

Изучение электрослабого рождения Z -бозона с фотоном в аномальных вершинах

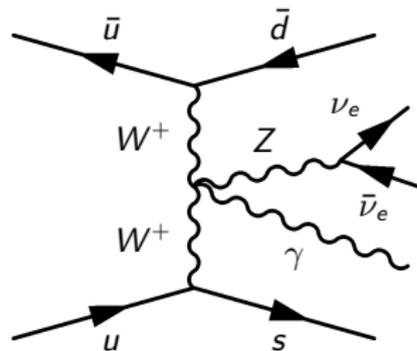
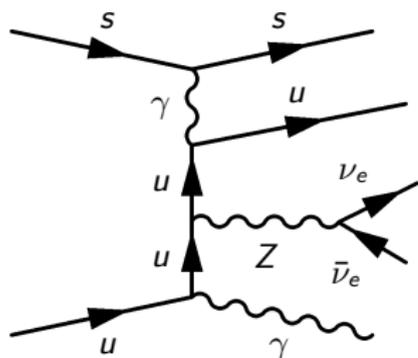
Семушин А.Е.

НИЯУ МИФИ

Декабрь, 2019

Электрослабое рождение Z -бозона с фотоном

Процесс: $pp \rightarrow Z\gamma jj \rightarrow \nu_e \bar{\nu}_e \gamma jj$.



Аномальные вершины, эффективная теория поля

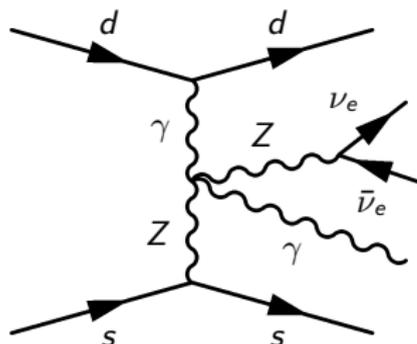
Параметризация лагранжиана операторами высших размерностей:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \sum_i \sum_n f_{i,n} \mathcal{O}_i^{n+4}.$$

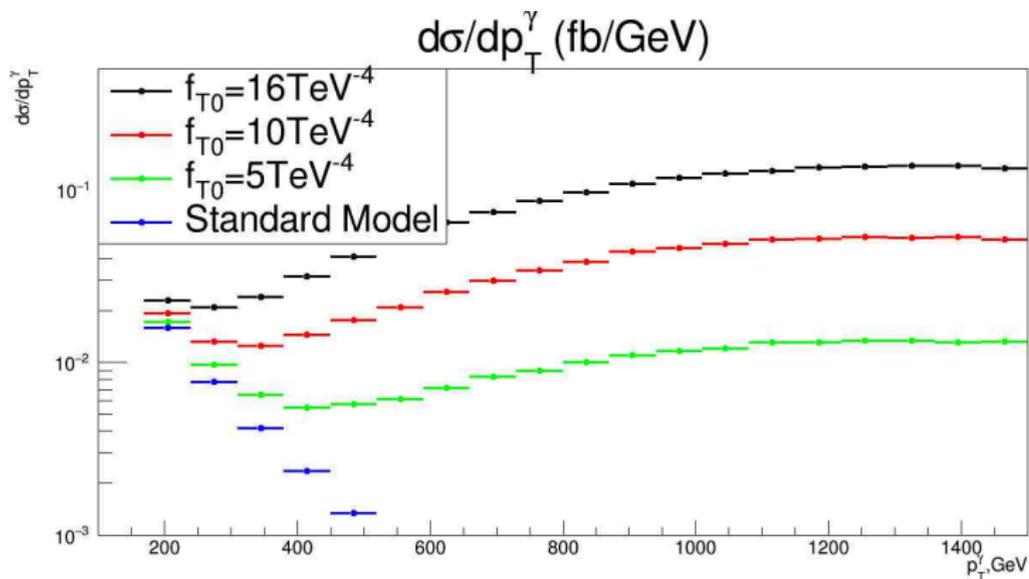
Пример оператора (размерности 8):

