

Выделение сигнала в инклюзивном процессе
 $pp \rightarrow ZZ \rightarrow ll\nu\nu$ в эксперименте АТЛАС на
данных второго сеанса работы БАК.

Зубов Дмитрий

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Научный руководитель: Солдатов Е.Ю.

18.06.2024

Мотивация и цели

Мотивация:

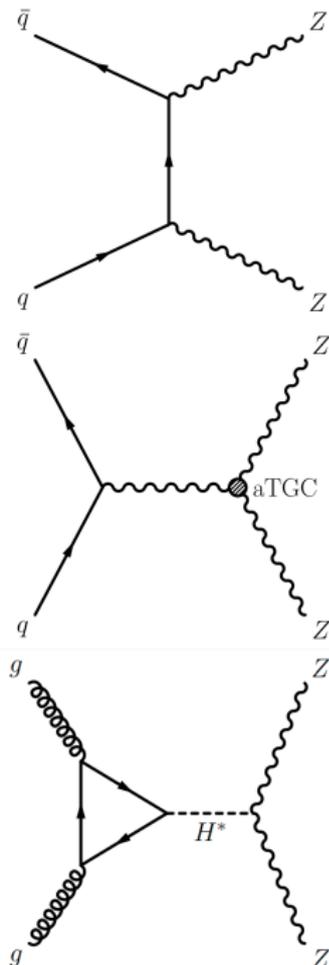
- ▶ Отсутствие ZZZ или $ZZ\gamma$ вершин взаимодействия \rightarrow косвенный поиск эффектов, предсказанных теориями за пределами СМ.
- ▶ $pp \rightarrow ZZ$ важный фон для процесса рождения бозона Хиггса.

Цели анализа:

- ▶ Получить интегральное и дифференциальные сечения для переменных $p_T^{\ell\ell} = p_T^Z$, $\Delta\phi(\ell\ell)$, m_{T}^{ZZ} , N_{jets} , $m(j_1, j_2)$.
- ▶ Поставить пределы на аномальные тройные вершины взаимодействия.

Задача:

- ▶ Измерение сечения рождения пар Z-бозонов.



Inclusive ZZ \rightarrow $ll\nu\nu$

- ▶ В событии два разноименно-заряженных лептона одного аромата (e^+e^- или $\mu^+\mu^-$), при этом, поперечный импульс первого больше 30 ГэВ, второго больше 20 ГэВ;
- ▶ Вето на третий заряженный лептон;
- ▶ $76 \text{ ГэВ} < M_{ll} < 106 \text{ ГэВ}$;
- ▶ $E_T^{miss} > 70 \text{ ГэВ}$.
- ▶ Отбор объектов описан в бэкапе

Signal	
ZZ ($\sim 0.7\%$)	Рождение двух Z-бозонов и последующий распад в $ll\nu\nu$
Background	
Zj ($\sim 85.6\%$)	рождение Z-бозона и струи, с распадом Z-бозона в пару заряженных лептонов и большим ложным поперечным импульсом
tt ($\sim 11.0\%$)	рождение пары топ-кварков и последующим распадом включающим конечное состояние $ll\nu\nu$ (не резонансное рождение $ll\nu\nu$)
WZ ($\sim 1.0\%$)	рождение пары бозонов Z и W, с распадом Z-бозона в пару заряженных лептонов и лептонным распадом W
WW ($\sim 0.5\%$)	рождение пары W с распадом в $ll\nu\nu$ (не резонансное рождение $ll\nu\nu$)
Wt ($\sim 0.9\%$)	рождение W и топ-кварка и распадом в конечное состояние, содержащее $ll\nu\nu$ (не резонансное рождение $ll\nu\nu$)
Other ($4l, llqq, VVV, Z(\tau\tau), W + \text{jets}$)	Фоновые процессы, которые вносят незначительный вклад в общее число событий и оцениваются с помощью МК

Оптимизация отбора событий. Строгий предотбор событий

- В процессе оптимизации искались пороги на переменные, при которых достигается максимум сигнальной значимости:

