

# Поиск аномальных вершин на основе процесса электрослабого рождения $Z$ -бозона с фотоном

Семушин А.Е.

НИЯУ МИФИ

31.05.2021

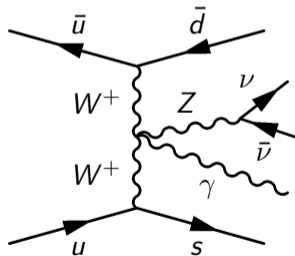
# Мотивация

Электрослабое рождение  $Z$ -бозона с фотоном.

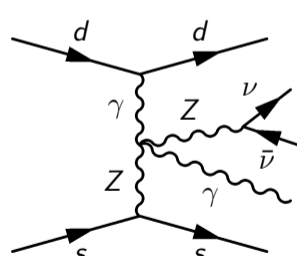
Сигнатура:  $\gamma$ , 2 струи (или более), потерянный поперечный импульс (MET).

$\implies$  процесс:  $pp \rightarrow Z\gamma jj$ ,  $Z \rightarrow \nu\bar{\nu}$  или более общий, аналогичный по сигнатуре  $pp \rightarrow \nu\bar{\nu}\gamma jj$

Диаграммы, включающие рассеяние векторных бозонов (четверные вершины):



Вершина  $WWZ\gamma$  —  
предсказывается СМ.



Вершина  $ZZ\gamma\gamma$  —  
предсказывается СМ.

# Эффективная теория поля

Параметризация лагранжиана операторами высших размерностей:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \sum_i \sum_n \frac{F_{i,n}}{\Lambda^n} \mathcal{O}_i^{n+4} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \sum_i \sum_n f_{i,n} \mathcal{O}_i^{n+4} \quad (1)$$

$f$  — размерная, но наблюдаемая константа связи.

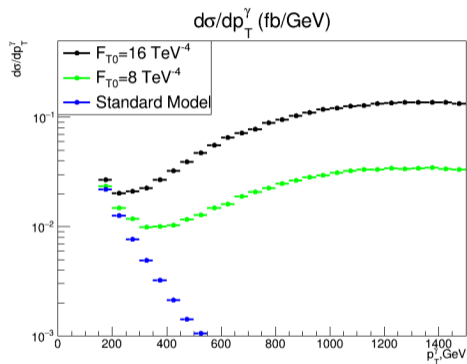
Известный пример эффективной теории (по отношению к СМ  $\implies \mathcal{L}_{\text{SM}} = 0$ ) — теория слабого взаимодействия Ферми (четырёхфермионное взаимодействие):  $f = \frac{G_F}{\sqrt{2}}$ ,  $\Lambda = M_W$ .

Наибольший вклад в аQGC — от операторов размерности 8.

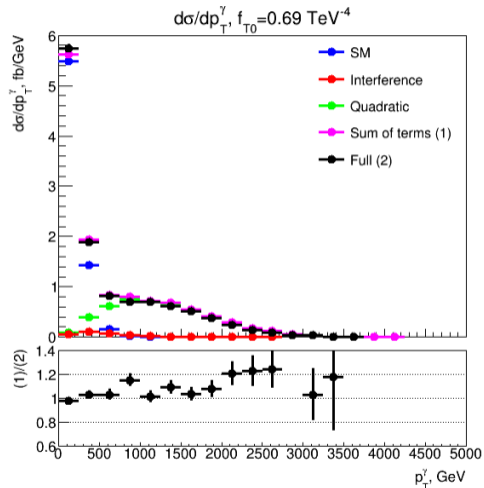
Пример:  $\mathcal{O}_{T0} = \text{Tr} [\hat{W}_{\mu\nu} \hat{W}^{\mu\nu}] \text{Tr} [\hat{W}_{\alpha\beta} \hat{W}^{\alpha\beta}]$ .

Задача — получение одномерных пределов на  $f$ , т.е. для  $\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + f\mathcal{O}$ .

