

# Получение интегрального сечения для процесса ассоциированного рождения $Z$ бозона с фотоном в $pp$ столкновениях с энергией $\sqrt{s} = 13$ ТэВ в эксперименте ATLAS

Казакова К.К.

Научные руководители: к.ф.-м.н., доцент Солдатов Е.Ю.  
инженер Пятиизбянцева Д.Н.



Защита НИРС  
29.01.2024



# Мотивация и задачи

## Мотивация:

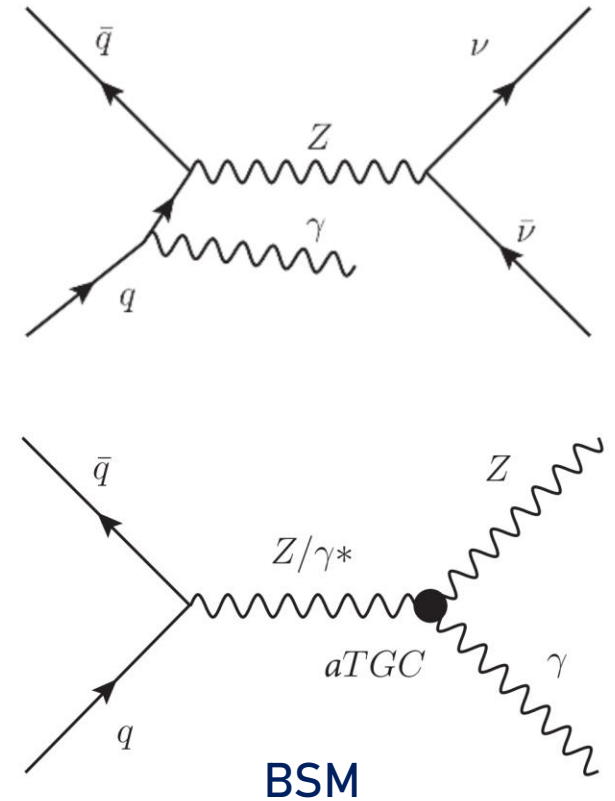
- Измерение дифференциальных сечений в рамках Стандартной модели (СМ) с точностью NNLO КХД и NLO ЭС поправок. Это даст возможность наблюдать отклонения от СМ в области высоких энергий;
- Поиск аномальных тройных вершин. Одним из чувствительных процессов для поиска «новой физики» является  $Z(\nu\nu)\gamma$ .

## Цель:

- Получение интегрального сечения для процесса  $Z(\nu\nu)\gamma$ .

## Задачи:

- Оценка фонов  $W(l\nu)\gamma$ ,  $t\bar{t}\gamma$  и  $\gamma$ +jets;
- Оценка силы сигнала  $Z(\nu\nu)\gamma$ ;
- Построение стабильной статистической модели;
- Осуществление процедуры фитирования с учетом экспериментальных и теоретических систематических погрешностей.



# Фоны и определение фазового пространства

- На основе максимизации значимости сигнала получено определение сигнальной области (СО):

## Предотборы

Переменная	Ограничение
$E_T^{\text{miss}}$	$> 120$ ГэВ
$E_T^\gamma$	$> 150$ ГэВ
Число жёстких изолированных фотонов	$N_\gamma = 1$
Число лептонов	$N_e = 0, N_\mu = 0,$ $N_\tau = 0$

## Отборы

Переменная	Ограничение
$E_T^{\text{miss}}$	$> 130$ ГэВ
Значимость $E_T^{\text{miss}}$	$> 11$
$ \Delta\phi(\vec{p}_T^{\text{miss}}, \gamma) $	$> 0.6$
$ \Delta\phi(\vec{p}_T^{\text{miss}}, j_1) $	$> 0.3$



Область с такими  
предотборами и  
отборами образует  
**сигнальную  
область (СО)**

- Фотон идентифицируется как «жёсткий», если он удовлетворяет всем критериям формы ЭМ ливня.

Критерии изолированности:

Изоляционная рабочая точка	Калориметрическая изоляция	Трековая изоляция
FixedCutLoose	$E_T^{\text{cone20}} - 0.065 \cdot p_T^\gamma < 0$ ГэВ	$p_T^{\text{cone20}} / p_T^\gamma < 0.05$

- Вклад фоновых процессов для  $Z(\nu\nu)\gamma$ :

- 35% •  $\gamma$ +jets – фит данными в контрольной области (КО) на основе MET значимости (форма из МК);
- 15% •  $W(l\nu)\gamma$  и  $t\bar{t}\gamma$  – фит данными в КО на основе числа лептонов (форма из МК);
- 11% •  $e \rightarrow \gamma$  – оценка вклада методом на основе данных;
- 8% •  $\text{jet} \rightarrow \gamma$  – оценка ABCD методом (форма из метода слайсов);
- 0.9% •  $Z(l\bar{l})\gamma$  – на основе МК.

# Метод максимального правдоподобия

- КО  $W\gamma$  определяется аналогично СО, за исключением отбора на  $N$  лептонов  $> 0$ ;
- КО  $\gamma j$  определяется аналогично СО, за исключением отбора на значимость  $MET < 11$ .

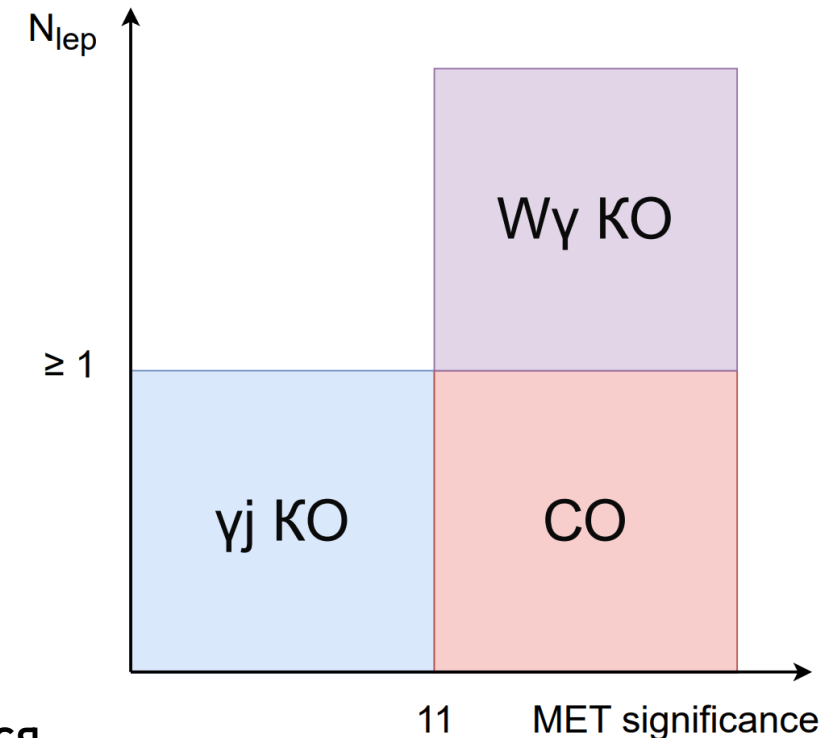
Для реализации процедуры **фитирования вводятся три свободных параметра**:  $\mu_{Z\gamma}$ ,  $\mu_{W\gamma}$  и  $\mu_{\gamma j}$  (параметры интереса).

$$\mu_{Z\gamma} = \mu = \frac{\nu_{\text{meas.}}^s}{\nu_{\text{SM}}^s} = \frac{\sigma_{\text{fid, meas.}}^s}{\sigma_{\text{fid, SM}}^s}$$

- Для учета систематических погрешностей и ограничений на нормировку фоновых процессов в статистическую модель включается **набор подстроечных параметров  $\theta$**  (ПП). Тогда функция правдоподобия:

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

- Измерение параметров интереса  $\mu$  и подстроечных параметров  $\theta$  осуществляется **путем максимизации функции правдоподобия**.



