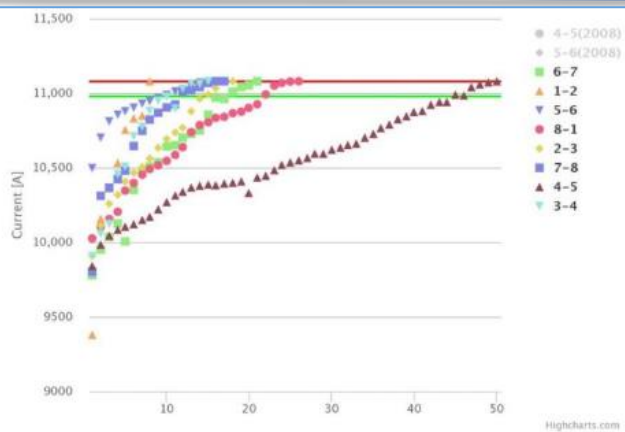


# Эксперимент ATLAS

A 3D visualization of the ATLAS detector. The central part shows a complex structure of yellow and red components, likely the inner and outer calorimeters. A bright blue beam enters from the top, and a central point of interaction is shown with numerous white and green tracks radiating outwards. The background is a dark, abstract space with various colored lines and shapes, suggesting a particle 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**

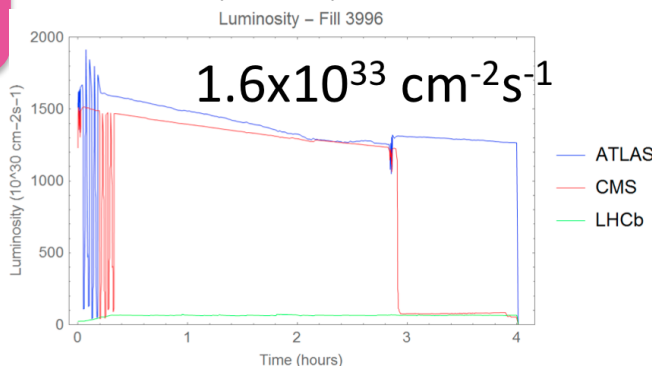
**СЕНТЯБРЬ**

**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**

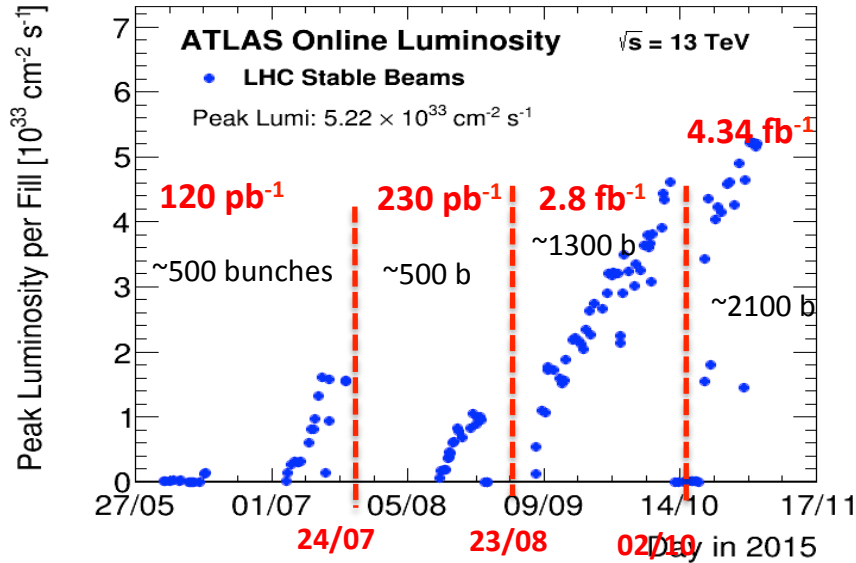
**1465 1465**

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

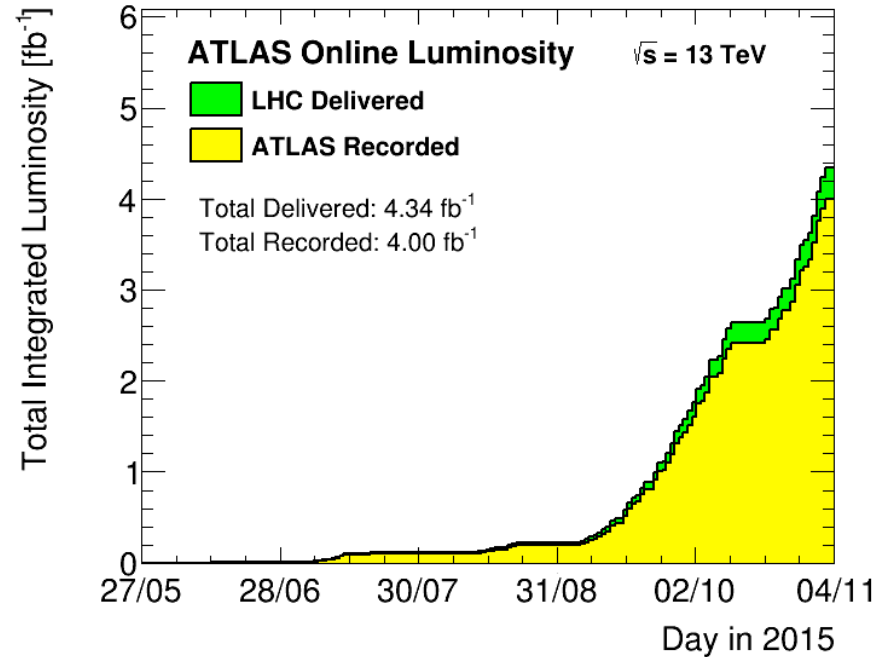
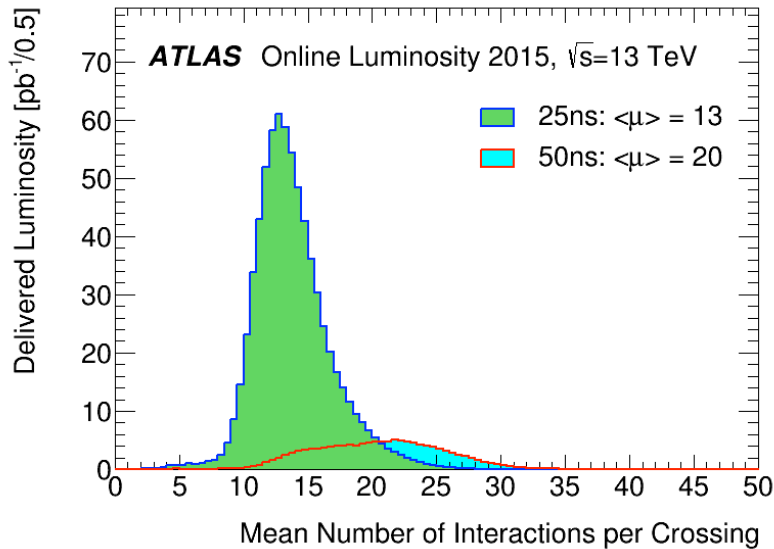
**Апрель, 5**  
Первый пучок