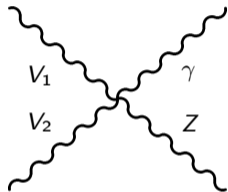
# Распределения и перевзвешивание



$$\begin{aligned}
 |\mathcal{A}|^2 &= |\mathcal{A}_{\text{SM}} + f \mathcal{A}_{\text{NP}}|^2 = \\
 &= |\mathcal{A}_{\text{SM}}|^2 + f \mathcal{A}_{\text{int}} + f^2 |\mathcal{A}_{\text{NP}}|^2
 \end{aligned}$$



# Нарушение унитарности и клиппинг

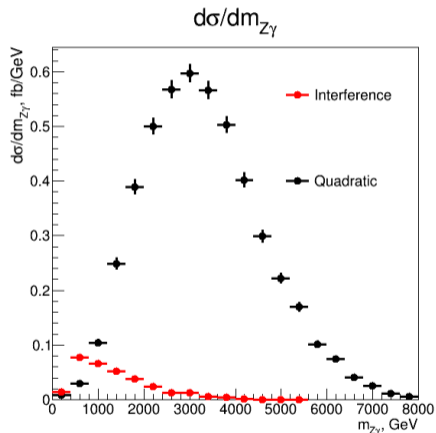


Рассеяние векторных бозонов (VBS)  $\rightarrow \hat{s}$ .  
Унитарность  $S$ -матрицы:  $SS^\dagger = 1$ .  
Унитарность нарушается при использовании EFT  $\rightarrow$  неограниченный рост сечения VBS с ростом  $\hat{s}$ .

Клиппинг — выключение вклада новой физики при

$$\sqrt{\hat{s}} > E_{\text{clip}}.$$

$$\sqrt{\hat{s}} = m_{Z\gamma}.$$



# Статистические методы

Цель — найти доверительный интервал, соответствующий 95%CL.

В работе рассматриваются следующие методы получения пределов:

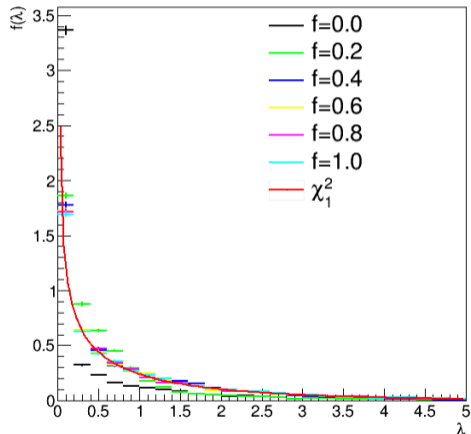
1. Асимптотический
2.  $CL_{s+b}$
3.  $CL_s$

Используемая тестовая статистика:  $\lambda = -2 \ln \frac{L(f, \hat{\theta}(f))}{L(\hat{f}, \hat{\theta})}$ .

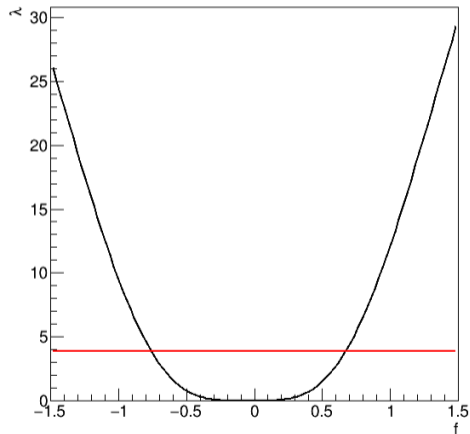
Статистическая модель: пуассоновское распределение количества событий в бине, распределение параметров принимается нормальным, несимметричные и неодносторонние систематики приводятся к симметричному виду.

# Асимптотический и $CL_{s+b}$ методы

$\lambda$  distribution



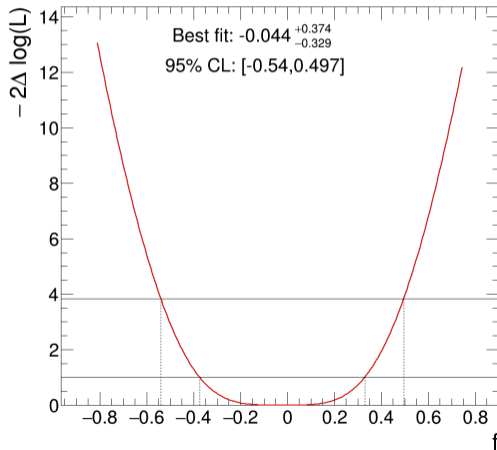
$\lambda(f)$



# Результаты в наиболее точной модели

Коэффициент	Пределы
$f_{T0}$	[-0.540; 0.497]
$f_{T5}$	[-0.523; 0.569]
$f_{T8}$	[-0.341; 0.341]
$f_{T9}$	[-0.736; 0.736]
$f_{M0}$	[-21.7; 22.2]
$f_{M1}$	[-40.1; 39.7]
$f_{M2}$	[-8.84; 8.70]

