.88; 0.82]	[-1.6; 1.5]	[-15; 15]
$E_c > 1100$ ГэВ	[-0.12; 0.11]	[-0.13; 0.12]	[-0.16; 0.15]	[-0.25; 0.24]	[-1.2; 1.1]	—	—
$E_c > 1200$ ГэВ	[-0.12; 0.11]	[-0.13; 0.12]	[-0.16; 0.15]	[-0.28; 0.27]	—	—	—
$E_c > 1300$ ГэВ	[-0.13; 0.12]	[-0.14; 0.14]	[-0.18; 0.17]	[-0.35; 0.34]	—	—	—
Гран. унит.	[-0; 0]	[-0.012; 0.012]	[-0.029; 0.029]	[-0.093; 0.093]	[-0.47; 0.47]	[-0.9; 0.9]	[-7.5; 7.5]

Оптимизация (полная модель, f_{T5}/Λ^4)

E_c , ТэВ	∞	5	4	3	2.4	2	1
$E_c > 150$ ГэВ	[-0.69; 0.74]	[-0.73; 0.78]	[-0.8; 0.87]	[-1; 1.1]	[-1.3; 1.5]	[-1.7; 2]	[-6.4; 7.3]
$E_c > 300$ ГэВ	[-0.37; 0.41]	[-0.39; 0.43]	[-0.43; 0.48]	[-0.54; 0.62]	[-0.71; 0.84]	[-0.92; 1.12]	[-4; 5]
$E_c > 400$ ГэВ	[-0.26; 0.29]	[-0.27; 0.3]	[-0.3; 0.34]	[-0.38; 0.45]	[-0.5; 0.61]	[-0.67; 0.83]	[-3.6; 4.4]
$E_c > 500$ ГэВ	[-0.2; 0.23]	[-0.21; 0.24]	[-0.23; 0.27]	[-0.3; 0.36]	[-0.41; 0.49]	[-0.55; 0.69]	[-4; 4.5]
$E_c > 600$ ГэВ	[-0.17; 0.19]	[-0.17; 0.2]	[-0.19; 0.22]	[-0.25; 0.3]	[-0.35; 0.43]	[-0.5; 0.61]	[-4.6; 4.9]
$E_c > 700$ ГэВ	[-0.14; 0.16]	[-0.15; 0.17]	[-0.17; 0.19]	[-0.23; 0.27]	[-0.33; 0.39]	[-0.5; 0.59]	[-5.3; 5.5]
$E_c > 800$ ГэВ	[-0.13; 0.14]	[-0.14; 0.15]	[-0.16; 0.18]	[-0.22; 0.25]	[-0.33; 0.38]	[-0.53; 0.61]	[-6.2; 6.4]
$E_c > 900$ ГэВ	[-0.12; 0.13]	[-0.13; 0.14]	[-0.15; 0.16]	[-0.21; 0.24]	[-0.35; 0.39]	[-0.63; 0.7]	[-6.7; 6.8]
$E_c > 1000$ ГэВ	[-0.12; 0.13]	[-0.13; 0.14]	[-0.15; 0.16]	[-0.23; 0.25]	[-0.4; 0.44]	[-0.81; 0.87]	[-8.4; 8.4]
$E_c > 1100$ ГэВ	[-0.12; 0.13]	[-0.13; 0.14]	[-0.15; 0.16]	[-0.25; 0.27]	[-0.5; 0.54]	[-1; 1.1]	—
$E_c > 1200$ ГэВ	[-0.12; 0.12]	[-0.13; 0.14]	[-0.16; 0.17]	[-0.28; 0.29]	—	—	—
$E_c > 1300$ ГэВ	[-0.13; 0.13]	[-0.14; 0.15]	[-0.18; 0.18]	[-0.35; 0.37]	—	—	—
Гран. унит.	[-0; 0]	[-0.023; 0.023]	[-0.057; 0.057]	[-0.18; 0.18]	[-0.44; 0.44]	[-0.91; 0.91]	[-15; 15]