# Процедура фитирования

- Для получения результатов применяется трехэтапная процедура фитирования:
  1. Фитирование в  $W\gamma$  и  $\gamma_j$  КО для первичной оценки нормировочных коэффициентов для фонов (background only fit);
  2. Фитирование в  $W\gamma$  и  $\gamma_j$  КО и в СО с использованием данных Азимова. Это позволит получить ожидаемую значимость и погрешность для ПИ.
  3. Фитирование в  $W\gamma$  и  $\gamma_j$  КО и СО с использованием наблюдаемых данных.

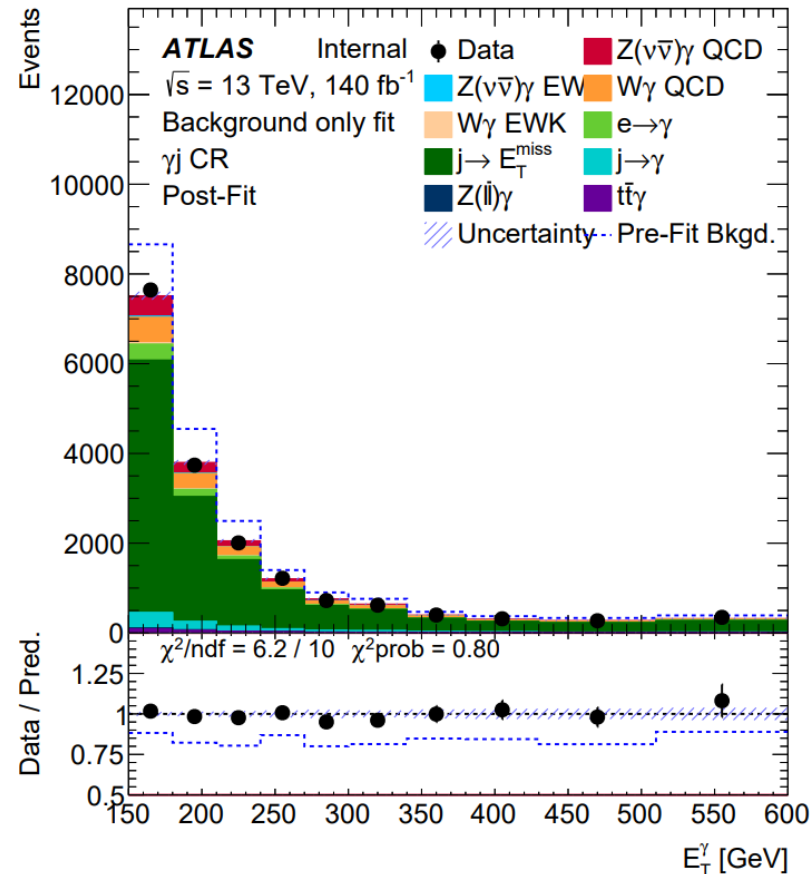
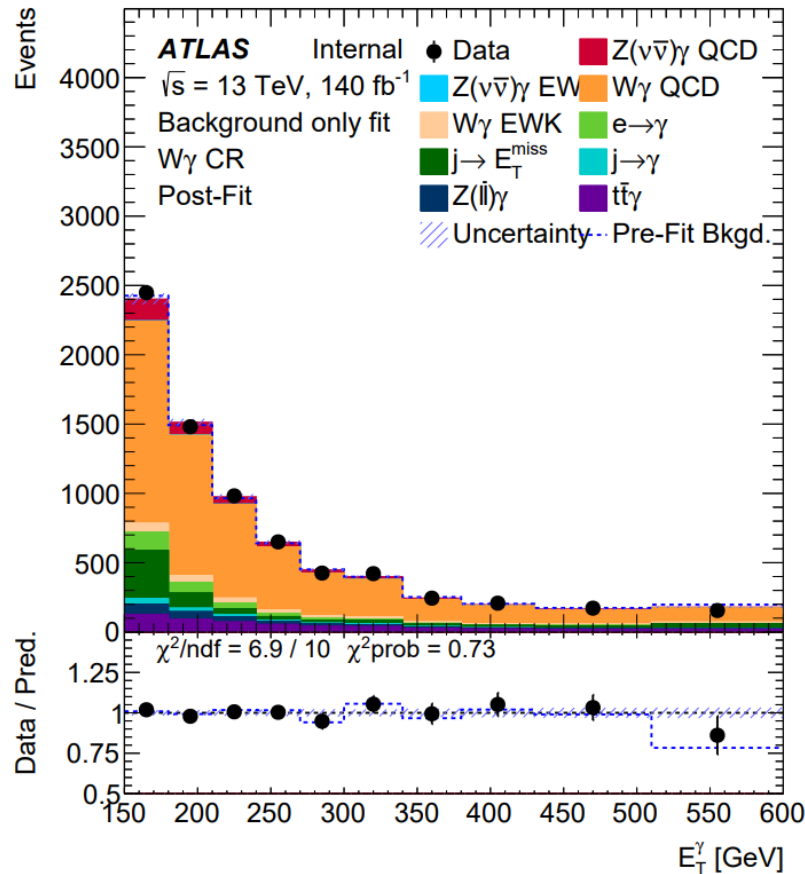
	СО	$W\gamma$ КО	$\gamma_j$ КО
$\mu_{Z\gamma}$	✓		
$\mu_{W\gamma}$	✓	✓	✓
$\mu_{\gamma_j}$	✓	✓	✓

## Систематические погрешности:

- Погрешности, связанные с триггером и светимостью: 0.83% и 1.5% соответственно;
- Экспериментальные погрешности на энергию и импульс объектов, на эффективность реконструкции и идентификации;
- Теоретические погрешности, связанные с вариацией структурных функций и константы  $\alpha_s$ ;
- Теоретические погрешности, связанные с вариацией масштабов перенормировки  $\mu_R$  и факторизации  $\mu_F$ ;
- Теоретические погрешности, связанные с моделированием партонных ливней и сопутствующих событий.

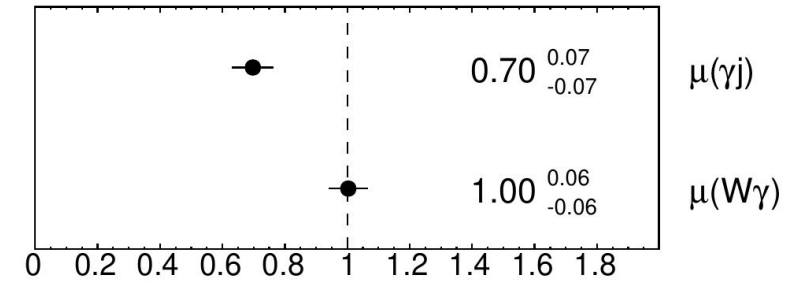
# Фитирование в К0 и на данных Азимова

## Фитирование в К0:



- Процедура фитирования осуществляется по переменной поперечной энергии фотона  $E_T^\gamma$ .

