

Новости о наблюдении бозона Хиггса на LHC

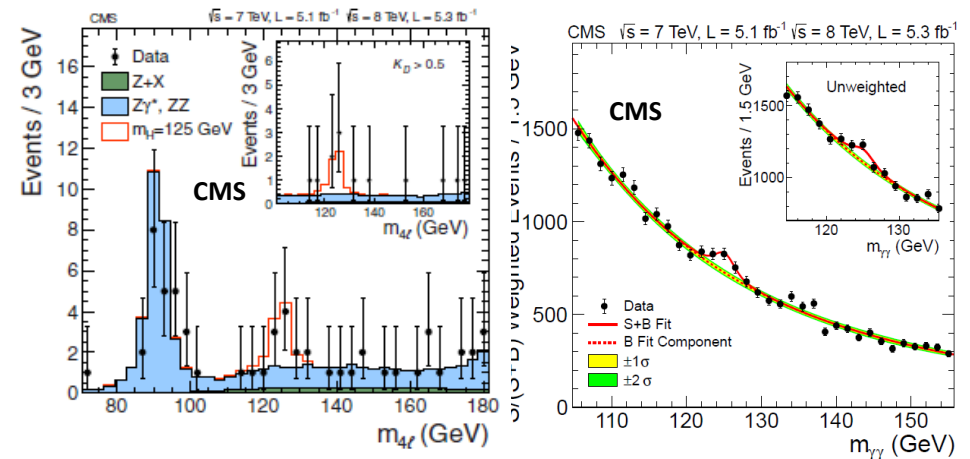
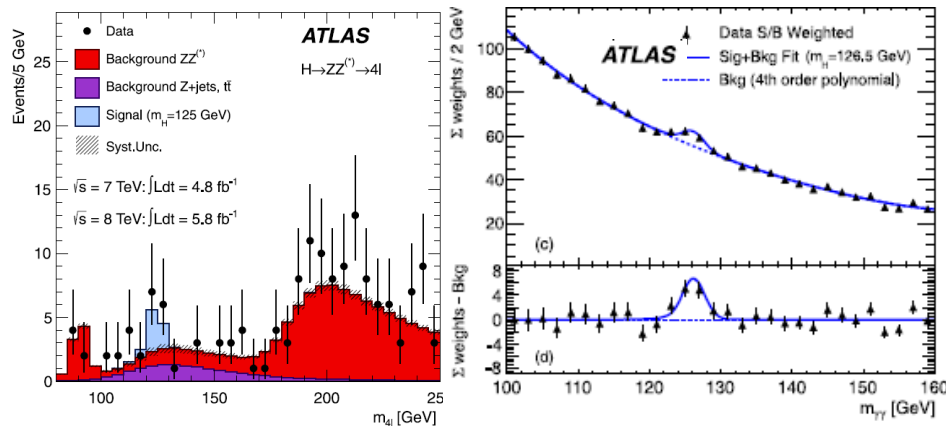
Шестые Черенковские чтения
9/4/2013

Новые методы в экспериментальной
ядерной физике и физике частиц

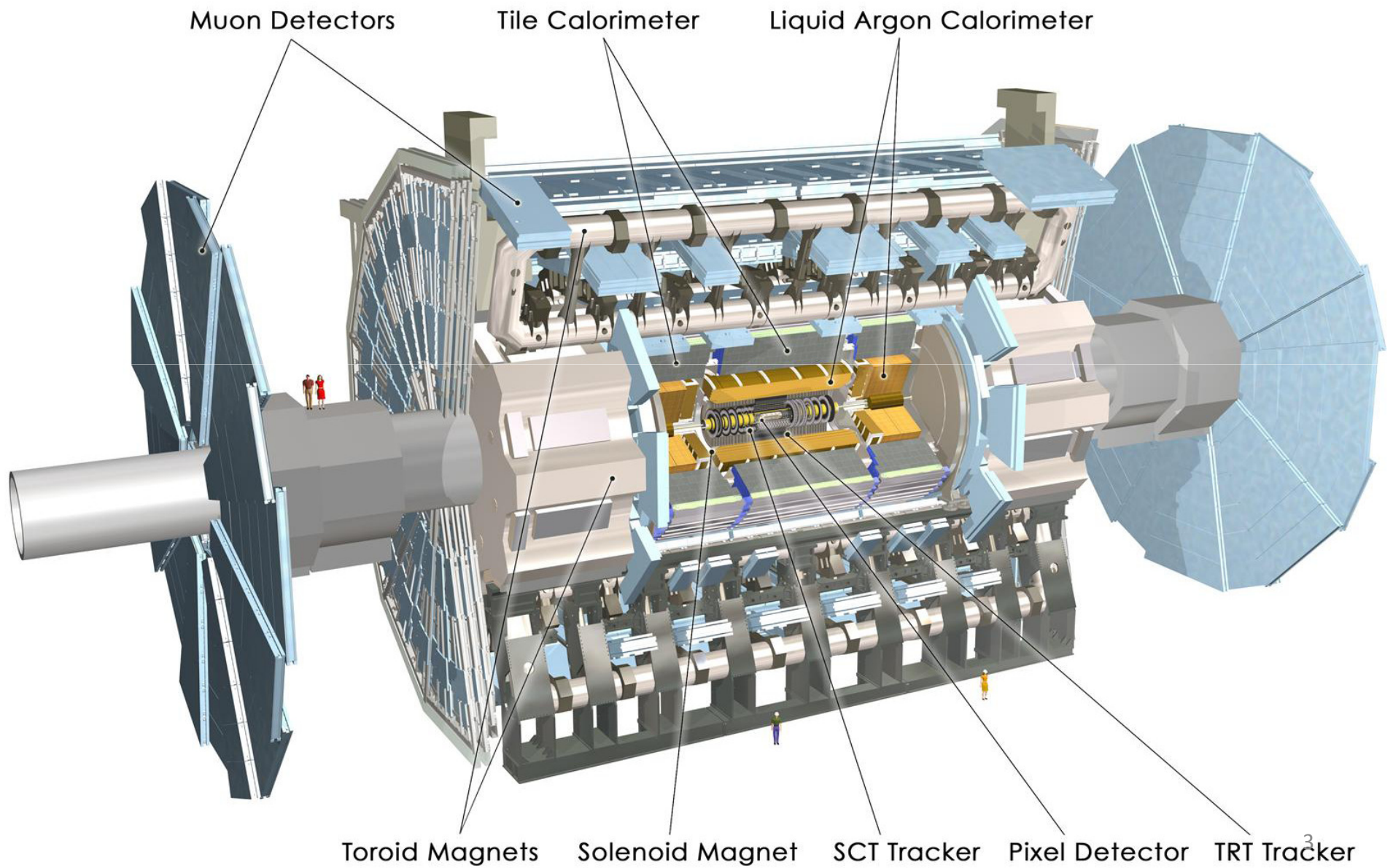
А.М. Зайцев
ИФВЭ, Протвино

Немного истории

- 1964 Модель R.Brout, F.Engert, P.Higgs, G.S.Guralnik, C.R.Hagen, T.W.Kibble
- 1984 Первый документ по разработке LHC
- 1992 Предложения установок ATLAS и CMS
- 1994 Одобрение проекта LHC
- 2008 Первые пучки
- 2012, июль Публикации ATLAS и CMS
об обнаружении частицы со свойствами H-бозона