# Светимость в 2015 году

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

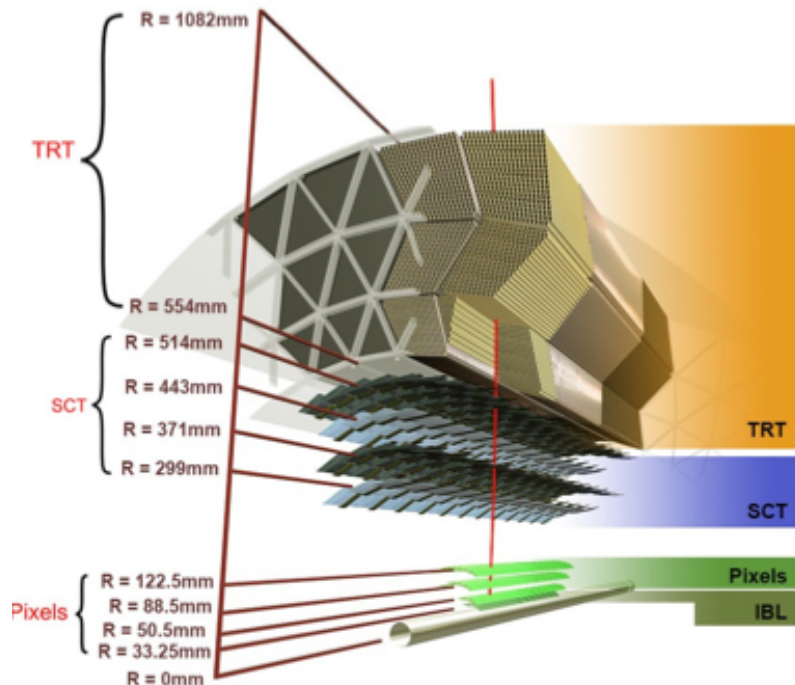


- **Первоначальная цель для Run II:**
  - ✧ 2015 год 10 fb<sup>-1</sup>
  - ✧ до конца 2018 года 100-120 fb<sup>-1</sup>
- В 2015 году набрано всего 4.0 fb<sup>-1</sup>
- Основная цель 2015 года - подготовка к 2016 году как к "physics production run" с 25 нсек bunch crossing



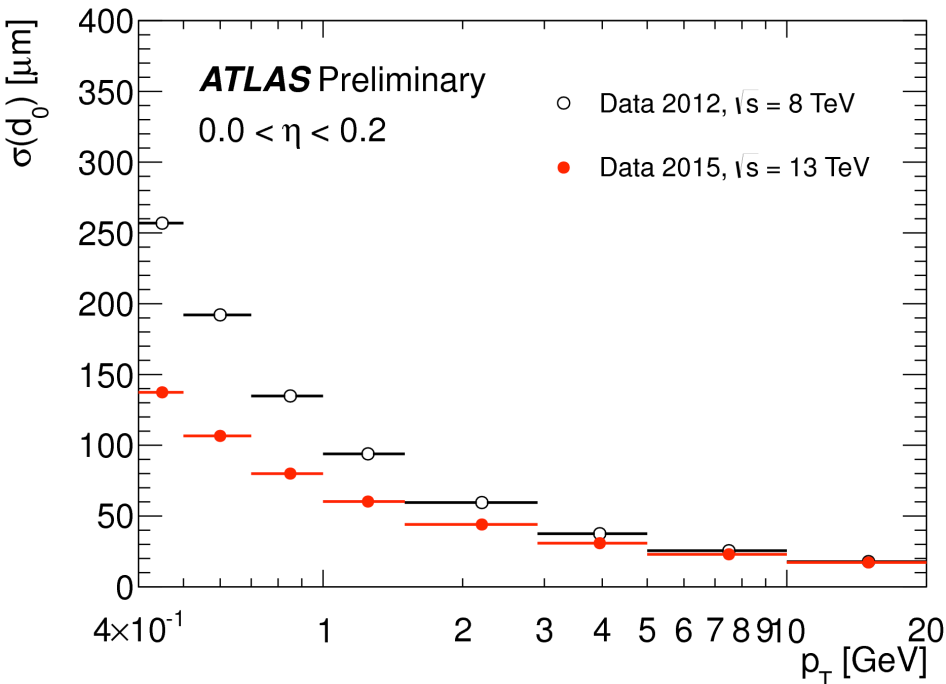
# Детектор ATLAS

- 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  $p_T$ )

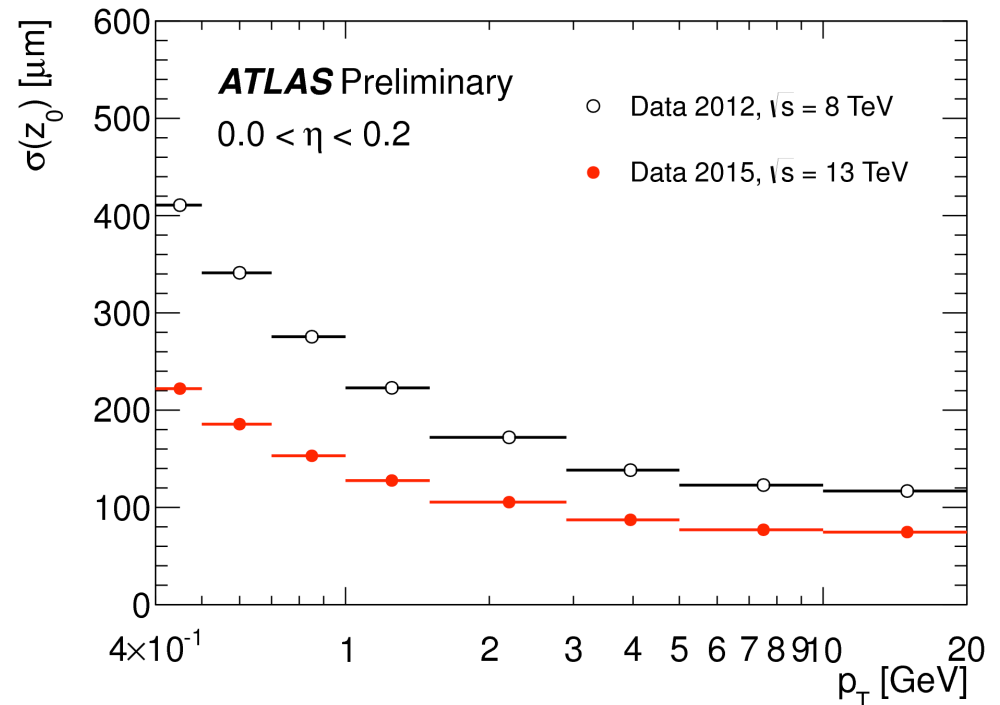


# IBL детектор

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](#)