Оптимизация (полная модель, f_{T8}/Λ^4)

E_c , ТэВ	∞	5	4	3	2	1.7	1
$E_c > 150$ ГэВ	[-0.45; 0.45]	[-0.47; 0.47]	[-0.52; 0.52]	[-0.67; 0.67]	[-1.2; 1.2]	[-1.5; 1.5]	[-4.5; 4.5]
$E_c > 300$ ГэВ	[-0.24; 0.24]	[-0.25; 0.25]	[-0.28; 0.28]	[-0.36; 0.36]	[-0.64; 0.64]	[-0.86; 0.86]	[-2.9; 2.8]
$E_c > 400$ ГэВ	[-0.17; 0.17]	[-0.18; 0.18]	[-0.2; 0.2]	[-0.26; 0.26]	[-0.47; 0.47]	[-0.64; 0.64]	[-2.6; 2.6]
$E_c > 500$ ГэВ	[-0.13; 0.13]	[-0.14; 0.14]	[-0.16; 0.16]	[-0.21; 0.21]	[-0.39; 0.39]	[-0.55; 0.55]	[-2.8; 2.8]
$E_c > 600$ ГэВ	[-0.11; 0.11]	[-0.12; 0.12]	[-0.13; 0.13]	[-0.17; 0.17]	[-0.35; 0.35]	[-0.53; 0.53]	[-3.5; 3.5]
$E_c > 700$ ГэВ	[-0.096; 0.096]	[-0.1; 0.1]	[-0.12; 0.12]	[-0.16; 0.16]	[-0.34; 0.34]	[-0.57; 0.56]	[-4; 4]
$E_c > 800$ ГэВ	[-0.087; 0.087]	[-0.092; 0.092]	[-0.11; 0.1]	[-0.15; 0.15]	[-0.37; 0.37]	[-0.67; 0.67]	[-5.7; 5.7]
$E_c > 900$ ГэВ	[-0.081; 0.08]	[-0.086; 0.086]	[-0.099; 0.099]	[-0.14; 0.14]	[-0.44; 0.44]	[-0.84; 0.84]	[-6.6; 6.6]
$E_c > 1000$ ГэВ	[-0.079; 0.079]	[-0.084; 0.084]	[-0.099; 0.099]	[-0.15; 0.15]	[-0.58; 0.58]	[-1.1; 1.1]	[-8.8; 8.8]
$E_c > 1100$ ГэВ	[-0.078; 0.078]	[-0.085; 0.085]	[-0.1; 0.1]	[-0.16; 0.16]	[-0.76; 0.76]	—	—
$E_c > 1200$ ГэВ	[-0.078; 0.078]	[-0.085; 0.085]	[-0.1; 0.1]	[-0.18; 0.18]	—	—	—
$E_c > 1300$ ГэВ	[-0.084; 0.084]	[-0.092; 0.092]	[-0.12; 0.12]	[-0.23; 0.23]	—	—	—
Гран. унит.	[-0; 0]	[-0.008; 0.008]	[-0.018; 0.018]	[-0.058; 0.058]	[-0.29; 0.29]	[-0.56; 0.56]	[-4.7; 4.7]

Оптимизация (полная модель, f_{T9}/Λ^4)

