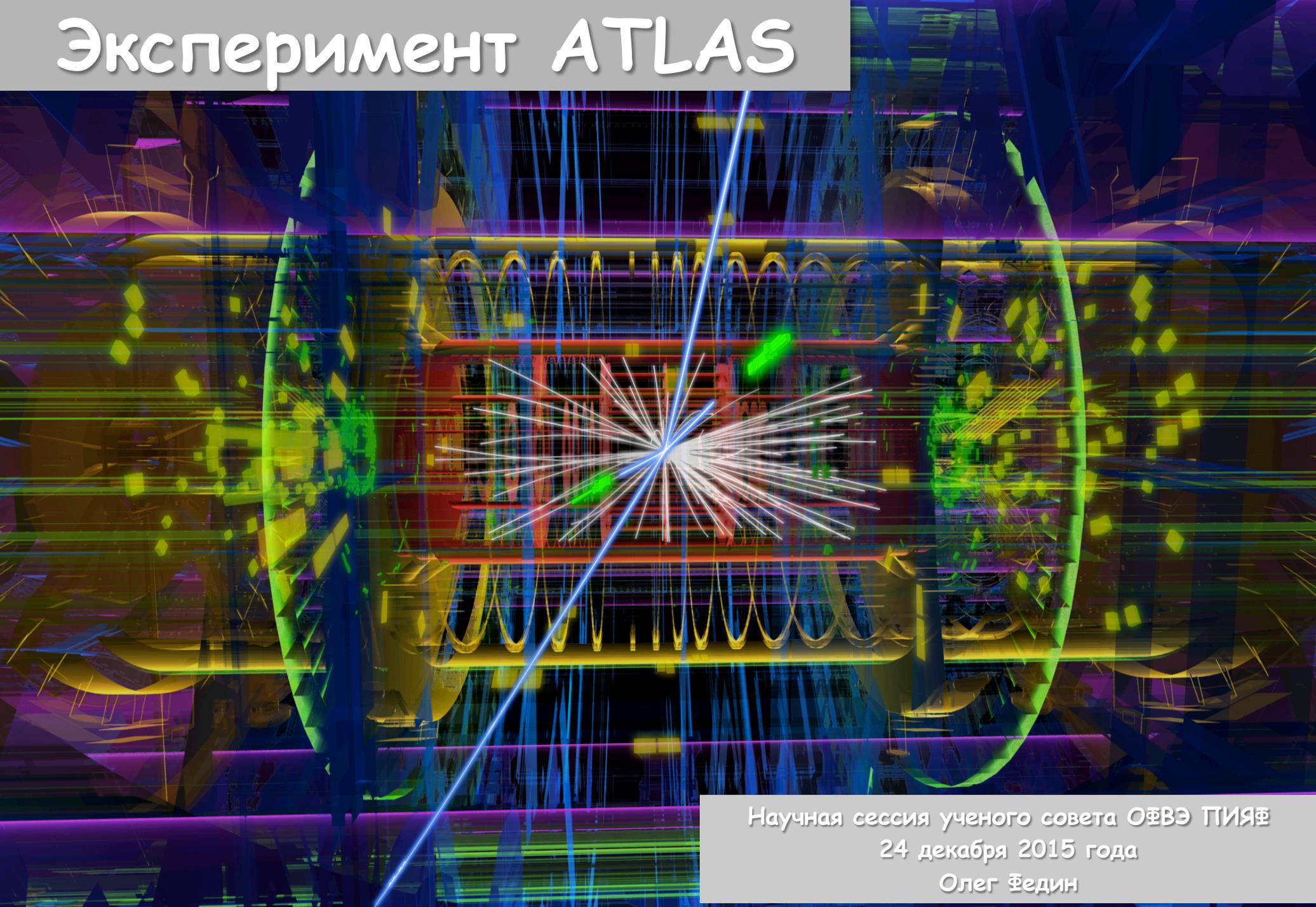
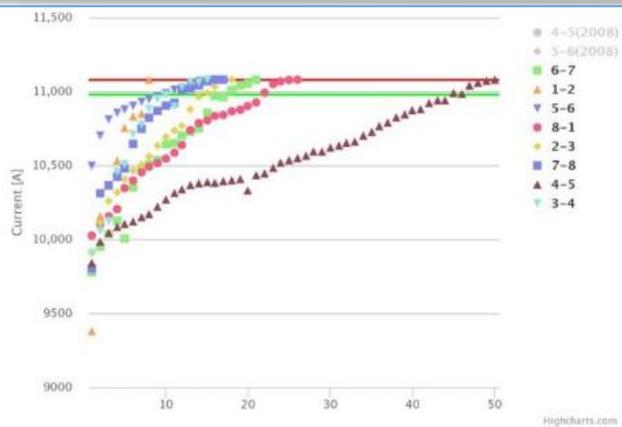


# Эксперимент ATLAS

A detailed 3D visualization of the ATLAS particle detector. The central part shows a collision point where numerous white and green tracks radiate outwards. The detector is composed of several layers of yellow and red structures, representing the calorimeters and tracking chambers. The entire structure is set against a dark background with blue and purple lighting, suggesting a high-energy physics environment.

Научная сессия ученого совета ОФВЭ ПИЯФ  
24 декабря 2015 года  
Олег Федин

# ЛНС в 2015 году



**Август, 13**  
**Стабильный пучок 25 нс**

13-Aug-2015 05:40:49		Fill #: 4201	Energy: 6500 GeV	I(B1): 2.80e+12	I(B2): 2.99e+12
Experiment Status	ATLAS	ALICE	CMS	LHCb	
	PHYSICS	PHYSICS	PHYSICS	PHYSICS	
Instantaneous Lumi [(ub.s) <sup>-1</sup> ]	30.109	0.903	54.967	4.906	
BRAN Luminosity [(ub.s) <sup>-1</sup> ]	472.5	2.5	282.7	2.5	
Fill Luminosity (nb) <sup>-1</sup>	4.061	0.242	15.657	1.378	
Beam 1 BKGD	0.000	0.032	0.053	5.126	
Beam 2 BKGD	0.000	0.001	0.022	0.491	
LHCb VELO Position	Gap: -0.0 mm	STABLE BEAMS	TOTEM:	STANDBY	