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

$$\hat{W}_{\mu\nu} = ig \frac{\sigma^i}{2} W_{\mu\nu}^i = ig \frac{\sigma^i}{2} (\partial_\mu W_\nu^i - \partial_\nu W_\mu^i + g \epsilon^{ijk} W_\mu^j W_\nu^k).$$



Зависимость распределения от коэффициента, VBFNLO



Для сравнения с экспериментальными данными нужно иметь распределения для непрерывного спектра значений $f \in [0, f_{\max}]$, а получить из Монте-Карло можно только для дискретного набора значений \implies проблема перевзвешивания

Методика перевзвешивания, VBFNLO

Пусть имеются следующие 2 распределения и 2 сечения:

$$\frac{d\sigma}{dx}(f=0, x) = \phi_0(x), \quad \sigma(f=0) = \sigma_0 \text{ — случай SM,}$$

$$\frac{d\sigma}{dx}(f=f_1, x) = \phi_1(x), \quad \sigma(f=f_1) = \sigma_1 \text{ — случай } f=f_1, \quad f_1 \text{ — известный коэф.}$$

Нужно найти сечение и распределение для любого f .

Амплитуда процесса с параметризованным лагранжианом:

$$|A(x)|^2 = |A_{SM}(x)|^2 + fA_{int}(x) + f^2|A_{NP}(x)|^2.$$

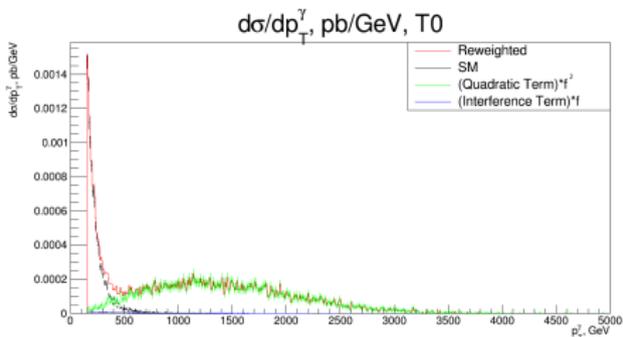
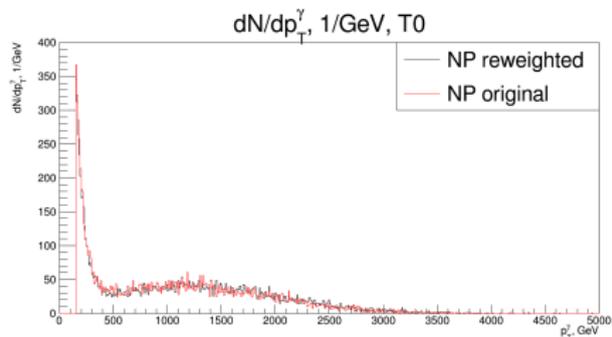
Полученные формулы:

$$1. \quad \sigma(f) = (\sigma_1 - (1 + \alpha f_1)\sigma_0) \frac{f^2}{f_1^2} + (1 + \alpha f)\sigma_0, \quad \alpha = \frac{\sigma(f) - \sigma(-f)}{2f\sigma_0};$$

$$2. \quad \frac{d\sigma}{dx}(f, x) = (\phi_1(x) - (1 + \beta(x)f_1)\phi_0(x)) \frac{f^2}{f_1^2} + (1 + \beta(x)f)\phi_0(x),$$

$$\beta(x) = \frac{\frac{d\sigma}{dx}(f, x) - \frac{d\sigma}{dx}(-f, x)}{2f\phi_0(x)}.$$

Перевзвешивание для того же процесса в MadGraph



$$\sigma = \sigma_{\text{SM}} + f\sigma_{\text{interference}} + f^2\sigma_{\text{quadratic}} \quad (1)$$

$$\frac{d\sigma}{dx} = \frac{d\sigma_{\text{SM}}}{dx} + f \frac{d\sigma_{\text{interference}}}{dx} + f^2 \frac{d\sigma_{\text{quadratic}}}{dx} \quad (2)$$

