

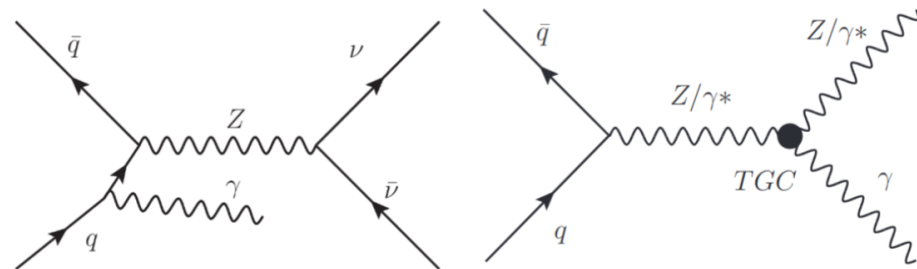
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ФОНА $jet + \gamma$ ДЛЯ ПРОЦЕССА $Z\gamma \rightarrow (\nu\bar{\nu})\gamma$ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ATLAS

СТУДЕНТ: СИМБИРЯТИН Л. Л.
РУКОВОДИТЕЛЬ: СОЛДАТОВ Е. Ю.

Мотивация

Проблемы СМ:

- Проблема иерархии масс
- Масса нейтрино (по предсказанию нулевая) отлична от нуля
- СМ не описывает гравитационное взаимодействие, частицы темного вещества и т.д.



а - испускание фотона из начального состояния

б - процесс, протекающий через запрещенную трехбозонную вершину

Измерение сечения процесса ассоциированного рождения $Z + \gamma$, сравнение с предсказанием СМ

$Z \rightarrow$ адроны

$Z \rightarrow$ заряженные лептоны

$Z \rightarrow \nu\bar{\nu}$

Необходима высокая точность измерений

Важным этапом является оценка фонов

Рассматривается фон $jet + \gamma$

Отборы и фоновые процессы

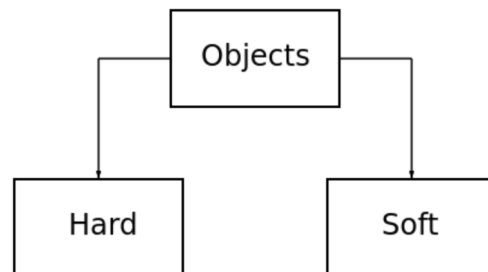
$(N_{jets} = 0) \parallel (N_{jets} > 0 \ \&\& \ \Delta\phi(j_1, p_T^{miss}) > 0.4)$
$\Delta\phi(\gamma, p_T^{miss}) > 0.7$
$p_T^{miss} > 130 \text{ ГэВ}$
$p_T^\gamma > 150 \text{ ГэВ}$
$N_\gamma = 1$
$E_T^{cone20}/p_T^\gamma < 0.065$
$p_T^{cone20}/p_T^\gamma < 0.05$
$ \Delta z < 250 \text{ мм}$
лептонное вето
$E_T^{miss} \text{signif} > 11$
$p_T^{SoftTerm} < 16 \text{ ГэВ} (< 60 \text{ ГэВ})$

- $\tau\nu\gamma$ и $l\nu\gamma$ от рождения $W\gamma$, где τ распадается на адроны или электрон или мюон не регистрируется (вклад в сигнальный регион порядка 15%)
- $jet + \gamma$, где большое значение E_T^{miss} возникает из-за неправильно измеренной энергии струй (вклад в сигнальный регион порядка 30%)
- $W(e\nu)$, одиночный t и $t\bar{t}$, где электрон ошибочно идентифицируется как фотон ($e \rightarrow \gamma$) (вклад в сигнальный регион порядка 13%)
- $Z(\nu\bar{\nu}) + jets$, где струя ошибочно идентифицируется как фотон ($jet \rightarrow \gamma$) (вклад в сигнальный регион порядка 1%)
- $Z(l\bar{l}) + \gamma$, где τ распадается на адроны или электрон или мюон не регистрируется (вклад в сигнальный регион $\ll 1\%$)