**Октябрь, 28**  
**2242 bunches**  
**(проектное 2808)**

**Июнь, 3**  
**Стабильный пучок**



**АПРЕЛЬ**

**МАЙ**

**ИЮНЬ**

**ИЮЛЬ**

**АВГУСТ**

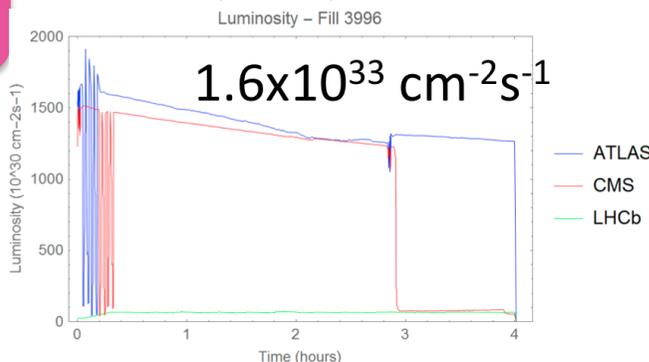
**СЕНТЯБРЬ**

**ОКТАБРЬ**

**НОЯБРЬ**

**Интенсивные работы по запуску ускорителя**

**Июнь, 14**  
**50 нс (476b)**



**Апрель, 10**  
**Впервые 6,5 ТэВ!**  
**(7,7 Т или 11,1 кА)**

**Сентябрь, 29**

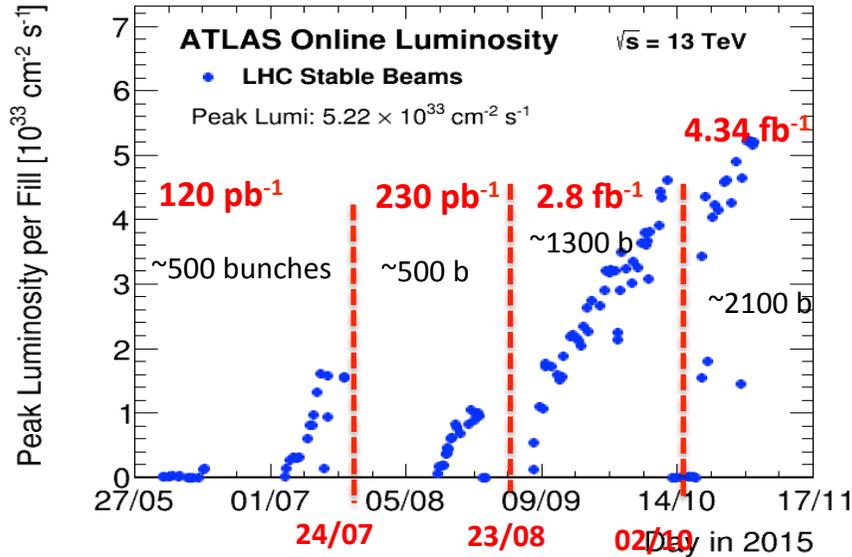
**1465 1465**

**Ноябрь, 2**  
**Завершение работы ЛНС на протонах в 2015 г.**

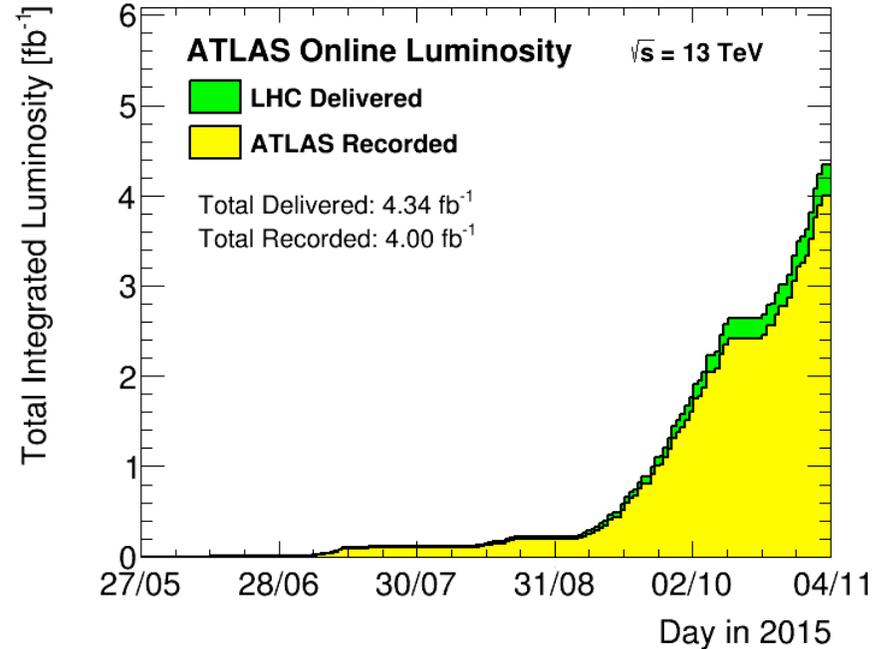
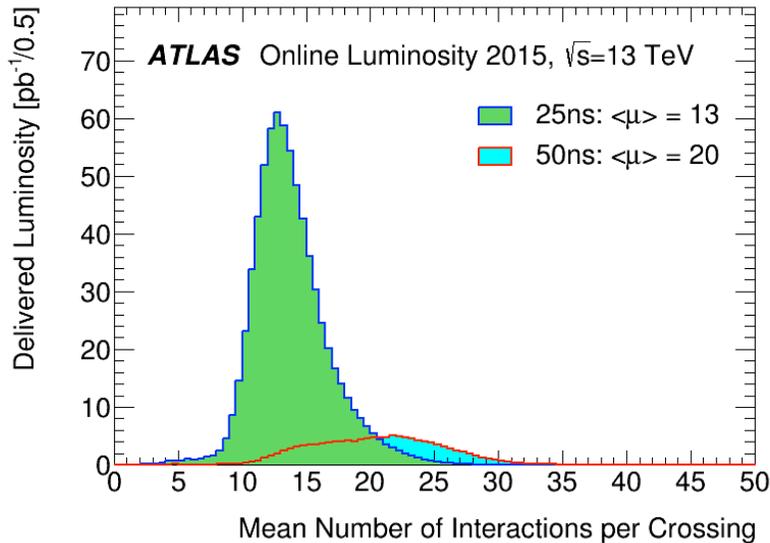
**Апрель, 5**  
**Первый пучок**

# Светимость в 2015 году

Run-1 max:  $7.7 \times 10^{33}$

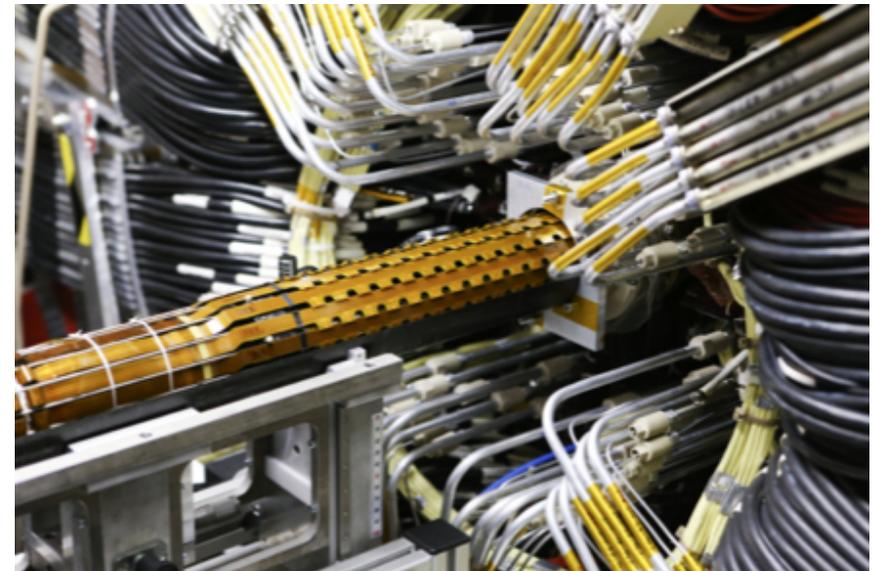
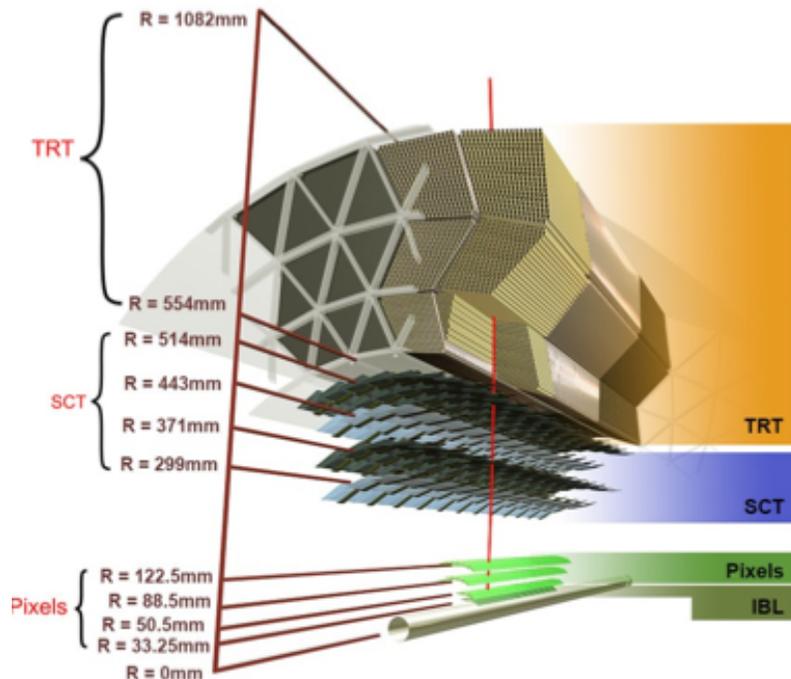


- **Первоначальная цель для Run II:**
  - ✧ 2015 год  $10 \text{ fb}^{-1}$
  - ✧ до конца 2018 года  $100\text{-}120 \text{ fb}^{-1}$
- В 2015 году набрано всего  $4.0 \text{ fb}^{-1}$
- Основная цель 2015 года - подготовка к 2016 году как к "physics production run" с 25 нсек bunch crossing