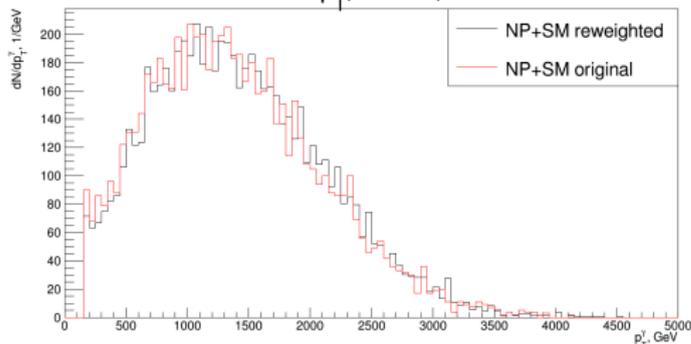
$$p = \frac{\sigma_{\text{interference}}}{\sigma_{\text{interference}}} = \frac{\sigma_{\text{quadratic}}}{\sigma_{\text{quadratic}}} \quad (3)$$

$$\frac{d\sigma}{dx} = \frac{d\sigma_{\text{SM}}}{dx} + fp \frac{d\sigma_{\text{interference}}^{pp \rightarrow Z\gamma jj}}{dx} + f^2 p \frac{d\sigma_{\text{quadratic}}^{pp \rightarrow Z\gamma jj}}{dx} \quad (4)$$

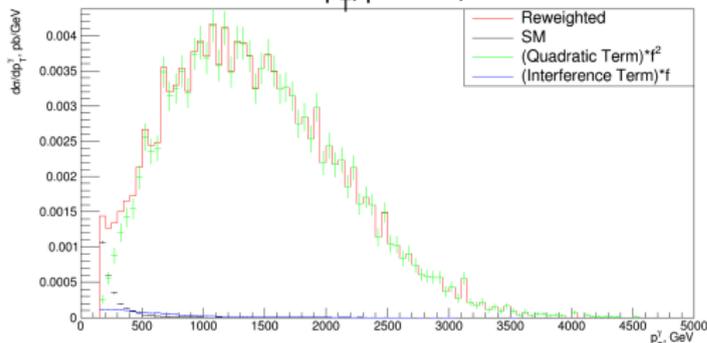


Процесс $pp \rightarrow \nu_l \bar{\nu}_l \gamma jj$ в MadGraph

$dN/dp_T^\gamma, 1/\text{GeV}, T0$



$d\sigma/dp_T^\gamma, \text{pb}/\text{GeV}, T0$



$$\sigma = \sigma_{\text{SM}} + f\sigma_{\text{interference}} + f^2\sigma_{\text{quadratic}} \quad (5)$$

$$\frac{d\sigma}{dx} = \frac{d\sigma_{\text{SM}}}{dx} + f \frac{d\sigma_{\text{interference}}}{dx} + f^2 \frac{d\sigma_{\text{quadratic}}}{dx} \quad (6)$$

Заключение и цели

В дальнейшем планируется:

- 1 Доработать последнюю методику, добиться хорошей точности перевзвешивания сечения, проверить точность перевзвешивания распределения;
- 2 Провести обработку экспериментальных данных и получить более точное ограничение на коэффициенты при операторах высших размерностей, чем те, что имеются сейчас

Backup

Перевзвешивание в VBFNLO, α

$$\frac{d\sigma}{dx} = b(x)|A(x)|^2 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \sigma(f) &= \int b(x) (|A_{SM}(x)|^2 + fA_{int}(x) + f^2|A_{NP}(x)|^2) dx = \\ &= C_{SM} + fC_{int} + f^2C_{NP} \quad (8) \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{C_{int}}{C_{SM}} \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{\sigma(f) - \sigma(-f)}{2f\sigma_0} \quad (10)$$

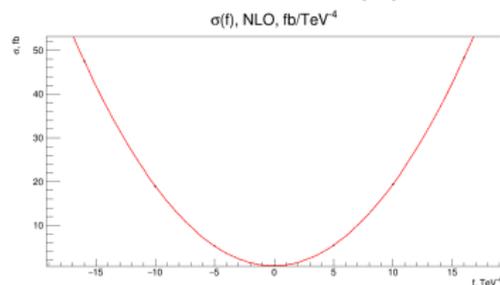
Оценка α для \mathcal{O}_{T_0}

f_{T_0}	$\sigma(f_{T_0})$	$\sigma(-f_{T_0})$
0	0.770 фб	
5	5.48 фб	5.26 фб
10	19.40 фб	18.93 фб
16	48.30 фб	47.57 фб

$$\alpha = 0.0297$$

Оценка α (2)

Фитирую функцией $\sigma(f) = p_0 + p_1 f + p_2 f^2$.