E_c , ТэВ	∞	5	4	3	2	1.9	1
$E_c > 150$ ГэВ	[-0.96; 0.96]	[-1; 1]	[-1.1; 1.1]	[-1.4; 1.4]	[-2.4; 2.4]	[-2.6; 2.6]	[-9.3; 9.3]
$E_c > 300$ ГэВ	[-0.52; 0.52]	[-0.54; 0.53]	[-0.6; 0.59]	[-0.77; 0.77]	[-1.3; 1.3]	[-1.5; 1.5]	[-5.8; 5.8]
$E_c > 400$ ГэВ	[-0.37; 0.37]	[-0.38; 0.38]	[-0.42; 0.42]	[-0.54; 0.54]	[-0.98; 0.97]	[-1.1; 1.1]	[-5.2; 5.1]
$E_c > 500$ ГэВ	[-0.29; 0.29]	[-0.3; 0.3]	[-0.33; 0.33]	[-0.43; 0.43]	[-0.81; 0.81]	[-0.89; 0.89]	[-5.6; 5.6]
$E_c > 600$ ГэВ	[-0.24; 0.24]	[-0.25; 0.25]	[-0.28; 0.28]	[-0.37; 0.37]	[-0.73; 0.73]	[-0.81; 0.81]	[-6.5; 6.5]
$E_c > 700$ ГэВ	[-0.21; 0.21]	[-0.22; 0.22]	[-0.24; 0.24]	[-0.33; 0.33]	[-0.71; 0.71]	[-0.81; 0.81]	[-7.4; 7.3]
$E_c > 800$ ГэВ	[-0.19; 0.19]	[-0.2; 0.2]	[-0.22; 0.22]	[-0.31; 0.31]	[-0.77; 0.77]	[-0.9; 0.9]	[-7.9; 7.9]
$E_c > 900$ ГэВ	[-0.17; 0.17]	[-0.18; 0.18]	[-0.21; 0.21]	[-0.3; 0.3]	[-0.91; 0.91]	[-1.1; 1.1]	[-8.9; 8.9]
$E_c > 1000$ ГэВ	[-0.17; 0.17]	[-0.18; 0.18]	[-0.21; 0.21]	[-0.32; 0.32]	[-1.2; 1.2]	[-1.4; 1.4]	[-12; 12]
$E_c > 1100$ ГэВ	[-0.17; 0.17]	[-0.18; 0.18]	[-0.21; 0.21]	[-0.35; 0.35]	[-1.5; 1.5]	—	—
$E_c > 1200$ ГэВ	[-0.17; 0.17]	[-0.18; 0.18]	[-0.22; 0.22]	[-0.39; 0.39]	—	—	—
$E_c > 1300$ ГэВ	[-0.18; 0.18]	[-0.2; 0.2]	[-0.25; 0.25]	[-0.5; 0.5]	—	—	—
Гран. унит.	[-0; 0]	[-0.017; 0.017]	[-0.042; 0.042]	[-0.13; 0.13]	[-0.67; 0.67]	[-0.83; 0.83]	[-11; 11]

Оптимизация (полная модель, f_{M0}/Λ^4)

E_c , ТэВ	∞	5	4	3	2	1	0.7
$E_c > 150$ ГэВ	[-28; 29]	[-29; 29]	[-30; 30]	[-34; 35]	[-48; 49]	[-130; 130]	[-230; 240]
$E_c > 300$ ГэВ	[-15; 16]	[-16; 16]	[-16; 17]	[-19; 19]	[-27; 28]	[-81; 83]	[-170; 170]
$E_c > 400$ ГэВ	[-11; 11]	[-11; 11]	[-12; 12]	[-14; 14]	[-20; 20]	[-70; 71]	[-150; 150]
$E_c > 500$ ГэВ	[-9; 9]	[-9.1; 9.2]	[-9.6; 9.7]	[-11; 11]	[-17; 18]	[-72; 72]	[-150; 150]
$E_c > 600$ ГэВ	[-7.7; 7.7]	[-7.8; 7.9]	[-8.3; 8.3]	[-9.8; 9.9]	[-16; 16]	[-78; 77]	[-150; 150]
$E_c > 700$ ГэВ	[-6.9; 6.9]	[-7; 7.1]	[-7.5; 7.5]	[-9.1; 9.1]	[-17; 17]	[-84; 83]	[-180; 180]
$E_c > 800$ ГэВ	[-6.5; 6.5]	[-6.6; 6.6]	[-7.1; 7.1]	[-8.9; 8.9]	[-18; 19]	[-92; 92]	[-180; 180]
$E_c > 900$ ГэВ	[-6.2; 6.2]	[-6.4; 6.4]	[-7; 7]	[-9.1; 9.1]	[-23; 23]	[-100; 100]	[-250; 250]
$E_c > 1000$ ГэВ	[-6.4; 6.4]	[-6.6; 6.6]	[-7.3; 7.2]	[-10; 10]	[-31; 31]	[-140; 140]	—
$E_c > 1100$ ГэВ	[-6.6; 6.6]	[-6.9; 6.9]	[-7.7; 7.7]	[-11; 11]	[-38; 38]	—	—
$E_c > 1200$ ГэВ	[-6.8; 6.8]	[-7.2; 7.2]	[-8.2; 8.2]	[-13; 13]	—	—	—
$E_c > 1300$ ГэВ	[-7.7; 7.7]	[-8.2; 8.2]	[-9.6; 9.6]	[-18; 18]	—	—	—
Гран. унит.	[-0; 0]	[-0.066; 0.066]	[-0.16; 0.16]	[-0.51; 0.51]	[-2.6; 2.6]	[-41; 41]	[-170; 170]