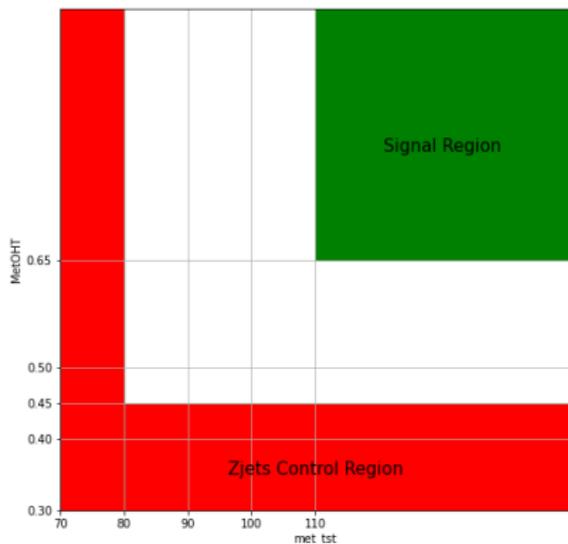
$$Z = \sqrt{2 \times [(S + B) \times \ln(1 + (S/B)) - S]}$$

- Сигнальная значимость рассматривалась как функция нескольких переменных и поиск оптимального вектора оптимизируемых отборов осуществлялся перебором всевозможных вариантов ограничения фазового пространства.

Переменная	До	После
E_T^{miss} , ГэВ	—	>110
ΔR_{ll}	—	<1.8
$\Delta\phi(\vec{E}_T^{miss}, \vec{p}_T^d)$	—	>2.2
N_{b-jets}	—	<1
$\frac{E_T^{miss}}{H_T}$	—	>0.65
$m_{\ell\ell}$, ГэВ	76-106	80-100
Сигнал		
QCD ZZ	7600±30	1558±15
EWK ZZ	262±2	7.47±0.08
Всего сигнала	7860±30	1966±15
Фон		
Zj	963000±4000	150±16
WZ	11340±30	691±7
tt, Wt, ttV, ttVV	123340±80	89±3
WW	5093±13	32.1±1.0
Other	282±2	49±2
Всего фона	1123000±4000	1011±18
Сигнальная значимость	5.43±0.02	50.0±0.4

Определение контрольных и сигнальной областей.

Переменная	SR	WZ (3 ℓ)	NR ($e\mu$)	Zj
E_T^{miss} , ГэВ	>110	>70	>70	
ΔR_{ll}	<1.8	<2	<2	<1.8
$\Delta\phi(E_T^{miss}, p_T^{ll})$, рад	>2.2			
$\frac{E_T^{miss}}{H_T}$	>0.65	>0.3	>0.3	
m_T^W , ГэВ		>30		



- ▶ NR-регион делится на два подрегиона условиями $N_{b\text{-jets}} = 0$ и $N_{b\text{-jets}} > 0$
- ▶ Zj-регион делится на три подрегиона $N_{\text{jets}} = 0$, $N_{\text{jets}} = 1$ и $N_{\text{jets}} > 1$

Описание статистической модели

Интегральное сечение и фон оцениваются в фите, путем максимизации функции правдоподобия:

$$\mathcal{L}(\mu, \theta) = \prod_r \left[\prod_{i \in \text{bins}} \text{Pois}(N_i^{\text{data}} | \mu \nu_i^s \eta^s(\theta) + \nu_i^b \eta^b(\theta)) \right] \cdot \prod_i^{\text{nuis. par.}} \mathcal{L}(\theta_i),$$

$N(\nu)$ — наблюдаемое (прогнозируемое) количество событий

μ — коэффициент нормировки сигнала (сила сигнала), $\mu = \nu^s / N^s$.

θ — коэффициенты нормировки фона и систематические неопределенности.

η — отражает влияние систематических неопределенностей на число событий в бине.

В фите 7 областей (включая сигнальную) и 7 коэффициентов нормировки (включая силу сигнала).

Сейчас фит к наблюдаемым данным выполняется **только в контрольных областях** и набор данных Азимова используется вместо наблюдаемых данных в сигнальной области.