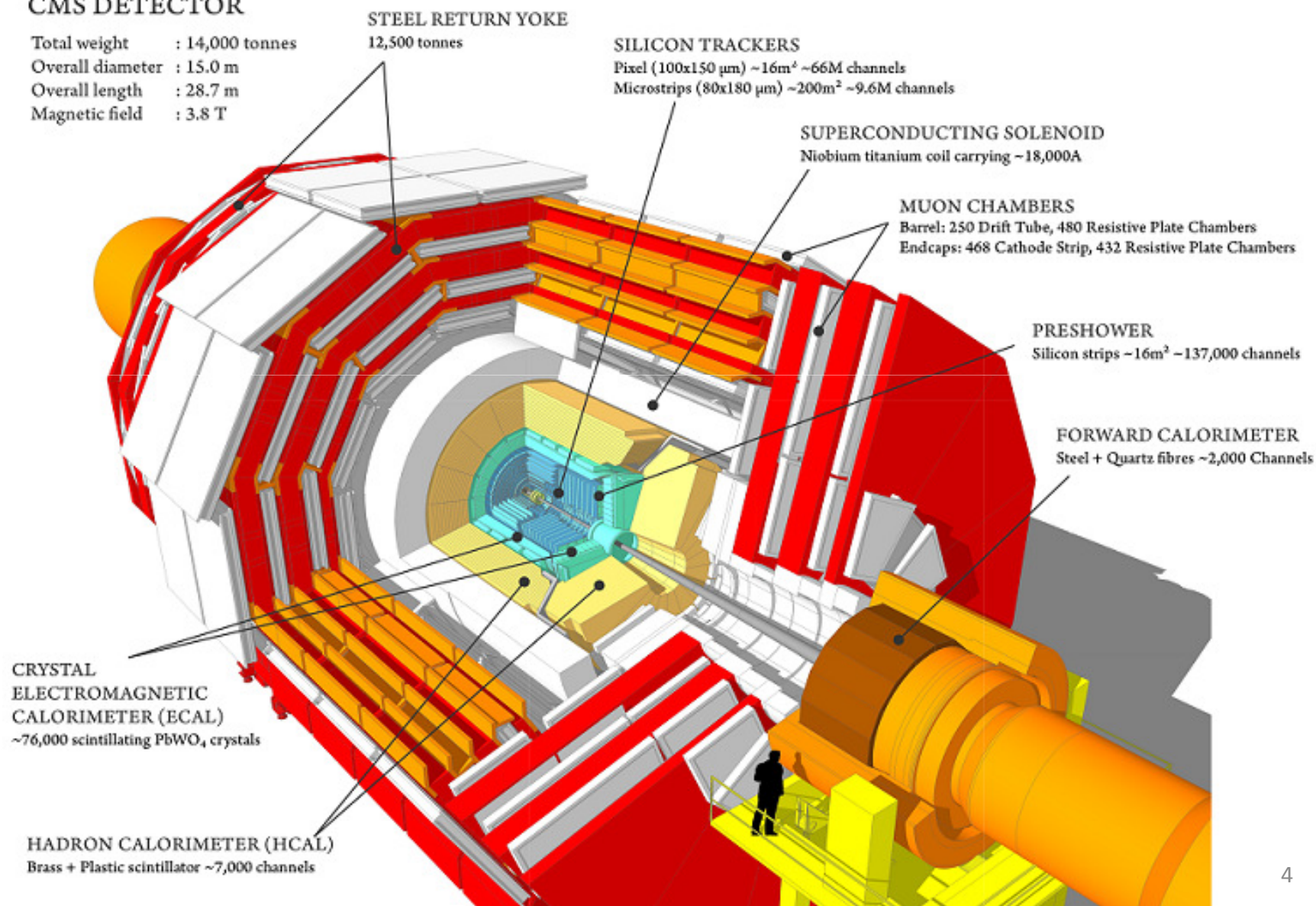
Установка ATLAS



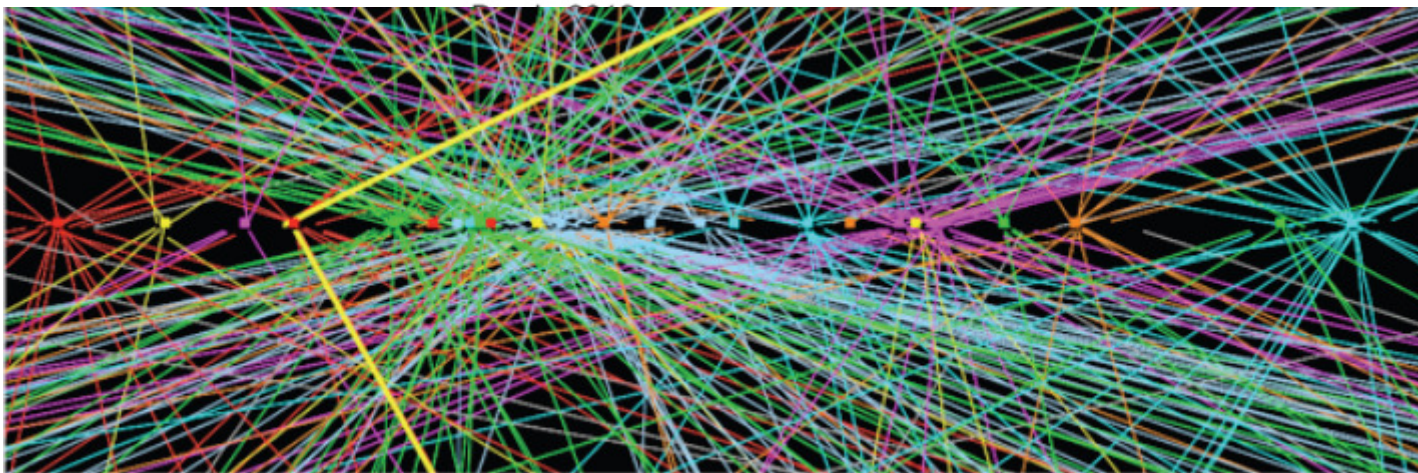
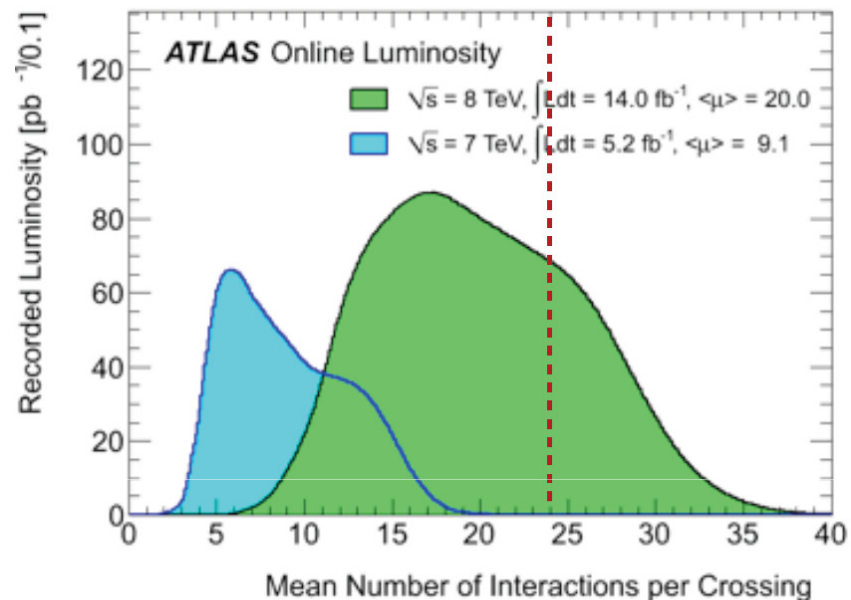
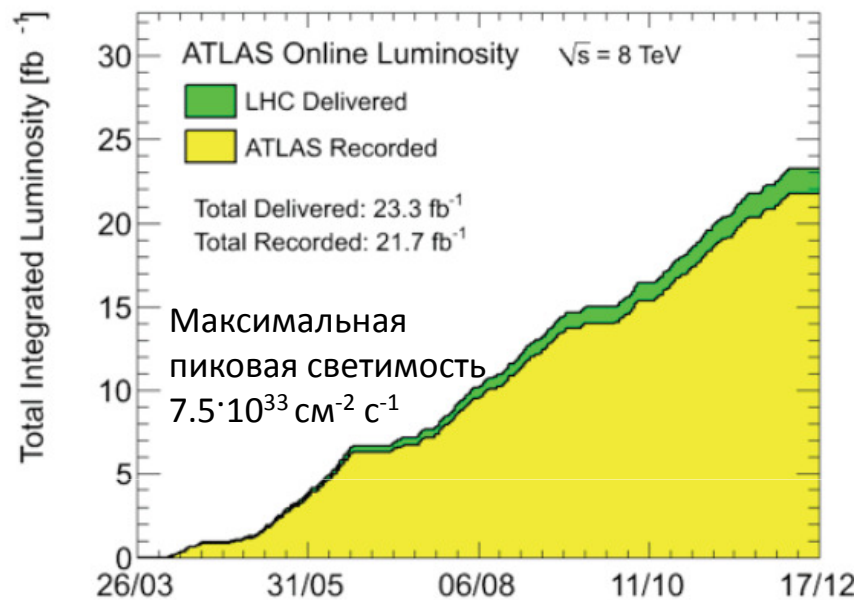
Установка CMS

CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T



Светимость, энергия



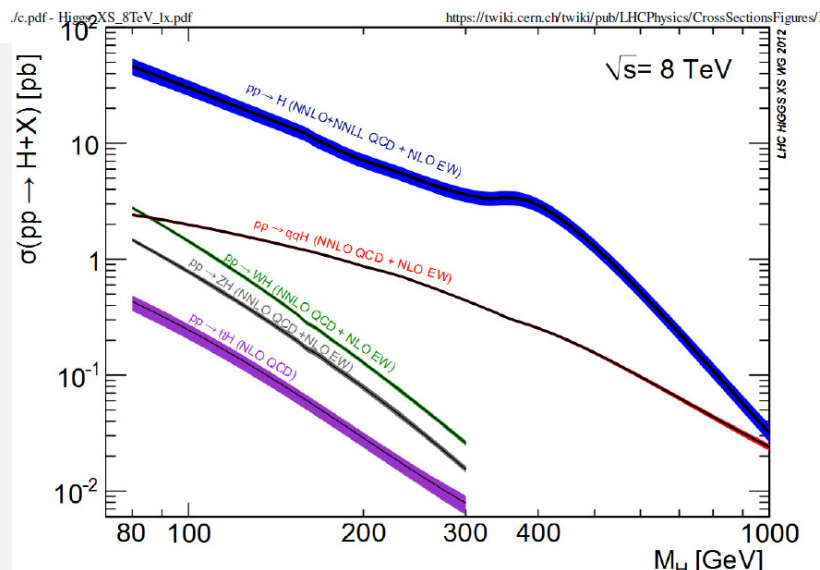
$Z \rightarrow \mu\mu$ event with 25 reconstructed vertices.

Сечения рождения и ширины распадов

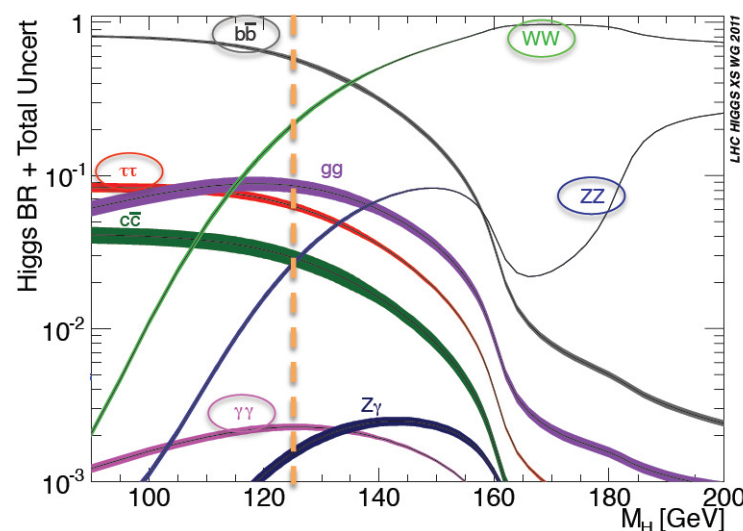
В связи повышением точности измерений характеристик различных процессов рождения и распада Н-бозона нужны расчеты сечений и бранчингов с высокой и контролируемой точностью.

На сегодня:

- сечения рождения Н вычисляются с точностью 5%-15%;
- относительные ширины распадов – с точностью 3%-9%.



<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/LHCPhysics/CERNYellowReportPageAt8TeV>



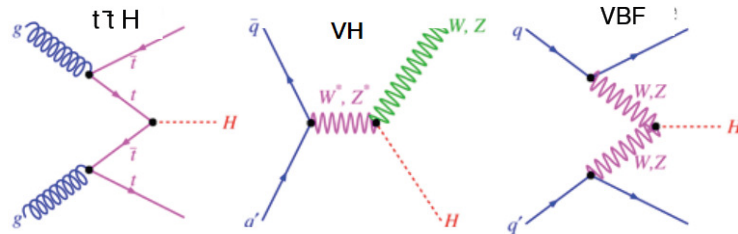
	Scale	PDF+ α_s	Scale +PDF + α_s	
ggF	+7% -8%	$\pm 8\%$	$\pm 15\%$	
VBF	$\pm 1\%$	$\pm 4\%$	$\pm 5\%$	
VH/ ZH	$\pm 1\%$	$\pm 4\%$	$\pm 5\%$	
ttH	+4% -9%	$\pm 8\%$	+12% -17%	

Decay	THU	PU	Total
$H \rightarrow b\bar{b}$	$\pm 1.3\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 2.8\%$
$H \rightarrow \tau\tau$	$\pm 3.6\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 6.1\%$
$H \rightarrow \mu\mu$	$\pm 3.9\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 6.4\%$
$H \rightarrow \gamma\gamma$	$\pm 2.9\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 5.4\%$
$H \rightarrow Z\gamma$	$\pm 6.9\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 9.4\%$
$H \rightarrow ZZ$	$\pm 2.2\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 4.8\%$
$H \rightarrow WW$	$\pm 2.2\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 4.8\%$

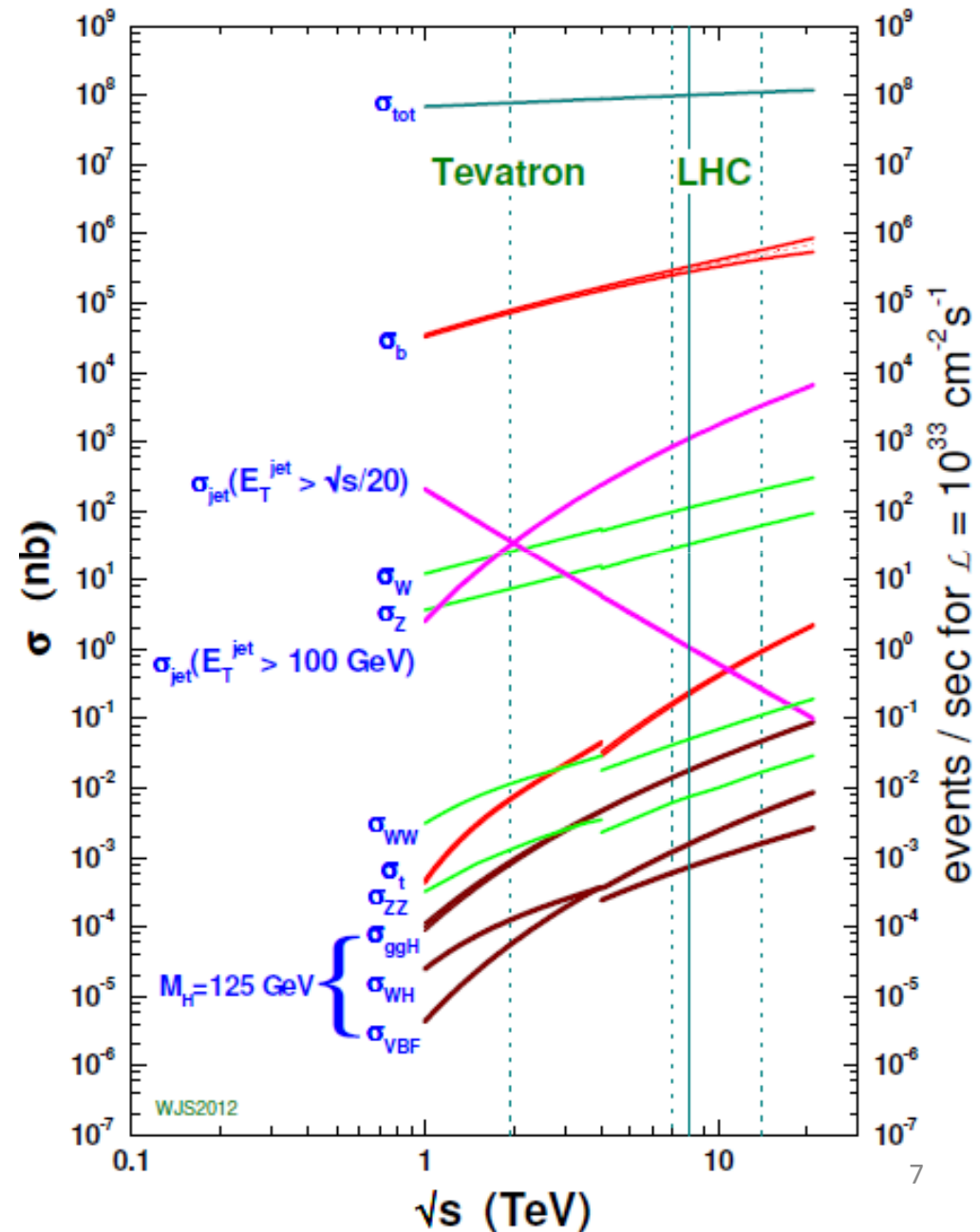
A. Denner et al., Eur. Phys. J. C (2011) 71