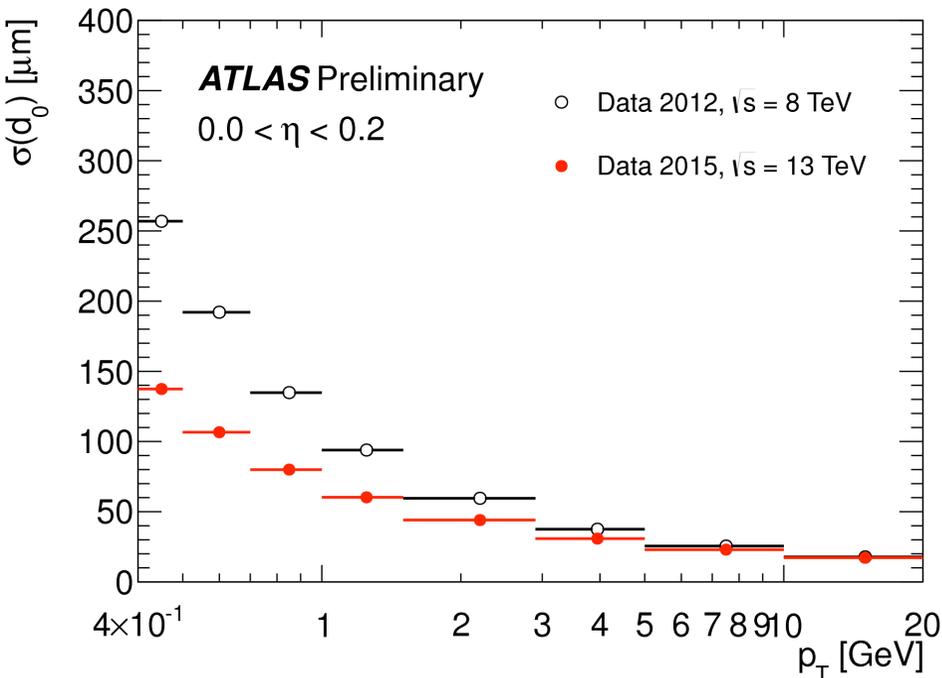
# Детектор ATLAS

- Кроме ремонта и небольших модернизаций систем установки ATLAS, был установлен новый детектор IBL (Insertable B-Layer):
  - новый трековый детектор, который расположен в 3,3 см от пучка;
  - новая труба для пучка меньшего диаметра 4,7 см, толщина стенки 800 мкм, длина ~7,1 м, материал Ве.
- Детектор IBL значительно улучшает точности восстановления треков (особенно для малых  $p_T$ )

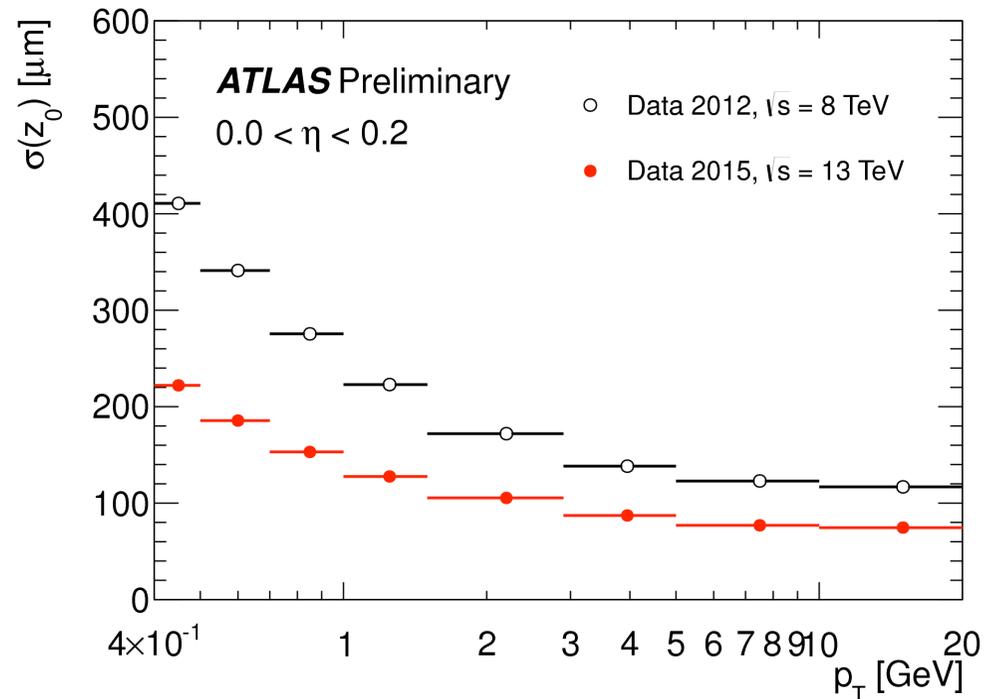


# IBL детектор

IBL значительно ( $\sim 2$  раза для малых  $p_T$ ) улучшает разрешение по прицельному параметру ( $d_0$ ) и по  $z_0$  из-за близкого расположения к точке взаимодействия (IP).



[IDTR-2015-007](#)

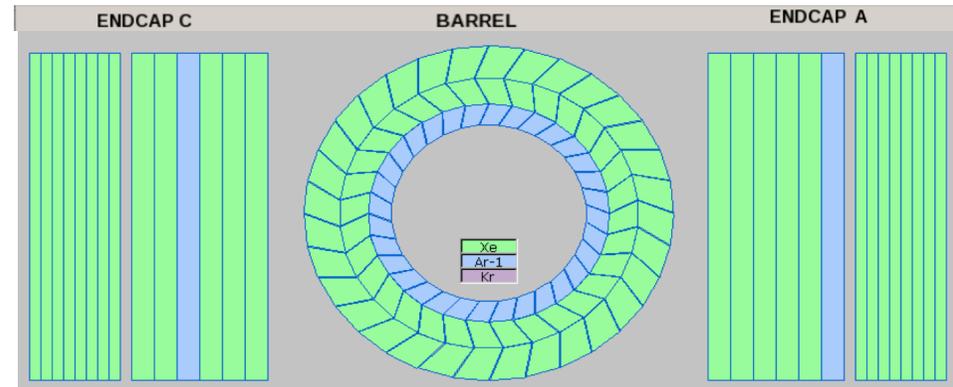


[IDTR-2015-007](#)

# TRT детектор

- По одному модулю в end-cap и все модули 0 в barrel работают с аргонной газовой смесью
- Цель утечки ксенона <100 л/день (соответствует спецификации в TDR)
- Плохой сценарий - все модули 1 в barrel тоже будут использовать аргонную смесь
- В конце октября еще в одном модуле в end-cap возникли утечки ~ 20 л/час

Базовая конфигурация в 2015 году



Разрушение одной из трубок по которым рабочий газ выходит из детектора TRT

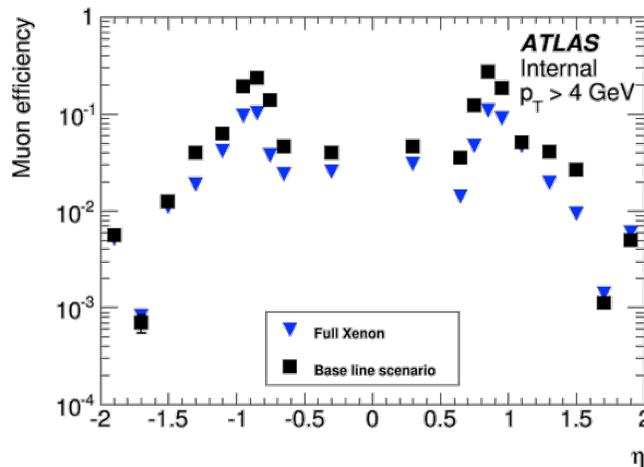
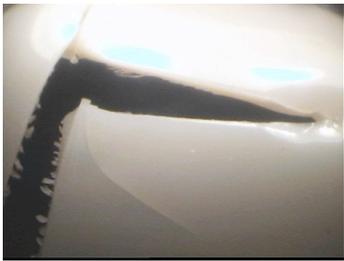


Fig. 2 Muon efficiency at 90% of electron efficiency as a function of pseudorapidity for the base-line scenario (see Fig. 1) and standard operation conditions (Xe-mixture).

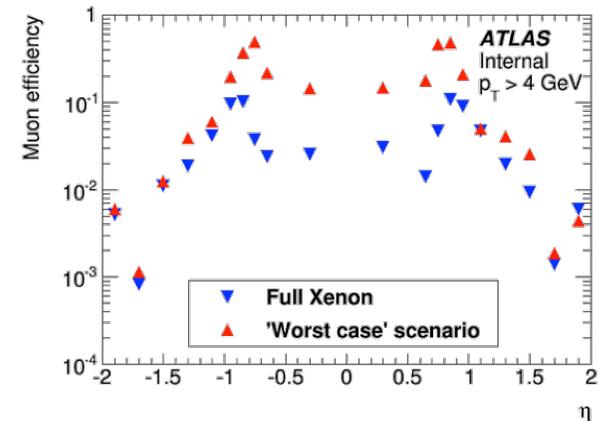


Fig. 4 Muon efficiency at 90% of electron efficiency as a function of pseudorapidity for the worst-case scenario (see Fig. 3) and standard operation conditions (Xe-mixture).

