

Двухфотонный резонанс 750 ГэВ на LHC ?

Дмитрий Горбунов

Институт ядерных исследований РАН, Москва

A night cityscape with a bright lightning bolt striking down from a dark sky. The city lights are visible in the foreground, and the lightning bolt is the central focus of the image.

IX Черенковские чтения

Новые методы в экспериментальной ядерной физике
и физике частиц

Outline

- 1 Доклады ATLAS и CMS 15 декабря 2015г.
- 2 Представленные весной результаты (13 ТэВ и 8 ТэВ)
- 3 Реакция теоретиков
- 4 Модели, проблемы, предсказания. . .
- 5 Перспективы

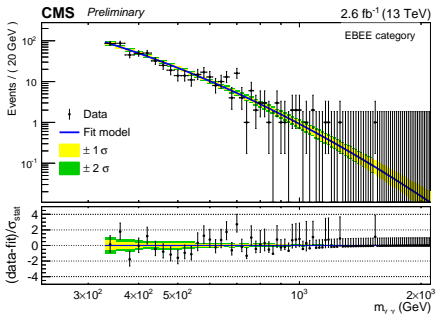
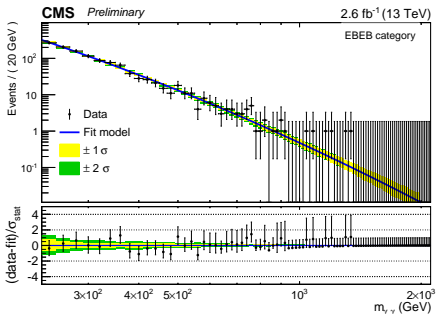
Outline

- 1 Доклады ATLAS и CMS 15 декабря 2015г.
- 2 Представленные весной результаты (13 ТэВ и 8 ТэВ)
- 3 Реакция теоретиков
- 4 Модели, проблемы, предсказания. . .
- 5 Перспективы

Первым был доклад CMS

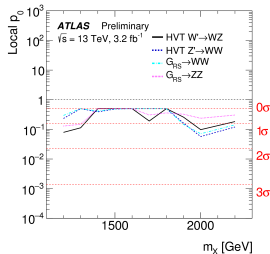
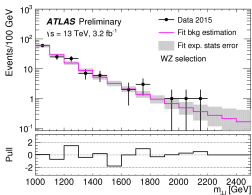
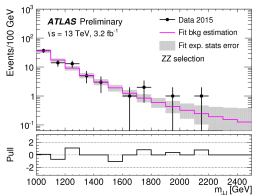
CMS-PAS-EXO-15-004

- впервые показаны результаты 6+17 новых работ (13 ТэВ, июнь-ноябрь) это интересно для NP с $(\sigma \times L)_{13\text{ТэВ}, 2.2\text{fb}^{-1}} > (\sigma \times L)_{8\text{ТэВ}, 19.8\text{fb}^{-1}}$
- не подтвердился сигнал в $WW, WZ, ZZ (V \rightarrow j)$ 1.8-2 ТэВ
- сигнал в $\gamma\gamma$ при поиске RS-гравитонов
- технические проблемы сократили статистику (на $\sim 20\text{--}30\%$ от ATLAS)
- сигнала нет в событиях с фотоном вдоль пучка (см. справа, EBEE)



Вторым был доклад ATLAS ATLAS-CONF-2015-081

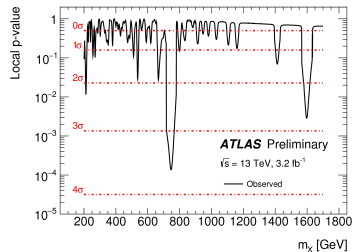
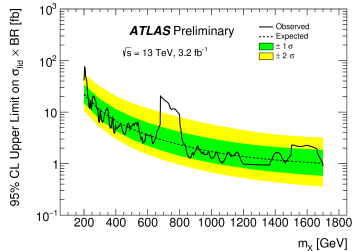
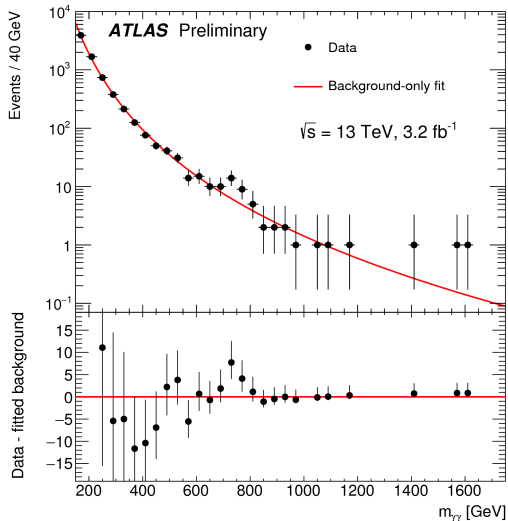
- значительно (32 препринта) больше новых результатов чем у CMS
- нет бозона Хиггса (сигнал в $ZZ^* + \gamma\gamma$ на 1.4σ при ожидании 3.4σ)
- исследованы 44 области сигналов для суперсимметричных обобщений SM, Z' , W' , DM, BH, ... (13 ТэВ, $3.5\text{-}3.2\text{ fb}^{-1}$)
рождение глюино, скварков $m = 1.5\text{ ТэВ}$ идёт с $\sigma_{13\text{ТэВ}}/\sigma_{8\text{ТэВ}} = 35$
- 3σ аномалия ATLAS $MET + Z(\rightarrow e^+e^-) \rightarrow 2.2\sigma$
- не подтверждается $3.4(2.5)\sigma$ сигнал в $WW, WZ, ZZ (V \rightarrow j)$ 1.8-2 ТэВ