Огромный фон

- Например:
- Рождение b-струй с большим P_t в $\sim 10^6$ раз больше, чем $H \rightarrow b\bar{b}$
- Дрелл-Ян / $Z \rightarrow \tau^+ \tau^-$ в $\sim 10^5$ раз больше, чем $H \rightarrow \tau^+ \tau^-$
- Отношение сигнал/фон повышается в процессах ассоциированного рождения:



proton - (anti)proton cross sections



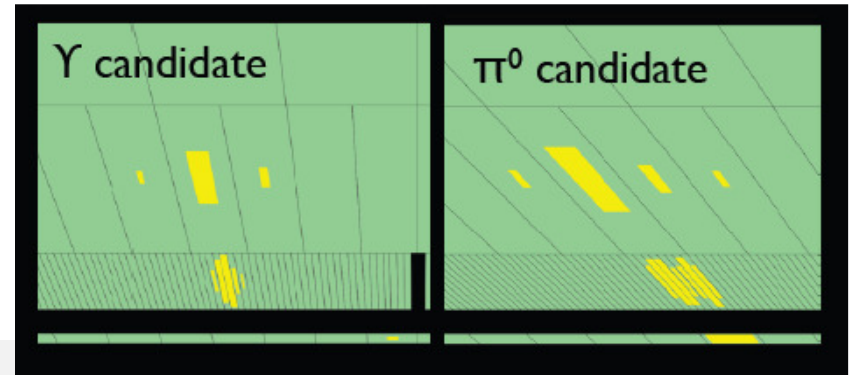
Decay mode	Final state	Reaction	Collabo- ration	7 TeV $\int \text{Ldt}$ (fb ⁻¹)	8 TeV $\int \text{Ldt}$ (fb ⁻¹)
$H \rightarrow ZZ^{(*)}$	4l	inclusive, VBF	ATLAS	4.6	20.7
			CMS	5.1	19.6
$H \rightarrow \gamma\gamma$	$\gamma\gamma$	inclusive, VBF, VH	ATLAS	4.8	20.7
			CMS	5.1	19.6
$H \rightarrow WW^{(*)}$	lv lv	inclusive, VBF, WH	ATLAS	4.7	13.0
			CMS	4.9	19.5
$H \rightarrow \tau\tau$	$\tau_{\text{lep}} \tau_{\text{lep}}$	inclusive, VH	ATLAS	4.6	13.0
	$\tau_{\text{lep}} \tau_{\text{had}}$ $\tau_{\text{had}} \tau_{\text{had}}$		CMS	5.0	19.5
$H \rightarrow b\bar{b}$	$Z \rightarrow \nu\nu / W \rightarrow$ $lv / Z \rightarrow ll$ b-jets	VH ttH	ATLAS	4.7	13.0
			CMS	5.0	12.1
$H \rightarrow Z\gamma$	2l γ	inclusive	ATLAS	4.6	20.7
			CMS	5.0	19.6
$H \rightarrow \text{invisible}$	2l	ZH	ATLAS	4.7	13.0
			CMS		
$H \rightarrow \mu\mu$	$\mu\mu$	inclusive	ATLAS		20.7
			CMS		

Распады $H \rightarrow$ бозоны

- $H \rightarrow \gamma\gamma$
- $H \rightarrow ZZ^{(*)}$
- $H \rightarrow WW^{(*)}$
- $H \rightarrow Z\gamma$

ATLAS: $H \rightarrow \gamma\gamma$ (1)

ATLAS-CONF-2013-012

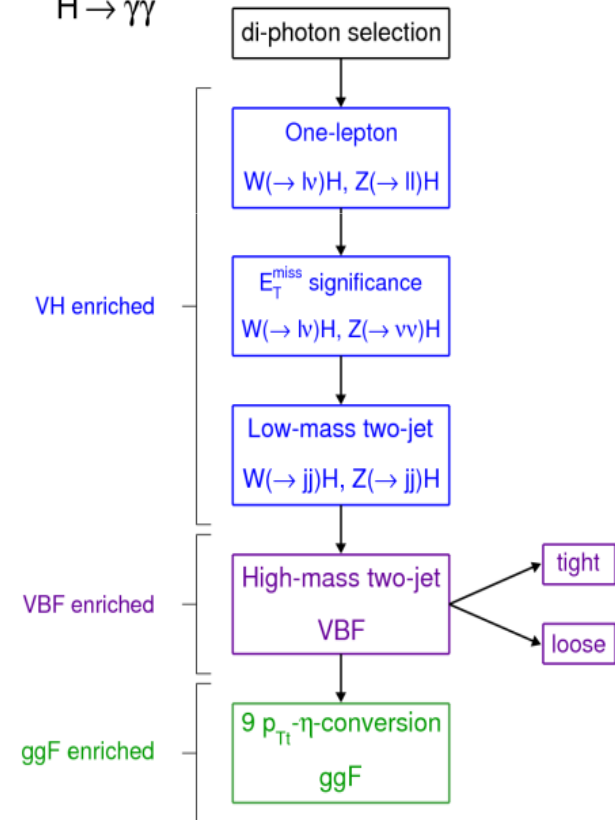


- **Отбор событий:**
 - два изолированных фотона с большим поперечным импульсом ($p_T > 30, 40$ ГэВ)
 - требование изолированности и хорошей идентификации фотонов $\epsilon \approx 0.4$
 - остающийся устранимый фон существенно меньше неустранимого: $\gamma J + JJ \approx 25\%$, $\gamma\gamma \approx 75\%$
 - 142681 событие в диапазоне $100 \text{ ГэВ} < m_{\gamma\gamma} < 160 \text{ ГэВ}$
 - $S/B \sim 3\%$ для массового интервала, содержащего 90% сигнала
- **Измерение массы:**
 - вершина: указание от калориметра + характеристики события + конверсия (если есть) $\rightarrow \sigma \approx 1.5 \text{ см}$
 - энергия: $\sigma(m) \approx 1.7 \text{ ГэВ}$
- **Классификация:**

События разбиты на 14 классов, отличающихся разным отношением S/B , разным разрешением $\sigma(m)$ и разными механизмами рождения

ATLAS Preliminary

$H \rightarrow \gamma\gamma$



ATLAS: $H \rightarrow \gamma\gamma$ (2)

- Масса:**

- $m_H = 126.8 \pm 0.2_{\text{stat}} \pm 0.7_{\text{syst}}$ ГэВ

- Величина сигнала:**

- $\mu = 1.65 \pm 0.24(\text{stat})^{+0.25}_{-0.18}(\text{syst})$

отличие от СМ на 2.3σ

- $\sigma_{\text{fid}} \cdot \text{BR} = 56.2 \pm 12.5 \text{ fb}$

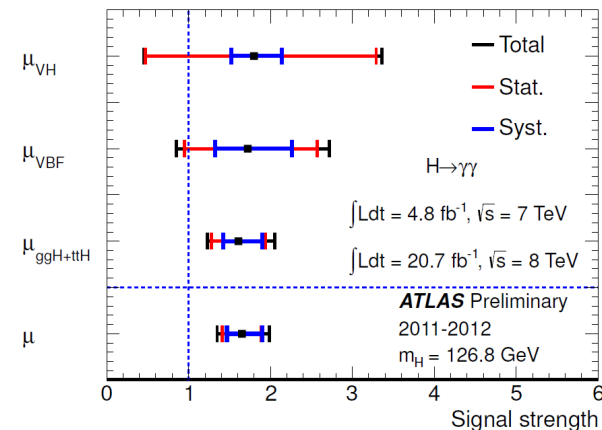
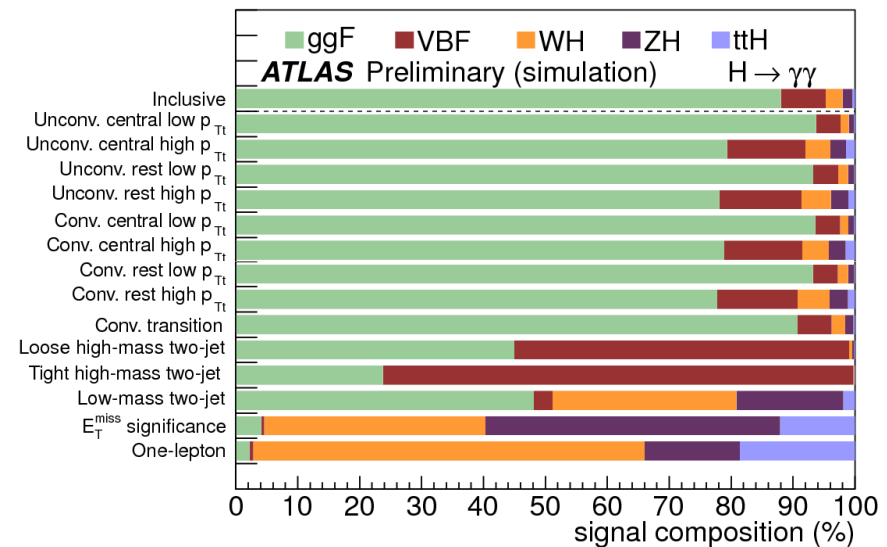
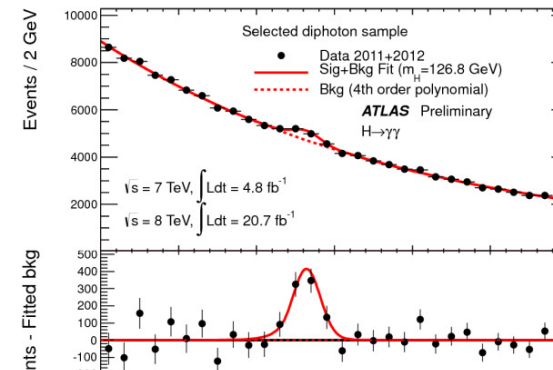
$(|\eta| < 2.37, p_{T\gamma} > 30, 40 \text{ ГэВ})$

- Разделение механизмов рождения**

- Разные механизмы рождения дают разный вклад в 14 классов. Например, события с двумя струями с большой массой обогащены каналом VBF, а события с лептоном – каналом VH.

Совместный фит массовых спектров всех 14 каналов позволяет найти три параметра: μ_{VH} , μ_{VBF} , $\mu_{ggH+ttH}$

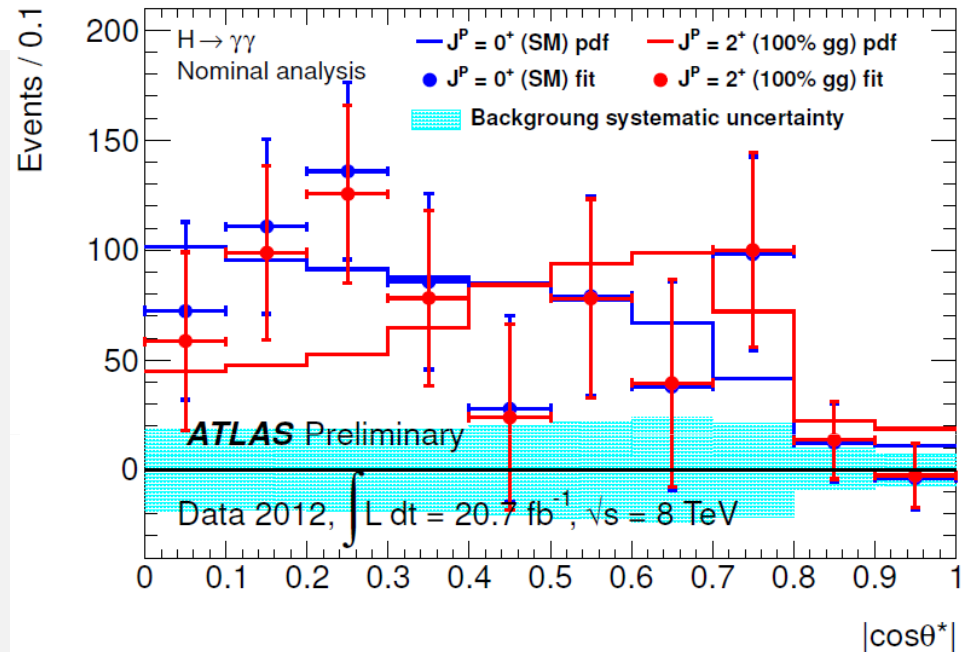
- В пределах 2σ результаты согласуются со стандартной моделью.



ATLAS: $H \rightarrow \gamma\gamma$ (3)

ATLAS-CONF-2013-029

- **Спин**
- Измеряется распределение $dN/d\cos\theta^*$
 θ^* - полярный угол γ в $N_{\text{цм}}$ в системе Коллинза-Сопера
- Проводится сравнение гипотез $J^P=0^+(SM)$ и 2^+ (спин 1 запрещен)
- Для $J=0$ (SM) распределение изотропно (до обрезания аксептансом)
- Для $J=2^+$ распределение зависит от механизма рождения. Для реакции $gg \rightarrow H \rightarrow \gamma\gamma$
 $dN/d\cos\theta^* \sim 1+6\cos^2\theta^*+\cos^4\theta^*$



Распределение для фона извлекается из соседних каналов.