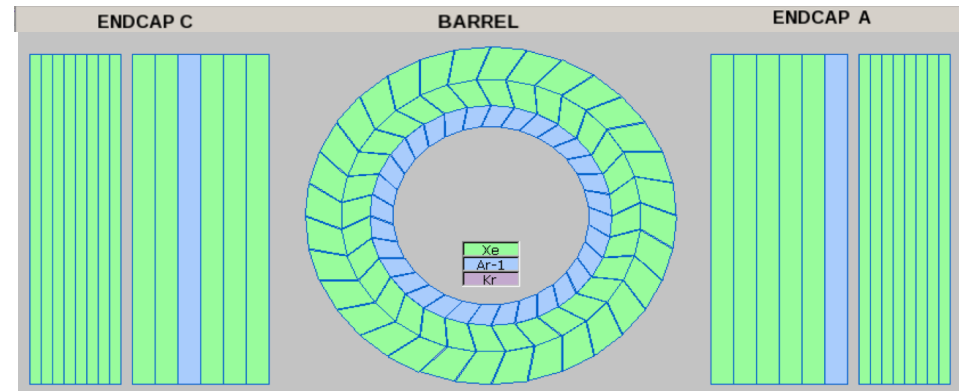


[IDTR-2015-007](#)

# 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

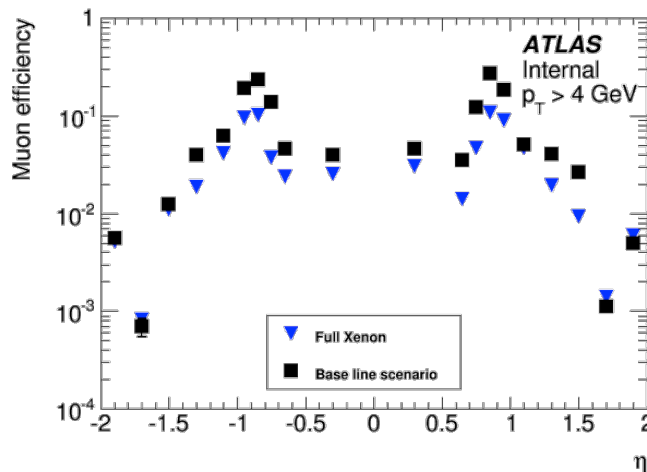
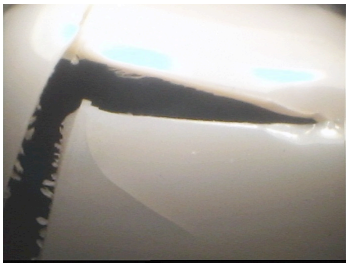


Fig. 2 Muon efficiency at 90% of electron efficiency as a function of pseudorapidity for the base-line scenario (see Fig. 1) and standard operation conditions (Xe-mixture).

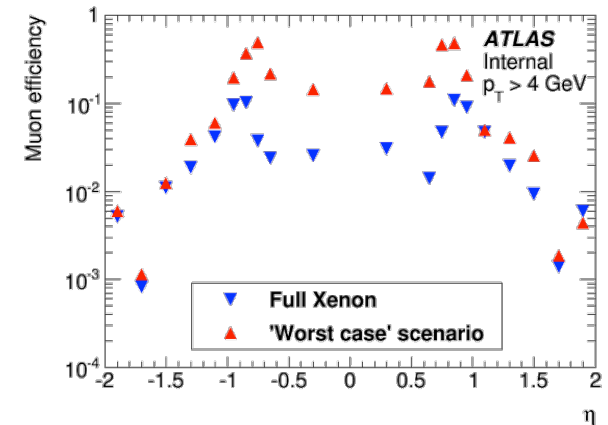


Fig. 4 Muon efficiency at 90% of electron efficiency as a function of pseudorapidity for the worst-case scenario (see Fig. 3) and standard operation conditions (Xe-mixture).

# Эффективность набора данных и триггер

## □ Эффективность набора данных

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

## □ Триггер

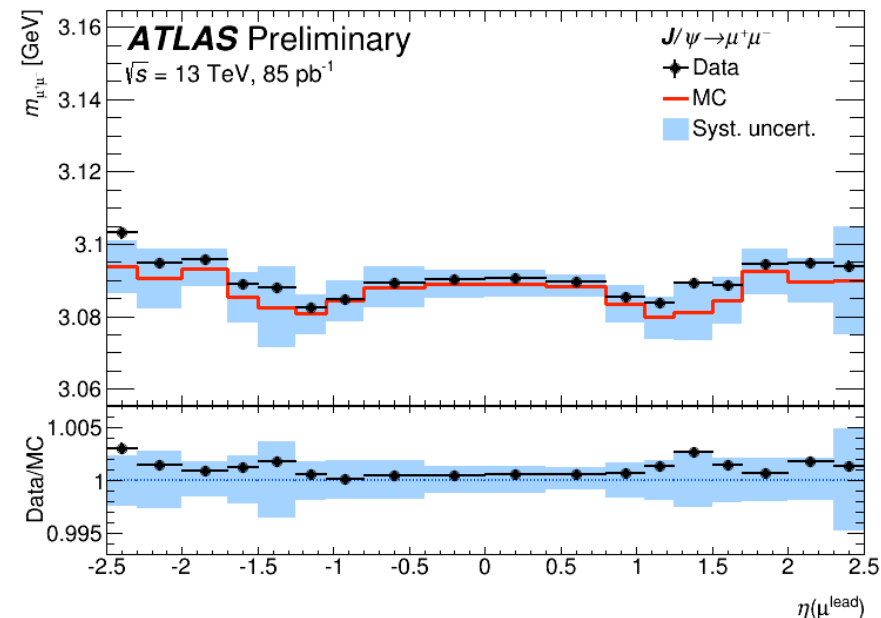
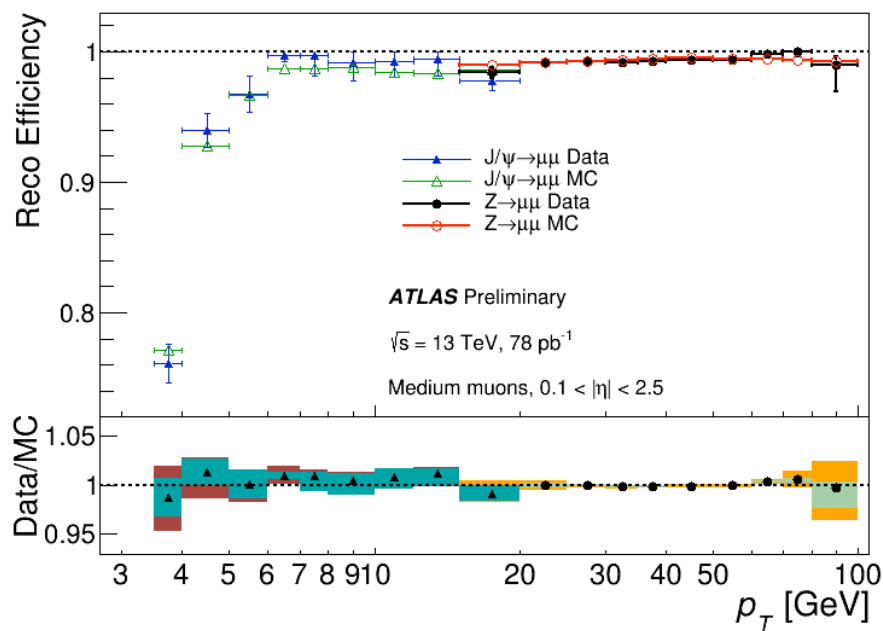
- Run II меню содержит ~1500 HLT отборов основанных на ~400 триггерах первого уровня L1