- сигнал в $\gamma\gamma$ при поиске скаляра

Аномалия узкого резонанса

ATLAS-CONF-2015-081



Значимость аномалии и оценка ширины

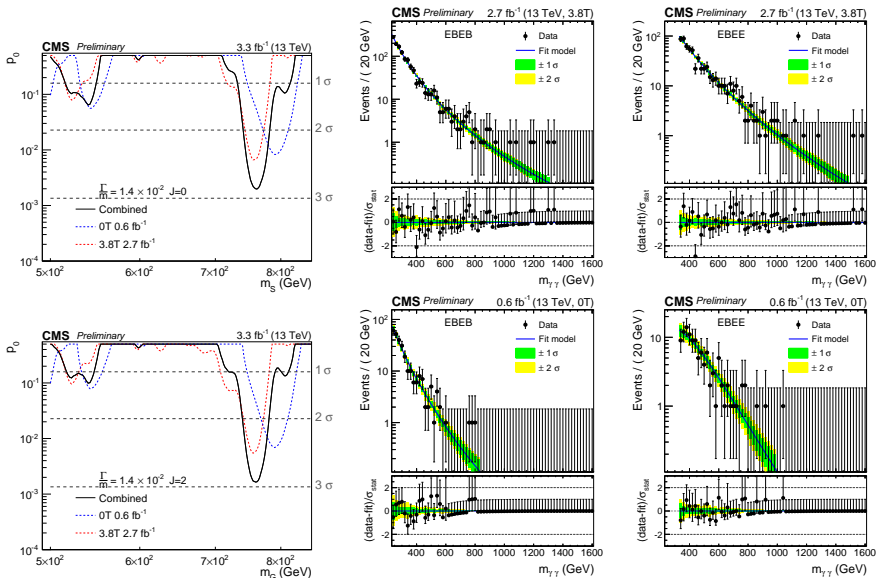
- Ширина резонанса Γ меньше разрешения $\Delta M_{\gamma\gamma}$ 750 ГэВ
 $\rho = 3.6\sigma$ $\rho = 2.0\sigma$ учитывая поиск при 0.2-2.0 ТэВ
 $\Delta M_{\gamma\gamma} = 2-13$ ГэВ
- Ширина резонанса Γ больше разрешения $\Delta M_{\gamma\gamma}$ 750 ГэВ
 $\Gamma/M_{\gamma\gamma} \approx 0.06$
 $\Gamma \approx 45$ ГэВ
 $\rho = 3.9\sigma$ 2.3σ с поиском при $M_{\gamma\gamma} = 0.2-2$ ТэВ и $\Gamma/M_{\gamma\gamma} < 0.1$

Outline

- 1 Доклады ATLAS и CMS 15 декабря 2015г.
- 2 Представленные весной результаты (13 ТэВ и 8 ТэВ)
- 3 Реакция теоретиков
- 4 Модели, проблемы, предсказания. . .
- 5 Перспективы

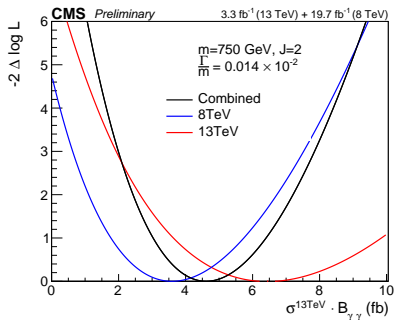
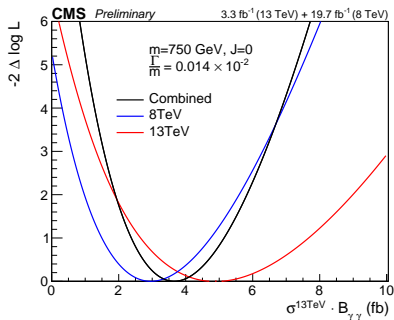
CMS: дообработка на 13 ТэВ $\gamma\gamma$

CMS-PAS-EXO-16-018



CMS: оценка сечений

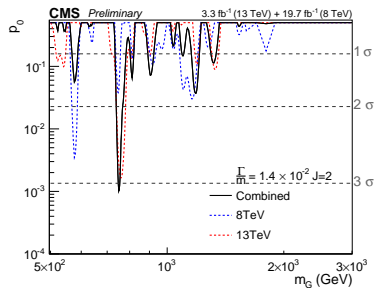
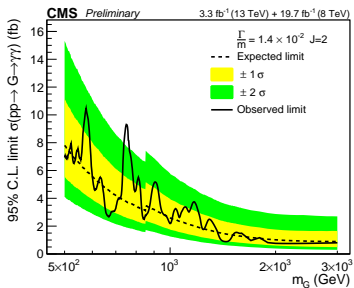
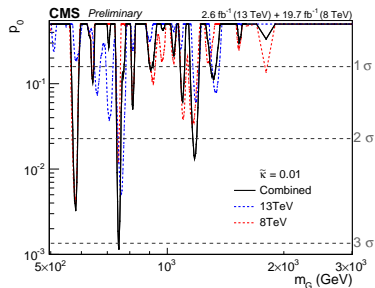
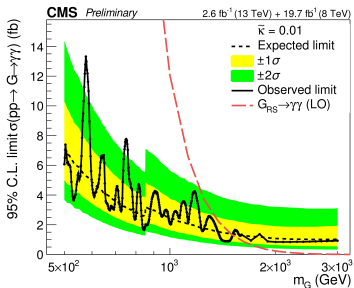
CMS-PAS-EXO-16-018