В результате для модели $gg \rightarrow H \rightarrow \gamma\gamma$:

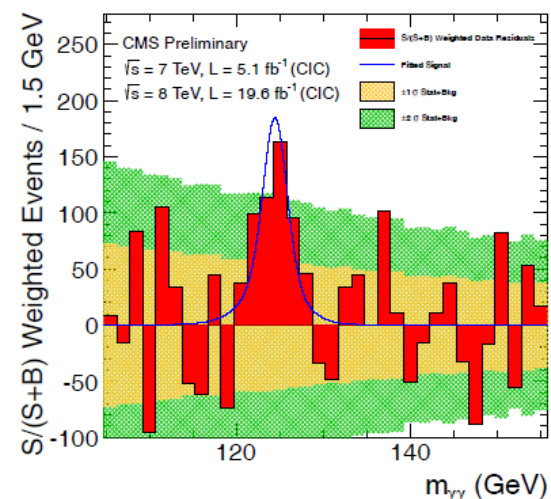
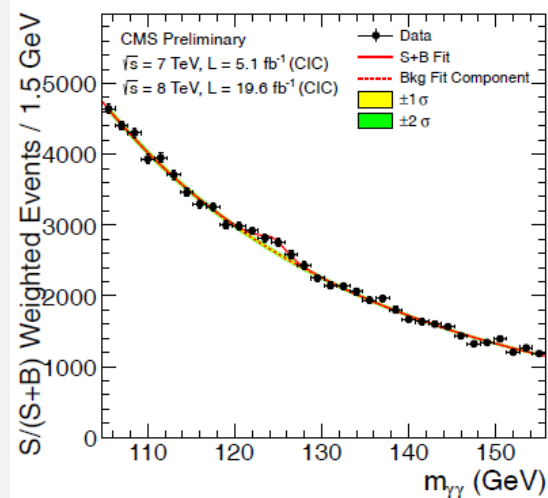
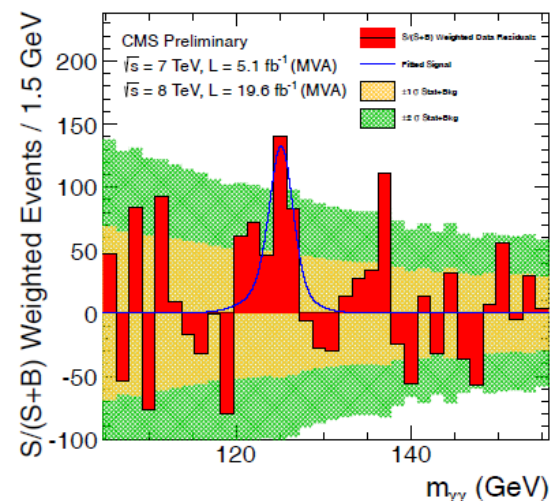
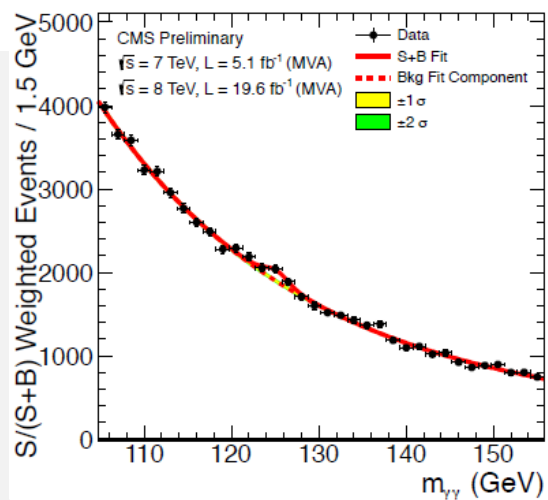
-гипотеза $J^P=0^+$ хорошо согласуется с данными

-гипотеза $J^P=2^+$ исключена на уровне 99.3% CL

CMS: $H \rightarrow \gamma\gamma$ (1)

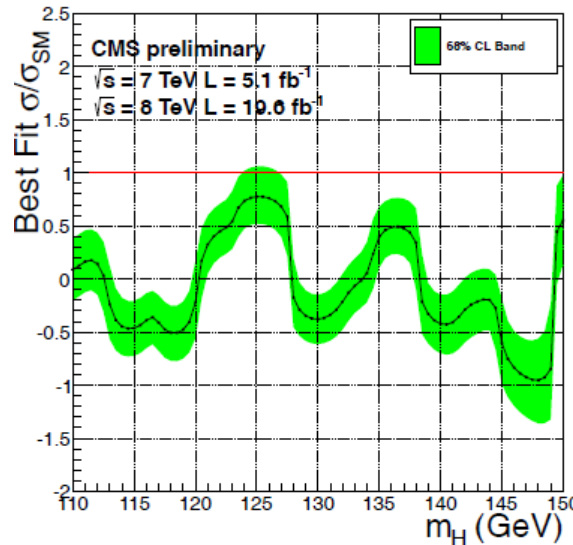
CMS PAS HIG-13-001

- Основной фон γ +jet, jet jet
 - Выделение фотонов проводилось двумя методами
- На основе многопараметрического анализа событий (MVA method), где в качестве переменных использованы :
 - 7 переменных, описывающих форму ливня
 - 3 переменных, определяющих изолированность фотона
 - Плотность энергии от событий сопровождения
 - Положение ливня
 - При помощи обрезаний по оптимизированным переменным (Cut-based method)
- Выделялись также лептоны, струи, E_T
 - Сигнал $H \rightarrow \gamma\gamma$ виден и при том и при другом методе обработки

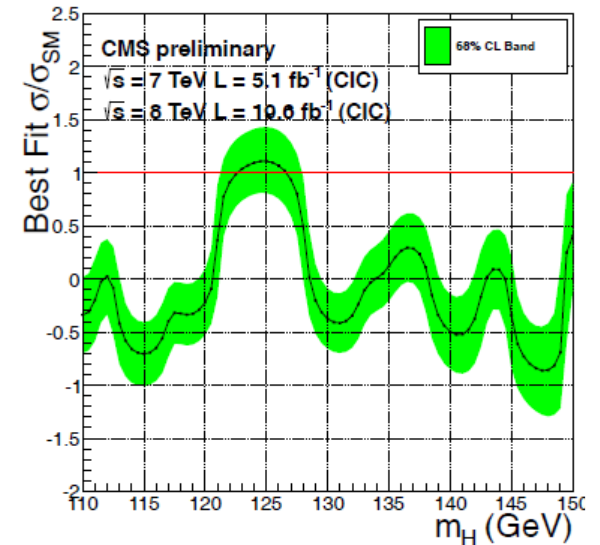


CMS: $H \rightarrow \gamma\gamma$ (2)

- Из этих данных извлекаются интересующие нас параметры:
- Масса
- μ
- $\mu_{VH+VBF}, \mu_{ggH+ttH}$



(a) Mass-fit-MVA

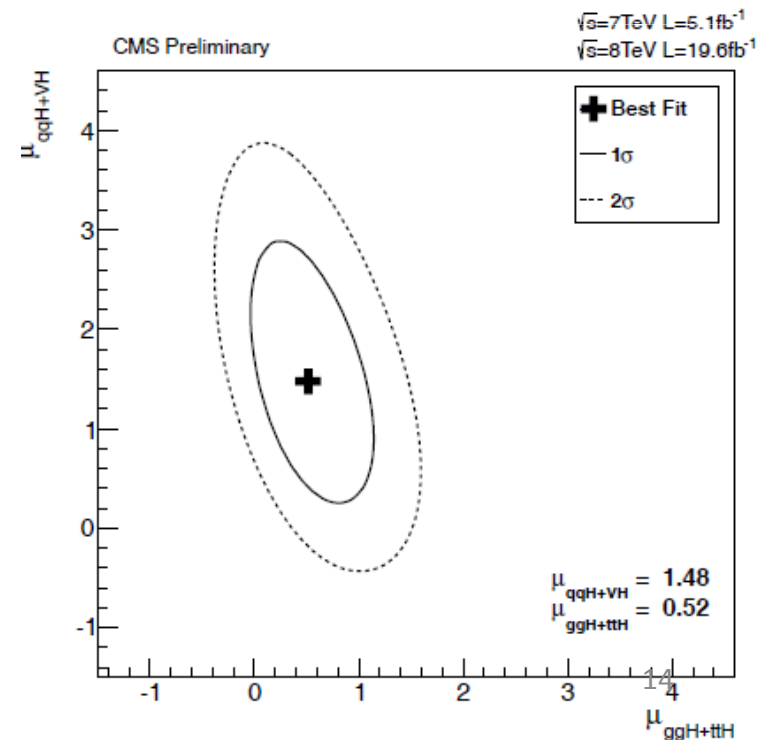


(b) Cut-based analysis

The best fit signal strength relative to the SM Higgs boson cross section

$$m = 125.4 \pm 0.5(stat.) \pm 0.6(syst.) \text{ GeV}$$

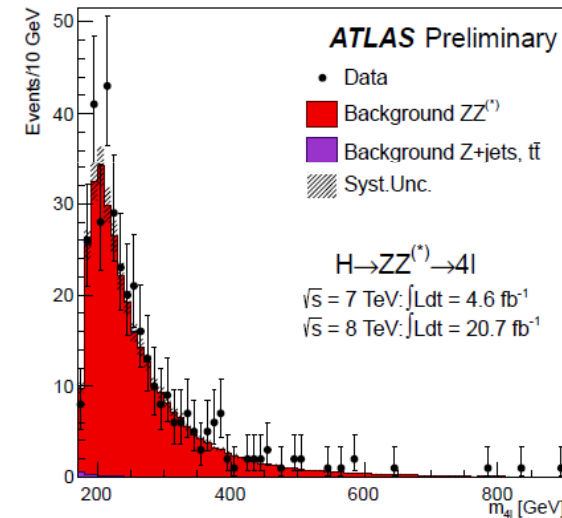
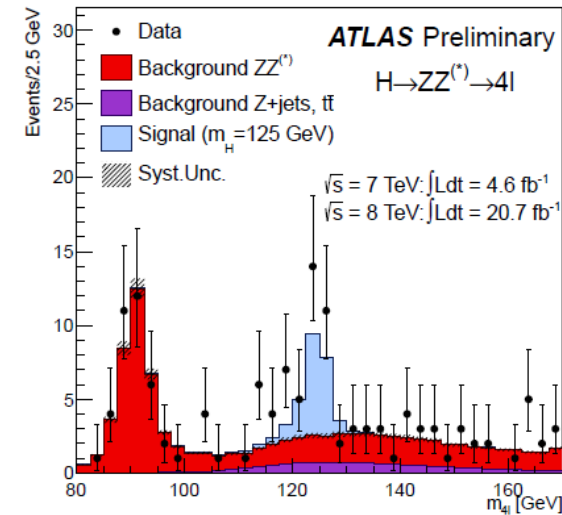
	mass-fit-MVA (at $m_H = 125 \text{ GeV}$)	cut-based (at $m_H = 124.5 \text{ GeV}$)
7 TeV	$1.69^{+0.65}_{-0.59}$	$2.27^{+0.80}_{-0.74}$
8 TeV	$0.55^{+0.29}_{-0.27}$	$0.93^{+0.34}_{-0.30}$
7 + 8 TeV	$0.78^{+0.28}_{-0.26}$	$1.11^{+0.32}_{-0.30}$



ATLAS: $H \rightarrow ZZ^*$ (1)

ATLAS-CONF-2013-013

- **Отбор событий:**
 - Не менее четырех хороших изолированных лептонов большими p_T : $p_{T1} > 20$ ГэВ, $p_{T2} > 15$ ГэВ, $p_{T3} > 10$ ГэВ, $p_{T4} > (7, 6)$ ГэВ (e, μ)
 - Ведущая пара (ближайшая к m_Z): $50 \text{ ГэВ} < m_{12} < 106 \text{ ГэВ}$, вторая пара $m_{\min} < m_{34} < 115 \text{ ГэВ}$, где $m_{\min} = 12 \text{ ГэВ}$ для $m_{4l} < 140 \text{ ГэВ}$ и растет к 50 ГэВ для $m_{4l} = 190 \text{ ГэВ}$
- **Три категории:**
 - VBF-like: не менее двух хороших струй; две с наибольшими p_T имеют $|\Delta\eta| > 3.0$, $m_{jj} > 350 \text{ ГэВ}$
 - VH-like: не VBF-like и один дополнительный хороший лептон
 - ggF-like: все остальное
- **Разрешение:**
 - $\sigma_{mH} = 1.62 \text{ ГэВ}$ для 4μ
 - $\sigma_{mH} = 2.4 \text{ ГэВ}$ для $4e$
- **Фон:**
 - ZZ, Z+jets, tt, ZW,