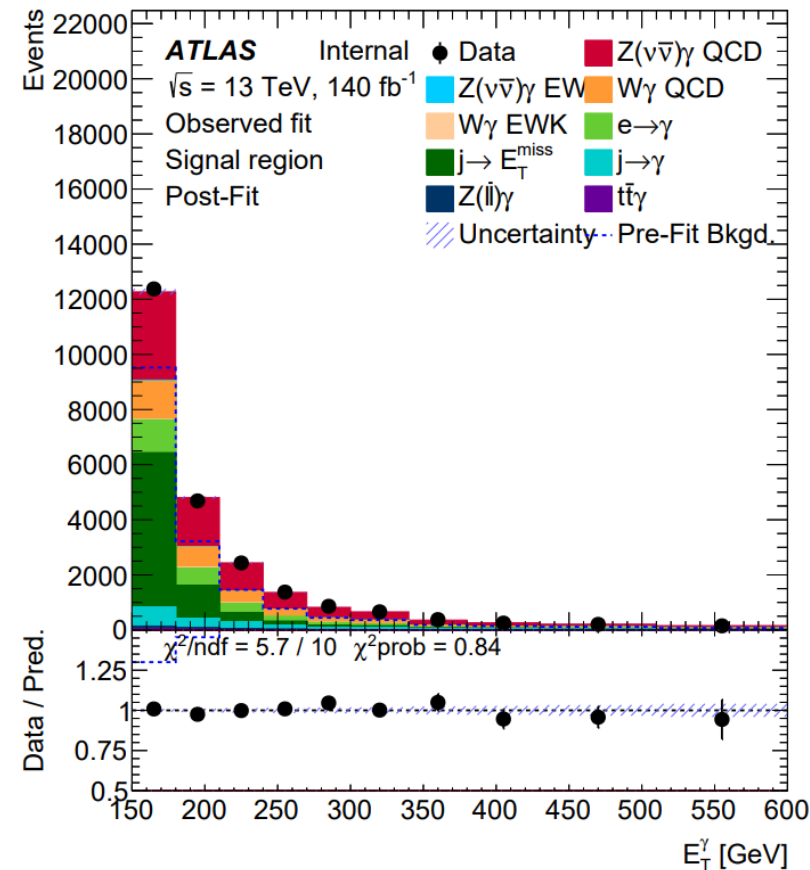
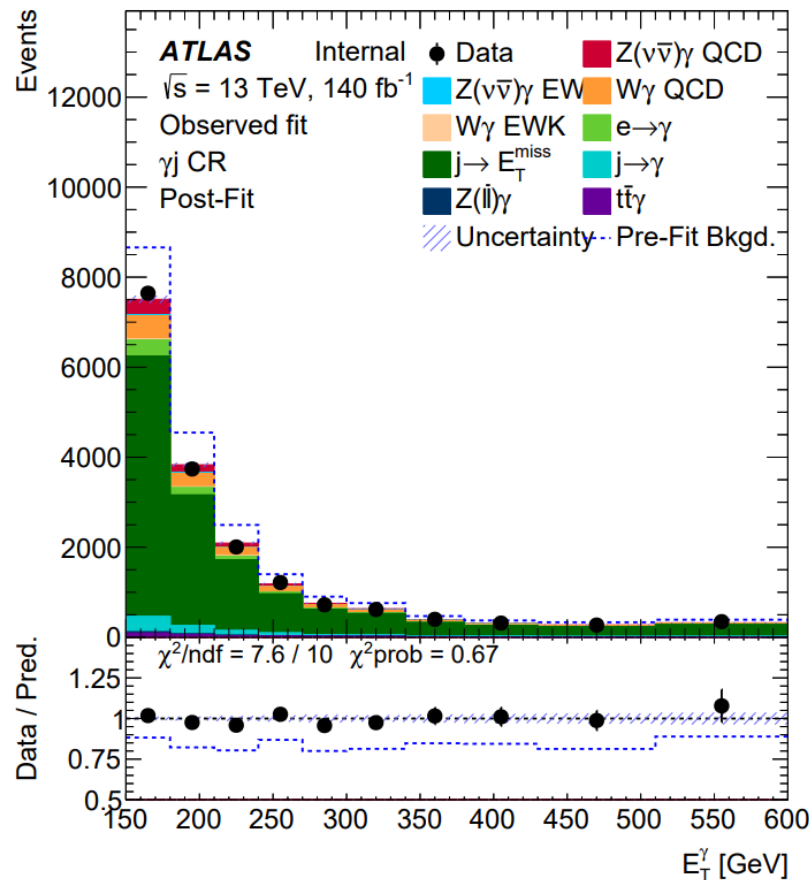
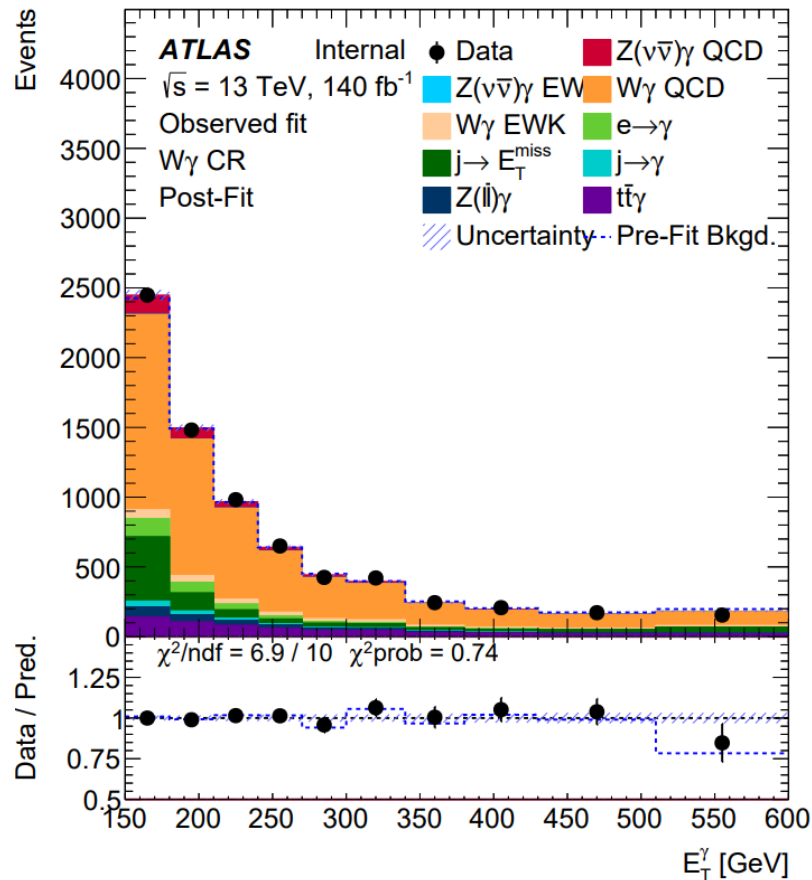
**ATLAS Internal**



## Фитирование на данных Азимова:

- $\mu_{Z\gamma} = 1.00 \pm 0.07$  (стат.  $\oplus$  сист.),  $\mu_{W\gamma} = 1.00 \pm 0.18$  (стат.  $\oplus$  сист.), и  $\mu_{\gamma j} = 0.70 \pm 0.06$  (стат.  $\oplus$  сист.).
- Ожидаемая значимость сигнала:  $69 \sigma$ .

# Фитирование в КО и СО



## Результаты фитирования в КО и СО:

- $\mu_{Z\gamma} = 0.90 \pm 0.13$  (стат.  $\oplus$  сист.),  $\mu_{W\gamma} = 0.97 \pm 0.06$  (стат.  $\oplus$  сист.) и  $\mu_{\gamma j} = 0.84 \pm 0.05$  (стат.  $\oplus$  сист.).
- Наблюдаемая значимость сигнала:  $64 \sigma$ , интегральное сечение  $\sigma = 87 \pm 13$  (стат.  $\oplus$  сист.) фбн.