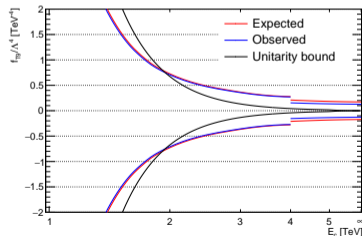
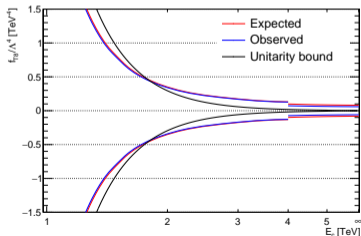
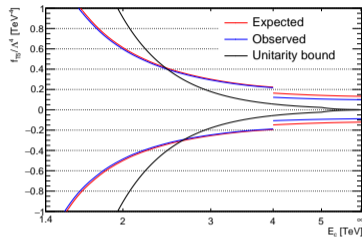
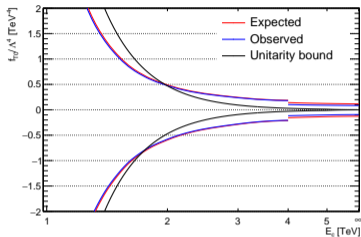
Оптимизация (полная модель, f_{M1}/Λ^4)

E_c , ТэВ	∞	5	4	3	2	1
$E_{\gamma} > 150$ ГэВ	[-52; 52]	[-53; 52]	[-55; 55]	[-64; 63]	[-93; 91]	[-270; 260]
$E_{\gamma} > 300$ ГэВ	[-28; 28]	[-29; 28]	[-30; 30]	[-35; 35]	[-52; 51]	[-170; 160]
$E_{\gamma} > 400$ ГэВ	[-20; 20]	[-20; 20]	[-21; 21]	[-25; 25]	[-38; 37]	[-140; 140]
$E_{\gamma} > 500$ ГэВ	[-16; 16]	[-16; 16]	[-17; 17]	[-20; 20]	[-32; 31]	[-150; 150]
$E_{\gamma} > 600$ ГэВ	[-13; 13]	[-14; 14]	[-14; 14]	[-17; 17]	[-29; 29]	[-150; 150]
$E_{\gamma} > 700$ ГэВ	[-12; 12]	[-12; 12]	[-13; 13]	[-16; 16]	[-28; 28]	[-170; 170]
$E_{\gamma} > 800$ ГэВ	[-11; 11]	[-11; 11]	[-12; 12]	[-15; 15]	[-31; 30]	[-190; 190]
$E_{\gamma} > 900$ ГэВ	[-10; 10]	[-11; 11]	[-12; 12]	[-15; 15]	[-36; 36]	[-220; 220]
$E_{\gamma} > 1000$ ГэВ	[-10; 10]	[-11; 11]	[-12; 12]	[-16; 16]	[-47; 47]	[-290; 290]
$E_{\gamma} > 1100$ ГэВ	[-11; 11]	[-11; 11]	[-12; 12]	[-18; 18]	[-59; 59]	—
$E_{\gamma} > 1200$ ГэВ	[-11; 11]	[-11; 11]	[-13; 13]	[-20; 20]	—	—
$E_{\gamma} > 1300$ ГэВ	[-12; 12]	[-13; 13]	[-15; 15]	[-26; 26]	—	—
Гран. унит.	[-0; 0]	[-0.26; 0.26]	[-0.64; 0.64]	[-2; 2]	[-10; 10]	[-160; 160]