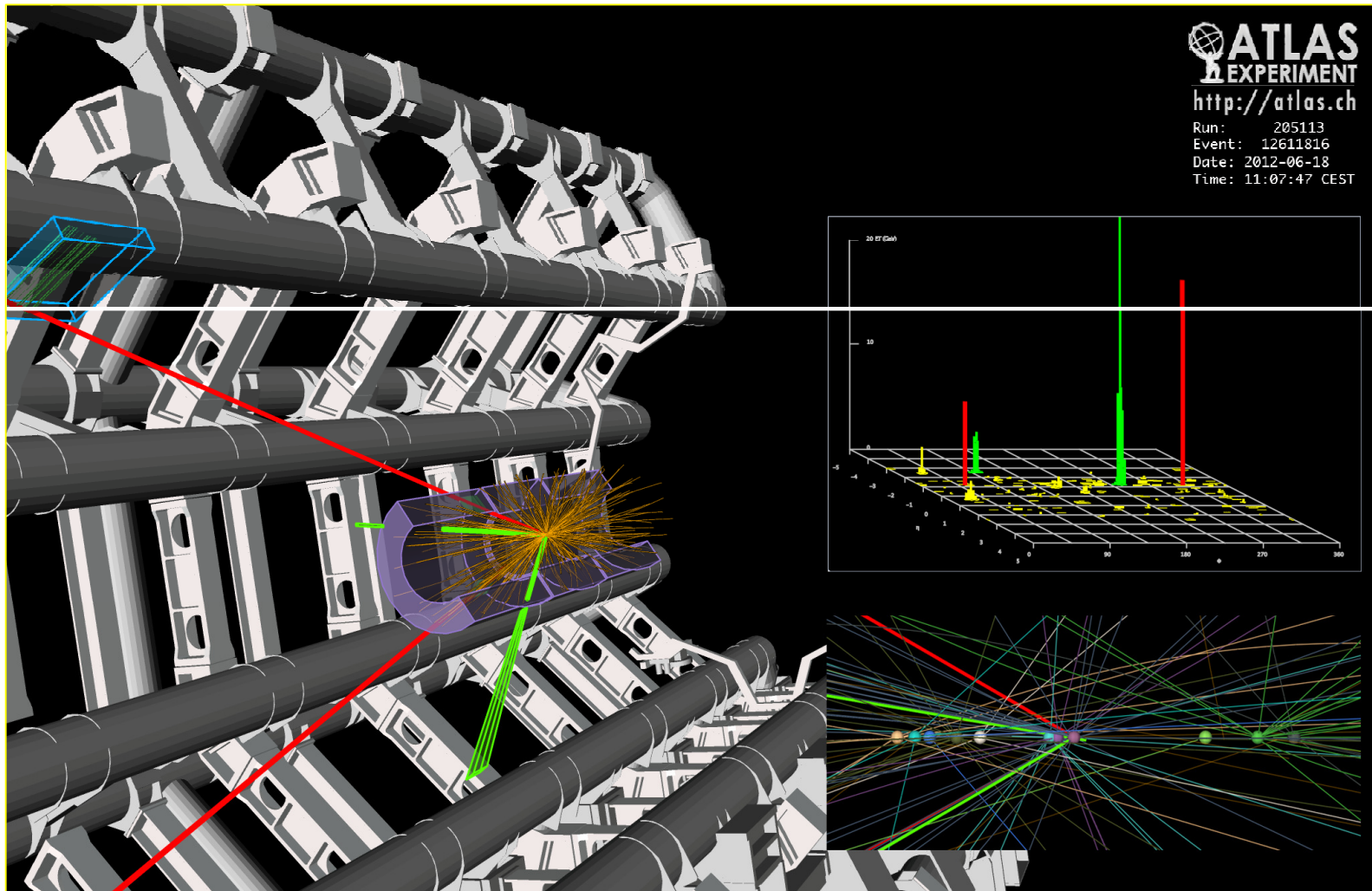


В диапазоне $120 \text{ ГэВ} < m < 130 \text{ ГэВ}$ наблюдаются 32 события (для $m_H = 125 \text{ ГэВ}$ ожидаемое число $N = 27.1 \pm 3.4$). Статистическая значимость $\sigma = 4.4$. Вероятность того, что это флуктуация фона, $p_0 = 5.7 \cdot 10^{-6}$

$2e2\mu$ событие с массой $m_{2e2\mu} = 123.9 \text{ GeV}$

12 вершин - ~ нормальный «подхват» для 2012

$p_T(e, e, \mu, \mu) = 18.7, 76, 19.6, 7.9 \text{ GeV}$, $m_{ee} = 87.9 \text{ GeV}$, $m_{\mu\mu} = 19.6 \text{ GeV}$



ATLAS: $H \rightarrow ZZ^*$ (2)

- Масса:** Измерения массы в четырех модах распада дают согласующиеся значения.

Среднее значение: $m_H = 124.3^{+0.6}_{-0.5}(\text{stat})^{+0.5}_{-0.3}(\text{sys})$ ГэВ

- Величина сигнала:**

В точке $m_H = 124.3$ ГэВ $\mu = 1.7^{+0.5}_{-0.4}$

для $m_H = 125.5$ ГэВ $\mu = 1.5 \pm 0.4$

- Разделение механизмов рождения**

$$\mu_{ggF+ttH} \cdot B/B_{SM} = 1.8^{+0.8}_{-0.5}$$

$$\mu_{VBF+VH} \cdot B/B_{SM} = 1.2^{+3.8}_{-1.4}$$

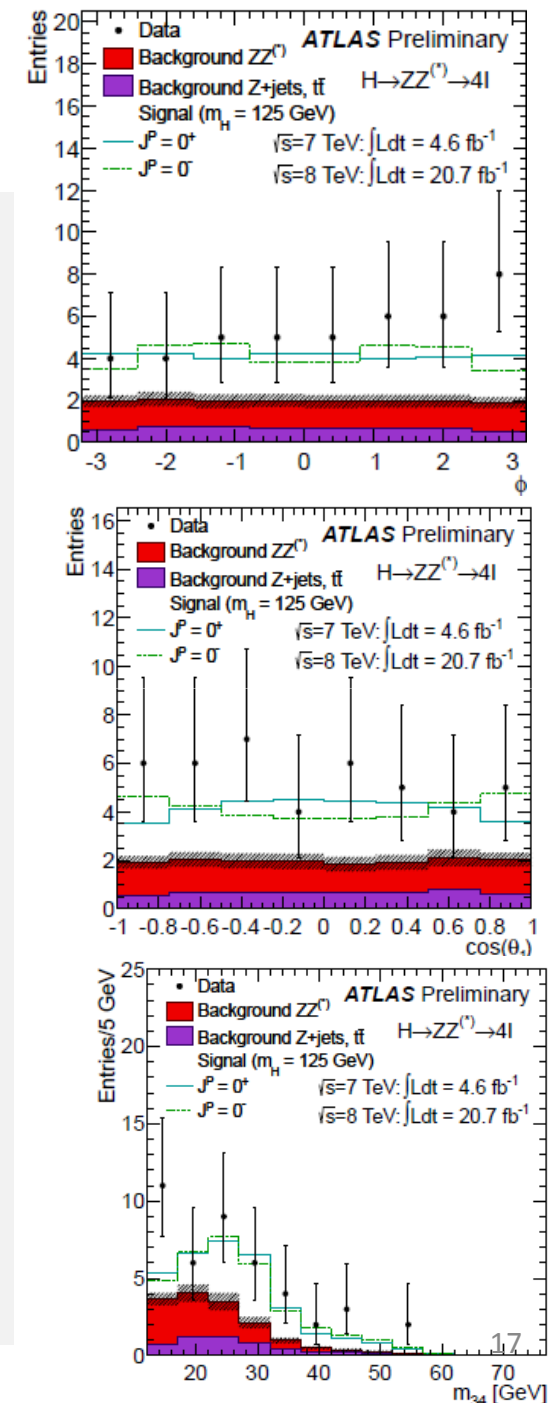
$$\mu_{VBF+VH} / \mu_{ggF+ttH} = 0.7^{+2.4}_{-0.3}$$

- Спин и четность** определялись посредством сравнения экспериментальных и теоретических распределений (пять углов и две массы) с учетом симулированного фона.

Наилучшее описание получено для $J^P = 0^+$

Квантовые числа 0^- , 1^+ и 1^- дают существенно худшее описание. $J^P = 2^+$ и 2^- не исключены

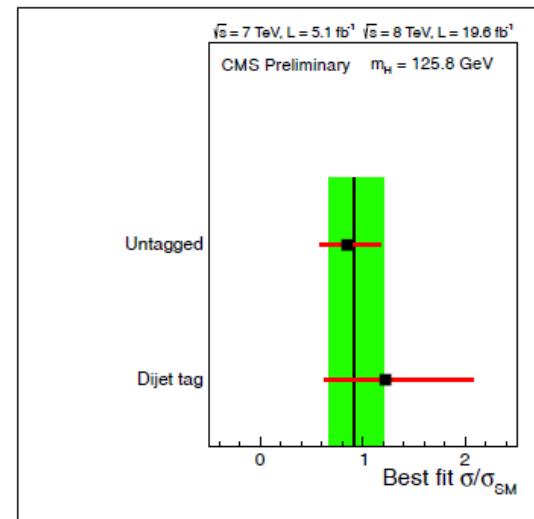
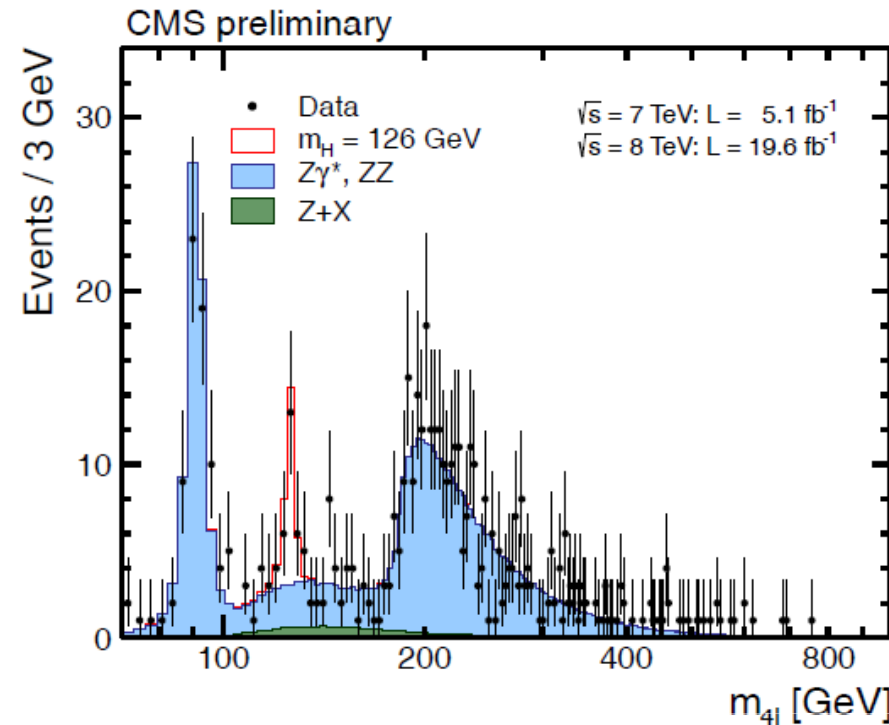
J^P	0^-	1^+	1^-	2^+	2^-
CLs	0.004	0.006	0.031	0.182	0.116



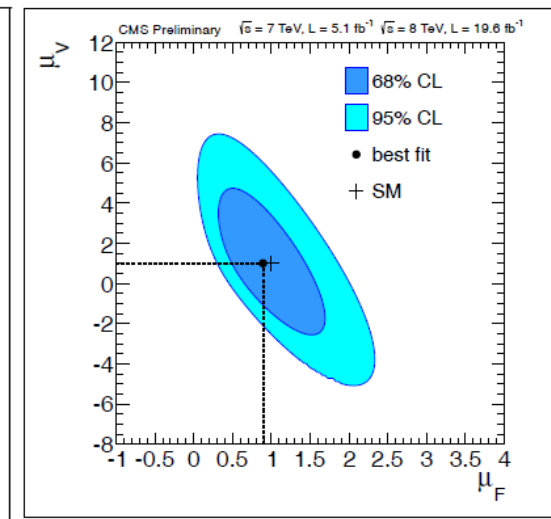
CMS: $H \rightarrow Z^*Z$ (1)

CMS PAS HIG-13-002

- Особенности: хорошее разрешение по массе, очень слабый сигнал, хорошее отношение сигнал/фон
- Фон : ZZ, Z+jets, Zbb
- Отбор: 4 изолированных лептона из одной вершины, нет «промаха», $40 < m_{Z1} < 120$ ГэВ, $12 < m_{Z2} < 120$ ГэВ,
- Фон: ZZ, Z+jets, Zbb
- Кинематический отбор: дискриминация по форме распределений для распада H
- Наблюдаемый сигнал – 6.7σ
- $m = 125.8 \pm 0.5(\text{stat}) \pm 0.2(\text{syst})$ ГэВ
- $\mu = 0.91^{+0.30}_{-0.24}$



► $\sigma/\sigma_{SM} = 0.91^{+0.30}_{-0.24}$
 $(m_H = 125.8 \text{ GeV})$

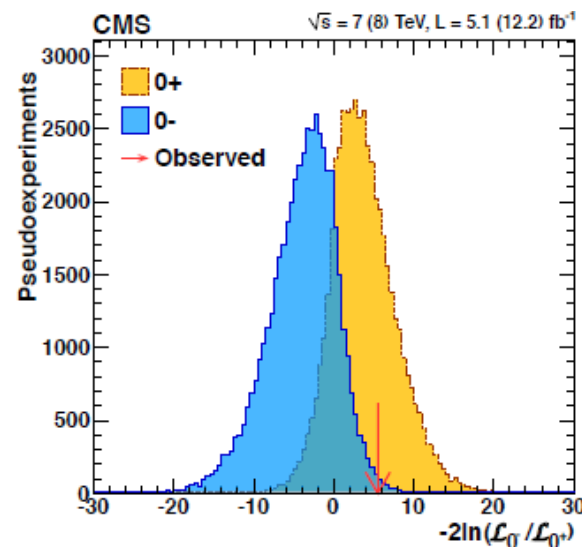


► $\mu_V (qqH, ZH, WH) = 1.0^{+2.4}_{-2.3}$
 ► $\mu_F (gg \rightarrow H, t\bar{t}H) = 0.9^{+0.5}_{-0.4}$
 18

CMS: $H \rightarrow Z^* Z$ (2)

CMS-HIG-12-041

- Измерение JP
- Сравнение 0^+ и 0^-
- JP= 0^+ хорошо описывает распределения
JP= 0^- исключен с высокой достоверностью
- Другие гипотезы