Следующая статистика используется для вычисления ожидаемой значимости и неопределенности $\hat{\mu}$:

$$q(\mu, \hat{\mu}, \hat{\theta}) = -2 \ln \lambda(\mu, \hat{\mu}, \hat{\theta}) = -2 \ln \frac{\mathcal{L}(\mu, \hat{\theta}(\mu))}{\mathcal{L}(\hat{\mu}, \hat{\theta})}, \quad Z_{\text{disc}}^{\text{exp.}} = \sqrt{q(\mu = 1)_A}. \quad (1)$$

Источники систематических погрешностей

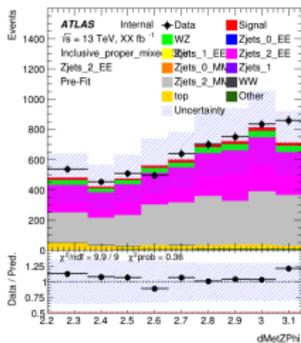
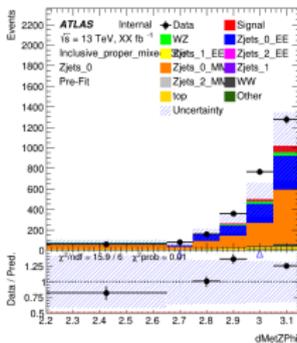
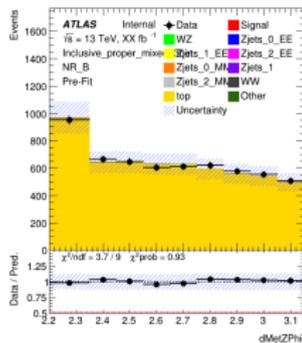
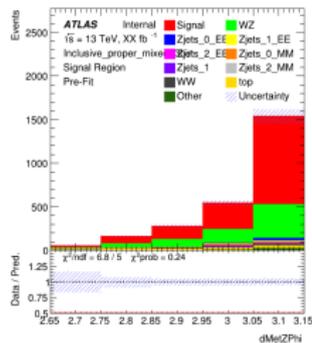
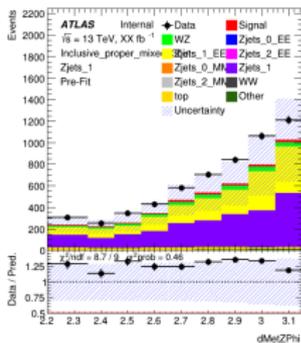
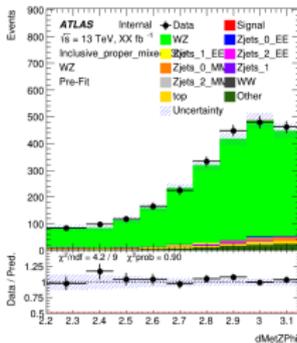
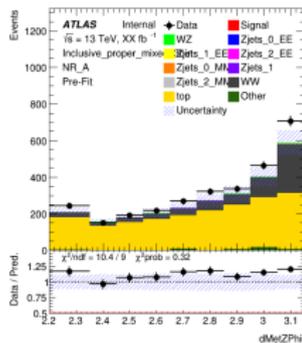
Экспериментальные:

- ▶ Неопределенности энергетической шкалы и разрешения адронных струй
- ▶ Неопределенность восстановления вершин адронных струй
- ▶ Неопределенности идентификации, восстановления и изоляции электронов и мюонов
- ▶ Неопределенность эффективности триггеров
- ▶ Неопределенность восстановления импульсов электронов и мюонов
- ▶ Неопределенность перевзвешивания пайл-апа
- ▶ Неопределенность определения светимости