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

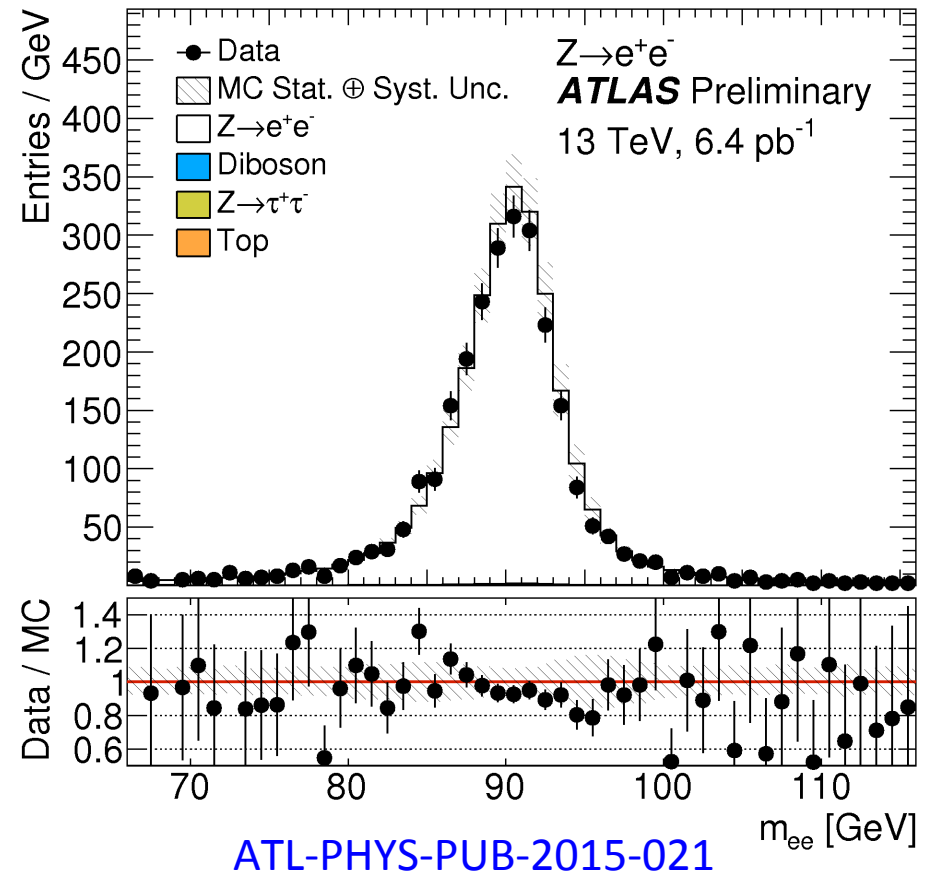
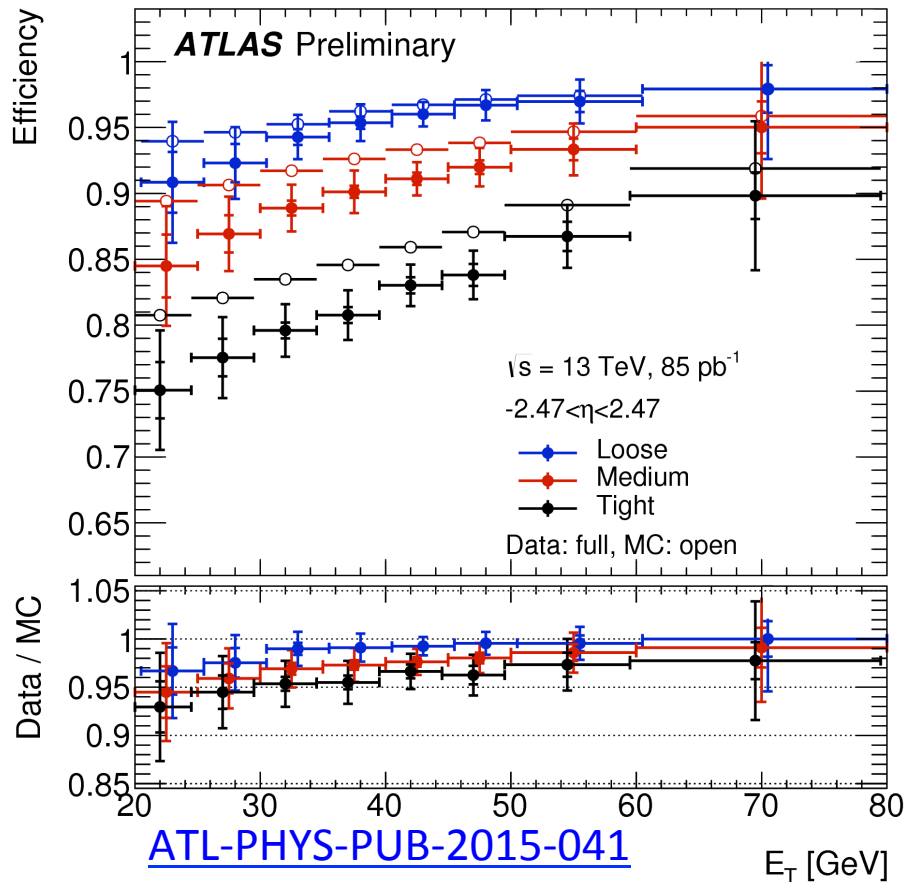