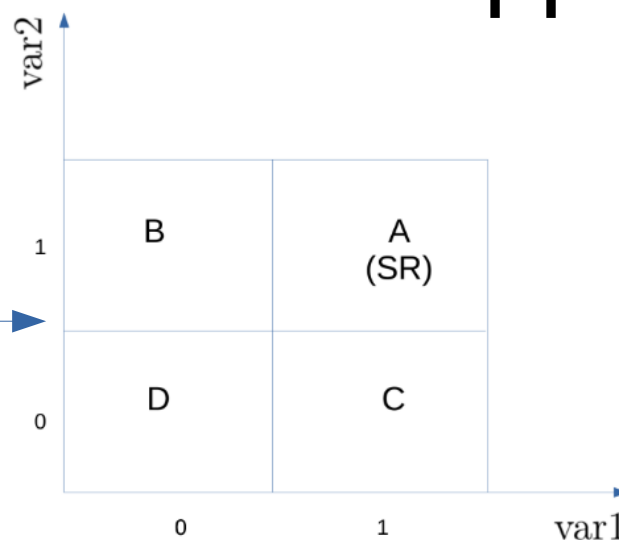
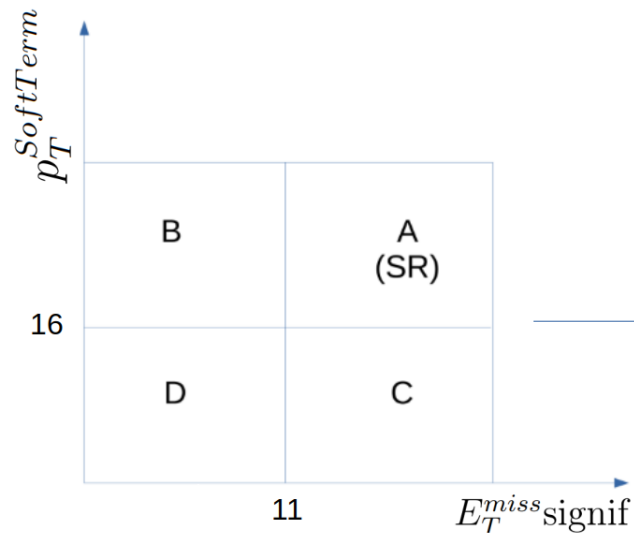
$$\vec{p}_T^{miss} = - \sum \vec{p}_T^f$$

$$E_T^{miss} = |\vec{p}_T^{miss}|$$

$$E_T^{miss} \text{signif} = E_T^{miss} / \sqrt{\sigma_L^2(1 - \rho_{LT}^2)}$$



ABCD-метод



Основные допущения:

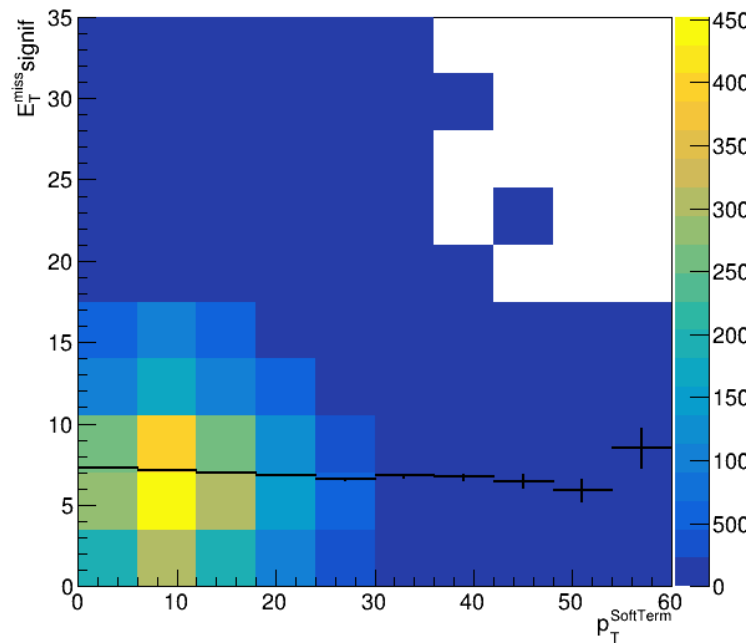
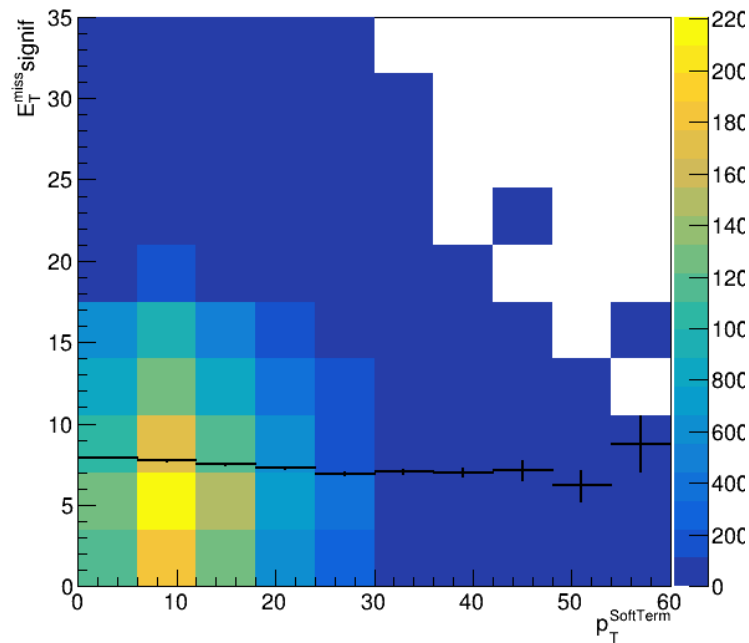
- Отсутствие корреляции между переменными
- коэффициенты утечки сигнала c_i верно предсказываются МК