Больше информации в back-up.

# Заключение

---

Цель работы заключалась в получении интегрального сечения процесса ассоциированного рождения  $Z(\nu\nu)\gamma$ . В соответствии с поставленными задачами:

- Построена статистическая модель.
- Добавлены экспериментальные и теоретические погрешности, а также погрешности, связанные с моделированием.
- Осуществлена процедура фитирования и получены нормировочные коэффициенты для фоновых процессов  $W(l\nu)\gamma$ ,  $t\bar{t}\gamma$  и  $\gamma$ +jets.
- Оценена сила сигнала  $Z(\nu\nu)\gamma$ , значение которой составило  $\mu_{Z\gamma} = 0.90 \pm 0.13$  (стат.  $\oplus$  сист.).
- Получено значение интегрального сечения, которое составило  $\sigma = 87 \pm 13$  (стат.  $\oplus$  сист.) фбн.

В дальнейшем планируется стабилизировать статистическую модель, включающую все систематические погрешности. Также планируется учесть погрешность от пайлапа.

## Спасибо за внимание!



**BACK-UP**

# Метод максимального правдоподобия

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

- $N_i^{\text{data}}$  есть количество наблюдаемых событий в данных в бине;
- $\nu_i$  есть ожидаемое количество сигнальных или фоновых событий в бине
- $\eta(\theta_i)$  есть функция отклика, отражающая влияние систематических неопределенностей и ограничений нормировки на количество событий в бине с помощью набора ПП  $\theta$ ;
- $\mathcal{L}(\theta_i)$  есть функция правдоподобия «вспомогательного измерения», отражающая природу систематических неопределенностей. С точки зрения статистической модели – это «ограничивающий» множитель, уменьшающий значение правдоподобия и не позволяющий принимать ей любые значения.

Функция  $q(\mu, \hat{\mu}, \hat{\theta})$  используется для вычисления значимости измерения и неопределенностей оценок  $\hat{\mu}$  и  $\hat{\theta}$  и определяется как:

$$q(\mu, \hat{\mu}, \hat{\theta}) = -2 \ln \lambda(\mu, \hat{\mu}, \hat{\theta}) = -2 \ln \frac{\mathcal{L}(\mu, \hat{\theta}(\mu))}{\mathcal{L}(\hat{\mu}, \hat{\theta})}$$

$\lambda(\mu, \hat{\mu}, \hat{\theta})$  есть профиль правдоподобия (profile likelihood ratio)

# Теоретические погрешности

Погрешности, связанные с вариацией структурных функций и константы сильного взаимодействия:

- В соответствии с рекомендациями PDF4LHC учитываются внутренние PDF и  $\alpha_s$  компоненты для NNPDF3.0 NLO PDF набора. Для вычисления погрешности используется ансамбль из NNPDF3.0 PDF наборов (100 параметров в сумме). Для получения погрешности числа событий применяется следующий порядок действий:

1. Получение числа событий в бине  $X_i$  для  $i = 100$  вариаций NNPDF набора.
2. Замена отрицательных значений на 0 (если  $X_i < 0$ ,  $X_i = 0$ ).
3. Расстановка всех значений в порядке возрастания:

$$X^1 \leq X^2 \leq \dots \leq X^{99} \leq X^{100}.$$

4. Выбор значений, соответствующих границам 68% доверительного интервала, и получение погрешности:

$$\delta^{\text{PDF}} X = \frac{X^{84} - X^{16}}{2}.$$

- Для получения погрешности на константу сильного взаимодействия  $\alpha_s$  использовались верхняя и нижняя вариации:  $\alpha_s = 0.1180 \pm 0.0015$ . Погрешность вычисляется по формуле:

$$\delta^{\alpha_s} X = \frac{X(\alpha_s = 0.1195) - X(\alpha_s = 0.1165)}{2}.$$

- Также учитывается погрешность от альтернативных наборах CT14 и MMHT2014

# Теоретические погрешности

## Погрешности, связанные с вариацией масштабов перенормировки и факторизации:

- Погрешности, связанные с вариацией масштабов перенормировки и фрагментации, оцениваются путем варьирования шкалы перенормировки  $\mu_R$  и шкалы факторизации  $\mu_F$ . Рассматриваются шесть комбинаций:

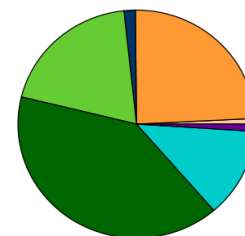
- $\mu_F = \mu_R = 0.5\mu_0$ ;
- $\mu_F = \mu_0, \mu_R = 0.5\mu_0$ ;
- $\mu_R = \mu_0, \mu_F = 0.5\mu_0$ ;
- $\mu_F = \mu_R = 2\mu_0$ ;
- $\mu_F = 2\mu_0, \mu_R = \mu_0$ ;
- $\mu_F = \mu_0, \mu_R = 2\mu_0$ .

Максимальное отклонение от номинального числа событий взято в качестве систематической погрешности.

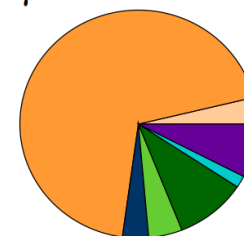
ATLAS Simulation Internal  
 $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$   
 Background only fit



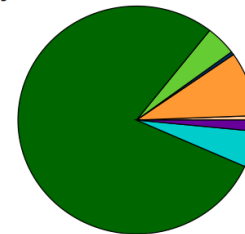
SR



W $\gamma$



$\gamma j$



## Погрешности, связанные с моделированием партонных ливней:

$$\delta^{\text{model.}} X = |X^{\text{altern.}} - X^{\text{nominal}}|.$$

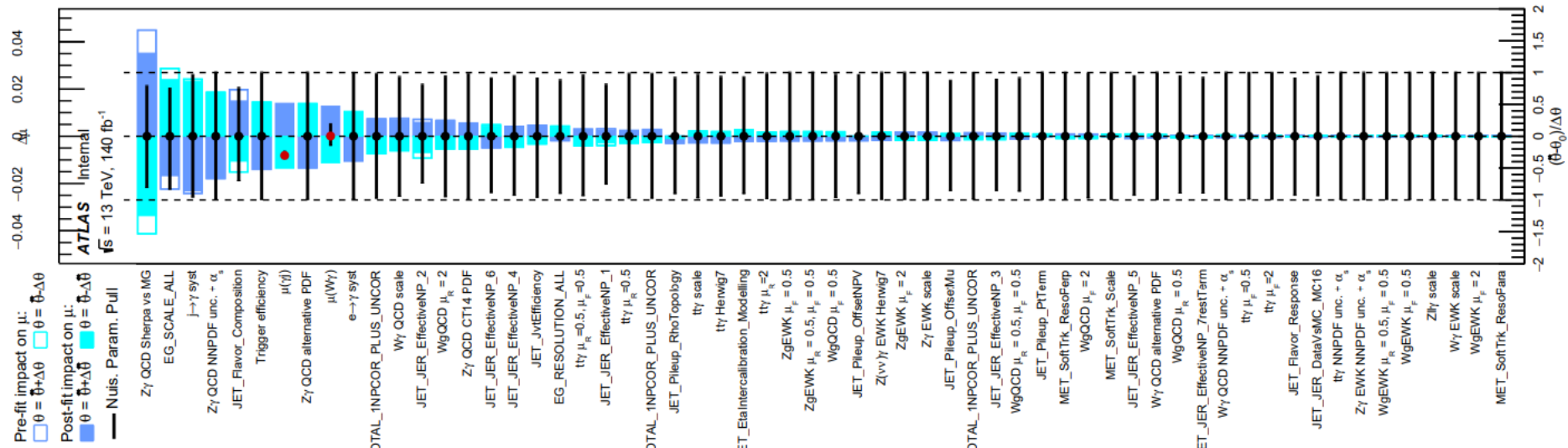
# Фитирование в К0

До фита:

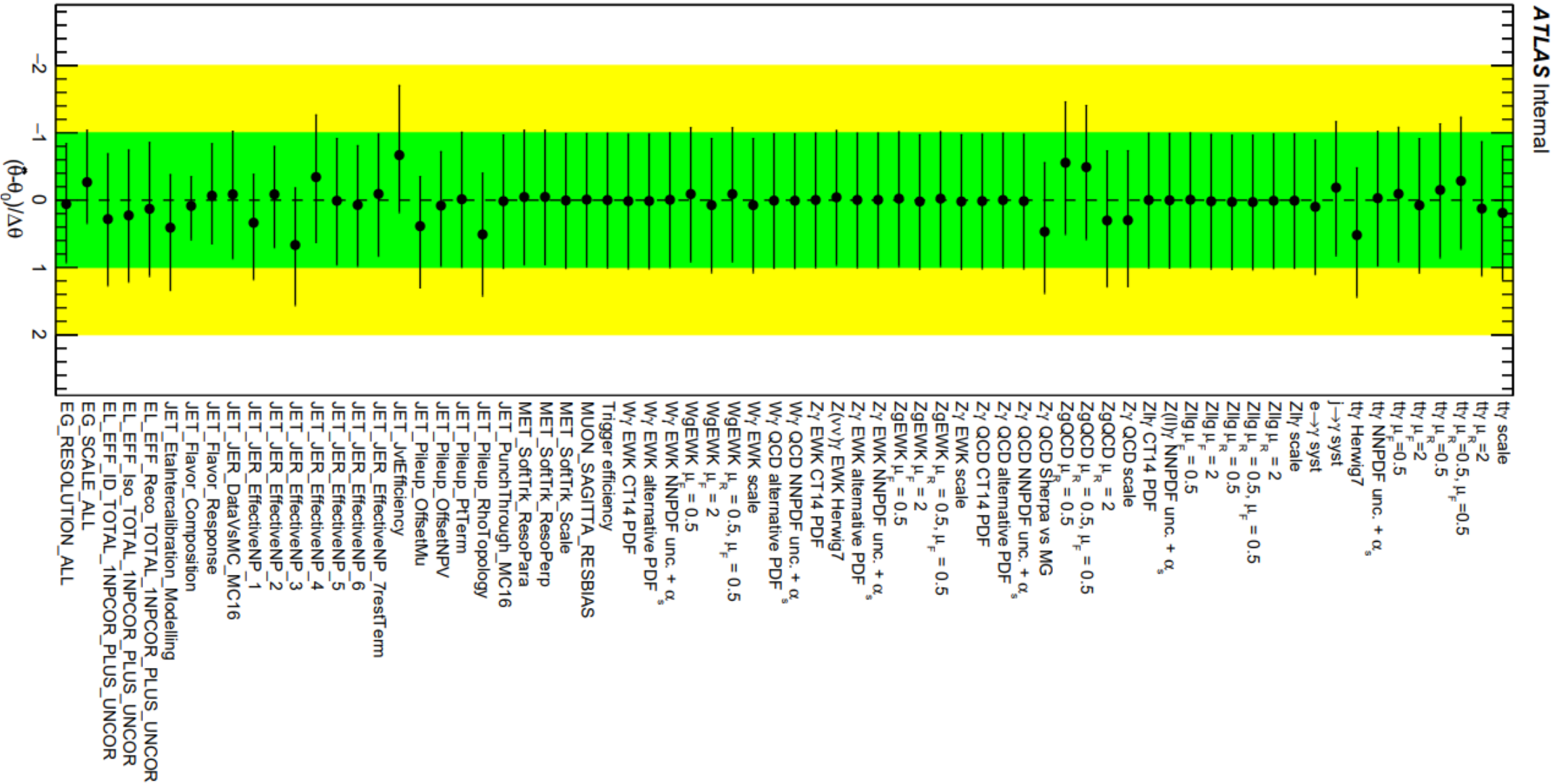
После фита:

	$W\gamma$ KO	$\gamma j$ KO	CO
$Z(\nu\bar{\nu})\gamma$ QCD	$540 \pm 150$	$1600 \pm 700$	$10700 \pm 1600$
$Z(\nu\bar{\nu})\gamma$ EWK	$12.4 \pm 1.9$	$85 \pm 15$	$170 \pm 30$
$W\gamma$ QCD	$4660 \pm 190$	$1430 \pm 90$	$3310 \pm 140$
$W\gamma$ EWK	$260 \pm 20$	$101 \pm 9$	$109 \pm 9$
$e \rightarrow \gamma$	$310 \pm 19$	$680 \pm 40$	$2610 \pm 160$
$j \rightarrow E_T^{miss}$	$950 \pm 120$	$17000 \pm 4000$	$8100 \pm 1100$
$j \rightarrow \gamma$	$120 \pm 20$	$850 \pm 150$	$1800 \pm 300$
$Z(\ell\bar{\ell})\gamma$	$240 \pm 20$	$73 \pm 11$	$211 \pm 16$
$t\bar{t}\gamma$	$700 \pm 300$	$330 \pm 150$	$180 \pm 80$
Total	$7800 \pm 500$	$22000 \pm 4000$	$27000 \pm 2000$
Data	7186	17277	23375

	$W\gamma$ KO	$\gamma j$ KO	CO
$Z(\nu\bar{\nu})\gamma$ QCD	$420 \pm 90$	$1000 \pm 400$	$9200 \pm 1000$
$Z(\nu\bar{\nu})\gamma$ EWK	$12.4 \pm 1.9$	$86 \pm 14$	$160 \pm 30$
$W\gamma$ QCD	$4700 \pm 200$	$1500 \pm 100$	$3280 \pm 180$
$W\gamma$ EWK	$250 \pm 20$	$100 \pm 10$	$110 \pm 10$
$e \rightarrow \gamma$	$310 \pm 20$	$680 \pm 40$	$2620 \pm 160$
$j \rightarrow E_T^{miss}$	$660 \pm 80$	$13000 \pm 400$	$5400 \pm 700$
$j \rightarrow \gamma$	$110 \pm 20$	$830 \pm 150$	$1700 \pm 300$
$Z(\ell\bar{\ell})\gamma$	$240 \pm 20$	$73 \pm 11$	$209 \pm 15$
$t\bar{t}\gamma$	$510 \pm 170$	$250 \pm 80$	$140 \pm 40$
Total	$7180 \pm 90$	$17290 \pm 160$	$22900 \pm 1100$
Data	7186	17277	23375