[ATL-PHYS-PUB-2015-037](#)



# 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

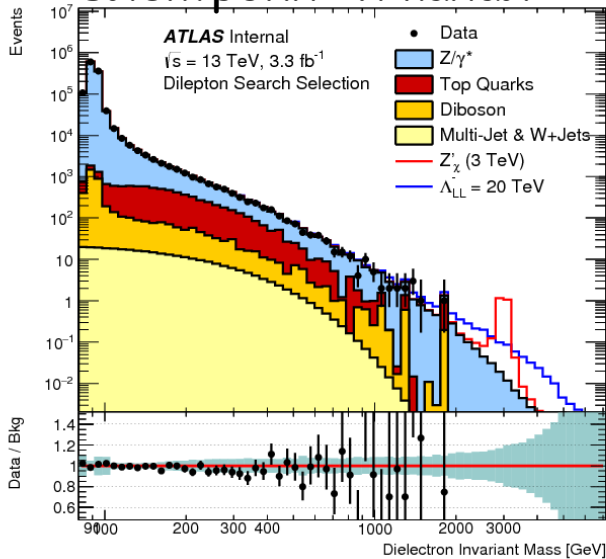
Вклад ПИЯФ - анализ электронного канала

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

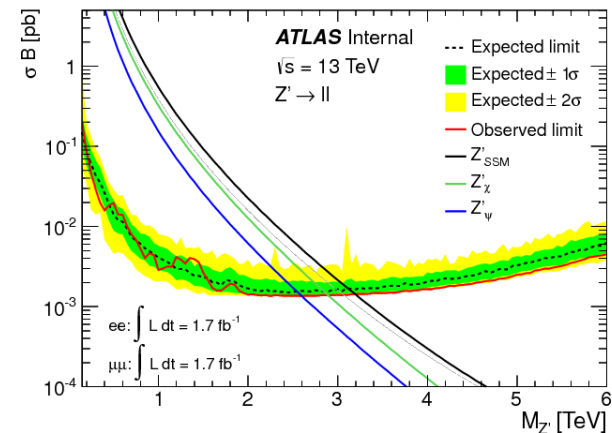
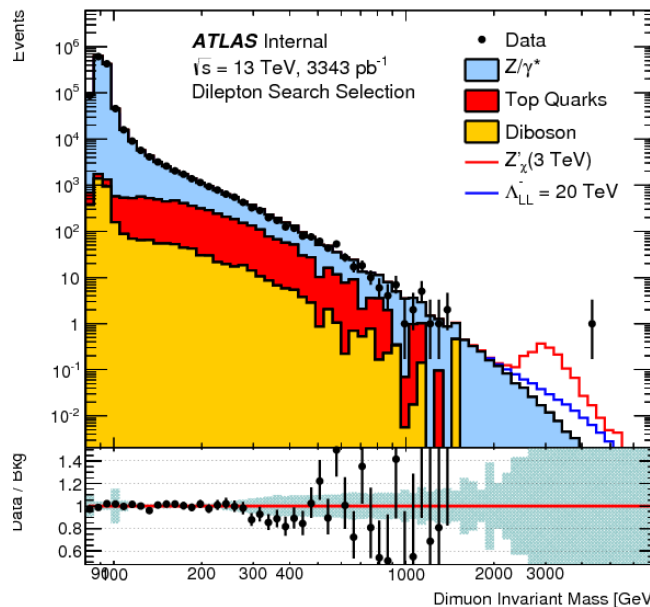
Наблюдаемая величина - инвариантная масса лептонной пары.

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  $W' \rightarrow l\nu$

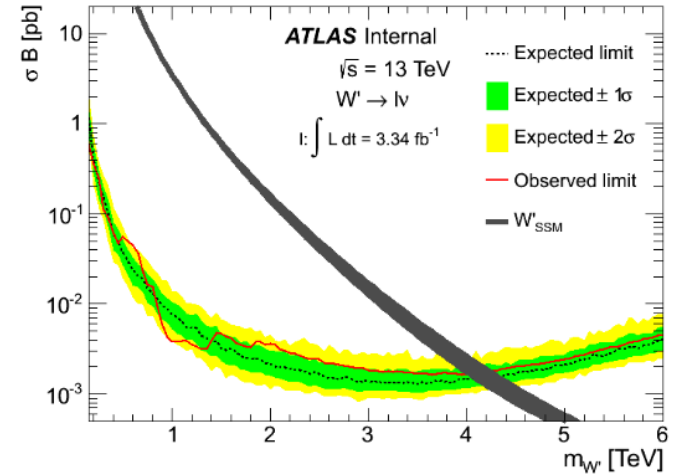
Наблюдаемая величина - поперечная масса

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

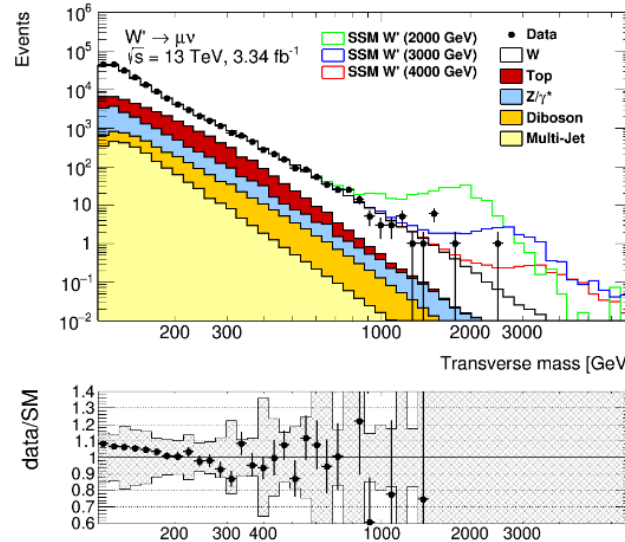
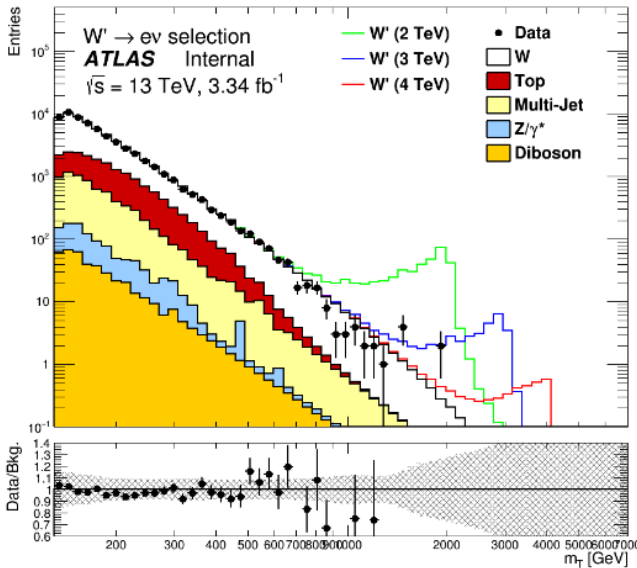
Основной (не сокращаемый фон):  $W/\gamma^* \rightarrow l\nu$

