

Поиск аномальных вершин в формализме вершинной функции для процесса рождения Z -бозона с фотоном в эксперименте АТЛАС

Студент гр. Б20-102: Чехонина А.А.,
Научный руководитель: Солдатов Е.Ю., к.ф.- м.н., доцент,
Научный консультант: Семушин А.Е., инженер

НИЯУ МИФИ

27.12.2023

Цель работы: развитие метода постановки ограничений, получение более строгих пределов на константы связи в вершинном формализме. В рамках поставленной цели нужно выполнить следующие **задачи**:

- 1 создать модель более близкую к реальному процессу, т.е. добавить фоновые процессы;
- 2 поставить пределы на коэффициенты связи;
- 3 определить чувствительные к аномальным взаимодействиям переменные процесса, в частности чувствительные к CP-нарушению, определить влияние отборов на адронные струи на пределы;

Теоретическое введение

Вершинная функция [1, 2, 3]

$$\Gamma_{Z\gamma V}^{\alpha\beta\mu}(q_1, q_2, P) = \frac{i(P^2 - m_V^2)}{m_Z^2} \left\{ h_1^V (q_2^\mu g^{\alpha\beta} - q_2^\alpha g^{\mu\beta}) + \frac{h_2^V}{m_Z^2} P^\alpha [(Pq_2)g^{\mu\beta} - q_2^\mu P^\beta] - \right. \\ \left. - (h_3^V + h_5^V \frac{P^2}{m_Z^2}) \epsilon^{\mu\alpha\beta\rho} q_{2\rho} - \frac{h_4^V}{m_Z^2} P^\alpha \epsilon^{\mu\beta\rho\sigma} P_\rho q_{1\sigma} + \frac{h_6^V}{m_Z^2} P^2 [q_2^\alpha g^{\mu\beta} - q_2^\mu g^{\alpha\beta}] \right\}, \quad (1)$$

Аномальная добавка [1, 2, 3]

$$\mathcal{L} = \frac{e}{m_Z^2} \left[-[h_1^\gamma (\partial^\sigma F_{\sigma\mu}) + h_1^Z (\partial^\sigma Z_{\sigma\mu})] Z_\beta F^{\mu\beta} - [h_3^\gamma (\partial_\sigma F^{\sigma\rho}) + h_3^Z (\partial_\sigma Z^{\sigma\rho})] Z^\alpha \tilde{F}_{\rho\alpha} - \right. \\ \left. - [\frac{h_5^\gamma}{m_Z^2} (\partial^2 \partial_\sigma F^{\rho\sigma}) + \frac{h_5^Z}{m_Z^2} (\partial^2 \partial_\sigma Z^{\rho\sigma})] Z^\alpha \tilde{F}_{\rho\alpha} - \left\{ \frac{h_2^\gamma}{m_Z^2} [\partial_\alpha \partial_\beta \partial^\rho F_{\rho\mu}] + \frac{h_2^Z}{m_Z^2} [\partial_\alpha \partial_\beta (\square + m_Z^2) Z_\mu] \right\} Z^\alpha F^{\mu\beta} + \right. \\ \left. + \left\{ \frac{h_4^\gamma}{2m_Z^2} [\square \partial^\sigma F^{\rho\alpha}] + \frac{h_4^Z}{2m_Z^2} [(\square + m_Z^2) \partial^\sigma Z^{\rho\alpha}] \right\} Z_\sigma \tilde{F}_{\rho\alpha} - [\frac{h_6^\gamma}{m_Z^2} (\partial^2 \partial_\sigma F^{\rho\sigma}) + \frac{h_6^Z}{m_Z^2} (\partial^2 \partial_\sigma Z^{\rho\sigma})] Z^\alpha F_{\rho\alpha} \right] \quad (2)$$

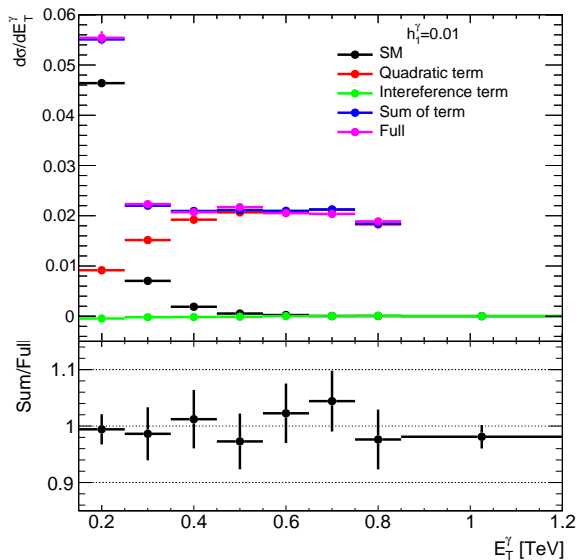
Метод декомпозиции и его проверка

В данной работе использовался метод декомпозиции, который является новым для исследования вершинных функций [4].

Метод заключается в том, что наборы генерируются отдельно для линейного, квадратичного слагаемого и слагаемого, отвечающего СМ.