# Фитирование в КО



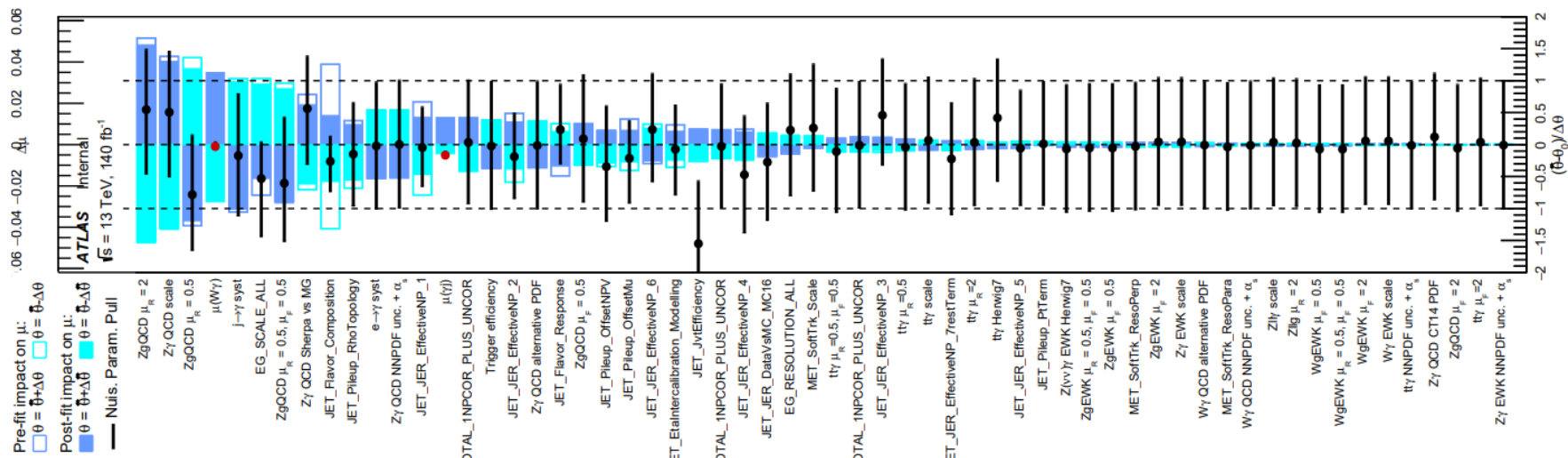
# Фитирование в КО и СО

До фита:

	$W\gamma$ КО	$\gamma j$ КО	СО
$Z(\nu\bar{\nu})\gamma$ QCD	$540 \pm 150$	$1600 \pm 700$	$10700 \pm 1600$
$Z(\nu\bar{\nu})\gamma$ EWK	$12.4 \pm 1.9$	$85 \pm 15$	$170 \pm 30$
$W\gamma$ QCD	$4660 \pm 190$	$1430 \pm 90$	$3310 \pm 140$
$W\gamma$ EWK	$260 \pm 20$	$101 \pm 9$	$109 \pm 9$
$e \rightarrow \gamma$	$310 \pm 19$	$680 \pm 40$	$2610 \pm 160$
$j \rightarrow E_T^{miss}$	$950 \pm 120$	$17000 \pm 4000$	$8100 \pm 1100$
$j \rightarrow \gamma$	$120 \pm 20$	$850 \pm 150$	$1800 \pm 300$
$Z(\ell\bar{\ell})\gamma$	$240 \pm 20$	$73 \pm 11$	$211 \pm 16$
$t\bar{t}\gamma$	$700 \pm 300$	$330 \pm 150$	$180 \pm 80$
Total	$7800 \pm 500$	$22000 \pm 4000$	$27000 \pm 2000$
Data	7186	17277	23375

После фита:

	$W\gamma$ КО	$\gamma j$ КО	СО
$Z(\nu\bar{\nu})\gamma$ QCD	$360 \pm 80$	$800 \pm 300$	$7800 \pm 400$
$Z(\nu\bar{\nu})\gamma$ EWK	$12.1 \pm 1.8$	$82 \pm 14$	$150 \pm 30$
$W\gamma$ QCD	$4500 \pm 200$	$1300 \pm 80$	$3200 \pm 180$
$W\gamma$ EWK	$250 \pm 20$	$100 \pm 10$	$100 \pm 10$
$e \rightarrow \gamma$	$310 \pm 20$	$670 \pm 40$	$2610 \pm 160$
$j \rightarrow E_T^{miss}$	$840 \pm 60$	$13200 \pm 300$	$7400 \pm 300$
$j \rightarrow \gamma$	$110 \pm 20$	$830 \pm 140$	$1700 \pm 300$
$Z(\ell\bar{\ell})\gamma$	$240 \pm 20$	$70 \pm 10$	$212 \pm 15$
$t\bar{t}\gamma$	$570 \pm 180$	$270 \pm 90$	$150 \pm 50$
Total	$7180 \pm 90$	$17300 \pm 140$	$23350 \pm 150$
Data	7186	17277	23375



# Фоновые процессы

- конечные состояния  $\tau\nu\gamma$  и  $l\nu\gamma$  от КХД и электрослабого рождения  $W\gamma$ , где  $\tau$  распадается на адроны, или где электрон или мюон от распада  $\tau$  или  $W$  не регистрируются детектором;
- события  $\gamma$  + струя, в которых большой  $E_T^{\text{miss}}$  возникает из комбинации реального  $E_T^{\text{miss}}$  от нейтрино в распадах тяжелых кварков и от неверно измеренной энергии струй;
- события  $W(e\nu)$ ,  $t$ -кварк и  $t\bar{t}$ , где электрон в конечном состоянии неверно идентифицируется как фотон ( $e \rightarrow \gamma$ );
- события от рождения  $t\bar{t}\gamma$ , когда один или оба  $W$ -бозона от распада  $t$ -кварка распадаются на лептоны. Эти лептоны либо распадаются на  $\tau$ -лептоны, которые либо распадаются на адроны, либо не реконструируются;
- события  $Z(l\nu) + \gamma$  (преимущественно  $\tau$ -лептоны), где  $\tau$  распадается на адроны или когда электрон или мюон от распада  $\tau$  или  $Z$  не регистрируется.

**Потерянный поперечный импульс**  $\vec{p}_T^{\text{miss}}$

Определяется как сумма поперечных импульсов частиц в конечном состоянии со знаком минус

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

$$E_{x(y)}^{\text{miss}} = E_{x(y)}^{\text{miss}, e} + E_{x(y)}^{\text{miss}, \gamma} + E_{x(y)}^{\text{miss}, \text{jets}} + E_{x(y)}^{\text{miss}, \text{soft}} + E_{x(y)}^{\text{miss}, \mu}$$

Софттерм реконструируется как  $p_{x(y)}^{\text{miss}, \text{SoftTerm}}$  потерянный поперечный импульс не ассоциированный ни с одной из жестких частиц.

$E_T^{\text{cone20}}$  задает энерговыделение в калориметре внутри конуса раствором  $\Delta R = 0.2$  внутри трека кандидата в фотон

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

где  $\sigma_L$  – дисперсия измерения потерянного поперечного импульса в продольном направлении

$\rho_{LT}$  – корреляционный фактор измерения продольной и поперечной компонент потерянного поперечного импульса



# Фоновые процессы

- конечные состояния  $\tau\nu\gamma$  и  $l\nu\gamma$  от КХД и электрослабого рождения  $W\gamma$ , где  $\tau$  распадается на адроны, или где электрон или мюон от распада  $\tau$  или  $W$  не регистрируются детектором;
- события  $\gamma$  + струя, в которых большой  $E_T^{\text{miss}}$  возникает из комбинации реального  $E_T^{\text{miss}}$  от нейтрино в распадах тяжелых кварков и от неверно измеренной энергии струй;
- события  $W(e\nu)$ ,  $t$ -кварк и  $t\bar{t}$ , где электрон в конечном состоянии неверно идентифицируется как фотон ( $e \rightarrow \gamma$ );
- события от рождения  $t\bar{t}\gamma$ , когда один или оба  $W$ -бозона от распада  $t$ -кварка распадаются на лептоны. Эти лептоны либо распадаются на  $\tau$ -лептоны, которые либо распадаются на адроны, либо не реконструируются;
- события  $Z(l\nu) + \gamma$  (преимущественно  $\tau$ -лептоны), где  $\tau$  распадается на адроны или когда электрон или мюон от распада  $\tau$  или  $Z$  не регистрируется.