CMS: 13 ТэВ, 3.3 fb^{-1} $m = 760 \text{ ГэВ}, \Gamma/m = 1.4 \times 10^{-2}$ значимость $p = 2.9(2.8)\sigma$ для $s=0(2)$

CMS: 8+13 ТэВ,

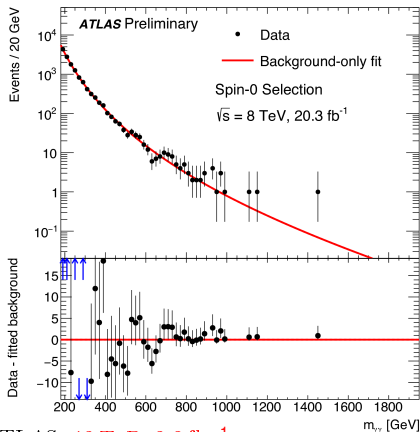
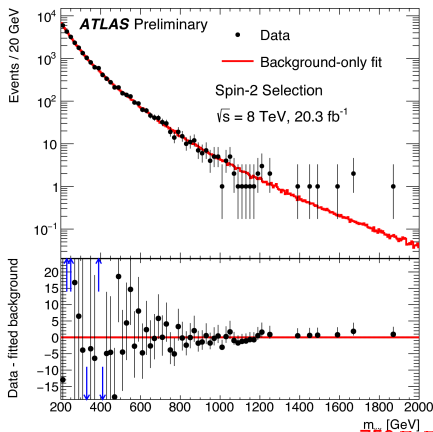
 $m = 750 \text{ ГэВ}, \Gamma/m = 1.4 \times 10^{-4}$ значимость $p = 3.4\sigma$ $\rightarrow p = 1.6\sigma$ учитывая интервал масс

CMS: различие оценок 2015 и 2016 (ошибка 8 ТэВ)



ATLAS: результаты весны

ATLAS-CONF-2016-018

ATLAS: 13 ТэВ, 3.2 fb⁻¹ $\Gamma/m = 1.4 \times 10^{-2}$ значимость $p = 3.9(3.6) \sigma$ для $s=0(2)$ $\Gamma \approx 45(48)$ ГэВ $\rightarrow p = 2.0(1.8) \sigma$ учитывая интервал масс 0.2-2 ТэВ и ширины 1%-10%ATLAS: 8 ТэВ, 20.3 fb⁻¹сигнал 1.9 σ , $\Gamma/m = 0.06$ для $s=0$  $m = 750$ ГэВразница 1.2(2.1) σ для $gg(q\bar{q}) \rightarrow X$ нет сигнала для $s=2 \rightarrow 2.7(3.3) \sigma$ для $gg(q\bar{q}) \rightarrow X$

Подводя итог

ATLAS

- $3.9(2.3) \sigma$
- $M_{\gamma\gamma} = 750 \text{ ГэВ}$
- $\Gamma_{\gamma\gamma} = 45 \text{ ГэВ}$
- 13 ТэВ:
 $\sigma_{pp \rightarrow X} \times \text{Br}(X \rightarrow \gamma\gamma) = (10 \pm 3) \text{ fb}$
- 3.2 fb^{-1}
- 8 ТэВ:
 $\sigma_{pp \rightarrow X} \times \text{Br}(X \rightarrow \gamma\gamma) = (0.4 \pm 0.8) \text{ fb}$
 точно(?) не $s = 2$

CMS

- $2.9(1.4) \sigma$
- $M_{\gamma\gamma} = 760 \text{ ГэВ}$
- $\Gamma_{\gamma\gamma} \approx 0 \text{ ГэВ}$
- 13 ТэВ:
 $\sigma_{pp \rightarrow X} \times \text{Br}(X \rightarrow \gamma\gamma) = (3.7 \pm 1.4) \text{ fb}$
- 3.3 fb^{-1}
- 8 ТэВ:
 $\sigma_{pp \rightarrow X} \times \text{Br}(X \rightarrow \gamma\gamma) = (0.5 \pm 0.6) \text{ fb}$

нет аномалий в $Z\gamma$, ZZ , WW , gg , hh

Помня о всех проблемах и неопределённостях ...

... а всё же если ...

это новая физика ?