$$N_A^{jet \rightarrow MET} = \frac{N_C^{jet \rightarrow MET} \cdot N_B^{jet \rightarrow MET}}{N_D^{jet \rightarrow MET}} \longrightarrow R = \frac{N_A^{jet \rightarrow MET} \cdot N_D^{jet \rightarrow MET}}{N_C^{jet \rightarrow MET} \cdot N_B^{jet \rightarrow MET}}$$

$$N_A^{jet \rightarrow MET} = R \cdot (\widetilde{N}_B - c_B \cdot N_A^{sig}) \cdot \frac{\widetilde{N}_C - c_C \cdot N_A^{sig}}{\widetilde{N}_D - c_D \cdot N_A^{sig}}$$

$$c_i = N_i^{sig} / N_A^{sig}$$

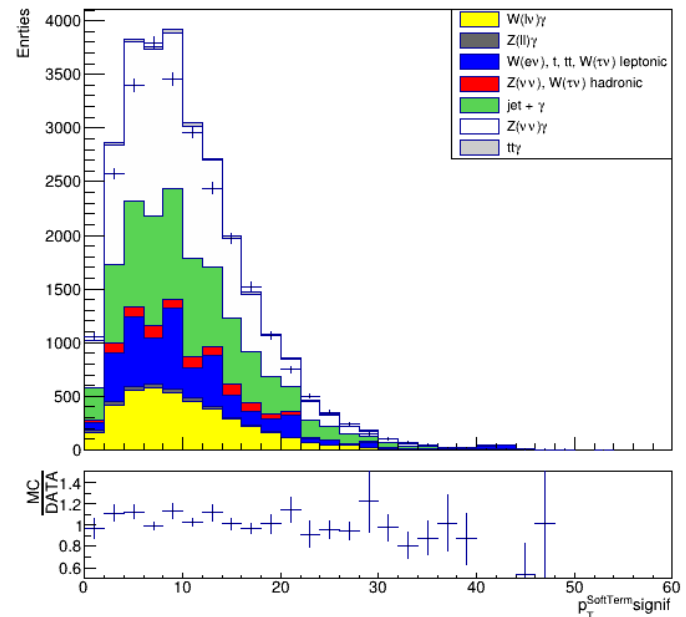
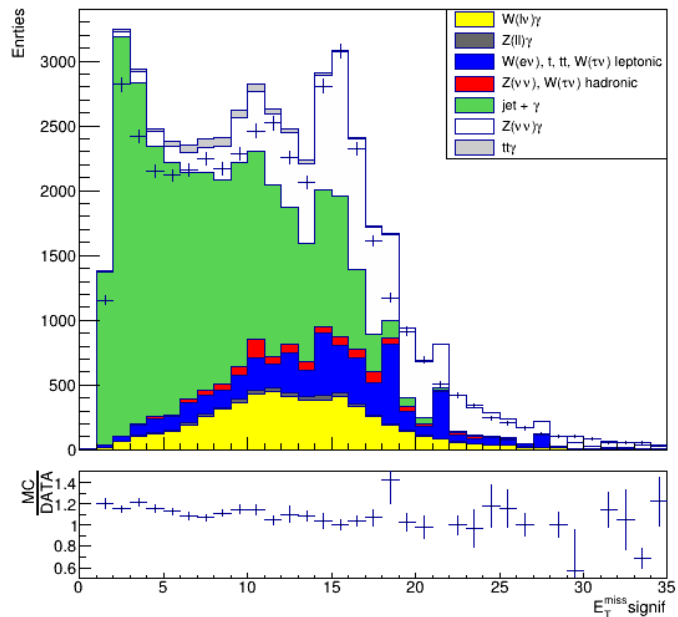
ABCD-метод