**Потерянный поперечный импульс**  $\vec{p}_T^{\text{miss}}$

Определяется как сумма поперечных импульсов частиц в конечном состоянии со знаком минус

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

$$E_{x(y)}^{\text{miss}} = E_{x(y)}^{\text{miss, e}} + E_{x(y)}^{\text{miss, \gamma}} + E_{x(y)}^{\text{miss, jets}} + E_{x(y)}^{\text{miss, soft}} + E_{x(y)}^{\text{miss, \mu}}$$

Софттерм реконструируется как  $p_{x(y)}^{\text{miss, SoftTerm}}$  потерянный поперечный импульс не ассоциированный ни с одной из жестких частиц.

$E_T^{\text{cone20}}$  задает энерговыделение в калориметре внутри конуса раствором  $\Delta R = 0.2$  внутри трека кандидата в фотон

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

где  $\sigma_L$  – дисперсия измерения потерянного поперечного импульса в продольном направлении

$\rho_{LT}$  – корреляционный фактор измерения продольной и поперечной компонент потерянного поперечного импульса

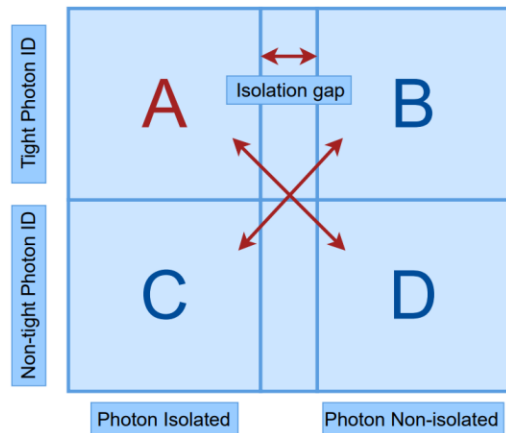
# ABCD метод

$loose'2 : w_{s3}, F_{side}$

$loose'3 : w_{s3}, F_{side}, \Delta E$

$loose'4 : w_{s3}, F_{side}, \Delta E, E_{ratio}$

$loose'5 : w_{s3}, F_{side}, \Delta E, E_{ratio}, w_{tot}$



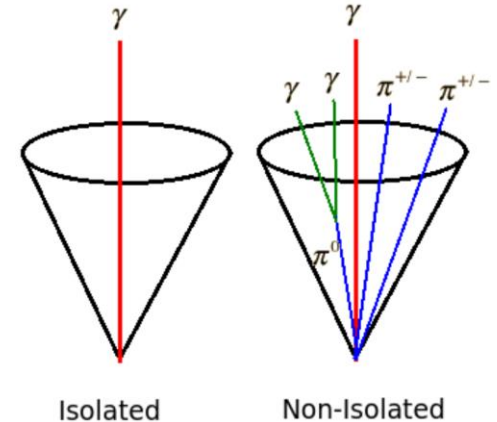
**A (CO):**  $E_T^{cone20} - 0.065 p_T^\gamma < 0$ , tight

**B (KO):**  $isogap < E_T^{cone20} - 0.065 p_T^\gamma$ , tight

**C (KO):**  $E_T^{cone20} - 0.065 p_T^\gamma < 0$ , non-tight

**D (KO):**  $isogap < E_T^{cone20} - 0.065 p_T^\gamma$ , non-tight

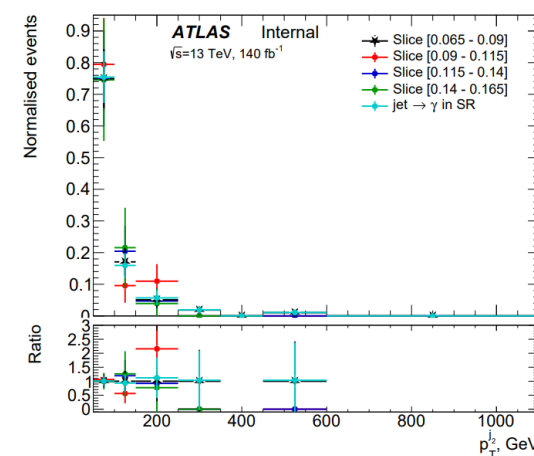
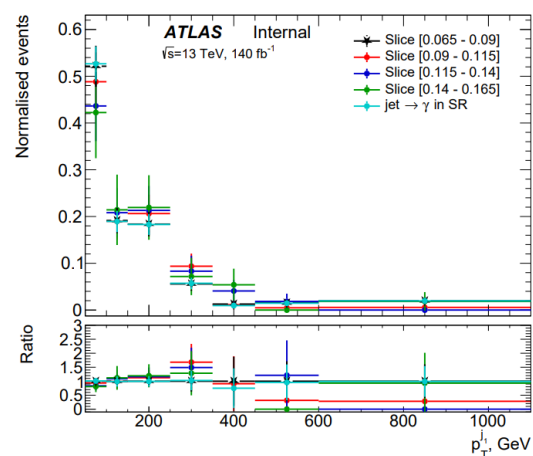
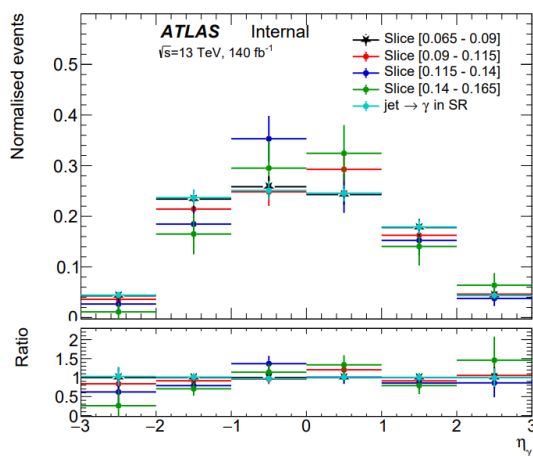
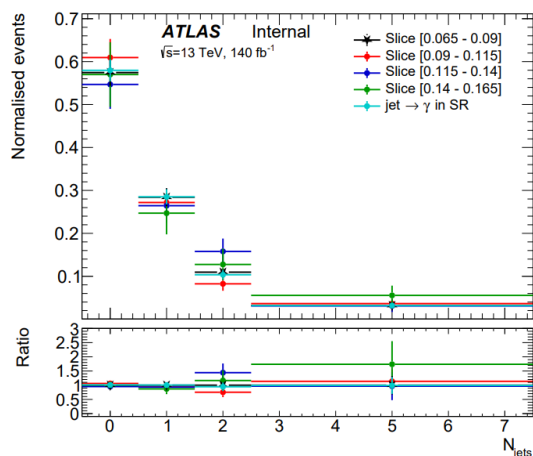
- $w_{s3}$  - ширина электромагнитного ливня с использованием трёх стриповых (первых слоёв ЭМ калориметра) слоёв вокруг стрипового слоя с максимальной энергией
- $F_{side}$  - доля энергии вне трёх стриповых слоёв, но внутри семи слоёв
- $\Delta E$  - разница энергий стриповых слоёв, где в одном слое выделилась вторая по величине энергия, и слоя, где выделилась наименьшая энергия
- $E_{ratio}$  - отношение разности энергий, ассоциированных с наиболее высоким и вторым по величине выделением энергии к сумме этих энергий
- $w_{tot}$  - полная поперечная ширина ливня