# Эффективность набора данных и триггер

## □ Эффективность набора данных

- усредненная эффективность 93% (Run I - 94%) без IBL
- усредненная эффективность с IBL - 87%

## □ Триггер

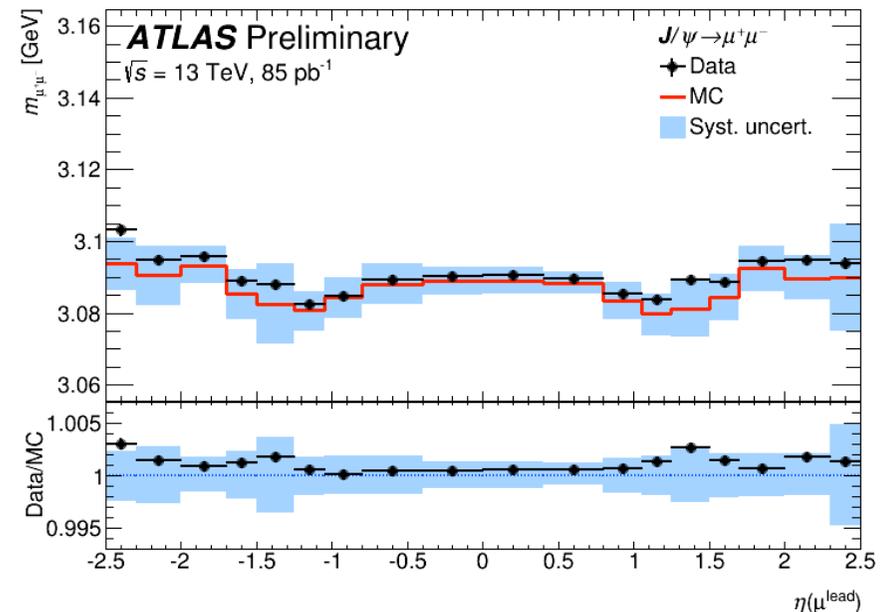
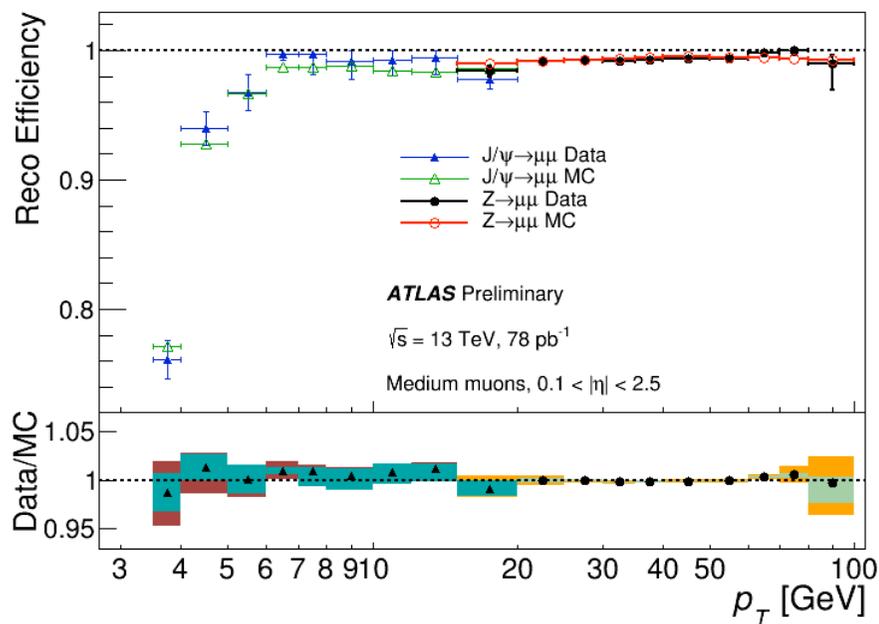
- Run II меню содержит ~1500 HLT отборов основанных на ~400 триггерах первого уровня L1

Trigger	$p_T$ Threshold (GeV)		Rate (Hz) *	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
Inclusive e	24	24	70	97
Inclusive $\mu$	24	20	45	130
$E_T^{\text{mis}}$	80	70	18	55

# Эффективность реконструкции мюонов

Для измерения эффективности реконструкции мюонов, проверки калибровки по энергии и измерения разрешения используются распады  $Z \rightarrow \mu\mu$  и  $J/\psi \rightarrow \mu\mu$

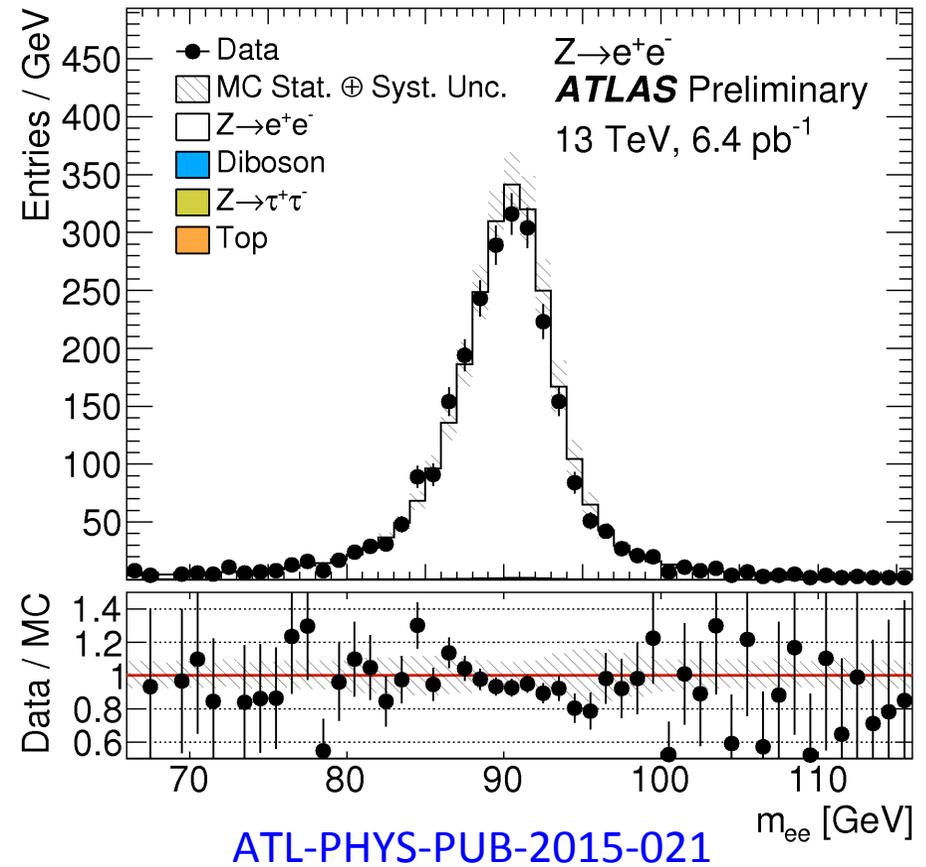
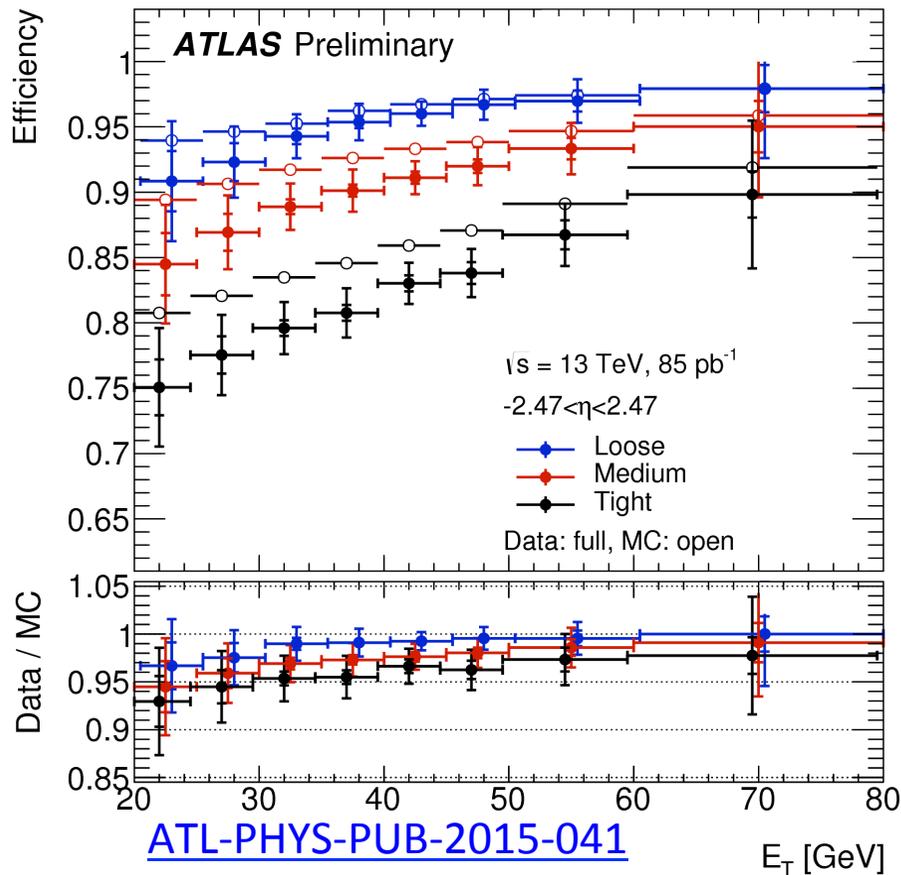
- эффективность реконструкции  $>99\%$  для мюонов с  $p_T > 7$  ГэВ
- хорошее согласие Data/MC