J^P	production	comment	expect	obs. J^P	obs. 0^+	CL_s
0^-	$gg \rightarrow X$	pseudoscalar	2.6σ	3.3σ	0.5σ	0.16%
0^+_h	$gg \rightarrow X$	higher dim operators	1.7σ	1.7σ	0.0σ	8.1%
$2^+_{m\bar{g}g}$	$gg \rightarrow X$	minimal couplings	1.8σ	2.7σ	0.8σ	1.5%
$2^+_{mq\bar{q}}$	$q\bar{q} \rightarrow X$	minimal couplings	1.7σ	4.0σ	1.8σ	$<0.1\%$
1^-	$q\bar{q} \rightarrow X$	exotic vector	2.8σ	$>4.0\sigma$	1.4σ	$<0.1\%$
1^+	$q\bar{q} \rightarrow X$	exotic pseudovector	2.3σ	$>4.0\sigma$	1.7σ	$<0.1\%$

ATLAS: $H \rightarrow WW(*)$ (1)

ATLAS-CONF-2013-030

- Отбор событий**

$WW(*) \rightarrow e\nu\mu\nu, eee\nu, \mu\nu\mu\nu$

$P_{T1,2} > 25, 15 \text{ ГэВ}, m_{ll} > 10 \text{ ГэВ}$

$|m_{ll} - m_Z| > 15 \text{ ГэВ}$

$E_t^{\text{miss}} > 20 - 45 \text{ ГэВ}$, малый p_T мягких струй - подавление Дрелла-Яна

(в зависимости от множественности струй и комбинации лептонов)

$m_{ll} < 60 \text{ ГэВ}, |\Delta\phi_{ll}| < 1.8$

- Наблюдаемый сигнал совместим с $m_H = 125 \text{ ГэВ}$. Значимость – 3.8σ**

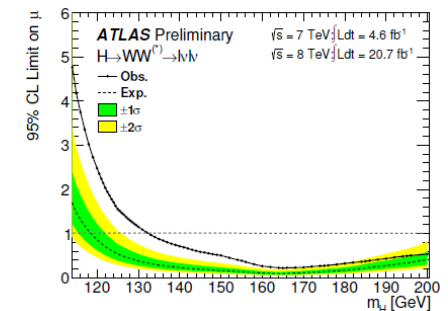
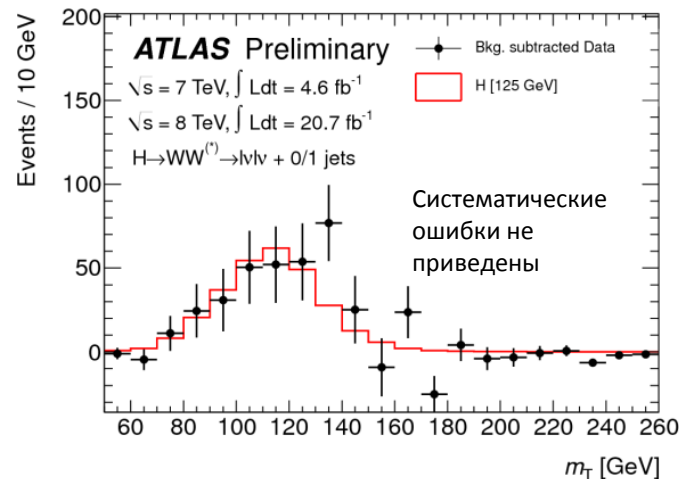
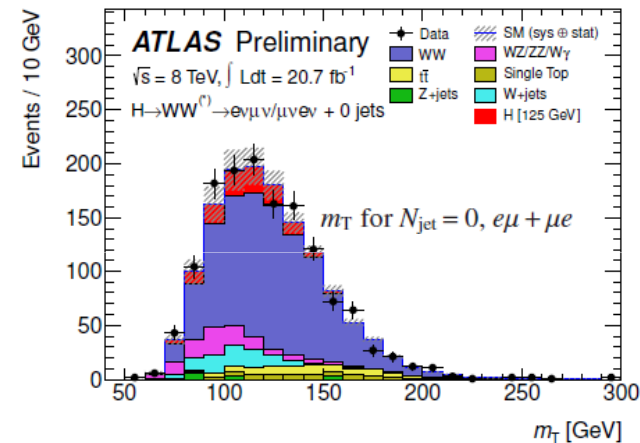
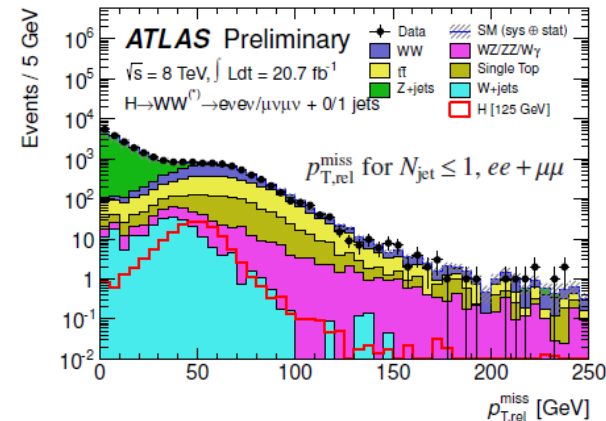
- Величина сигнала**

$$\mu = 1.1 \pm 0.31$$

$$\mu_{\text{WBF}} = 1.66 \pm 0.79$$

$$\mu_{\text{ggF}} = 0.82 \pm 0.36$$

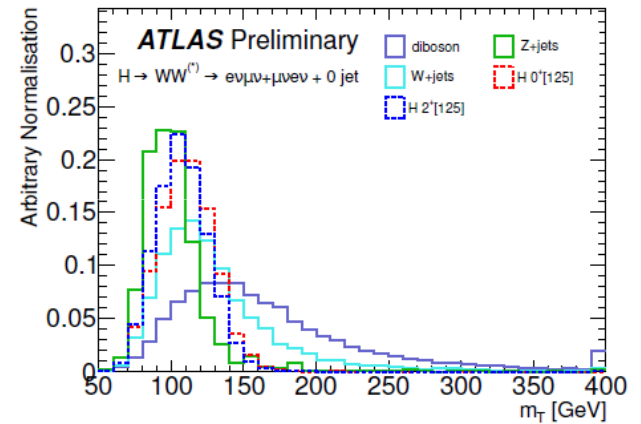
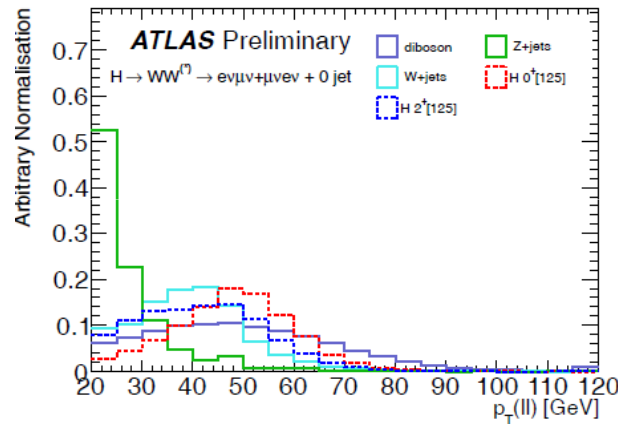
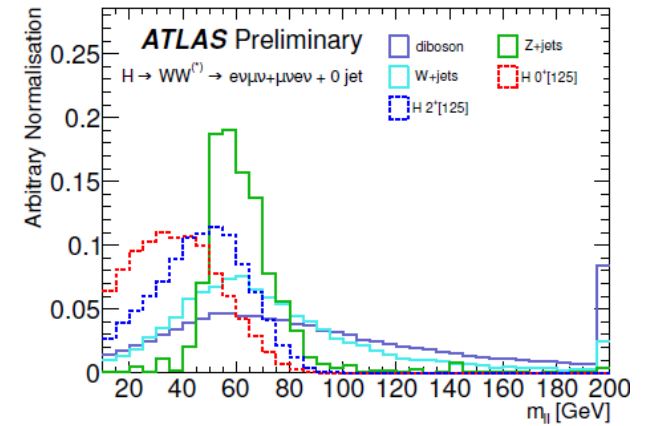
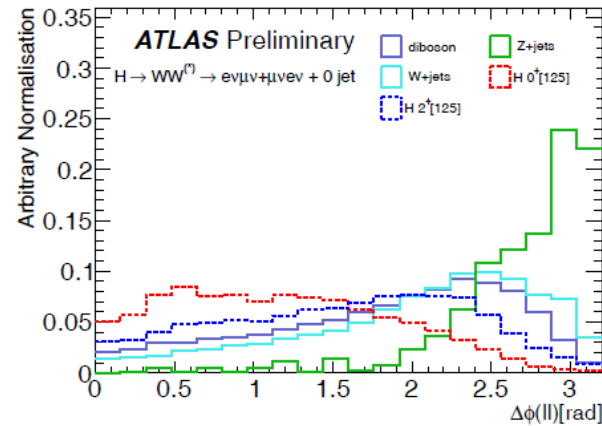
- Стандартный H исключен для $133 \text{ ГэВ} < m_H < 200 \text{ ГэВ}$**



ATLAS: $H \rightarrow WW(*)$ (2)

ATLAS-CONF-2013-31

- Спин
 $WW(*) \rightarrow e\nu\mu\nu$ $\sqrt{s} = 8$ ТэВ
 $L = 20.7 \text{ fb}^{-1}$
- Цель – различить $J=0$ и $J=2$
- Отбор: ровно два лептона с большим p_T , нет струй с большим p_T , $E_T^{\text{miss}} > 20$ ГэВ
- Исследуются распределения по особо чувствительным к значению спина переменным: m_{ll} , $\Delta\phi_{ll}$, E_T^{miss} , p_T^{ll}



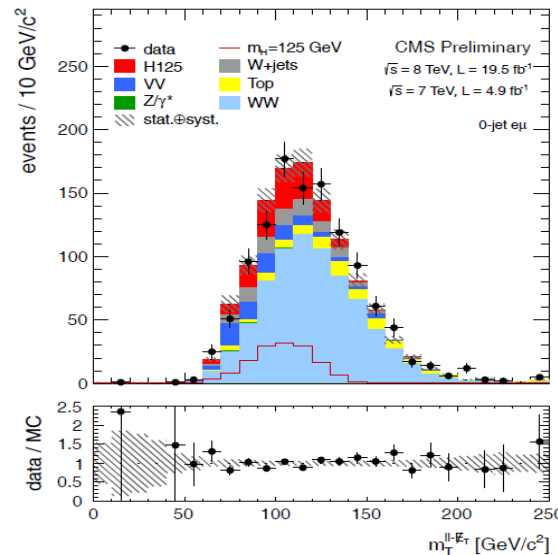
При сравнении двух гипотез $JP=0+$ и $JP=2+$ (с минимальным взаимодействием) гипотеза $2+$ исключается на уровне 99%-95% в зависимости от относительного вклада каналов gg и qq

CMS: $H \rightarrow W+W-$

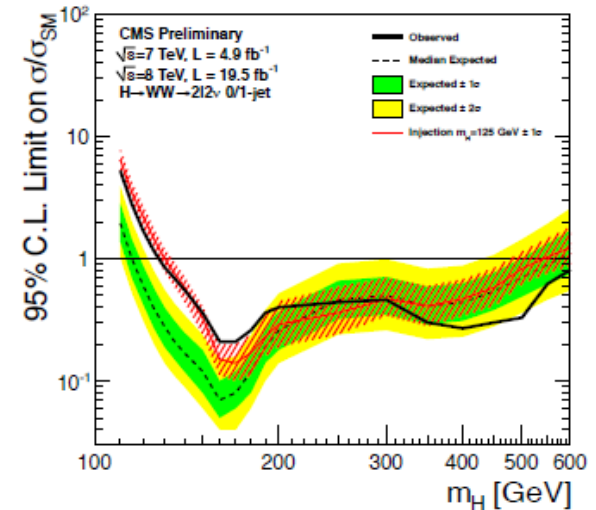
CMS PAS HIG-13-003

- Отбор: два хороших изолированных лептона с большим p_T и E_T^{miss}
- Особенности: ясное конечное состояние, большая величина $\sigma \cdot \text{BR}$
- Категории:
 - 0-jet, 1-jet
 - Different-flavor (DF), Same flavor (SF)
- Основной фон: WW , $t\bar{t}$
- Вклад фона, в основном, извлекался из данных