$$N_A^{jet \rightarrow \gamma} = 1770 \pm 160 \pm 300$$

# Идентификация фотона

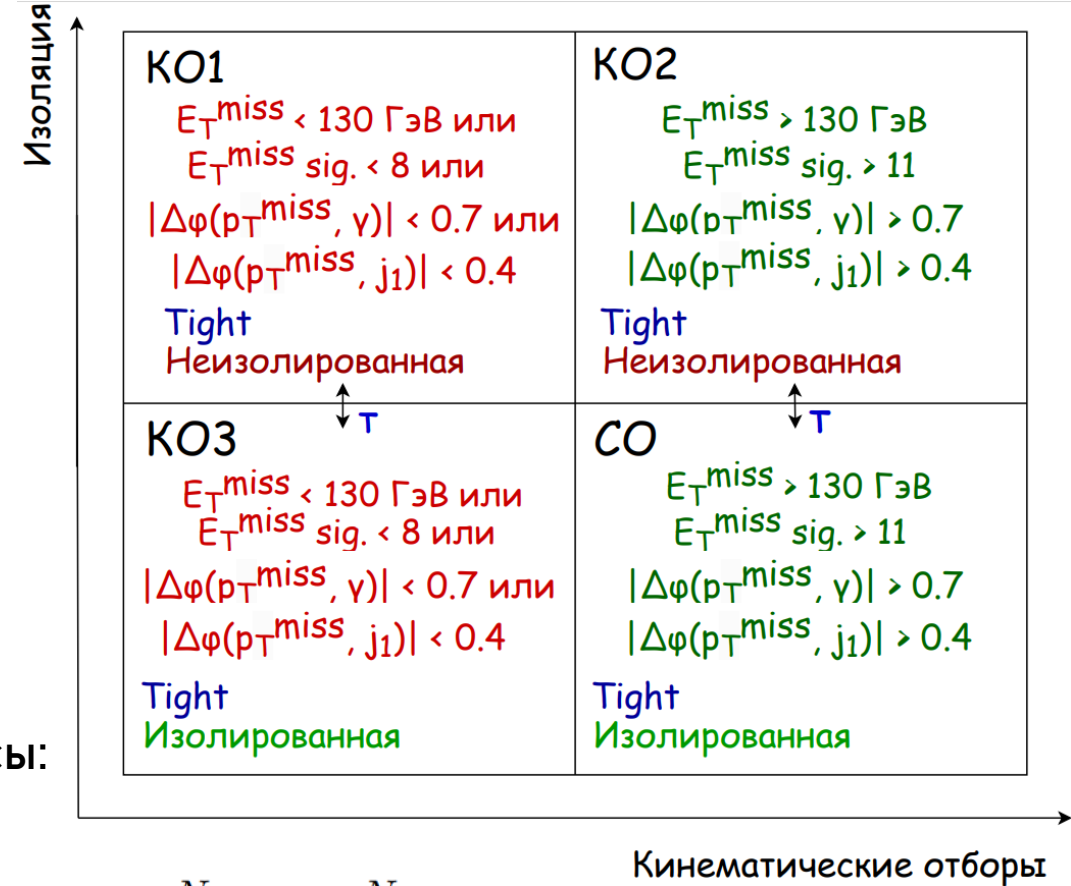
Category	Description	Name	<i>loose</i>	<i>tight</i>	Description	Name	<i>loose</i>	<i>tight</i>
Acceptance	$ \eta  < 2.37$ , with $1.37 \leq  \eta  < 1.52$ excluded	–	✓	✓	Total lateral shower width $\sqrt{(\sum E_i(i - i_{\max})^2)/(\sum E_i)}$ , where $i$	$w_{s \text{ tot}}$		✓
Hadronic leakage	Ratio of $E_T$ in the first sampling layer of the hadronic calorimeter to $E_T$ of the EM cluster (used over the range $ \eta  < 0.8$ or $ \eta  > 1.52$ )	$R_{\text{had}_1}$	✓	✓	runs over all strips in a window of $20 \times 2 \eta \times \phi$ strips, and $i_{\max}$ is the index of the highest-energy strip measured in the strip layer			
	Ratio of $E_T$ in the hadronic calorimeter to $E_T$ of the EM cluster (used over the range $0.8 <  \eta  < 1.37$ )	$R_{\text{had}}$	✓	✓	Energy outside the core of the three central strips but within seven strips divided by energy within the three central strips	$f_{\text{side}}$		✓
EM middle layer	Ratio of the energy in $3 \times 7 \eta \times \phi$ cells over the energy in $7 \times 7$ cells centered around the photon cluster position	$R_\eta$	✓	✓	Difference between the energy associated with the second maximum in the strip layer and the energy reconstructed in the strip with the minimum value found between the first and second maxima	$\Delta E_s$		✓
	Lateral shower width, $\sqrt{(\sum E_i \eta_i^2)/(\sum E_i) - ((\sum E_i \eta_i)/(\sum E_i))^2}$ , where $E_i$ is the energy and $\eta_i$ is the pseudorapidity of cell $i$ and the sum is calculated within a window of $3 \times 5$ cells	$w_{\eta_2}$	✓	✓	Ratio of the energy difference between the maximum energy deposit and the energy deposit in the secondary maximum in the cluster to the sum of these energies	$E_{\text{ratio}}$		✓
EM strip layer	Ratio of the energy in $3 \times 3 \eta \times \phi$ cells over the energy of $3 \times 7$ cells centered around the photon cluster position	$R_\phi$		✓	Ratio of the energy in the first layer to the to the total energy of the EM cluster	$f_1$		✓
	Lateral shower width, $\sqrt{(\sum E_i(i - i_{\max})^2)/(\sum E_i)}$ , where $i$ runs over all strips in a window of $3 \times 2 \eta \times \phi$ strips, and $i_{\max}$ is the index of the highest-energy strip calculated from three strips around the strip with maximum energy deposit	$w_{s \ 3}$			✓			



# Метод слайсов для оценки формы $jet \rightarrow \gamma$

## Стратегия:

1. Разделение фазового пространства на 4 ортогональные области на основе критерия изолированности фотонов и кинематических отборов.
2. Отношение количества событий  $jet \rightarrow \gamma$  в K01 и K03 равно отношению количества событий  $jet \rightarrow \gamma$  в K02 и C0.
3. Нормировка событий осуществляется в K03, где распределение  $jet \rightarrow \gamma$  событий взято из K01 из данных.
4. Во избежание зависимости от изоляции, неизолированные K01 и K02 разделяются на более мелкие области, т.н. слайсы:



$$N_{CR1(i)}^{jet \rightarrow \gamma} = N_{CR1(i)}^{data} - N_{CR1(i)}^{Z(\nu\bar{\nu})\gamma} - N_{CR1(i)}^{bkg}$$

$$N_{FR(i)}^{jet \rightarrow \gamma} \approx T_{(i)} \cdot N_{CR1(i)}^{jet \rightarrow \gamma}$$

$$T = \frac{N_{CR1}}{N_{CR3}} = \frac{N_{CR2}}{N_{SR}}$$

5. В итоге, оцененное количество событий  $jet \rightarrow \gamma$  экстраполируется в сигнальную область:

$$N_{SR(i)}^{jet \rightarrow \gamma} = T_{(i)} \cdot (N_{CR2(i)}^{data} - N_{CR2(i)}^{Z(\nu\bar{\nu})\gamma} - N_{CR2(i)}^{bkg})$$