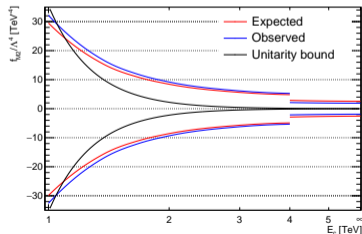
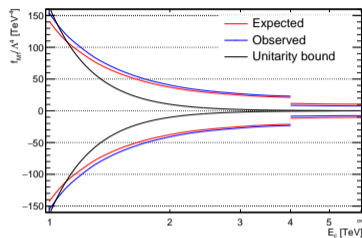
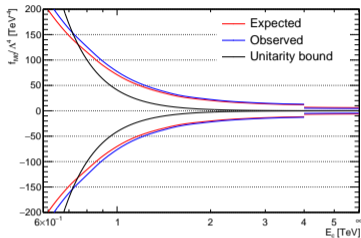
Оптимизация (полная модель, f_{M2}/Λ^4)

E_c , ТэВ	∞	5	4	3	2	1
$E_c > 150$ ГэВ	[-12; 12]	[0; 11.745]	[-12; 12]	[-14; 14]	[-20; 20]	[-55; 53]
$E_c > 300$ ГэВ	[-6.4; 6.3]	[-6.5; 6.4]	[-6.9; 6.8]	[-7.9; 7.8]	[-12; 11]	[-36; 35]
$E_c > 400$ ГэВ	[-4.6; 4.6]	[-4.7; 4.6]	[-4.9; 4.8]	[-5.7; 5.6]	[-8.6; 8.4]	[-30; 30]
$E_c > 500$ ГэВ	[-3.7; 3.7]	[-3.8; 3.7]	[-4; 4]	[-4.7; 4.7]	[-7.4; 7.3]	[-30; 30]
$E_c > 600$ ГэВ	[-3.2; 3.1]	[-3.2; 3.2]	[-3.4; 3.4]	[-4.1; 4.1]	[-6.9; 6.9]	[-31; 31]
$E_c > 700$ ГэВ	[-2.8; 2.8]	[-2.9; 2.9]	[-3.1; 3.1]	[-3.8; 3.8]	[-7; 7]	[-34; 34]
$E_c > 800$ ГэВ	[-2.7; 2.7]	[-2.7; 2.7]	[-2.9; 2.9]	[-3.7; 3.7]	[-7.7; 7.7]	[-36; 36]
$E_c > 900$ ГэВ	[-2.6; 2.6]	[-2.6; 2.6]	[-2.9; 2.9]	[-3.8; 3.8]	[-9.3; 9.3]	[-41; 41]
$E_c > 1000$ ГэВ	[-2.6; 2.6]	[-2.7; 2.7]	[-3; 3]	[-4.2; 4.2]	[-12; 12]	[-56; 56]
$E_c > 1100$ ГэВ	[-2.7; 2.7]	[-2.8; 2.8]	[-3.2; 3.2]	[-4.7; 4.7]	[-15; 15]	—
$E_c > 1200$ ГэВ	[-2.8; 2.8]	[-2.9; 2.9]	[-3.4; 3.4]	[-5.6; 5.6]	—	—
$E_c > 1300$ ГэВ	[-3.2; 3.2]	[-3.4; 3.4]	[-4; 4]	[-7.4; 7.4]	—	—
Гран. унит.	[-0; 0]	[-0.057; 0.057]	[-0.14; 0.14]	[-0.44; 0.44]	[-2.2; 2.2]	[-36; 36]