$m_T$  электроны

$m_T$  мюоны

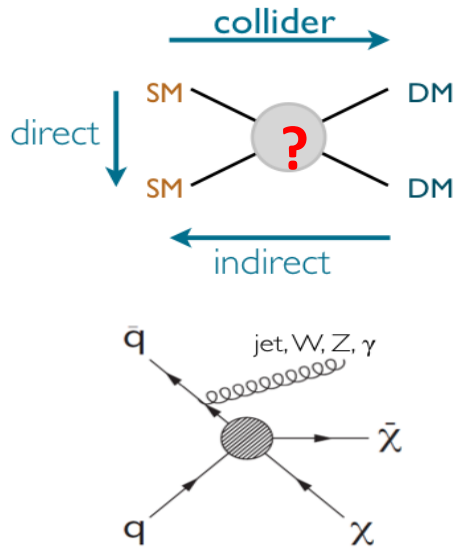


Модель	$W'$	
Год	Набл. (ТэВ)	Ожид. (ТэВ)
2010	1.49	1.45
2011	2.55	2.55
2012	3.17	3.24
2015	4.14	4.21

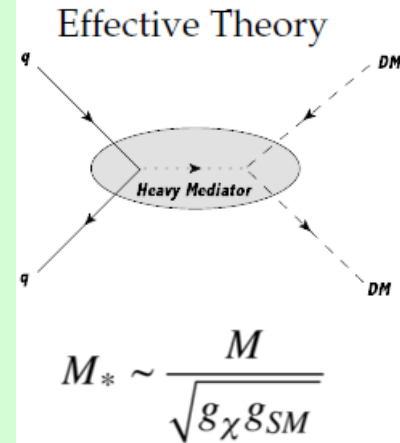


В отсутствии наблюдаемого сигнала устанавливается предел на сечение ( $\sigma_B$ ) с 95% уровнем достоверности, используя Байесовский метод

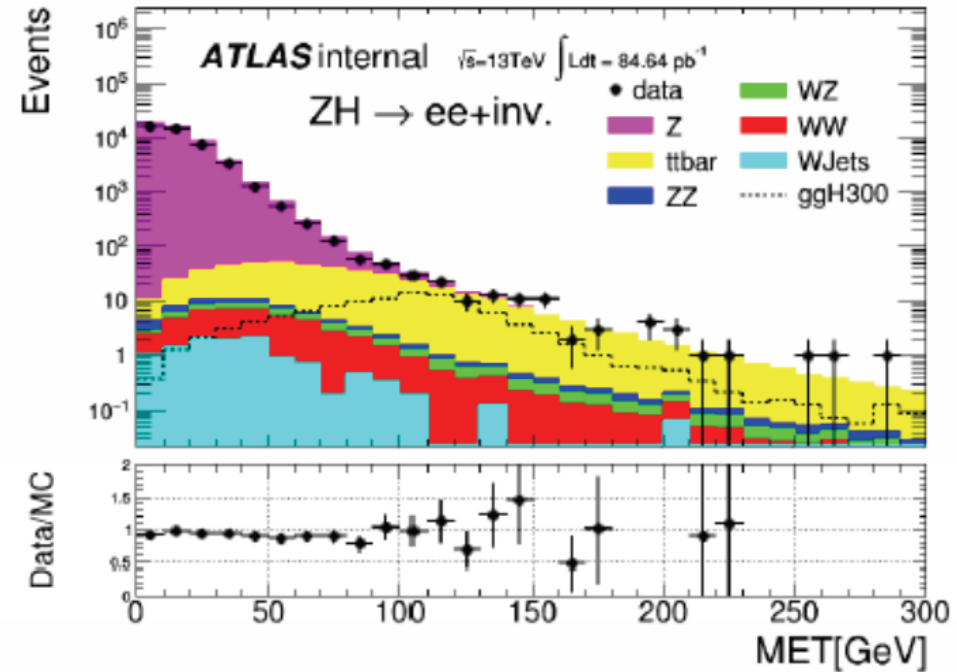
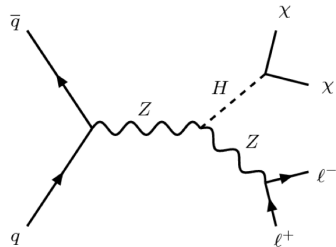
# Поиск частиц темной материи (WIMP) - моно-Z



- ❖ 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 $Z \rightarrow \ell\ell$