нейтральный бозон

Outline

- 1 Доклады ATLAS и CMS 15 декабря 2015г.
- 2 Представленные весной результаты (13 ТэВ и 8 ТэВ)
- 3 Реакция теоретиков
- 4 Модели, проблемы, предсказания. . .
- 5 Перспективы

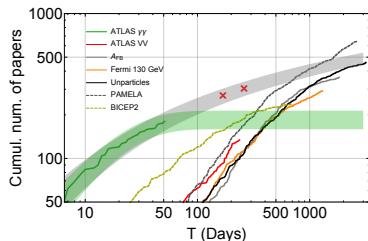
Статистика перегретых “теоретиков”

- к 18 апреля была 296 ссылка на работу ATLAS
- 8 добавили ссылку задним числом
- 8 отправили препринты в arXiv в день доклада
 - первая послана спустя 30 минут после окончания доклада
 - объём: 6, 23, 6, 19, 45, 6, 21, 3 страниц
- самая цитируемая статья (252 ссылок):
 - 10 авторов (7 из ЦЕРН), 45 страниц, первый день, в ней есть ВСЁ

What is the resonance at 750 GeV?

Roberto Franceschini, Gian F. Giudice, Jernej F. Kamenik, Matthew McCullough, Alex Pomarol, Riccardo Rattazzi, Michele Redi, Francesco Riva, Alessandro Strumia, Riccardo Torre

– вторая (192) на 2-й день, John Ellis et al.



1603.01204 dilog for digamma < 310 к 1 июня

Есть ли ответы в “Библии” ?



Ответы из “Библии”



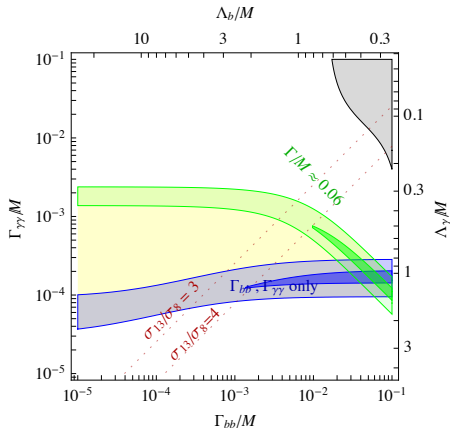
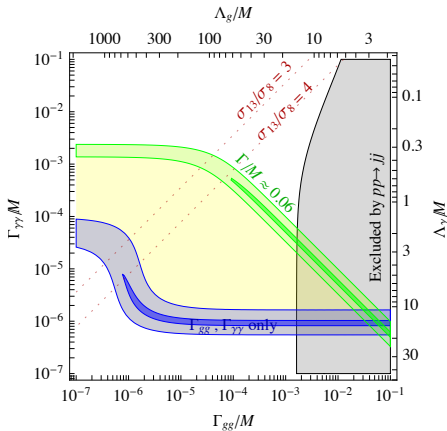
Солисты и хоровые коллективы

- нестандартные бозоны Хиггса
- дополнительные скаляры
- сголдстино
- снейтрино
- технипионы
- массивный гравитон
- дополнительные размерности
- SUSY с нарушенной R-чётностью
- тяжёлые кварки
- тёмная материя
- Z' , W'
- суперсимметрия
- составность
- тяжёлое майорановское нейтрино

Outline

- 1 Доклады ATLAS и CMS 15 декабря 2015г.
- 2 Представленные весной результаты (13 ТэВ и 8 ТэВ)
- 3 Реакция теоретиков
- 4 Модели, проблемы, предсказания...
- 5 Перспективы

Общий анализ



1512.04933

Нейтральный бозон (I)

- если распад $X \rightarrow \gamma\gamma$, тогда спин $s = 0, 2$ КК гравитон
(теории Черна–Саймонса...?)
- нейтрал, поэтому взаимодействия Xgg и $X\gamma\gamma$ эффективные
– как у Хиггса СМ, но **нужны новые частицы: лёгкие или много**

$$\alpha_{Xgg} \propto \alpha_s \frac{N_f}{M_f} \quad \alpha_{X\gamma\gamma} \propto \alpha \frac{e_f^2 N_f}{M_f}$$

- рождение (не?) через $\gamma\gamma \rightarrow X$ усиление КК-модами
- рождение не(?) через $qq \rightarrow X$
- “векторные” кварки или лептоны
- бозоны лучше для EW-вакуума Хиггс-инфляция, или X это инфлатон
- смешивание с Хиггсом ограничено
- другие варианты в суперсимметрии
 - снейтрино в моделях с нарушенной R -чётностью
 - сбино в моделях с дираковскими бино

Нейтральный бозон (II)

- H, A, n, ϕ, \dots в сложном хиггсовском секторе: (N)MSSM, 2HDM, дополнительные скаляры, дублеты, EW-бариогенезис ?
- усложнение калибровочного сектора: $SU(5), SO(10), E_6, SU(2)_L \times SU(2)_R, U(1)_{B-L}$,
- механизм качелей II, радиационные механизмы для масс нейтрино ...
- как правило, требуются новые заряженные частицы
- Голдстоуны или их “приятели” как $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$
 - тяжёлый аксион,
 - колорон
 - дилатон,
 - радион, браноны мотивированы теорией струн
 - сголдстино

новые частицы на масштабе \neq ТэВ

$U(1)_\gamma$: ждём $X \rightarrow \gamma Z, X \rightarrow ZZ$; возможно $X \rightarrow WW, X \rightarrow gg$