[ATL-PHYS-PUB-2015-037](#)

# Эффективность реконструкции электронов

- Эффективность реконструкции и идентификации электронов измеряется в данных и МС, используя электроны от распадов  $Z$ -бозонов  $Z \rightarrow ee$ .
- Для измерения разрешения по энергии и проверки калибровки также используется процесс  $Z \rightarrow ee$ . Результаты перепроверяются для  $J/\psi \rightarrow ee$ .
- Идентификация электронов основана на методе максимального правдоподобия, который использует информацию о форме ливня в ЭМ калориметре и трековую информацию



# Поиск новых нейтральных $Z'$ -бозонов

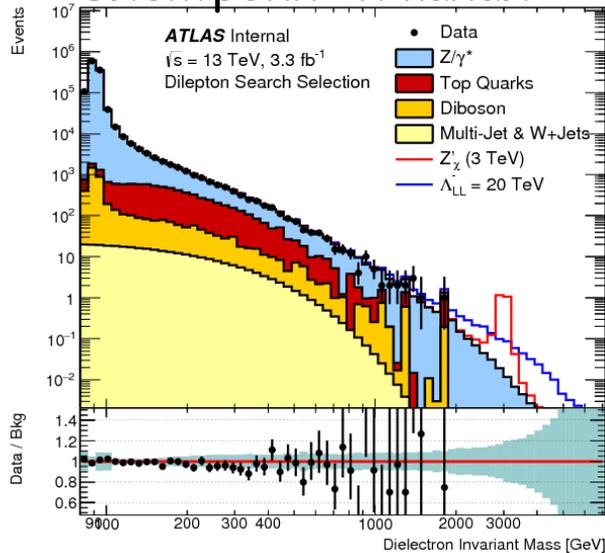
Вклад ПИЯФ - анализ электронного канала

Поиск новых тяжелых нейтральных бозонов в лептонном канале распада  $Z' \rightarrow \ell\ell$

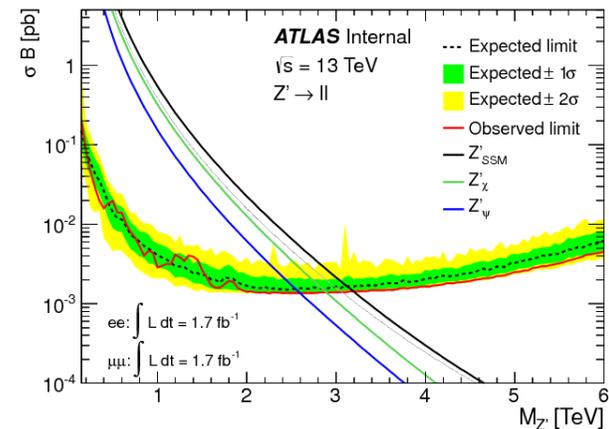
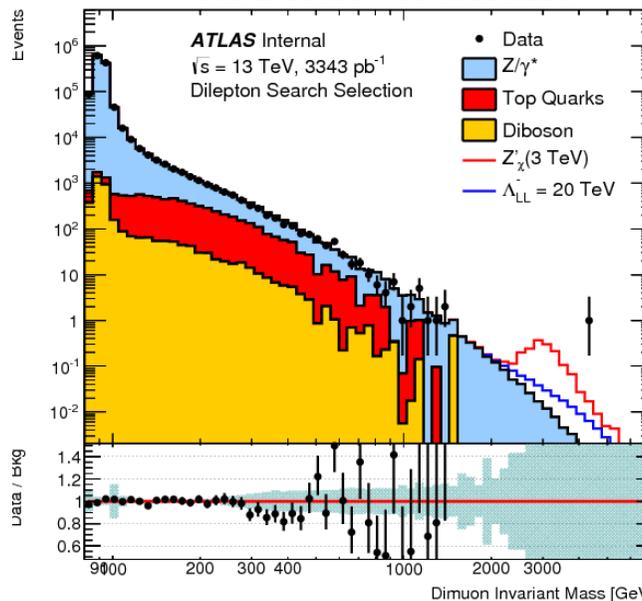
Наблюдаемая величина - инвариантная масса лептонной пары.

Основной (не сокращаемый фон):  $Z/\gamma^* \rightarrow \ell\ell$

электронный канал



мюонный канал



Модель	$Z'$	
Год	Набл.(ТэВ)	Ожид. (ТэВ)
2010	1.048	1.088
2011	2.22	2.25
2012	2.9	2.87
2015	3.11	3.19

В мюонном канале наблюдается событие с наибольшей инвариантной массой 4.26 ТэВ:

- Leading Muon:  $p_T$  (2.6 TeV),  $\eta$ (-1.06),  $\phi$ (0.92)
- Subleading Muon:  $p_T$  (1.6 TeV),  $\eta$ (-0.47),  $\phi$  (-2.22)

В отсутствии наблюдаемого сигнала устанавливается предел на сечение ( $\sigma_B$ ) с 95% уровнем достоверности, используя Байесовский метод

# Поиск новых заряженных $W'$ -бозонов

Вклад ПИЯФ - анализ электронного канала

Поиск новых тяжелых заряженных бозонов в лептонном канале распада  $W' \rightarrow l\nu$

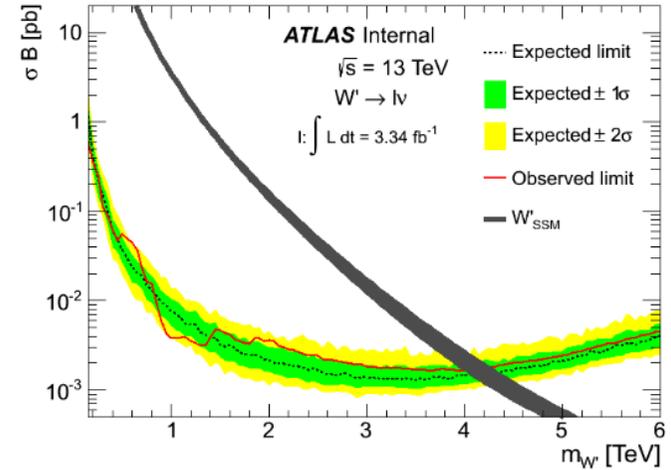
Наблюдаемая величина - поперечная масса

$$m_T = \sqrt{2p_T^l E_T^{miss} (1 - \cos \phi_{l\nu})}$$

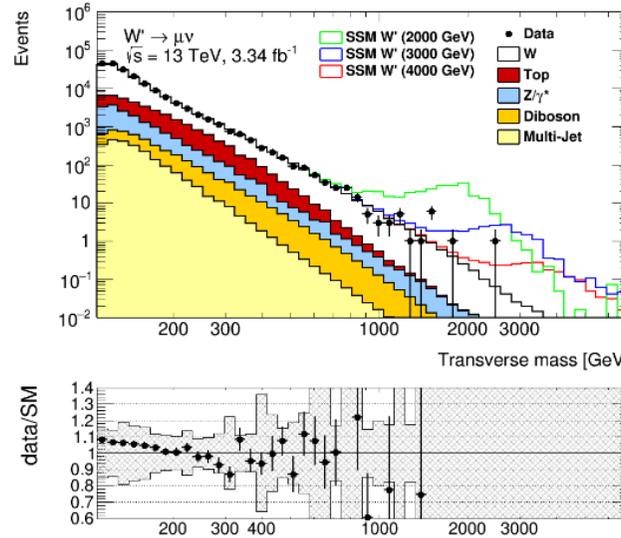
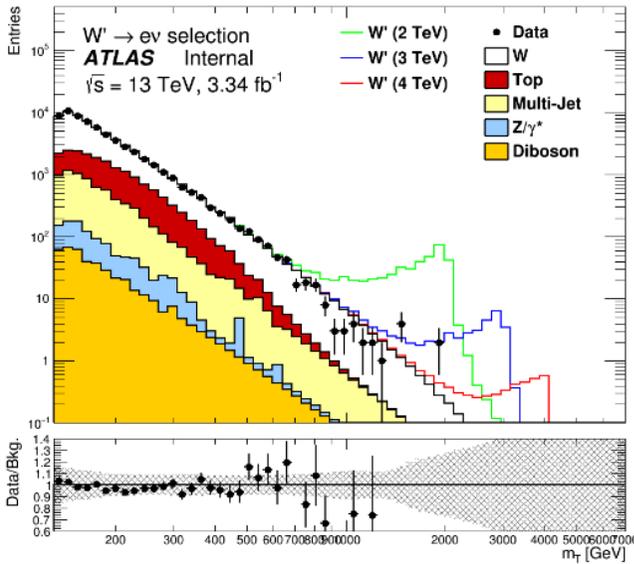
Основной (не сокращаемый фон):  $W/\gamma^* \rightarrow l\nu$