Пределы получены с помощью eft-fun.





## Улучшение пределов с помощью фонов

Если в природе  $f \neq 0$ , то соответствующий оператор  $\mathcal{O}$  будет давать вклад не только в сигнальный процесс, но и в фоновые  $\implies$  есть возможность улучшить получаемые пределы.

Из всех фоновых процессов операторы будут давать вклад лишь в те, которые электрослабые и могут содержать четверную вершину векторных бозонов. В данном анализе эти фоны:

1.  $W\gamma$  EWK
2.  $Z(I\bar{I})\gamma$

Пределы на  $f_{T0}$ :

1. Без учета фонов:  $[-0.558; 0.515]$
2. С учетом фонов:  $[-0.542; 0.502]$

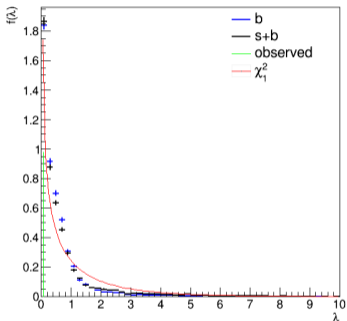
## Заключение и планы

- Впервые получены и использованы сигнальные веса из официальных наборов уровня реконструкции;
- Впервые использованы все систематические ошибки, имеющиеся в анализе (117 параметров, связанных с систематиками);
- Получены пределы для  $p_T^\gamma > 150$  ГэВ. Необходимо произвести оптимизацию бина, а также унитаризовать пределы;
- Рассмотрены статистические методы, получена возможность получать пределы любым методом;
- Обнаружена возможность улучшить пределы, используя фоновые процессы.

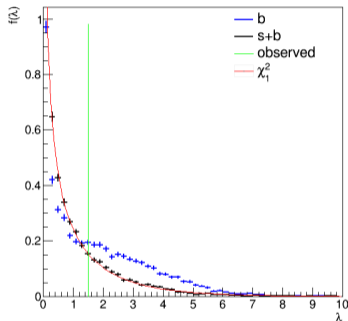
BACKUP

# Распределения тестовой статистики для $b$ и $s + b$ гипотез

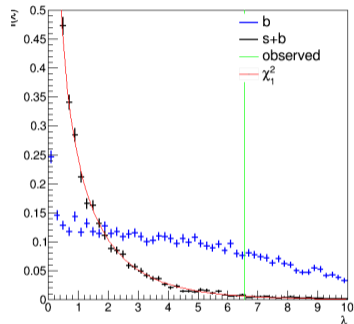
$\lambda$  distribution,  $f=0.2$



$\lambda$  distribution,  $f=0.5$



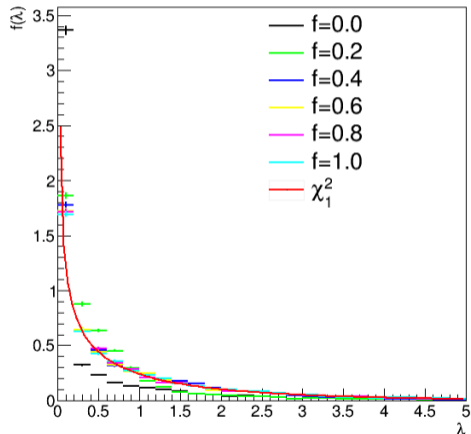
$\lambda$  distribution,  $f=0.8$



$p$ -value в данной работе определяется как вероятность, отсекаемая наблюдением от распределения справа.

# Асимптотический и $CL_{s+b}$ методы

$\lambda$  distribution



$\lambda(f)$