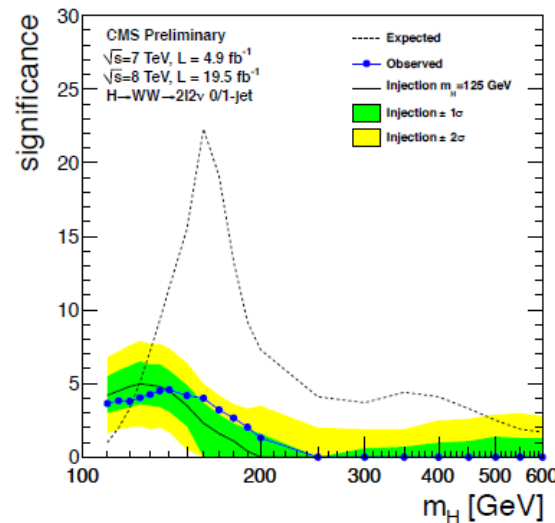
$$\mu = 0.76 \pm 0.21$$



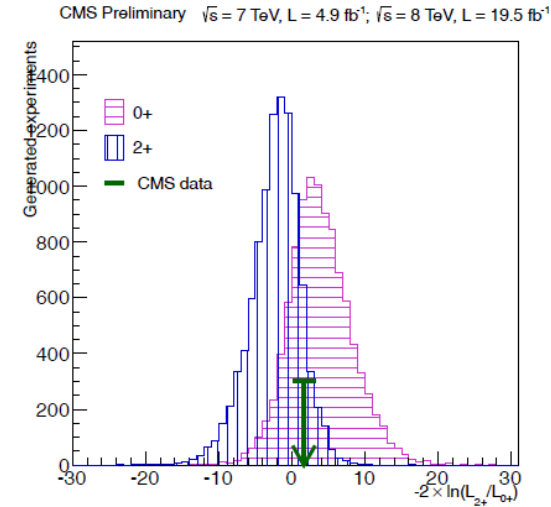
Распределение по поперечной массе для событий 0-jet



95% CL для $\sigma \cdot \text{BR}/(\sigma \cdot \text{BR})_{\text{SM}}$



Ожидаемая и наблюдаемая значимость сигнала



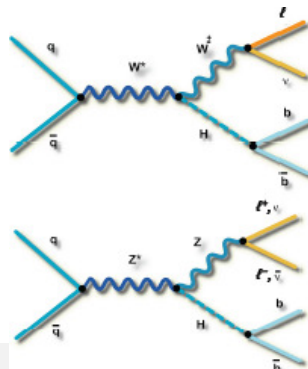
Распределение дискриминантов для $JP=0+$ и $2+$. $2+$ исключен на уровне $CL_s=14\%$

Распады $H \rightarrow \text{фермионы}$

- $H \rightarrow b\bar{b}$
- $H \rightarrow \tau^+\tau^-$
- $H \rightarrow \mu^+\mu^-$
- $H \rightarrow \text{invisible}$

ATLAS: $H \rightarrow b\bar{b}$

ATLAS-CONF-2012-161



- $ZH \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}$, $WH \rightarrow l\nu b\bar{b}$, $ZH \rightarrow l^+ l^- b\bar{b}$
 $\sqrt{s}=7$ ТэВ $L=4.7$ fb $^{-1}$ $\sqrt{s}=8$ ТэВ $L=13$ fb $^{-1}$

Отбор событий:

Три канала: 0, 1 или 2 лептона $l=\{e, \mu\}$
 Две или три струи, две – с признаками b

$ZH \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}$

нет e или μ , $E_T^{\text{miss}} > 120$ ГэВ

$WH \rightarrow l\nu b\bar{b}$

Ровно один лептон с большим p_T
 $E_T^{\text{miss}} > 25$ ГэВ, 40 ГэВ $< m_{T^{lv}} < 120$ ГэВ

$ZH \rightarrow l^+ l^- b\bar{b}$

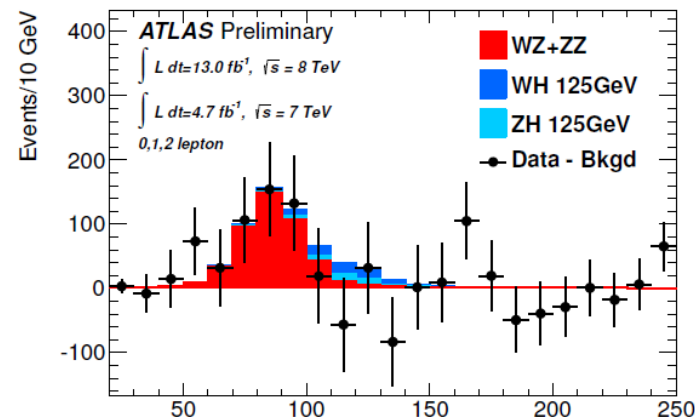
Два лептона разного знака с большим p_T
 $E_T^{\text{miss}} > 60$ ГэВ, 83 ГэВ $< m^{ll} < 99$ ГэВ

Основные источники фона:

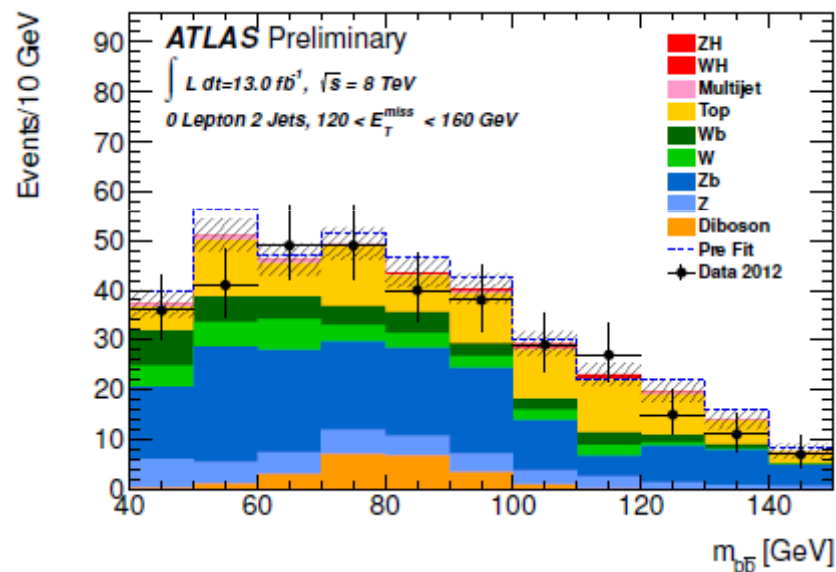
$Z+2\text{jets}$, $W+2\text{jets}$

Форма фона – из МС,

нормировка – из данных



Проверка на реакциях $WZ+ZZ$, $Z \rightarrow b\bar{b}$ m_{bb} [GeV]



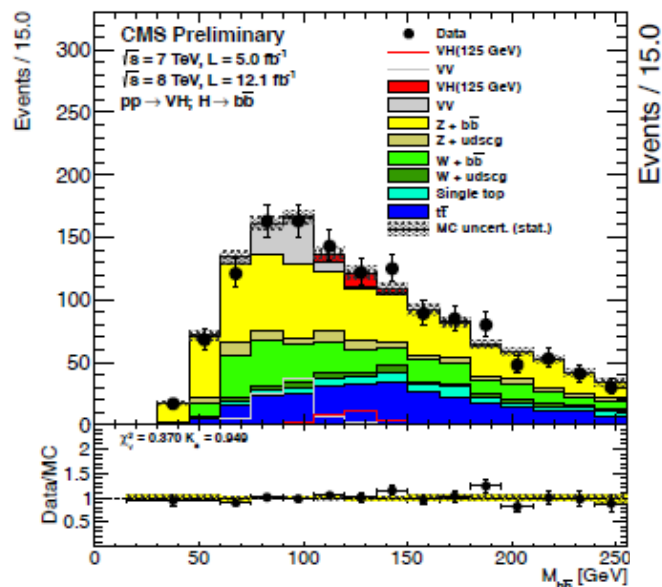
Пример распределения по m_{bb}

Распад $H \rightarrow b\bar{b}$ не найден. Для $m_H = 125$ ГэВ
 $\mu = -0.4 \pm 0.7$ (stat) ± 0.8 (sys)

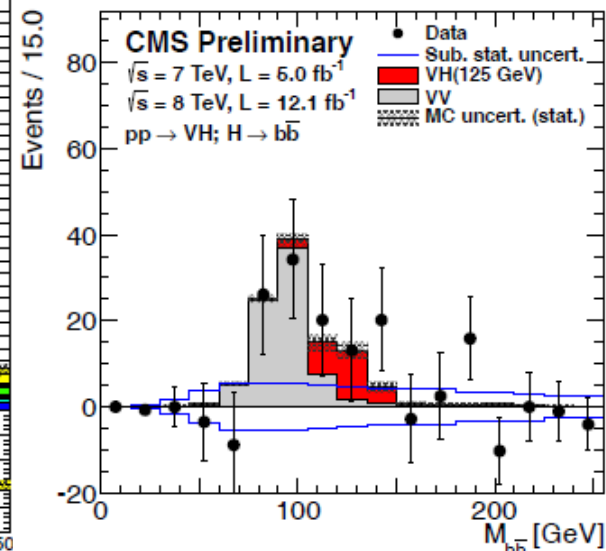
CMS: $H \rightarrow b\bar{b}$

CMS PAS HIG-12-044

- $ZH \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}$, $WH \rightarrow l\nu b\bar{b}$,
 $ZH \rightarrow l^+ l^- b\bar{b}$
 $\sqrt{s}=7$ ТэВ $L=5.0 \text{ fb}^{-1}$ $\sqrt{s}=8$ ТэВ
 $L=12.1 \text{ fb}^{-1}$
- Отбор: лептоны, E_T^{miss} , b-струи
- Основной фон: W/Z + струи, t-кварки
- Выделение сигнала:
 - Форсированные (boosted) V и H
 - Восстановление энергии b-струй
 - Выделение сигнала из фона с использованием BDT (boosted decision tree)



Суммарное (все каналы)
распределение по массе $b\bar{b}$ для
событий с большим $p_T(V)$



Вычтены все фоны, кроме VV

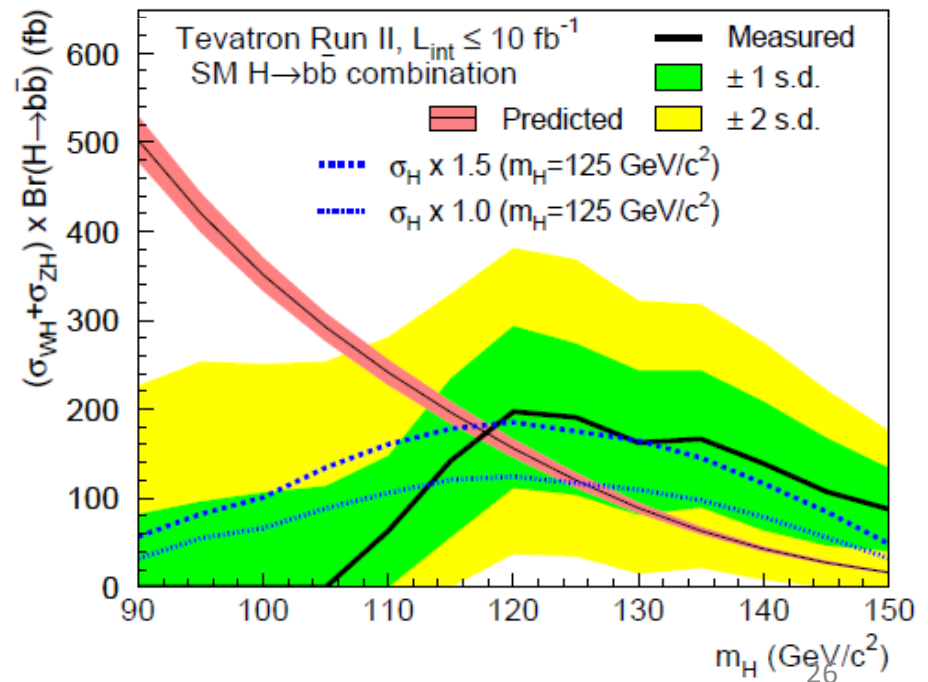
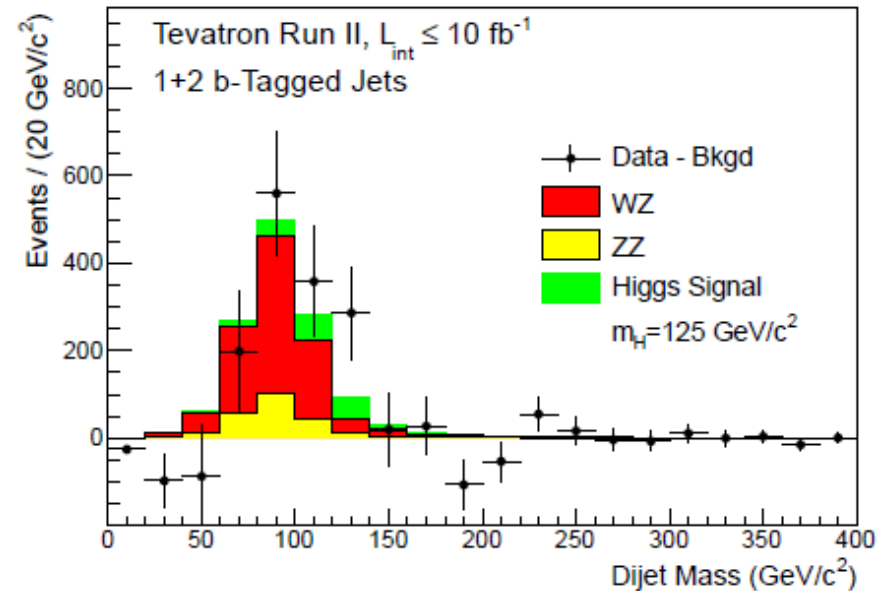
Наиболее точный результат получается при
использовании метода BDT:
для $m_H=125$ ГэВ $\mu=1.3^{+0.7}_{-0.6}$