$m_T$  электроны

$m_T$  мюоны

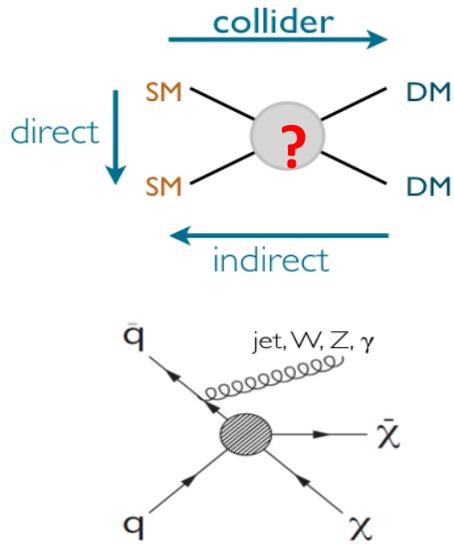


Модель	$W'$	
Год	Набл. (ТэВ)	Ожид. (ТэВ)
2010	1.49	1.45
2011	2.55	2.55
2012	3.17	3.24
2015	4.14	4.21

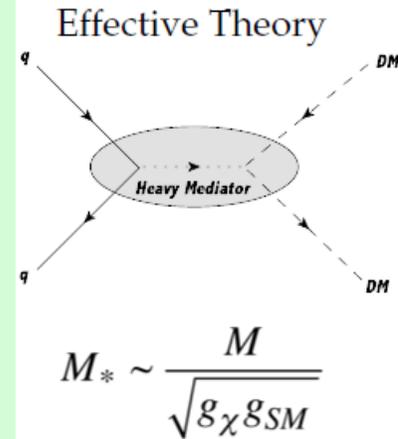


В отсутствии наблюдаемого сигнала устанавливается предел на сечение ( $\sigma_B$ ) с 95% уровнем достоверности, используя Байесовский метод

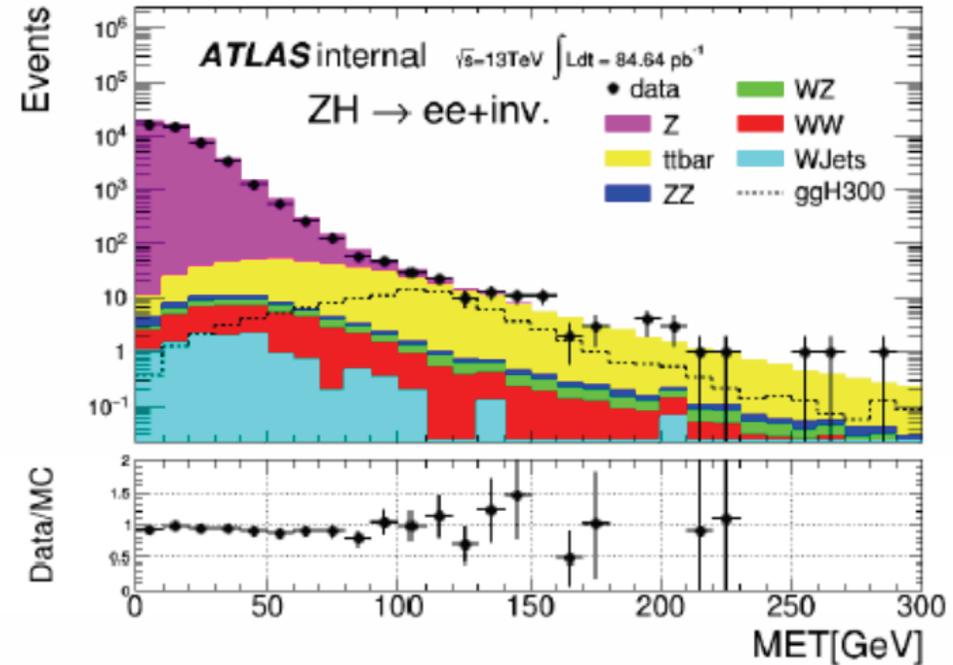
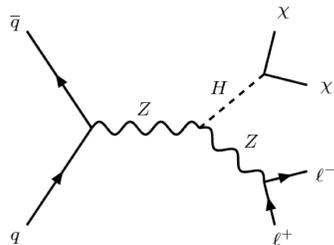
# Поиск частиц темной материи (WIMP) - моно-Z



- ❖ Частицы темной материи (ЧТМ) не регистрируются детектором поэтому нужны дополнительные объекты чтобы триггерировать рождение ЧТМ
- ❖ Излучение в начальном состоянии jets, W, Z,  $\gamma$  - не сбалансированная поперечная энергия ( $E_{\text{miss}}$ )
- ❖ Предполагается что взаимодействие переносится новой очень тяжелой частицей которая не рождается на LHC
- ❖ Используется приближение эффективной полевой теории (контактное взаимодействие)  $\sim M^*$
- ❖ Установленные пределы на  $M^*$  могут быть пересчитаны в пределы на сечение взаимодействия WIMP с нуклонами



- Отбор событий в канале моно-Z (конечное состояние- два лептона и  $E_{\text{miss}}$ )
- Конечное состояние совпадает с процессом  $H \rightarrow ZZ \rightarrow \ell\nu\nu$  и с поиском нестандартного бозона Хиггса



# Измерение угловых коэффициентов в $Z \rightarrow \ell\ell$

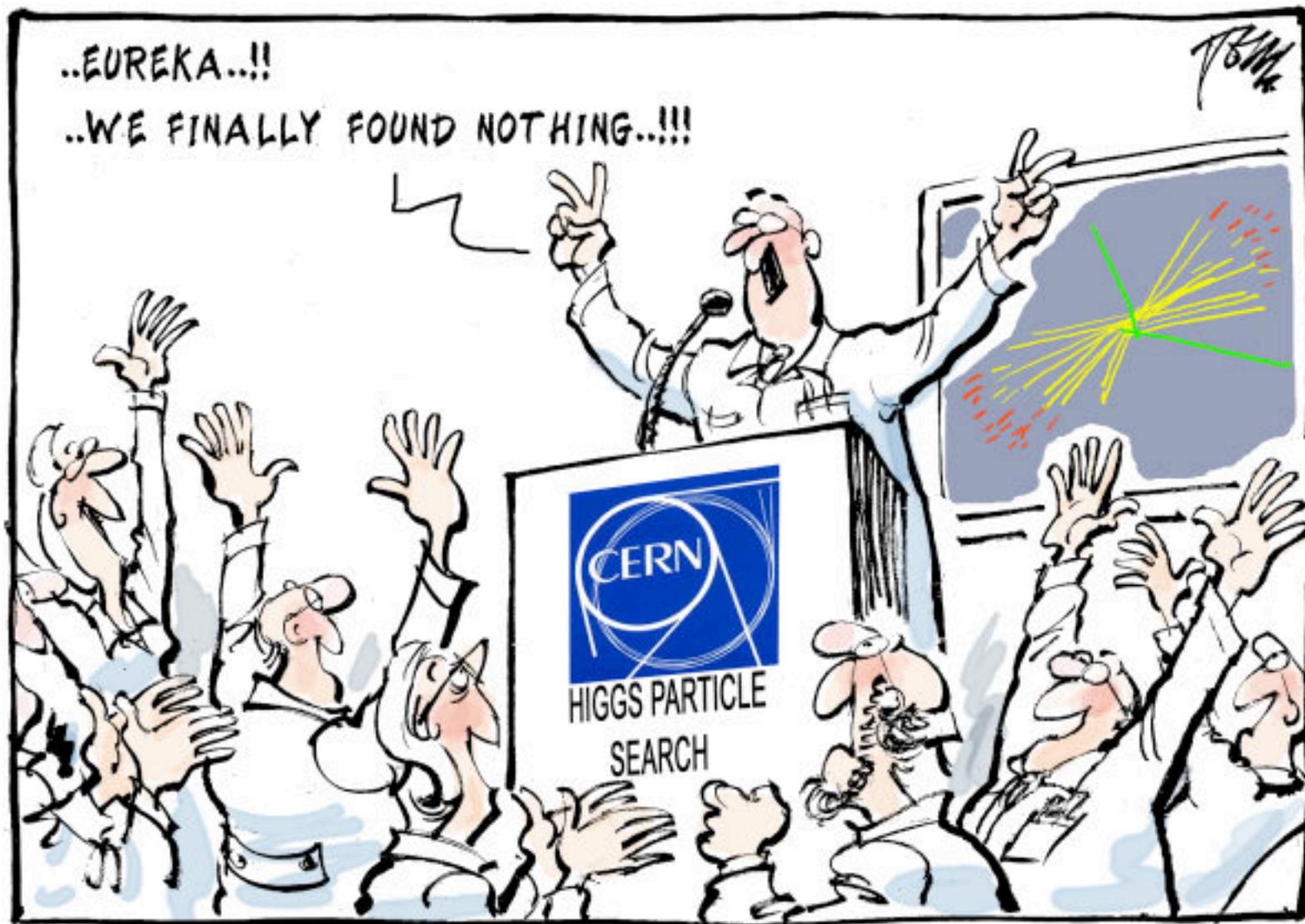
Дифференциальное сечение процесса:  $Z/\gamma^* \rightarrow \ell\ell$  может быть записано в системе покоя  $Z$ -бозона как сумма сечений с заданной спиральностью умноженной на полином  $(\vartheta, \phi)$ :

$$\frac{d\sigma}{dp_T^Z dy^Z dm^Z d\cos\theta d\phi} = \frac{3}{16\pi} \frac{d\sigma^{U+L}}{dp_T^Z dy^Z dm^Z} \{ (1 + \cos^2\theta) + 1/2 A_0(1 - 3\cos^2\theta) + A_1 \sin 2\theta \cos\phi + 1/2 A_2 \sin^2\theta \cos 2\phi + A_3 \sin\theta \cos\phi + A_4 \cos\theta + A_5 \sin^2\theta \sin 2\phi + A_6 \sin 2\theta \sin\phi + A_7 \sin\theta \sin\phi \}.$$