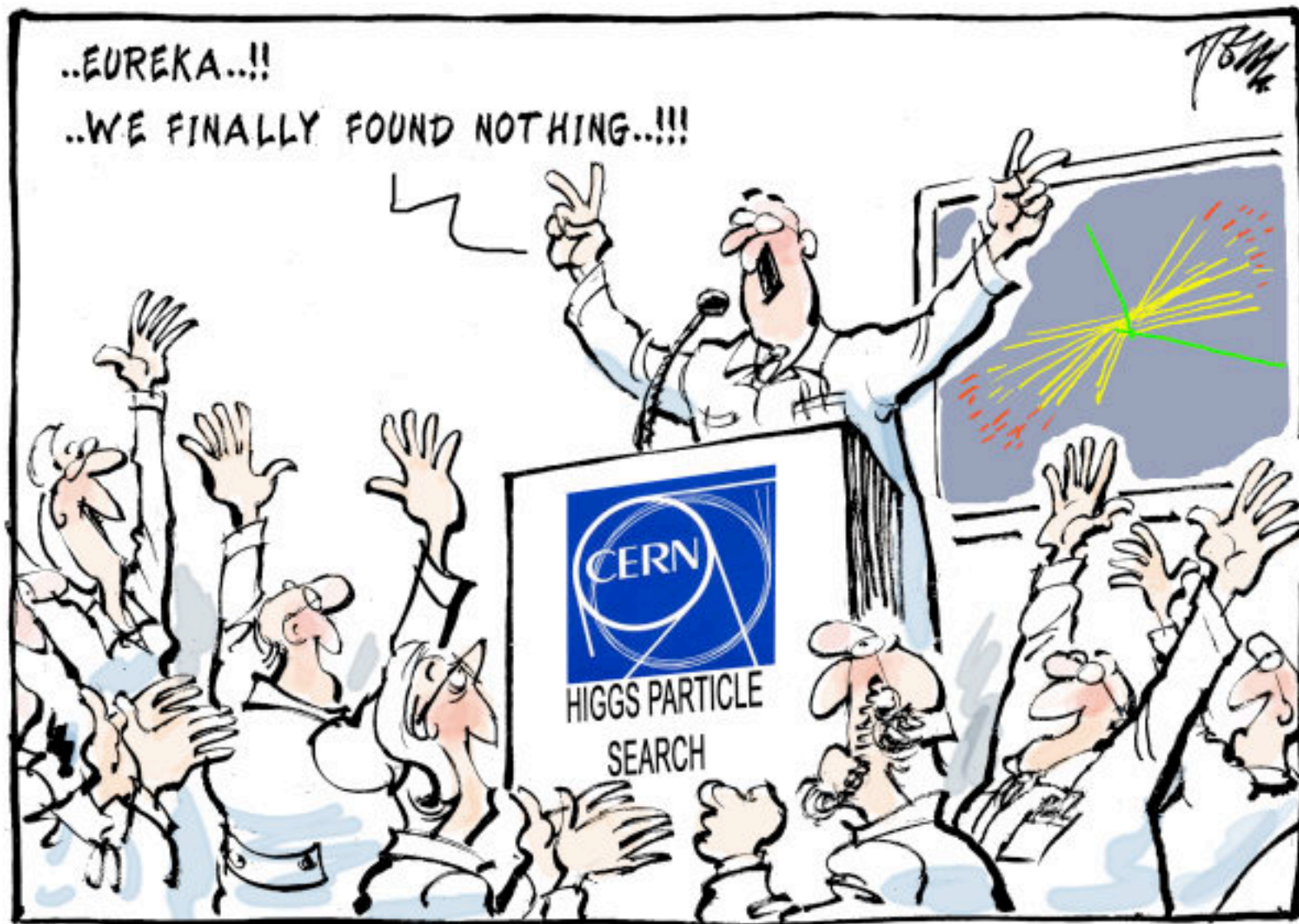
Дифференциальное сечение процесса:  $Z/\gamma^* \rightarrow \ell\ell$  может быть записано в системе покоя  $Z$ -бозона как сумма сечений с заданной спиральностью умноженной на полином  $(\vartheta, \phi)$ :

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

- 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 ( $p_T < 600$  ГэВ) для  $|y_{\ell\ell}| < 3.5$  и в следующих бинах по быстрой  $Z$ -бозона  $|y_{\parallel}| < 1.0$ ,  $1.0 < |y_{\parallel}| < 2.0$ , and  $2.0 < |y_{\parallel}| < 3.5$ .
- Точность измерений  $O(1\%)$
- Аналогичное измерение было выполнено CMS коллаборацией только на мюонах для  $p_T < 300$  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  $m_W$ .

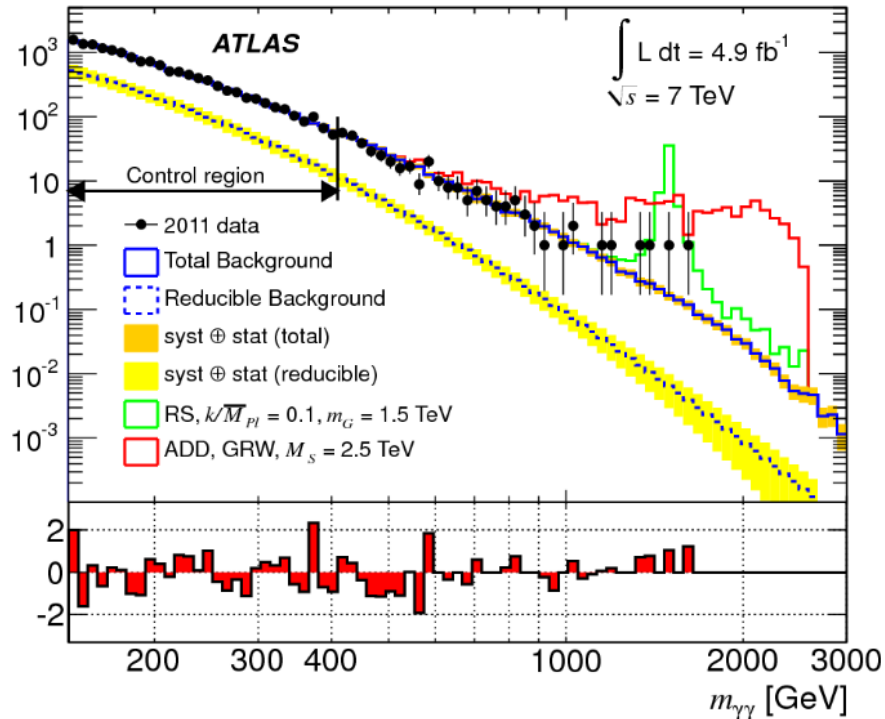
*"It is much too early to expect any discovery,  
we will have to be patient" CERN DG*

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

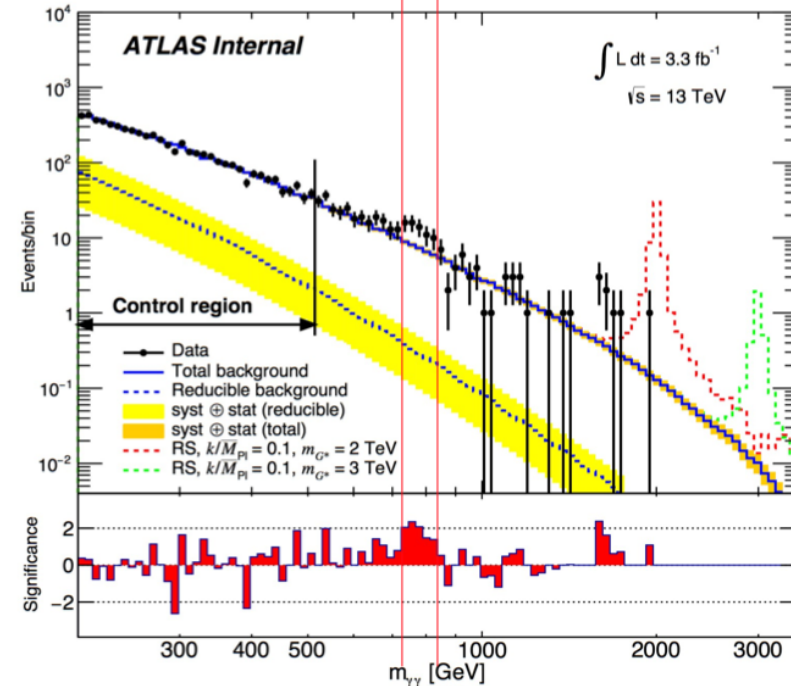


# Конечное состояние $\gamma\gamma$

Run I



Run II



- Превышение над фоном наблюдают два независимых анализа - Higgs и Exotics (гравитон). Наибольший выброс при  $m_\chi \sim 750$  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**