Графические пределы (Т-семейство)



Графические пределы (M-семейство)



Унитарность парциальных волн

$$S^\dagger S = 1 \quad \rightarrow \quad \sigma_{\text{tot}} = \frac{1}{s} \text{Im} \mathcal{M}_{\text{el}}(\theta = 0) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{M}(V_{1,\lambda_1} V_{2,\lambda_2} \rightarrow V_{3,\lambda_3} V_{4,\lambda_4}) &= 16\pi \sqrt{1 + \delta_{V_{1,\lambda_1}}^{V_{2,\lambda_2}}} \sqrt{1 + \delta_{V_{3,\lambda_3}}^{V_{4,\lambda_4}}} e^{iM\varphi} \times \\ &\times \sum_J (2J + 1) d_{\lambda\mu}^J(\theta) T^J(V_{1,\lambda_1} V_{2,\lambda_2} \rightarrow V_{3,\lambda_3} V_{4,\lambda_4}) \quad (10) \end{aligned}$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{|\mathcal{M}|^2}{64\pi^2 s} \quad (11)$$

$$\sigma_{\text{el}} \leq \sigma_{\text{tot}} \quad (12)$$

$$|T^J(V_{1,\lambda_1} V_{2,\lambda_2} \rightarrow V_{1,\lambda_1} V_{1,\lambda_1})| \leq 1 \quad (13)$$

Границы унитарности

Коэффициент	Граница унитарности
$ f_{T0}/\Lambda^4 $	$(12/5)\pi s^{-2}$
$ f_{T5}/\Lambda^4 $	$(8/\sqrt{3})\pi s^{-2}$
$ f_{T8}/\Lambda^4 $	$(3/2)\pi s^{-2}$
$ f_{T9}/\Lambda^4 $	$(24/7)\pi s^{-2}$
$ f_{M0}/\Lambda^4 $	$(32/\sqrt{6})\pi s^{-2}$
$ f_{M1}/\Lambda^4 $	$(128/\sqrt{6})\pi s^{-2}$
$ f_{M2}/\Lambda^4 $	$(16/\sqrt{2})\pi s^{-2}$

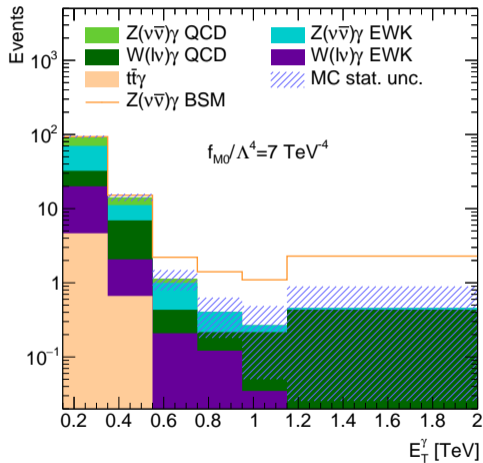
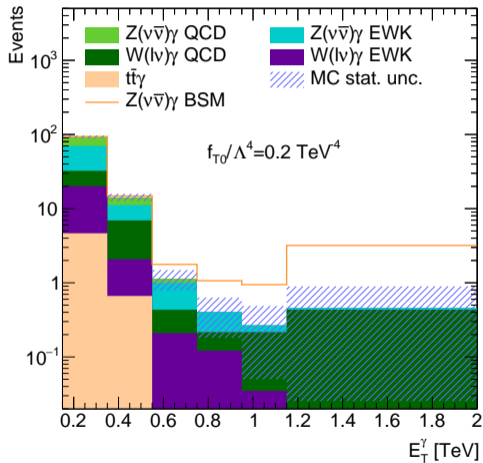
Теоретический предел (линейная модель)