- Для измерений использовались мюоны и электроны, включая forward электроны.
- Угловые коэффициенты  $A_i$  извлекались из данных фитированием темплайтами, используя метод максимального правдоподобия, реконструированных угловых распределений по  $\vartheta, \phi$  в бинах по  $p_T$  и  $y_Z$ . Каждый темплайт нормализовался свободным параметром соответствующим коэффициенту  $A_i$ .
- Измерения выполнялись узком диапазоне масс  $80 < m_{\ell\ell} < 100$  в 23 бинах по  $(p_T < 600 \text{ ГэВ})$  для  $|y_{\parallel}| < 3.5$  и в следующих бинах по быстрой  $Z$ -бозона  $|y_{\parallel}| < 1.0, 1.0 < |y_{\parallel}| < 2.0, \text{ and } 2.0 < |y_{\parallel}| < 3.5$ .
- Точность измерений  $O(1\%)$
- Аналогичное измерение было выполнено CMS коллаборацией только на мюонах для  $p_T < 300 \text{ ГэВ}$  в 8 бинах и для  $0 < |y_Z| < 1$  и  $1 < |y_Z| < 2.1$
- Результаты измерений сравнивались с теоретическими расчетами для различных MC генераторов: Powheg и Sherpa, а так же с наиболее точными доступными вычислениями в фиксированных порядках DNNLO
- Измерения обладают достаточной точностью, чтобы увидеть отличия в выборе различных моделей КХД ливней в начальном состоянии, выборе шкалы КХД факторизации.
- Измерения угловых коэффициентов крайне важны для прецизионных измерений электрослабых параметров - эффективного угла смешивания  $\sin^2\vartheta_W$  и массы  $W$ -бозона  $m_W$ .

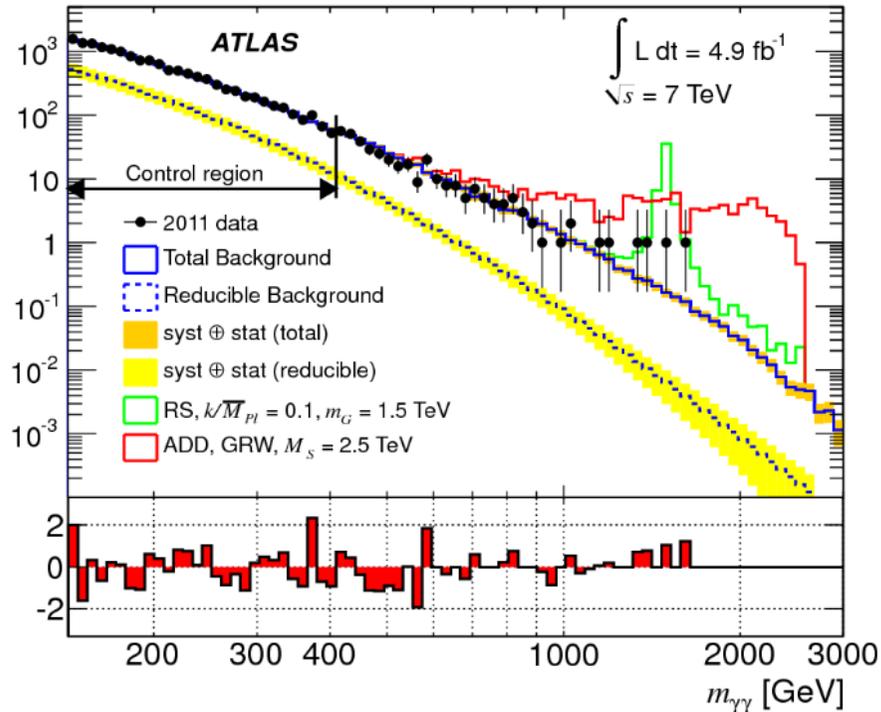
*"It is much too early to expect any discovery,  
we will have to be patient" CERN DG*

*"It is much too early to expect any discovery, we will have to be patient" CERN DG*

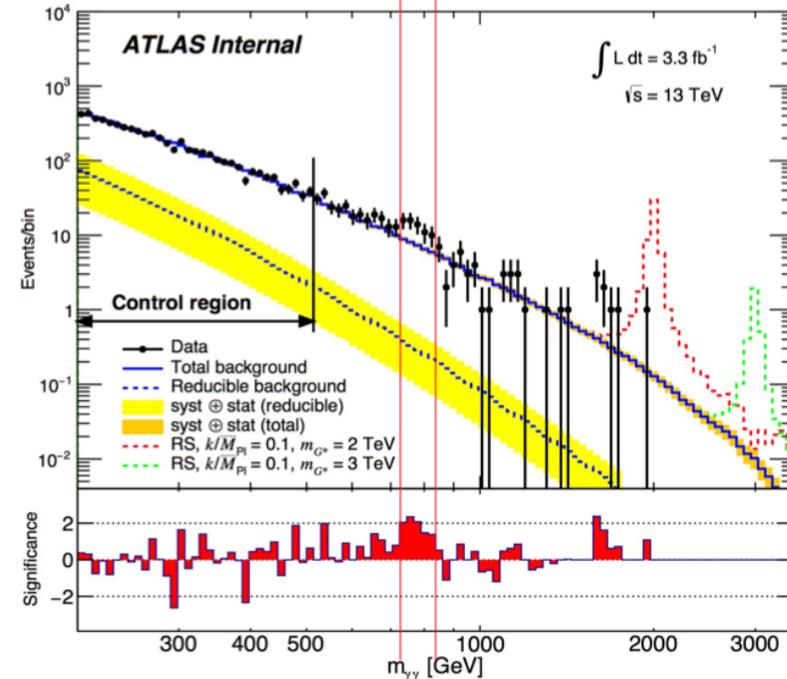


# Конечное состояние $\gamma\gamma$

Run I



Run II



- Превышение над фоном наблюдают два независимых анализа - Higgs и Exotics (гравитон). Наибольший выброс при  $m_\chi \sim 750 \text{ ГэВ}$ , но есть и при 1,6 ТэВ
- Значимость:
  - для стандартного отбора по изоляции **5,22 $\sigma$  локально** и 3,89 $\sigma$  глобально
  - для более сильного отбора по изоляции **3,81 $\sigma$  локально** и 2,35 $\sigma$  глобально
- Наблюдаемое/Ожидаемое(фон) кол-во событий:
  - для стандартного отбора по изоляции **94/53,1**
  - для более сильного отбора по изоляции **67/36,9**