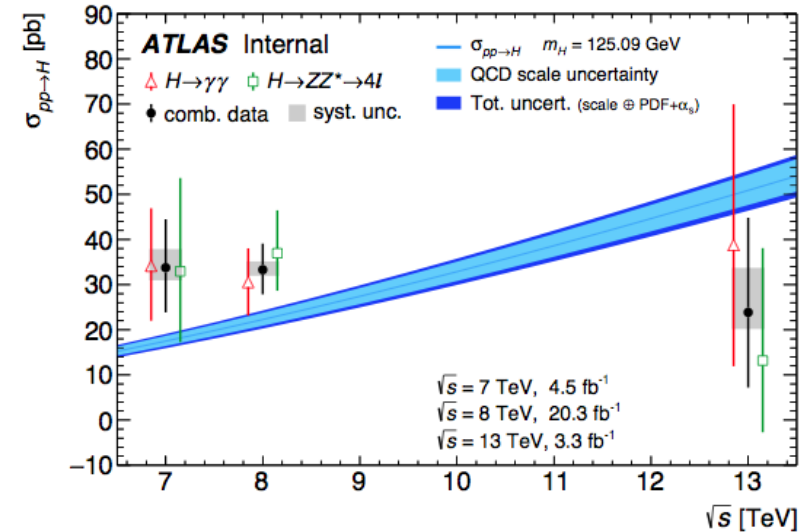
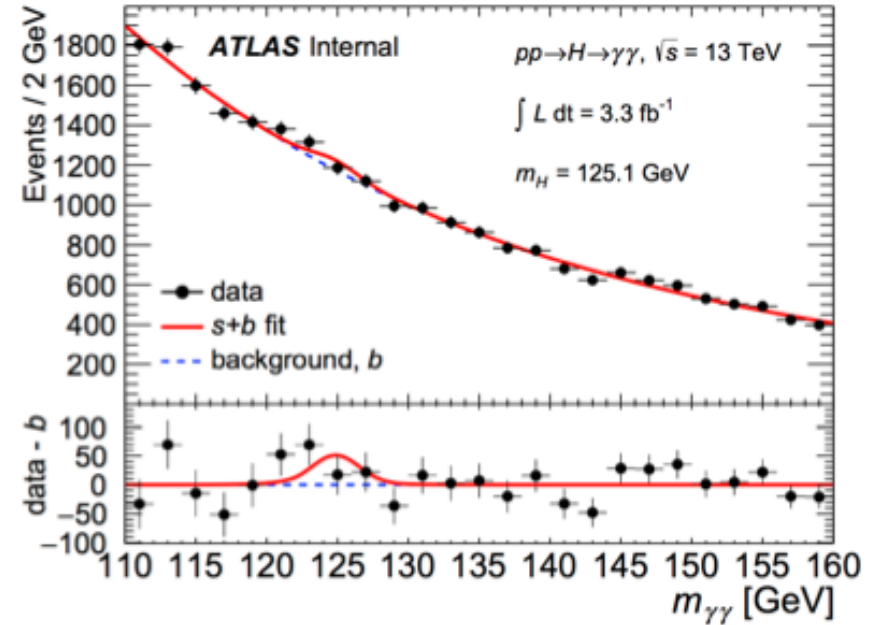
# Конечное состояние $\gamma\gamma$

- 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

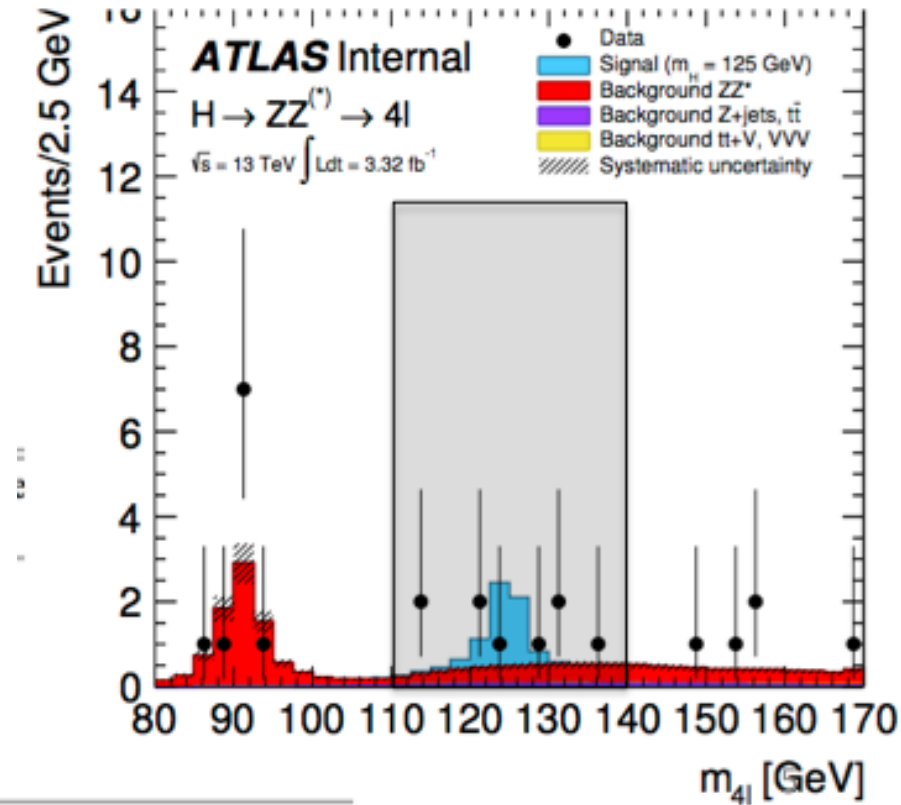
- Подгонка:
  - сигнал - CB+Gauss,  $m_H = 125,09$  (CMS +ATLAS)
  - фон ( $\gamma\gamma$ ,  $\gamma j, jj$ ) - экспонента+полином 2 порядка,  $m_{\gamma\gamma}$  [110,160] ГэВ
- Число событий с учетом ограниченного фазового пространства (fiducial phase space):
  - $N^{\text{exp}} = 146 \pm 72(\text{stat})^{+35}_{-12}(\text{syst})$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