Одна из проблем: большая ширина

Если ATLAS прав и $\Delta M_{\gamma\gamma}/M_{\gamma\gamma} \approx 0.06$

- ширина $\Delta M_{\gamma\gamma}/M_{\gamma\gamma}$ как у адронов в КХД
 - техницвет
 - техницвет в скрытом секторе (кварки)
- доминирует невидимая мода (распад в тёмную материю?)
 - $X \rightarrow DM + DM$ поиски одиночных фотонов и струй
- видим распады нескольких вырожденных частиц
- это не распад $1 \rightarrow 2$
 - $X \rightarrow \gamma\gamma + B$ B невидимка
 - $A \rightarrow \pi'\pi' \rightarrow 4\gamma$ лёгкие (скрытые) технопионы π'

Прямо такое кто-нибудь предсказывал?

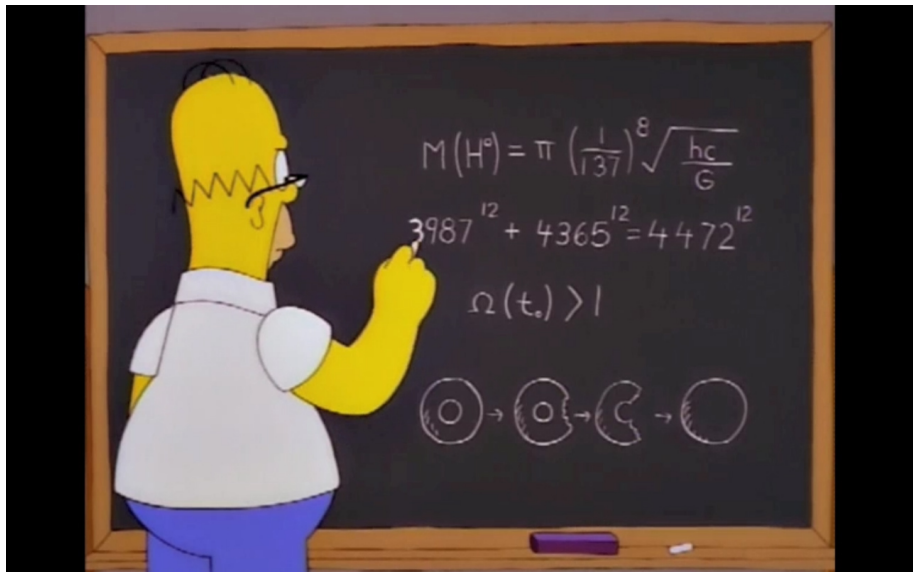
В научном сообществе нет...

масштаб натуральности по Вельтману...?

малость поправок к массе бозона Хиггса

$$m_h^2 > \Delta m_h^2$$

Homer boson...



Outline

- 1 Доклады ATLAS и CMS 15 декабря 2015г.
- 2 Представленные весной результаты (13 ТэВ и 8 ТэВ)
- 3 Реакция теоретиков
- 4 Модели, проблемы, предсказания. . .
- 5 Перспективы

Ближайший год: Симпсоны в Стокгольме ?



Все модели предсказывают очень много новых частиц !



5 лет назад в этом зале...

LHC: конец или начало новой физики?

Дмитрий Горбунов

Институт ядерных исследований РАН, Москва

Четвёртые Черенковские чтения

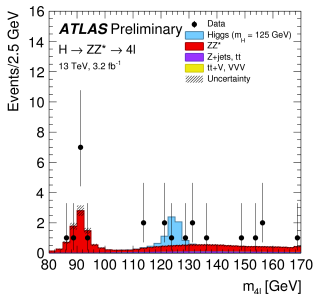
12 апреля 2011

Что ещё было бы интересно объяснить

- Квадратичные расходимости — стабильность массы бозона Хиггса
- Иерархия масштабов взаимодействий $M_W \ll M_{Pl}$?
- $\Lambda \ll M_{Pl}^4, M_W^4, \Lambda_{QCD}^4$?
- $\Omega_\Lambda \neq 0$?
- $\Omega_B \sim \Omega_{DM} \sim \Omega_\Lambda$?
- $\frac{\delta T_{CMB}^2}{T_{CMB}^2} \sim \Delta_B \sim 10^{-10}$?
- $\theta G_{\mu\nu} G_{\lambda\rho} \varepsilon^{\mu\nu\lambda\rho}, \theta < 10^{-9}$?
- $m_e \ll m_\tau \ll m_{top}$?
- ...