Коэф.	f_{T0}/Λ^4	f_{T5}/Λ^4	f_{T8}/Λ^4	f_{T9}/Λ^4	f_{M0}/Λ^4	f_{M1}/Λ^4	f_{M2}/Λ^4
$E_T > 150$ ГэВ	-13.6, 0.8%	13.6, 0.8%	-1550, 5.5%	-2100, 4.6%	2300, 2.7%	-7520, 3.1%	-1150, 2.4%
$E_T > 300$ ГэВ	-4.22, 1.3%	4.22, 1.3%	-481, 5.8%	-631, 4.8%	1160, 4.4%	-3660, 4.9%	-568, 3.9%
$E_T > 400$ ГэВ	-2.28, 1.9%	2.27, 1.8%	-254, 6.3%	-335, 5.3%	947, 6.8%	-3050, 7.7%	-464, 6%
$E_T > 500$ ГэВ	-1.32, 2.7%	1.32, 2.7%	-142, 6.9%	-193, 6%	810, 10.5%	-2700, 12.3%	-416, 9.7%
$E_T > 600$ ГэВ	-0.834, 3.6%	0.826, 3.6%	-91.9, 8%	-127, 7.2%	703, 15.2%	-3050, 23.1%	-350, 13.5%
$E_T > 700$ ГэВ	-0.55, 5.1%	0.545, 5.1%	-59.1, 9.4%	-81.6, 8.5%	737, 25.9%	-2270, 28.2%	-381, 23.8%
$E_T > 800$ ГэВ	-0.384, 7.1%	0.382, 7.1%	-37.4, 10.8%	-57.4, 10.6%	1070, 57.3%	-3320, 62.9%	-416, 39.1%
$E_T > 900$ ГэВ	-0.266, 9.5%	0.267, 9.5%	-24.4, 13%	-38.7, 13%	-4790, 395.9%	-6050, 184.4%	-318, 47.7%
$E_T > 1000$ ГэВ	-0.215, 11.9%	0.214, 11.9%	-18.9, 15.5%	-30.1, 15.6%	-971, 108.9%	2390, 100%	-366, 73.3%
$E_T > 1100$ ГэВ	-0.169, 16.9%	0.165, 16.9%	-13.7, 20%	-21.8, 20%	-1310, 205%	1030, 63.3%	-2160, 595.3%
$E_T > 1200$ ГэВ	-0.123, 24.9%	0.123, 24.9%	-10.1, 27.8%	-15.6, 27.7%	-3570, 840.9%	595, 58.1%	-409, 175.4%

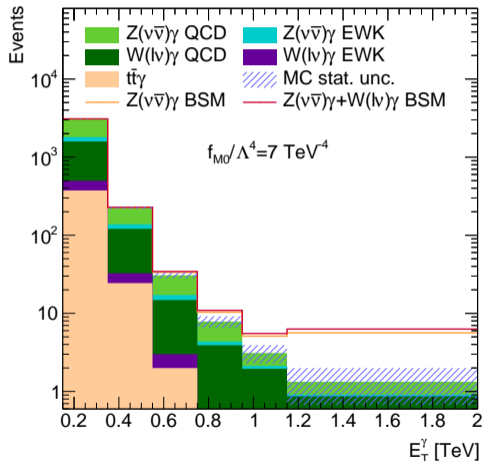
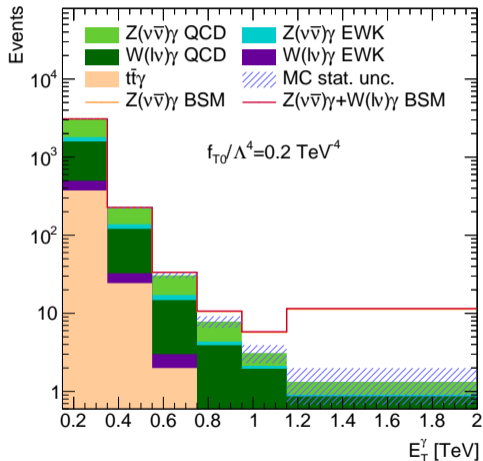
Оптимизация (линейная модель)