Результаты фитирования:

$$p_0 = 0.768 \pm 0.006 \text{ фб},$$

$$p_1 = 0.0227 \pm 0.0013 \text{ фб} \cdot \text{ТэВ}^4,$$

$$p_2 = 0.1841 \pm 0.0002 \text{ фб} \cdot \text{ТэВ}^8,$$

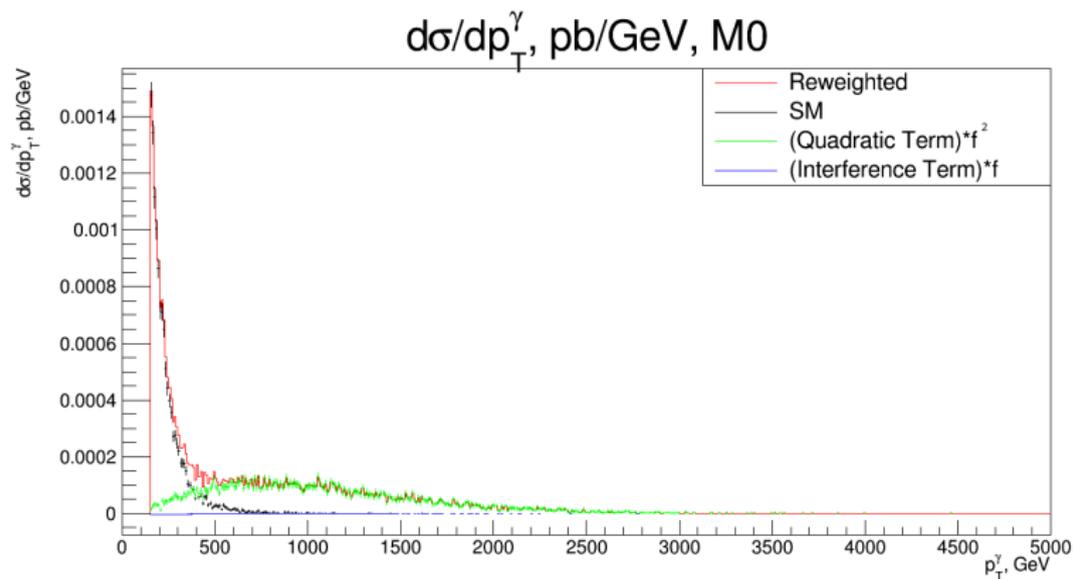
$$\alpha = 0.030 \pm 0.003 \text{ ТэВ}^{-4},$$