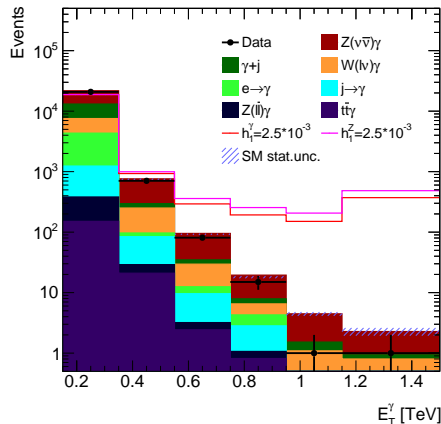
$$\begin{aligned} \mathcal{A} &= \mathcal{A}_{\text{SM}} + h_i \mathcal{A}_i \\ |\mathcal{A}|^2 &= |\mathcal{A}_{\text{SM}}|^2 + h_i 2\text{Re} \mathcal{A}_{\text{SM}}^\dagger \mathcal{A}_i + h_i^2 |\mathcal{A}_i|^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Для моделирования отдельных слагаемых используется **MadGraph5**.



Модель и отборы

- Монте-Карло моделирование аномальных вкладов: **MadGraph5**.
- Систематическая погрешность принята равной 10%.
- В модели учитываются все фоновые процессы.
- Отборы:
 $p_T^\gamma > 150$ ГэВ,
 $N_\gamma = 1$, $N_{e,\mu} = 0$,
 $E_T^{miss} > 120$ ГэВ,
Инклюзивный случай: $N_{jet} \geq 0$
Эксклюзивный случай: $N_{jet} = 0$



Постановка ожидаемых пределов

Наилучшие пределы получены без вето на струи.

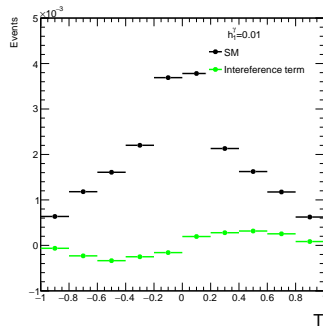
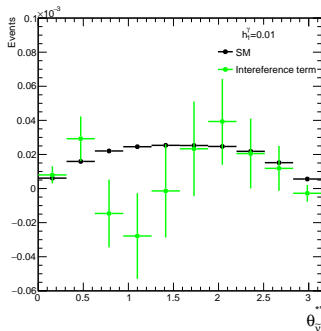
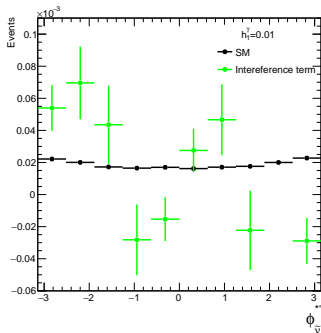
коэф.	Пределы основанные на распределении		Метод оптимизации
	Эксклюзивный	Инклюзивный	Инклюзивный
h_1^γ	$(-2.6 \times 10^{-4}, 2.7 \times 10^{-4})$	$(-2.6 \times 10^{-4}, 2.6 \times 10^{-4})$	$(-2.7 \times 10^{-4}, 2.8 \times 10^{-4})$
h_1^Z	$(-2.3 \times 10^{-4}, 2.3 \times 10^{-4})$	$(-2.2 \times 10^{-4}, 2.3 \times 10^{-4})$	$(-2.4 \times 10^{-4}, 2.4 \times 10^{-4})$
h_3^γ	$(-2.6 \times 10^{-4}, 2.6 \times 10^{-4})$	$(-2.6 \times 10^{-4}, 2.6 \times 10^{-4})$	$(-2.8 \times 10^{-4}, 2.7 \times 10^{-4})$
h_3^Z	$(-2.3 \times 10^{-4}, 2.3 \times 10^{-4})$	$(-2.2 \times 10^{-4}, 2.3 \times 10^{-4})$	$(-2.4 \times 10^{-4}, 2.4 \times 10^{-4})$
h_4^γ	$(-2.7 \times 10^{-7}, 2.6 \times 10^{-7})$	$(-2.5 \times 10^{-7}, 2.4 \times 10^{-7})$	$(-2.5 \times 10^{-7}, 2.5 \times 10^{-7})$
h_4^Z	$(-2.3 \times 10^{-7}, 2.3 \times 10^{-7})$	$(-2.2 \times 10^{-7}, 2.2 \times 10^{-7})$	$(-2.3 \times 10^{-7}, 2.3 \times 10^{-7})$
h_5^γ	$(-1.5 \times 10^{-7}, 1.5 \times 10^{-7})$	$(-1.2 \times 10^{-7}, 1.2 \times 10^{-7})$	$(-1.3 \times 10^{-7}, 1.3 \times 10^{-7})$
h_5^Z	$(-1.4 \times 10^{-7}, 1.4 \times 10^{-7})$	$(-1.1 \times 10^{-7}, 1.1 \times 10^{-7})$	$(-1.1 \times 10^{-7}, 1.1 \times 10^{-7})$
h_6^γ	$(-1.5 \times 10^{-7}, 1.5 \times 10^{-7})$	$(-1.2 \times 10^{-7}, 1.2 \times 10^{-7})$	$(-1.3 \times 10^{-7}, 1.3 \times 10^{-7})$
h_6^Z	$(-1.4 \times 10^{-7}, 1.3 \times 10^{-7})$	$(-1.1 \times 10^{-7}, 1.1 \times 10^{-7})$	$(-1.1 \times 10^{-7}, 1.1 \times 10^{-7})$