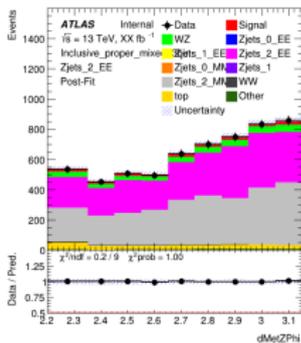
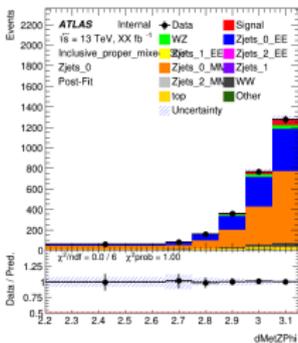
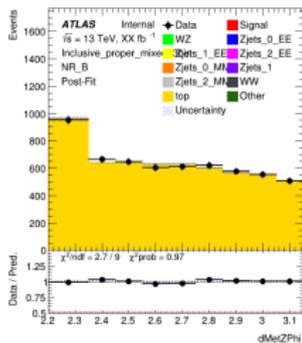
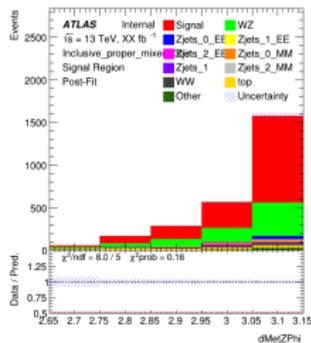
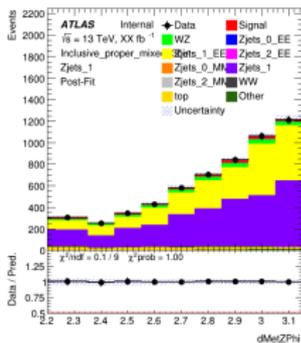
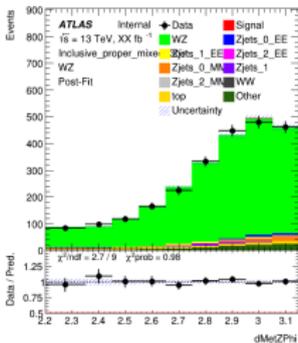
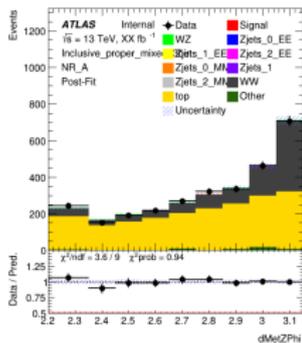
Теоретические:

- ▶ Неопределенность масштаба КХД
- ▶ Неопределенность функции распределения партонов
- ▶ Неопределенность моделирования партонного ливня

Распределения до фита



Распределения после фита



Фит. Результаты.

Полученное значение силы сигнала μ_{ZZ} применяется при вычисления наблюдаемого сечения: $\sigma_{meas.} = \mu_{ZZ} \cdot \sigma_{SM}$

μ_{ZZ}	$1.00^{+0.04}_{-0.04}(\text{stat})^{+0.05}_{-0.05}(\text{syst})$	Impact Table	
$\mu_{Zj}, N_{\mathbf{jets}} = 2$	$0.97^{+0.30}_{-0.23}(\text{full})$	EG	0.31 %
$\mu_{Zj}, N_{\mathbf{jets}} = 1$	$1.17^{+0.37}_{-0.28}(\text{full})$	EL	0.26 %
$\mu_{Zj}, N_{\mathbf{jets}} = 0$	$1.28^{+0.39}_{-0.28}(\text{full})$	FT	0.30 %
$\mu_{NR}, N_{\mathbf{b-jets}} > 0$	$1.00^{+0.13}_{-0.11}(\text{full})$	MC Statistics	1.87 %
$\mu_{NR}, N_{\mathbf{b-jets}} = 0$	$1.40^{+0.18}_{-0.17}(\text{full})$	JET	2.34 %
μ_{WZ}	$0.99^{+0.06}_{-0.05}(\text{full})$	MET	0.38 %
		MUON	0.37 %
		PRW	1.61 %
		Theory	3.68 %
		Showering	0.96 %
		Luminosity	0.79 %
		FullSyst	5.13 %

Квалификационная задача

Цель:

- ▶ Изучить и задокументировать работу алгоритма идентификации частиц TRT для данных раннего второго сеанса набора данных, используя алгоритм идентификации частиц на основе функции правдоподобия.

Мотивация:

- ▶ Газовая геометрия TRT менялась с годами: количество заполненных ксеноном соломинок уменьшалось, а аргоном - увеличивалось. Работа эволюционировавших алгоритмов идентификации частиц не проверялась на "лучшей" геометрии газа.

Заключение

- ▶ Построена статистическая модель учитывающая основные источники систематических ошибок.
- ▶ Получены ожидаемые статистические и систематические погрешности на силу сигнала, которые в последующем используются для оценки интегрального сечения.
- ▶ Изучен алгоритм идентификации частиц в детекторе TRT, на данных 3 сеанса.