Проверка наличия корреляции между переменными $p_T^{SoftTerm}$ и значимость E_T^{miss}

Корреляция в диапазоне $p_T^{SoftTerm}$ от 0 до 60 ГэВ не высокая

ABCD-метод



Сравнение данных и предсказанных МК распределений по переменным значимость E_T^{miss} и $p_T^{SoftTerm}$ (применены отборы сигнального региона за исключением отборов по рассматриваемым переменным)

ABCD-метод

Bool	Отборы	R	ΔR
var1	$E_T^{miss} \text{signif} > 11$	1.30	0.04
var2	$p_T^{SoftTerm} < 16$		
var1	$E_T^{miss} \text{signif} > 11$	1.31	0.04
var2	$p_T^{SoftTerm} < 16 \ \&\& \ E_T^{cone20}/p_T^\gamma < 0.065$		
var1	$E_T^{miss} \text{signif} > 11$	1.35	0.04
var2	$p_T^{SoftTerm} < 16 \ \&\& \ p_T^{cone20}/p_T^\gamma < 0.05$		
var1	$E_T^{miss} \text{signif} > 11 \ \&\& \ \Delta\phi(j_1, p_T^{miss}) > 0.4$	1.23	0.03
var2	$p_T^{SoftTerm} < 16$		
var1	$E_T^{miss} \text{signif} > 11 \ \&\& \ \Delta\phi(j_1, p_T^{miss}) > 0.4$	1.24	0.03
var2	$p_T^{SoftTerm} < 16 \ \&\& \ E_T^{cone20}/p_T^\gamma < 0.065$		
var1	$E_T^{miss} \text{signif} > 11 \ \&\& \ \Delta\phi(j_1, p_T^{miss}) > 0.4$	1.29	0.03
var2	$p_T^{SoftTerm} < 16 \ \&\& \ p_T^{cone20}/p_T^\gamma < 0.05$		

Область	var1	var2
A	$E_T^{miss} \text{signif} > 11 \ \&\& \ (\Delta\phi(j_1, p_T^{miss}) > 0.4 \ \ N_{jet} = 0)$	$p_T^{SoftTerm} < 16$
B	$E_T^{miss} \text{signif} < 11 \ \ (\Delta\phi(j_1, p_T^{miss}) < 0.4 \ \&\& \ N_{jet} > 0)$	$p_T^{SoftTerm} < 16$
C	$E_T^{miss} \text{signif} > 11 \ \&\& \ (\Delta\phi(j_1, p_T^{miss}) > 0.4 \ \ N_{jet} = 0)$	$p_T^{SoftTerm} < 60$
D	$E_T^{miss} \text{signif} < 11 \ \ (\Delta\phi(j_1, p_T^{miss}) < 0.4 \ \&\& \ N_{jet} > 0)$	$p_T^{SoftTerm} < 60$

Область	данные	фоны (без $jet + \gamma$) МК	сигнал МК
A	21649 ± 147	7767 ± 460	9004 ± 8
B	28660 ± 169	4663 ± 150	1846 ± 3
C	4866 ± 70	1677 ± 159	1661 ± 3
D	8256 ± 91	1249 ± 148	397 ± 2