Сравнение ожидаемых полученных в данной работе и опубликованных одномерных пределов с доверительной вероятностью 95% [5, 6]

Коэф.	Пределы, полученные в данной работе	Опубликованные пределы
h_1^γ	$(-2.6 \times 10^{-4}, 2.6 \times 10^{-4})$	$(-3.7 \times 10^{-4}, 3.7 \times 10^{-4})$
h_1^Z	$(-2.2 \times 10^{-4}, 2.3 \times 10^{-4})$	$(-3.3 \times 10^{-4}, 3.3 \times 10^{-4})$
h_3^γ	$(-2.6 \times 10^{-4}, 2.6 \times 10^{-4})$	$(-3.7 \times 10^{-4}, 3.7 \times 10^{-4})$
h_3^Z	$(-2.2 \times 10^{-4}, 2.3 \times 10^{-4})$	$(-3.2 \times 10^{-4}, 3.3 \times 10^{-4})$
h_4^γ	$(-2.5 \times 10^{-7}, 2.4 \times 10^{-7})$	$(-4.4 \times 10^{-7}, 4.3 \times 10^{-7})$
h_4^Z	$(-2.2 \times 10^{-7}, 2.2 \times 10^{-7})$	$(-4.5 \times 10^{-7}, 4.4 \times 10^{-7})$
h_5^γ	$(-1.2 \times 10^{-7}, 1.2 \times 10^{-7})$	—
h_5^Z	$(-1.1 \times 10^{-7}, 1.1 \times 10^{-7})$	—
h_6^γ	$(-1.2 \times 10^{-7}, 1.2 \times 10^{-7})$	—
h_6^Z	$(-1.1 \times 10^{-7}, 1.1 \times 10^{-7})$	—

Чувствительные к CP-нарушению переменные

- для $\bar{\nu}$ при распаде $Z \rightarrow \nu\bar{\nu}$ в система покоя Z -бозона
- ось z взята вдоль направления движения Z -бозона в системе покоя $Z+\gamma$
- новая ось x лежит в одной плоскости с осью z и направлением движения Z -бозона в системе покоя $Z+\gamma$, и имеет то же полярное направление, что и новая ось z
- ось y определена правилом правой руки



$$T = \sin(\phi_{\bar{\nu}}^{*'}) \cos(\theta_{\bar{\nu}}^{*'})$$

Вывод

- Была создана модель близкая к реальному процессу, т.е. были добавлены фоновые процессы.
- Поставлены ограничения на коэффициенты связи. В инклюзивном случае пределы оказались строже, чем в эксклюзивном.
- В рамках данного исследования получено значительное улучшение пределов на все коэффициенты связи по сравнению с опубликованными.
- Восстановлены чувствительные к CP-нарушению угловые переменные.

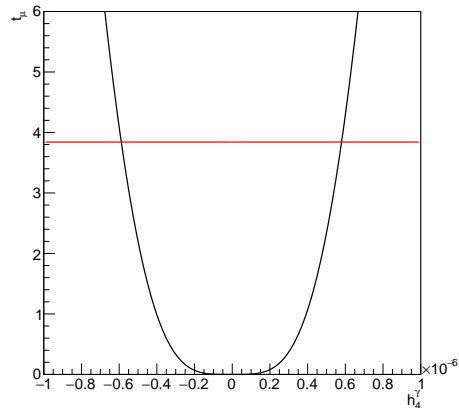
Дальнейшие планы:

- Создать более реалистичную статистическую модель, и проверить полученные результаты для нее.
- Продолжить изучение новых чувствительных переменных, применить их к постановке пределов на коэффициенты связи.

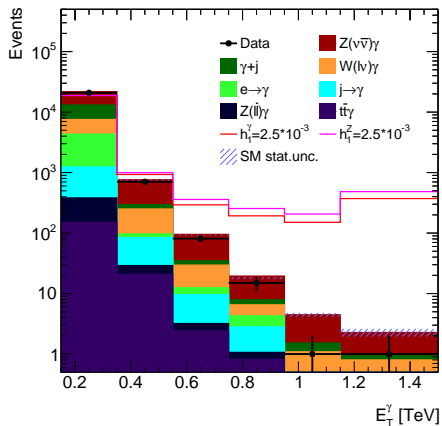
Спасибо за внимание!

Back-Up

$$t_{\mu} = -2 \ln \frac{L(\mu, \hat{\theta}(\mu))}{L(\hat{\mu}, \hat{\theta})} \quad (5)$$



Инклюзивный случай



Эксклюзивный случай