Нет редких процессов с нарушением ароматов (FCNC, etc), протон стабилен, ...
 Сразу “много” или совсем мало новой физики

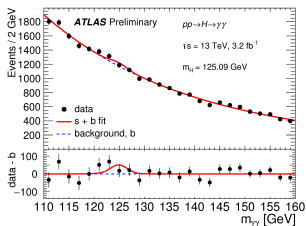
Backup slides



2.8σ (найдено 0.7σ)

ATLAS-CONF-2015-059

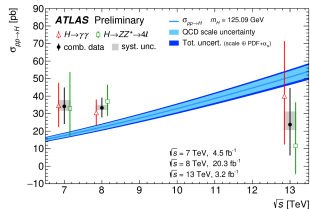
$$N_{\text{events}} \approx 113 \pm 74 + 43 / - 25$$



1.9σ (найдено 1.5σ)

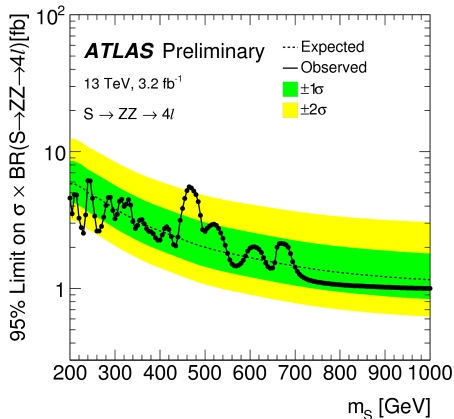
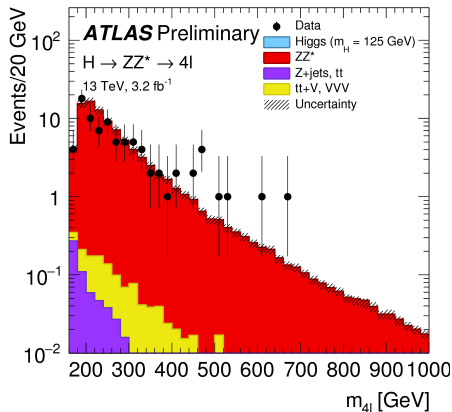
ATLAS-CONF-2015-060

совместность 1.3σ

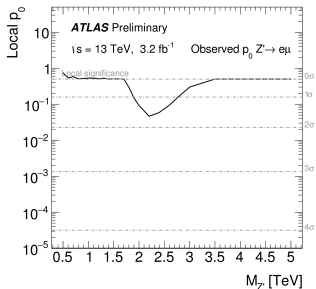


3.4σ (найдено 1.4σ)

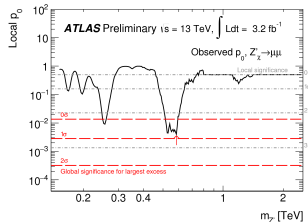
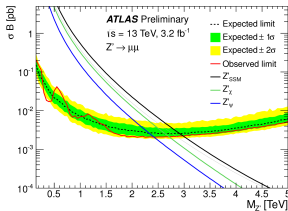
ATLAS-CONF-2015-069



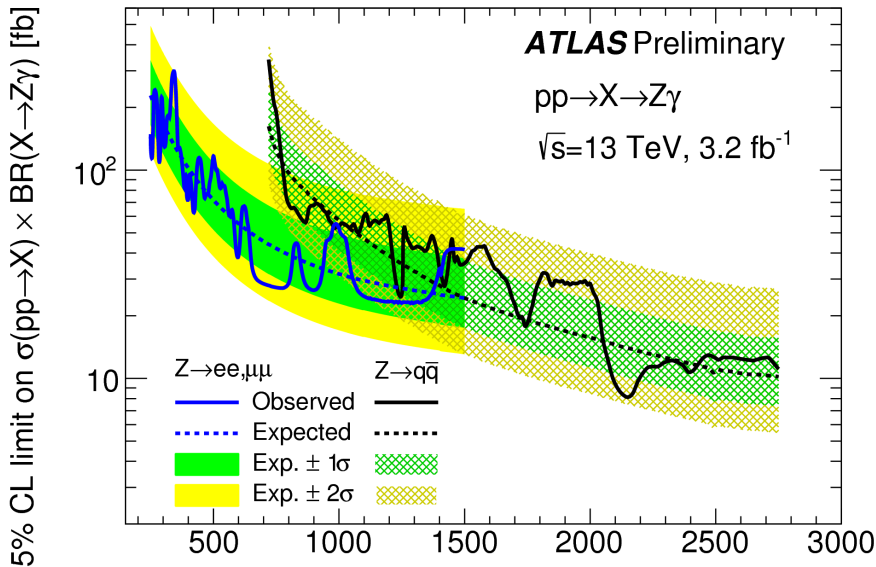
ATLAS-CONF-2015-059

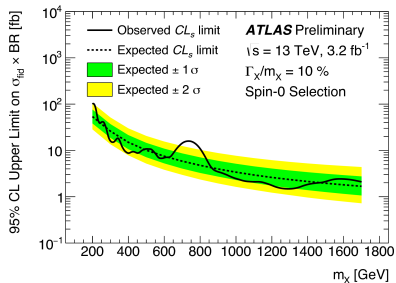
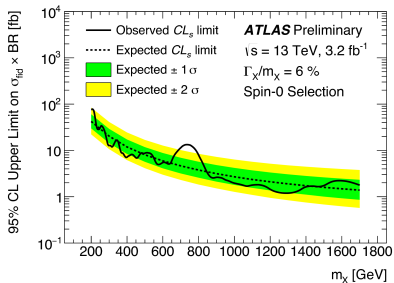
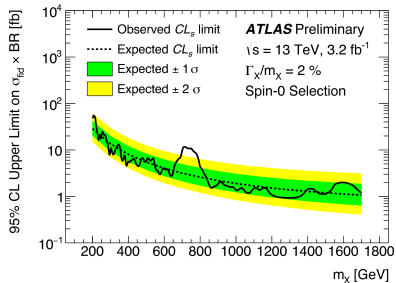
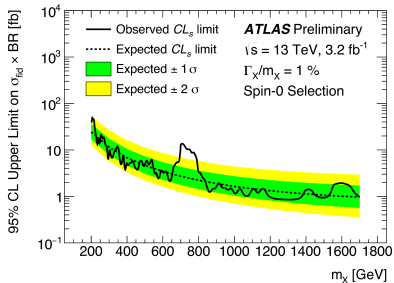