$$\chi^2 = 1.06.$$

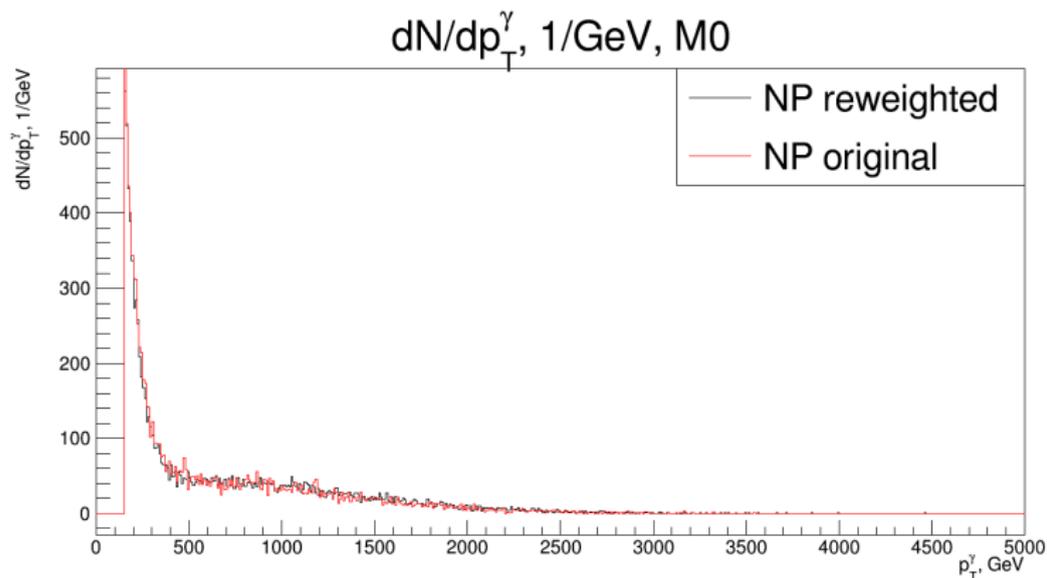
ρ для всех операторов

Опер.	σ	$\sigma_{\text{interference}}$	$\sigma_{\text{quadratic}}$	ρ
\mathcal{O}_{T0}	0.0438 пб	0.00260 пб	0.0779 пб	0.047
\mathcal{O}_{T8}	0.0397 пб	$4.20 \cdot 10^{-5}$ пб	0.254 пб	0.033
\mathcal{O}_{T9}	0.0401 пб	$2.90 \cdot 10^{-5}$ пб	0.0549 пб	0.033
\mathcal{O}_{M0}	0.0265 пб	$-2.99 \cdot 10^{-5}$ пб	$6.53 \cdot 10^{-5}$ пб	0.045
\mathcal{O}_{M1}	0.0281 пб	$9.13 \cdot 10^{-6}$ пб	$1.86 \cdot 10^{-5}$ пб	0.037
\mathcal{O}_{M2}	0.0250 пб	$5.78 \cdot 10^{-5}$ пб	$4.12 \cdot 10^{-4}$ пб	0.040
\mathcal{O}_{M3}	0.0261 пб	$-1.67 \cdot 10^{-5}$ пб	$1.45 \cdot 10^{-4}$ пб	0.035

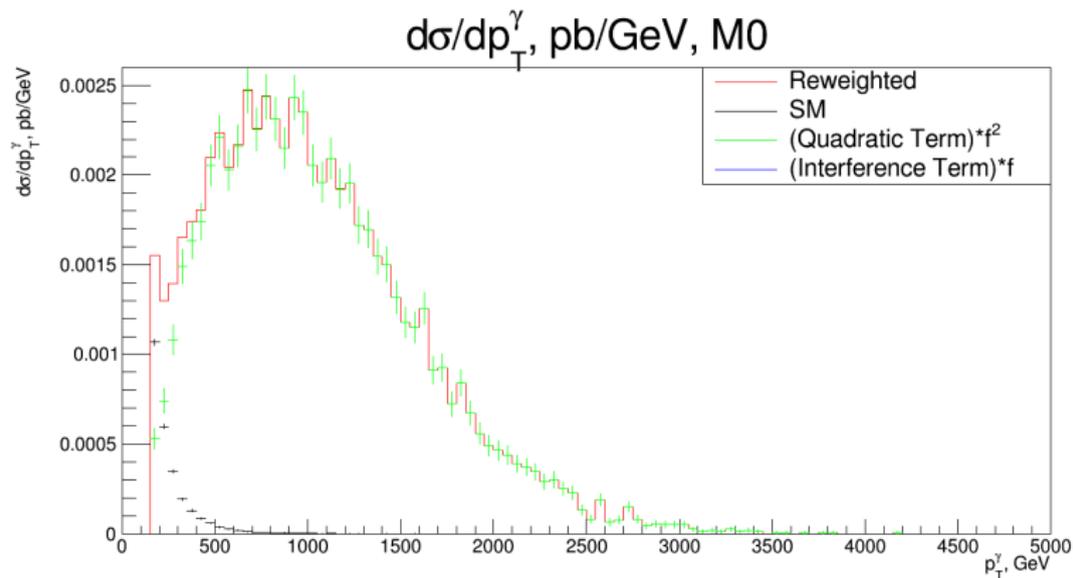
$pp \rightarrow Z\gamma jj \rightarrow \nu_e \bar{\nu}_e \gamma jj$: распределение 1