Поиск конфигурации с наименьшей корреляцией

Видно, что в различных сочетаниях она остается довольно высокой

В дальнейшем это внесет определяющий вклад в погрешность метода

ABCD-метод

погрешность

статистическая

систематическая

Величина	0	$+\sigma$	$-\sigma$
\widetilde{N}_A	13882	13345	14419
\widetilde{N}_B	23997	23763	24231
\widetilde{N}_C	3189	2982	3397
\widetilde{N}_D	7007	6836	7178
a	0.0063182	0.0063182	0.0063182
b	2539.02	2430.4	2647.63
c	2.07328e+07	2430.4	2.1187e+07
N_A^{sig}	8339	8570	8161
$N_A^{jet \rightarrow MET}$	5543	4775	6257

- $R = 1.23$

- оценка коэф. утечки сигнала

различными МК генераторами

коэф. утечки	SHERPA	MADGRAPH	Δ
c_B	0.2050 ± 0.0004	0.1776 ± 0.0015	13.4%
c_C	0.1845 ± 0.0004	0.1883 ± 0.0016	2.0%
c_D	0.04414 ± 0.00017	0.0361 ± 0.0007	18.2 %
$N_A^{jet \rightarrow MET}$	5543	5244	5.4%

Итоговая оценка фона $jet + \gamma$ с учетом статистической и систематической погрешностей составляет $5543 \pm 768 \pm 1294$ события.

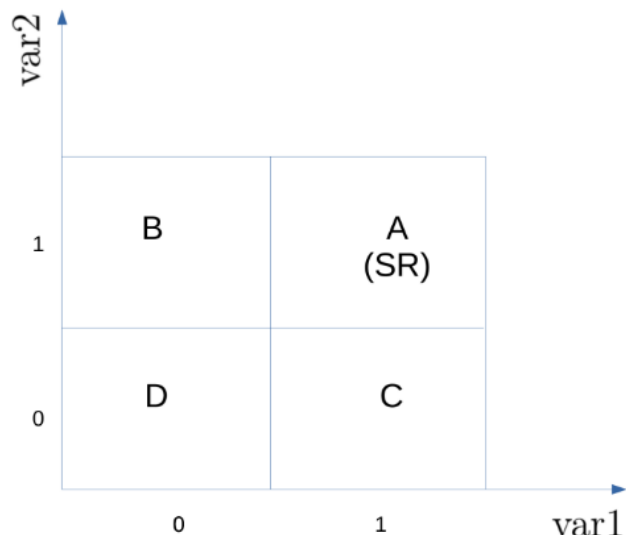
Заключение

В ходе проделанной работы была получена оценка фона $jet + \gamma$ с помощью т.н. ABCD-метода. Данный метод дает большую систематическую погрешность, что обусловлено трудностью моделирования E_T^{miss} .

В дальнейшем планируется уменьшить значение погрешности. Сделать это можно двумя способами. Первый заключается в использовании данных для оценки корреляционного фактора R (как правило, это позволяет снизить ΔR). Второй способ - использовать для оценки метод слайсов. Метод слайсов, за счет разбиения контрольных регионов на узкие полосы, позволяет тем самым проследить зависимость оценки от значения дискриминирующей переменной, что, в свою очередь, дает более точную оценку.

Планируется попробовать оба способа и сравнить результаты.

ABCD-метод



$$c_i = N_i^{sig} / N_A^{sig}$$

$$\widetilde{N}_i = N_i - N_i^{bkg}$$

$$\begin{aligned} N_A &= N_A^{sig} + N_A^{bkg} + N_A^{jet \rightarrow MET} \\ N_B &= c_B \cdot N_A^{sig} + N_B^{bkg} + N_B^{jet \rightarrow MET} \\ N_C &= c_C \cdot N_A^{sig} + N_C^{bkg} + N_C^{jet \rightarrow MET} \\ N_D &= c_D \cdot N_A^{sig} + N_D^{bkg} + N_D^{jet \rightarrow MET} \end{aligned}$$

$$R = \frac{N_A^{jet \rightarrow MET} \cdot N_D^{jet \rightarrow MET}}{N_C^{jet \rightarrow MET} \cdot N_B^{jet \rightarrow MET}}$$