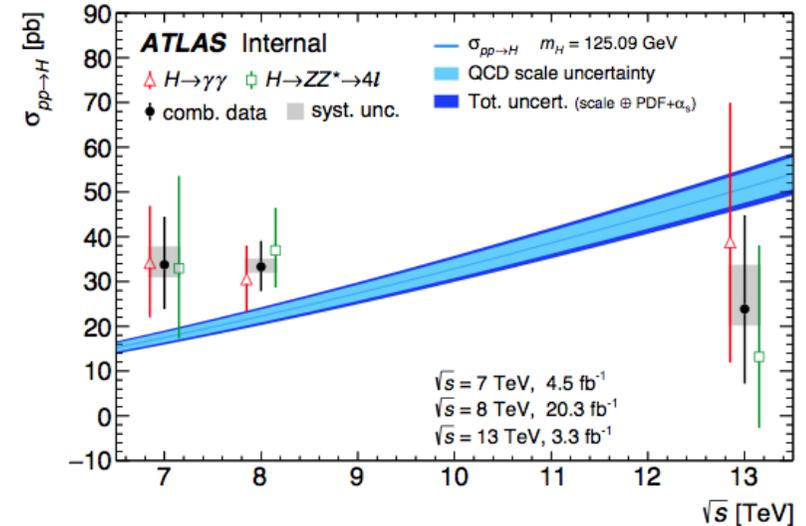
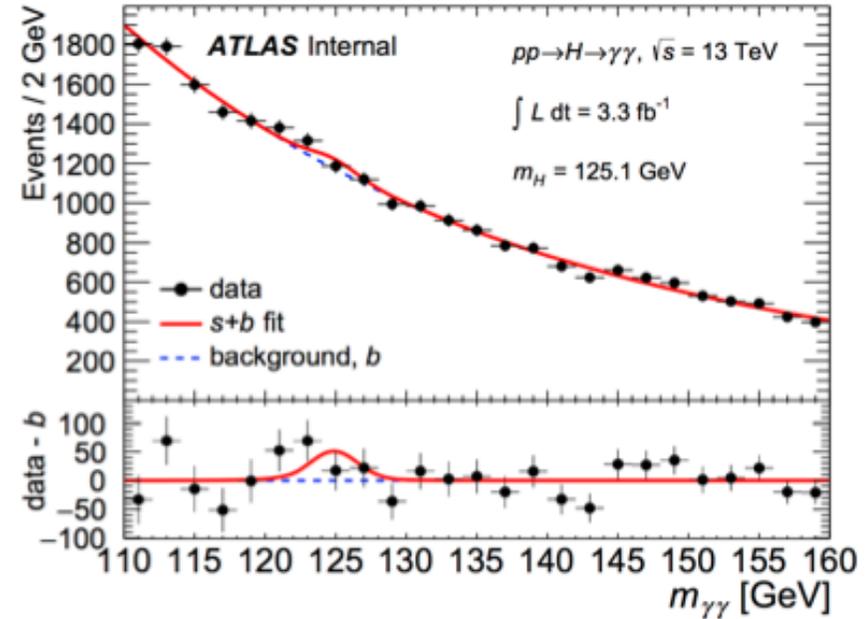
# Конечное состояние $\gamma\gamma$

- CERN statement: .....Studying events containing two photons and assuming that these photons originate from the decay of a massive particle, **both experiments see a small excess in the mass region of 750-760 GeV**. The same analyses were also carried out on the data from the first LHC run and, within the statistics available, did not yield a sizable excess over the expectations from standard physics processes....
- ATLAS SP statement: "ATLAS has been running superbly in 2015, and it's great to show so many new results from the full 2015 proton data already before the end of the year. **It is the nature of experiments that fluctuations come and go as more data are collected**. Next year's run will give us a lot more analysing power to see if any hint we see in this year's data will persist."

# H → γγ

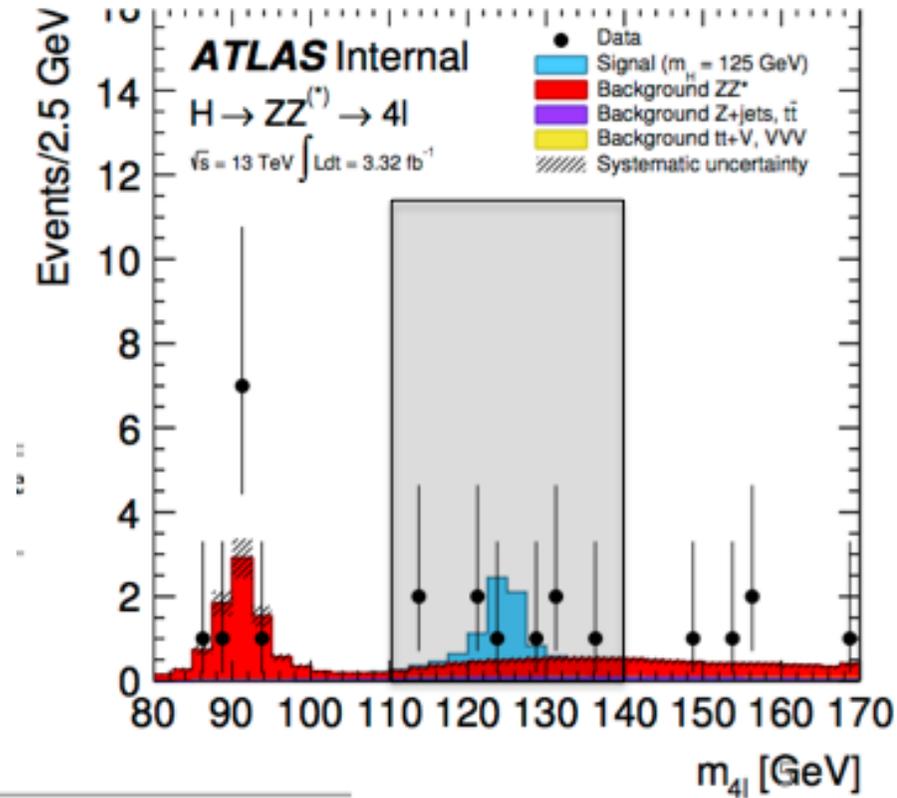
- Подгонка:
  - сигнал - CB+Gauss,  $m_H = 125,09$  (CMS +ATLAS)
  - фон ( $\gamma\gamma$ ,  $\gamma j, jj$ ) - экспонента+полином 2 порядка,  $m_{\gamma\gamma}$  [110,160] ГэВ
- Число событий с учетом ограниченного фазового пространства (fiducial phase space):
  - $N^{\text{exp}} = 146 \pm 72(\text{stat})^{+35}_{-12}(\text{syst})$
  - $N^{\text{obs}} = 114 \pm 74(\text{stat})^{+42}_{-28}(\text{syst})$
- Fiducial phase space:  $p_T > 25 \text{ GeV}, |\eta| < 2.37$ , изоляция, массовое окно

Total cross section [pb]	7 TeV	8 TeV	13 TeV
$H \rightarrow \gamma\gamma$	$35 \pm 13$	$30.5^{+7.6}_{-7.5}$	$39^{+30}_{-28}$
$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$	$33^{+21}_{-16}$	$36^{+9}_{-8}$	$13^{+25}_{-16}$
Combination	$34 \pm 10$ (stat.) $^{+4}_{-2}$ (syst.)	$33.3^{+5.5}_{-5.3}$ (stat.) $^{+1.7}_{-1.3}$ (syst.)	$24^{+19}_{-16}$ (stat.) $^{+10}_{-4}$ (syst.)
LHC-XS	$17.5 \pm 1.6$	$22.3 \pm 2.0$	$50.9^{+4.5}_{-4.4}$



# $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$

- ❑ Отбор событий такой же как и в RUNI
- ❑  $S/B \sim 2.3$  (RUNI  $S/B \sim 1.7$ )
- ❑ в интервале масс 118-129 ГэВ наблюдаются 4 события



Final state	Signal	Signal	$ZZ^*$	$Z$ + jets, $t\bar{t}$	$S/B$	Expected	Observe
	full mass range						
$4\mu$	$1.86 \pm 0.20$	$1.72 \pm 0.18$	$0.64 \pm 0.07$	$0.06 \pm 0.02$	2.5	$2.42 \pm 0.20$	1
$2e2\mu$	$1.23 \pm 0.13$	$1.09 \pm 0.12$	$0.44 \pm 0.05$	$0.05 \pm 0.02$	2.2	$1.59 \pm 0.13$	1
$2\mu 2e$	$1.10 \pm 0.16$	$1.00 \pm 0.14$	$0.34 \pm 0.05$	$0.09 \pm 0.02$	2.3	$1.43 \pm 0.15$	2
$4e$	$1.05 \pm 0.17$	$0.91 \pm 0.14$	$0.32 \pm 0.05$	$0.09 \pm 0.02$	2.2	$1.32 \pm 0.15$	0
Total	$5.24 \pm 0.60$	$4.73 \pm 0.54$	$1.74 \pm 0.20$	$0.29 \pm 0.04$	2.3	$6.76 \pm 0.58$	4

# Заключение

- **Физическая программа в которой участвует ПИЯФ в ATLAS:**
  - Exotics: search of  $W'/Z'$ , dark matter particles (mono- $W$ , mono- $Z$ )
  - SM measurements:  $Z$ -boson polarization
- **Развитие и поддержка s/w эксперимента ATLAS:**
  - validation of electron/photon reconstruction and identification s/w;
  - TRT digitization s/w;
  - ATLAS geo model;
  - ATLAS fast simulation - FATRAS;
  - MCTruthClassifier.
- **Детекторы:**
  - TRT - ремонт, модернизация газовой системы.
- **Модернизация установки ATLAS**
  - сборка тонкозачерненных камер ТЗК для передней части мюонного спектрометра в ПИЯФ (32 квадруплета)
- **ПИЯФ также участвует в ATLAS TDAQ и DCS (группа проф. Ю.Ф. Рябова).**