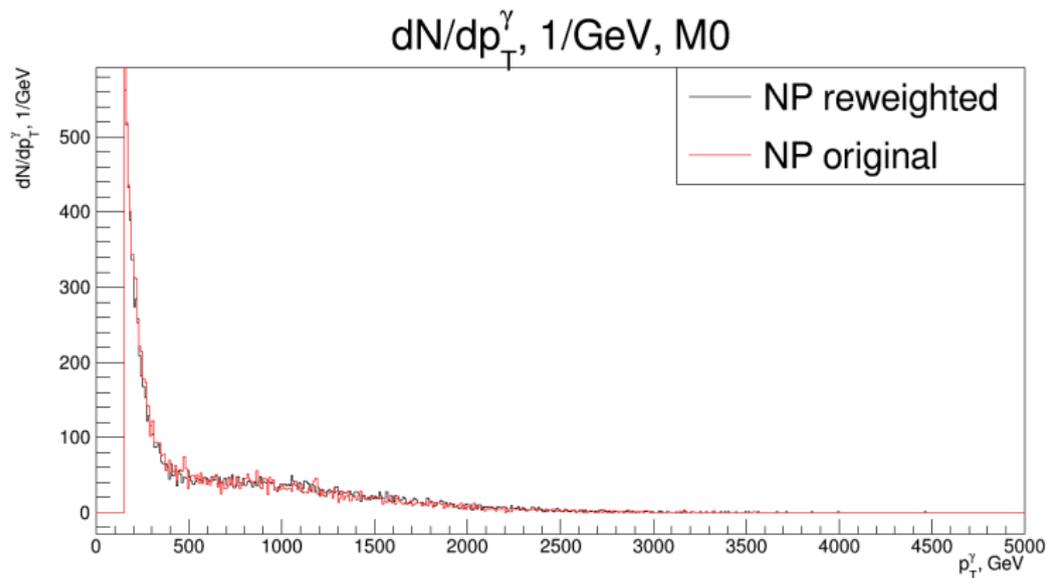
$pp \rightarrow Z\gamma jj \rightarrow \nu_e \bar{\nu}_e \gamma jj$: распределение 2



$pp \rightarrow \nu_l \bar{\nu}_l \gamma jj$: распределение 1



$pp \rightarrow \nu_l \bar{\nu}_l \gamma jj$: распределение 2



$pp \rightarrow \nu_l \bar{\nu}_l \gamma jj$: коэффициент δ и результаты

$$\delta = \frac{N - N(Z \rightarrow \nu_l \bar{\nu}_l)}{N}, \quad (11)$$

Опер.	σ , пб	δ	$\sigma_{\text{quadratic}}$, пб	$\delta_{\text{quadratic}}$	$\sigma_{\text{interference}}$, пб	$\delta_{\text{interference}}$
\mathcal{O}_{T0}	0.121	0.0491	0.0161	0.0440	$4.70 \cdot 10^{-4}$	0.0375
\mathcal{O}_{T8}	0.137	0.0500	0.0525	0.0453	$8.64 \cdot 10^{-6}$	0.1533
\mathcal{O}_{T9}	0.139	0.0422	0.0114	0.0469	$6.47 \cdot 10^{-6}$	0.1567
\mathcal{O}_{M0}	0.0525	0.0320	$1.32 \cdot 10^{-5}$	0.0272	- $4.21 \cdot 10^{-6}$	0.0301
\mathcal{O}_{M1}	0.0657	0.0204	$3.69 \cdot 10^{-6}$	0.0167	$1.24 \cdot 10^{-6}$	0.0291
\mathcal{O}_{M2}	0.0489	0.0246	$8.25 \cdot 10^{-5}$	0.0198	$8.37 \cdot 10^{-6}$	0.0284
\mathcal{O}_{M3}	0.0595	0.0171	$2.88 \cdot 10^{-5}$	0.0181	- $2.31 \cdot 10^{-6}$	0.0301