Коэф.	f_{T0}/Λ^4	f_{T5}/Λ^4	f_{T8}/Λ^4	f_{T9}/Λ^4	f_{M0}/Λ^4	f_{M1}/Λ^4	f_{M2}/Λ^4
$E_T > 150$ ГэВ	[-14; 11]	[-11; 14]	[-1600; 1300]	[-2100; 1700]	[-1900; 2300]	[-7500; 6100]	[-1150; 930]
$E_T > 300$ ГэВ	[-4.2; 3.9]	[-3.9; 4.2]	[-480; 450]	[-630; 590]	[-1100; 1200]	[-3700; 3400]	[-570; 530]
$E_T > 400$ ГэВ	[-2.3; 2.3]	[-2.3; 2.3]	[-250; 260]	[-340; 340]	[-970; 950]	[-3100; 3100]	[-460; 480]
$E_T > 500$ ГэВ	[-1.3; 1.7]	[-1.7; 1.3]	[-140; 190]	[-190; 260]	[-1090; 810]	[-2700; 3700]	[-420; 560]
$E_T > 600$ ГэВ	[-0.83; 1.47]	[-1.46; 0.83]	[-92; 164]	[-130; 230]	—	—	—
$E_T > 700$ ГэВ	[-0.55; 1.36]	[-1.35; 0.55]	[-59; 148]	[-82; 203]	—	—	—
$E_T > 800$ ГэВ	[-0.38; 1.36]	[-1.35; 0.38]	[-37; 133]	[-57; 204]	—	—	—
$E_T > 900$ ГэВ	[-0.27; 1.44]	[-1.45; 0.27]	[-24; 134]	[-39; 212]	—	—	—
$E_T > 1000$ ГэВ	[-0.22; 1.69]	[-1.68; 0.21]	[-19; 150]	[-30; 239]	—	—	—
$E_T > 1100$ ГэВ	[-0.17; 2.05]	[-2; 0.17]	[-14; 168]	[-22; 268]	—	—	—

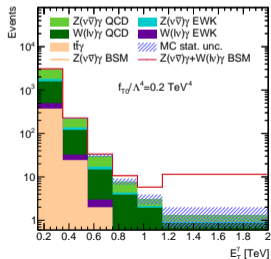
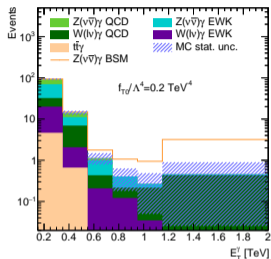
Все отборы



Основные отборы



Ослабление отборов на фазовое пространство



Для исследования методов уточнения пределов фоны, оцениваемые с помощью данных, не учитываются. Модель базируется на исследовании ATLAS $Z(\nu\bar{\nu})\gamma jj$ Run I.

Основные отборы	Дополнительные отборы
$E_T^{\text{miss}} > 100 \text{ GeV}$ $E_T^\gamma > 150 \text{ GeV}$ $ \Delta\varphi(E_T^{\text{miss}}, \gamma jj) > 3\pi/4$ $ \Delta\varphi(E_T^{\text{miss}}, \gamma) > \pi/2$ $ \Delta\varphi(E_T^{\text{miss}}, j) > 1$	$p_T\text{-balance} < 0.1$ $\zeta_\gamma < 0.3$ $m_{jj} > 600 \text{ GeV}$ $ \Delta y_{jj} > 2.5$

Коэф.	Все отборы	Основные отборы	Уточн.
f_{T0}/Λ^4	[-0.204; 0.192]	[-0.134; 0.129]	33.6%
f_{T5}/Λ^4	[-0.202; 0.216]	[-0.136; 0.141]	33.7%
f_{M0}/Λ^4	[-7.23; 7.20]	[-6.81; 6.81]	5.6%
f_{M2}/Λ^4	[-2.90; 2.91]	[-2.73; 2.73]	6.0%

Пределы указаны в ТэВ^{-4}

Поправки к пределам: двумерные контуры