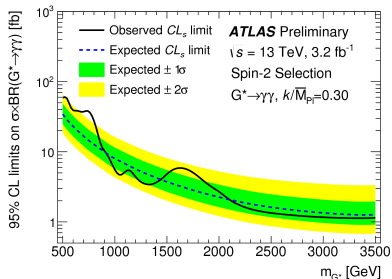
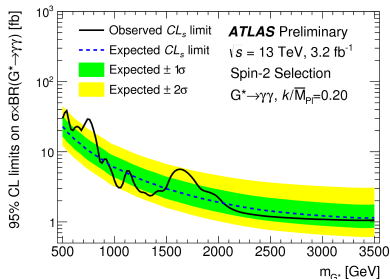
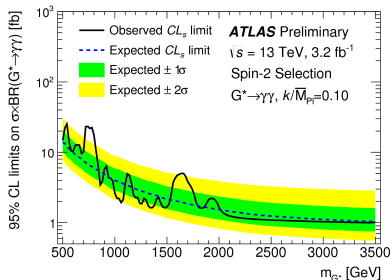
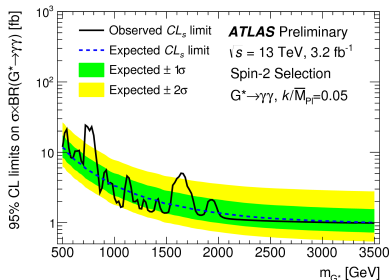
ATLAS-CONF-2015-072

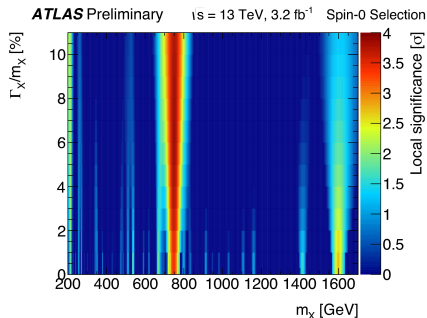
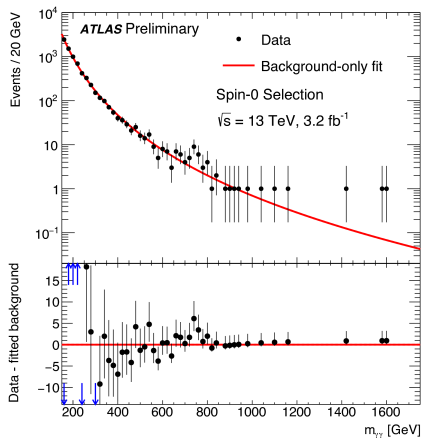


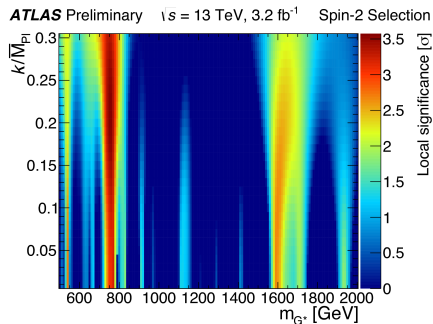
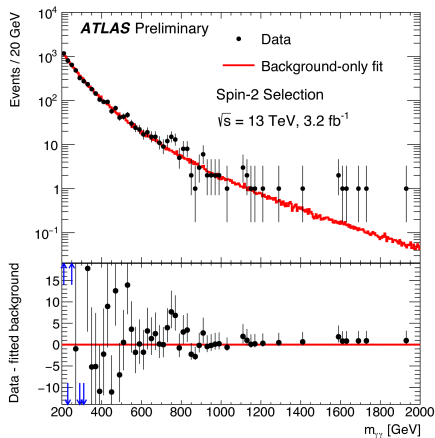
ATLAS-CONF-2015-070

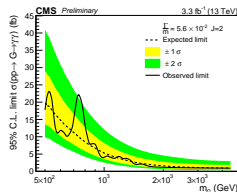
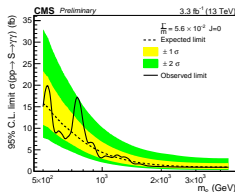
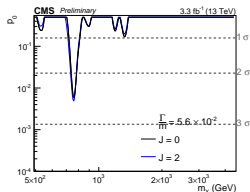
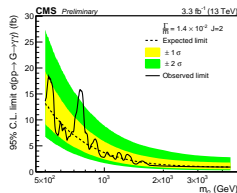
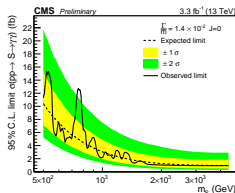
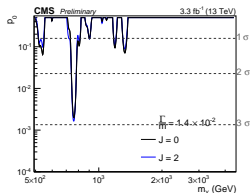
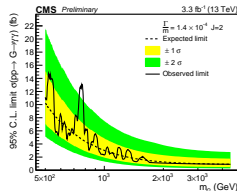
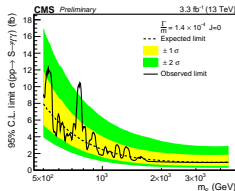
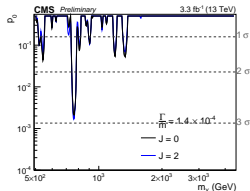