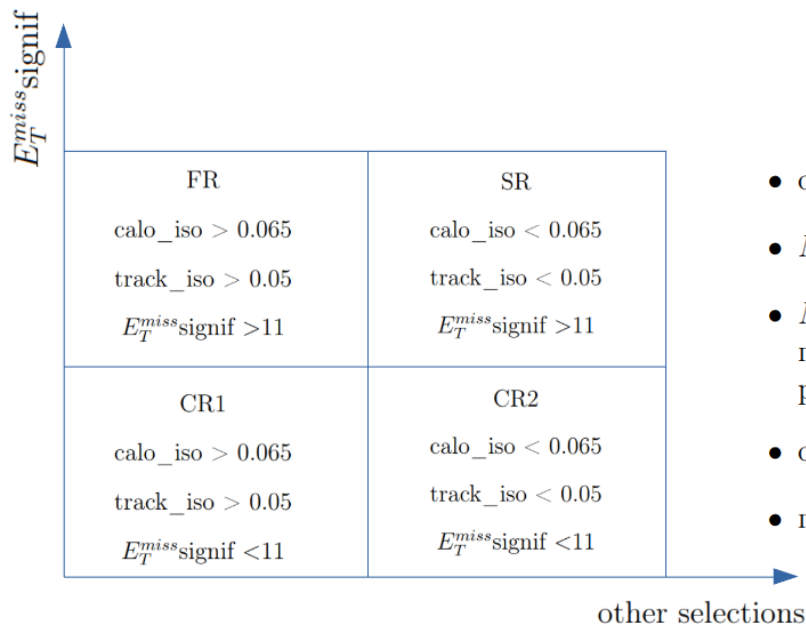
$$\begin{aligned} \widetilde{N}_A &= N_A^{sig} + N_A^{jet \rightarrow MET} \\ \widetilde{N}_B &= c_B \cdot N_A^{sig} + N_B^{jet \rightarrow MET} \\ \widetilde{N}_C &= c_C \cdot N_A^{sig} + N_C^{jet \rightarrow MET} \\ \widetilde{N}_D &= c_D \cdot N_A^{sig} + N_D^{jet \rightarrow MET} \end{aligned}$$

$$N_A^{jet \rightarrow MET} = R \cdot (\widetilde{N}_B - c_B \cdot N_A^{sig}) \cdot \frac{\widetilde{N}_C - c_C \cdot N_A^{sig}}{\widetilde{N}_D - c_D \cdot N_A^{sig}}$$

$$N_A^{sig} = \widetilde{N}_A - R \cdot (\widetilde{N}_B - c_B \cdot N_A^{sig}) \cdot \frac{\widetilde{N}_C - c_C \cdot N_A^{sig}}{\widetilde{N}_D - c_D \cdot N_A^{sig}}$$

$$N_A^{sig} = \frac{b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \quad \leftarrow \quad \begin{aligned} a &= c_D - R \cdot c_C \cdot c_B \\ b &= \widetilde{N}_D + c_D \cdot \widetilde{N}_A - R \cdot (c_B \cdot \widetilde{N}_C + c_C \cdot \widetilde{N}_B) \\ c &= \widetilde{N}_A \cdot \widetilde{N}_D - R \cdot \widetilde{N}_C \cdot \widetilde{N}_B \end{aligned}$$

Метод слайсов



- области с значимостью $E_T^{miss} < 11$ разбиваются на слайсы
- $N_{CR1}^{jet \rightarrow MET(i)} = N_{CR1}^{data(i)} - N_{CR1}^{bkg(i)}$ для каждого i-го слайса
- $N_{FR}^{data} = N_{FR}^{bkg} + T^{(i)} \cdot N_{CR1}^{jet \rightarrow MET(i)}$, параметры T получают для каждого слайса путем фитирования распределения данных по каждой из выбранных некоррелированных переменных соответствующими образцами, добытыми из CR1
- оценка $jet + \gamma$ для i-го слайса дается соотношением $N_{SR}^{jet \rightarrow MET(i)} = T^{(i)} \cdot N_{CR2}^{jet \rightarrow MET(i)}$
- производится экстраполяция оценок $N_{SR}^{jet \rightarrow MET(i)}$ в область со значимостью $E_T^{miss} > 11$