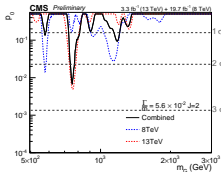
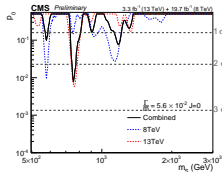
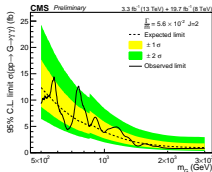
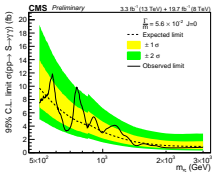
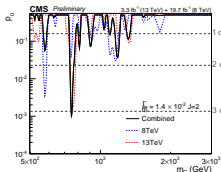
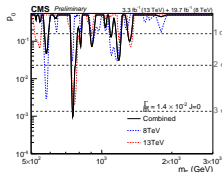
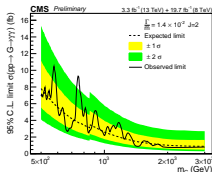
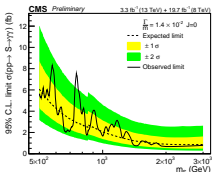
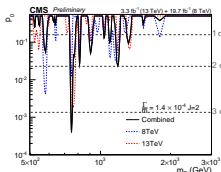
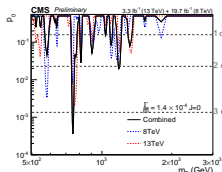
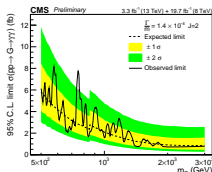
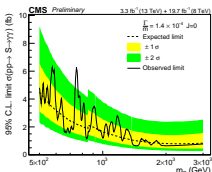






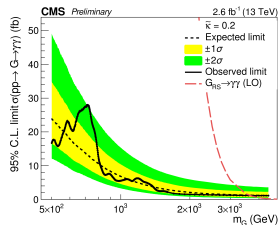
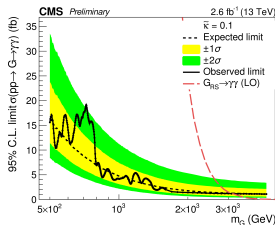
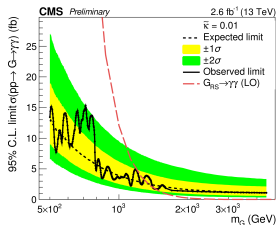






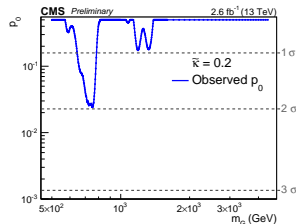
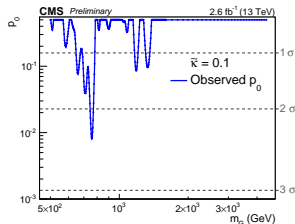
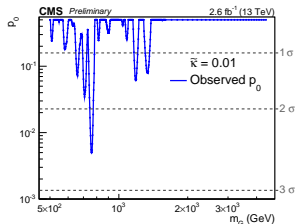
Оценка ширины резонанса

$$(RS: \Gamma/M \approx 1.4 \bar{\kappa}^2)$$



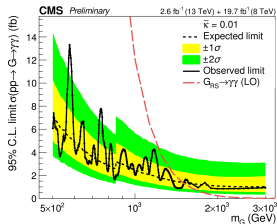
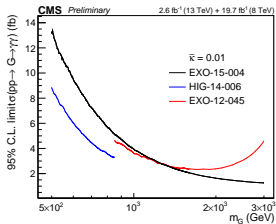
Ширина меньше разрешения γγ

$$\Gamma = 0.06 \times M_{\gamma\gamma}$$

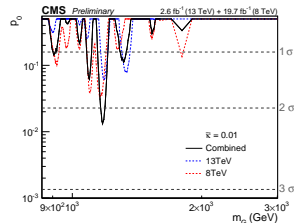
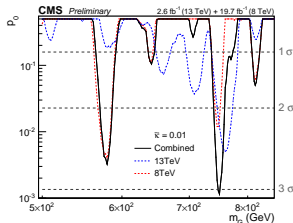
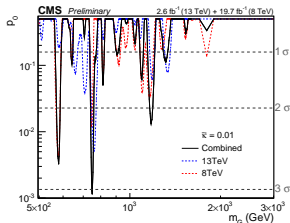


$$\rho = 2.6\sigma$$

< 1.2σ учитывая поиск при 0.5-4.5 ТэВ



EXO-12-045, HIG-14-006



Значимость 3.0σ при 750 ГэВ

→

$< 1.7\sigma$