Тэватрон: $H \rightarrow b\bar{b}$

arXiv:1303.6346v1

- CDF и DØ
- $p\bar{p} \sqrt{s}=1.96$ ТэВ $L=9.7 \text{ fb}^{-1}$
- $H \rightarrow b\bar{b}$ $H \rightarrow W+W^-$ $H \rightarrow ZZ$ $H \rightarrow \tau\tau$ $H \rightarrow \gamma\gamma$
- Данные не противоречат наличию H-бозона с массой $m=125$ ГэВ.
- Для такой массы измеренная величина сигнала составляет
 $\mu = 1.44 +0.59 -0.56$
- Для распада $H \rightarrow b\bar{b}$ результат Тэватрона особенно значим
- Отбор: лептоны, E_T^{miss} , b-струи

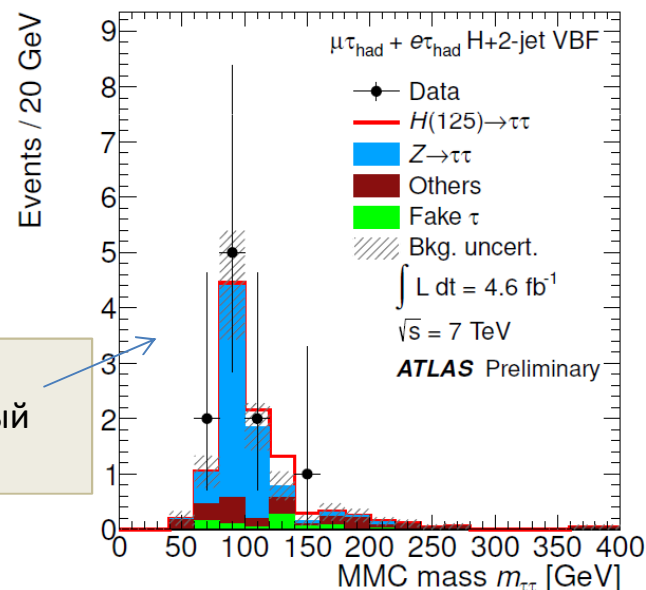
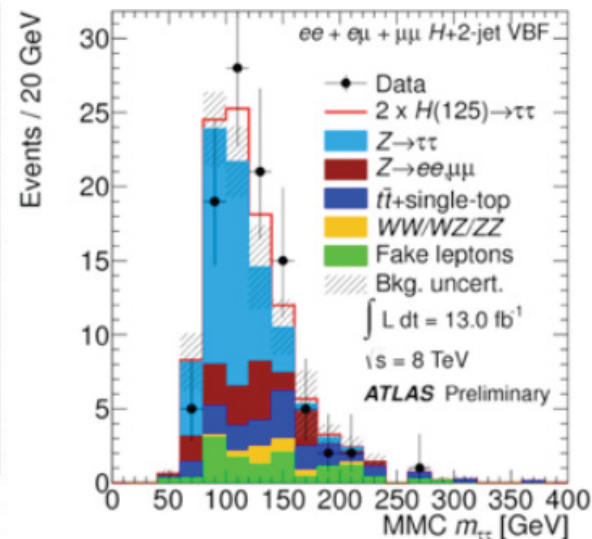
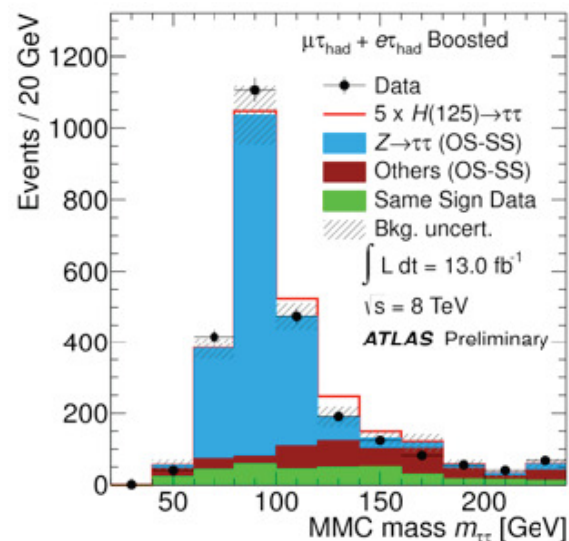
Для $m_H=125$ ГэВ $VH \rightarrow b\bar{b}$
 $\mu = 1.6 \pm 0.7$



ATLAS: $H \rightarrow \tau + \tau^-$

ATLAS-CONF-2012-160

- 3 канала $\tau_{\text{lep}} \tau_{\text{lep}}$, $\tau_{\text{lep}} \tau_{\text{had}}$, $\tau_{\text{had}} \tau_{\text{had}}$
- Обор: τ_{lep} , τ_{had} , $E_T^{\text{miss}} > 20$ ГэВ,
 b_{tag} - вето
- ~10 различных категорий:
2-jet VBF - 2 струи с $|\Delta\eta| > 3$, вето на струи в центре
- Boosted – $p_T^{\tau\tau} > 100$ ГэВ
- 2jet-VH – $30 \text{ ГэВ} < m_{jj} < 160 \text{ ГэВ}$
- 1 QCD jet - $m_{\tau\tau j} > 225 \text{ ГэВ}$
- 0 QCD jets
- Селектирующая переменная $m_{\tau\tau}$ вычисляется с использованием измеренных импульсов, недостающего импульса и МС угловых распределений.
- Основной фон $Z \rightarrow \tau + \tau^-$.
Вычисляется с использованием экспериментальных данных по $Z \rightarrow \mu\mu$ с заменой μ на τ



Наиболее чувствительный канал

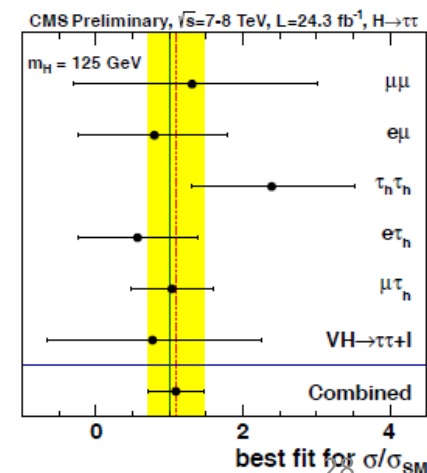
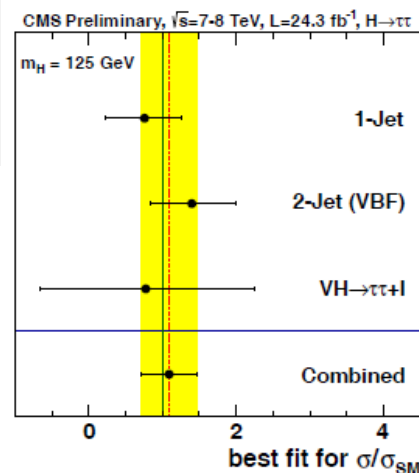
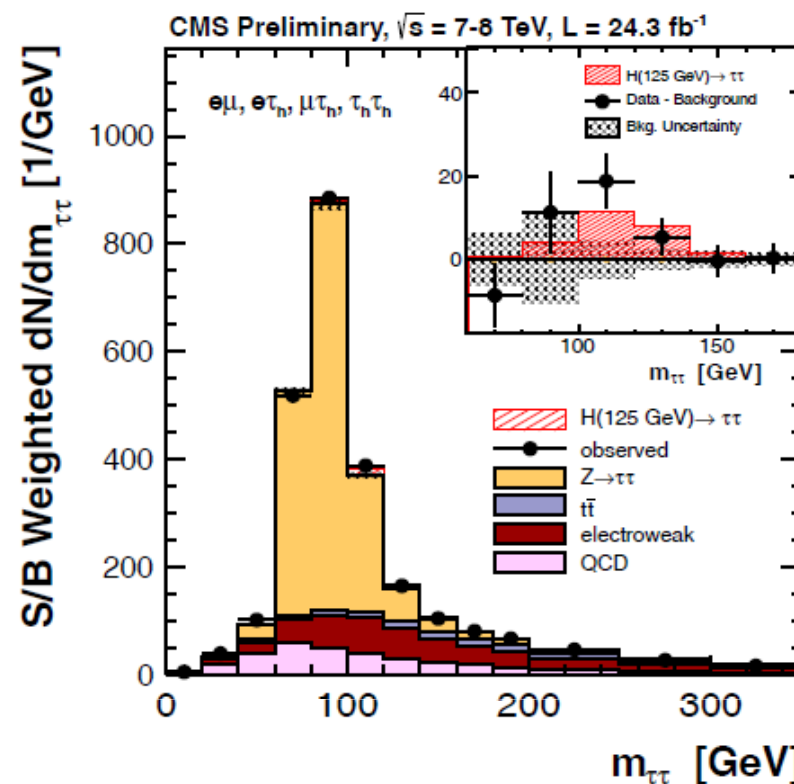
Результат: $\mu = 0.7 \pm 0.7$

CMS: $H \rightarrow \tau^+ \tau^-$

CMS PAS HIG-13-004

- Изучались пять каналов $\tau^+ \tau^-$:
 - $\mu \tau_h$, $e \tau_h$, $e \mu$, $\tau_h \tau_h$, $\mu \mu$
- Выделение сигнала:
 - Хорошие изолированные лептоны, τ_h
 - Подавление фонов обрезаниями (например m_T для $l \tau_h$, $p_T(H)$ для $\tau_h \tau_h$)
 - Разделение на классы в зависимости от числа струй, $p_T(\tau)$
 - Фитирование распределений $m(\tau^+ \tau^-)$
- Фон $Z \rightarrow \tau^+ \tau^-$ генерился на основе $Z \rightarrow \mu \mu$

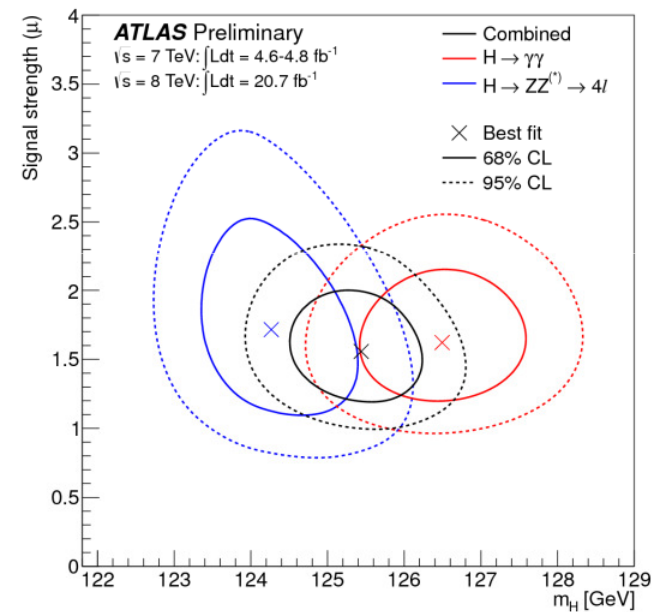
Сильное указание на
наблюдение сигнала $H \rightarrow \tau^+ \tau^-$
 $\mu = 1.1 \pm 0.4$



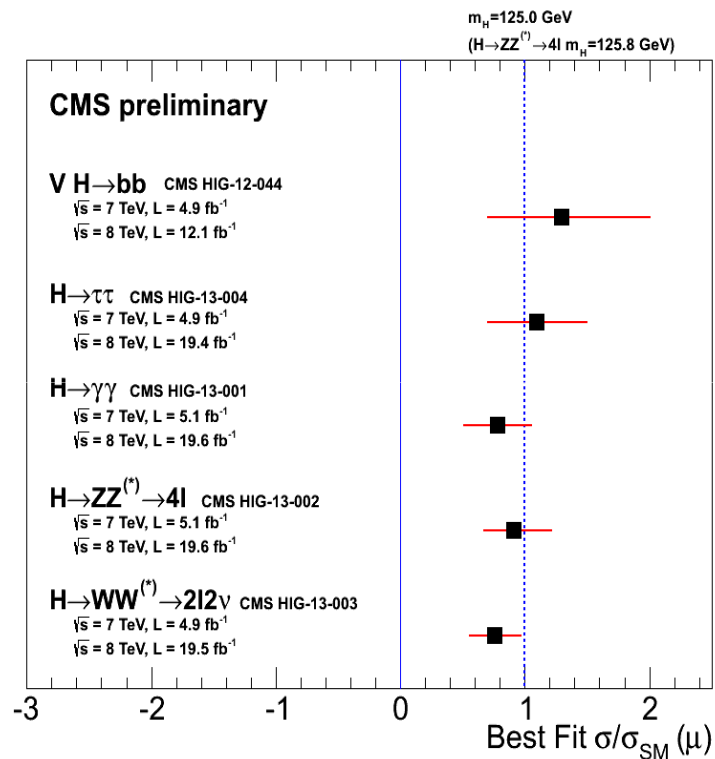
Масса H по распадам $H \rightarrow \gamma\gamma$ и $H \rightarrow Z^*Z$

- CMS $m=125.8 \pm 0.6$ ГэВ
- ATLAS $m=125.5 \pm 0.2(\text{stat})^{+0.5}_{-0.6}(\text{syst})$ ГэВ

ATLAS-CONF-2013-014

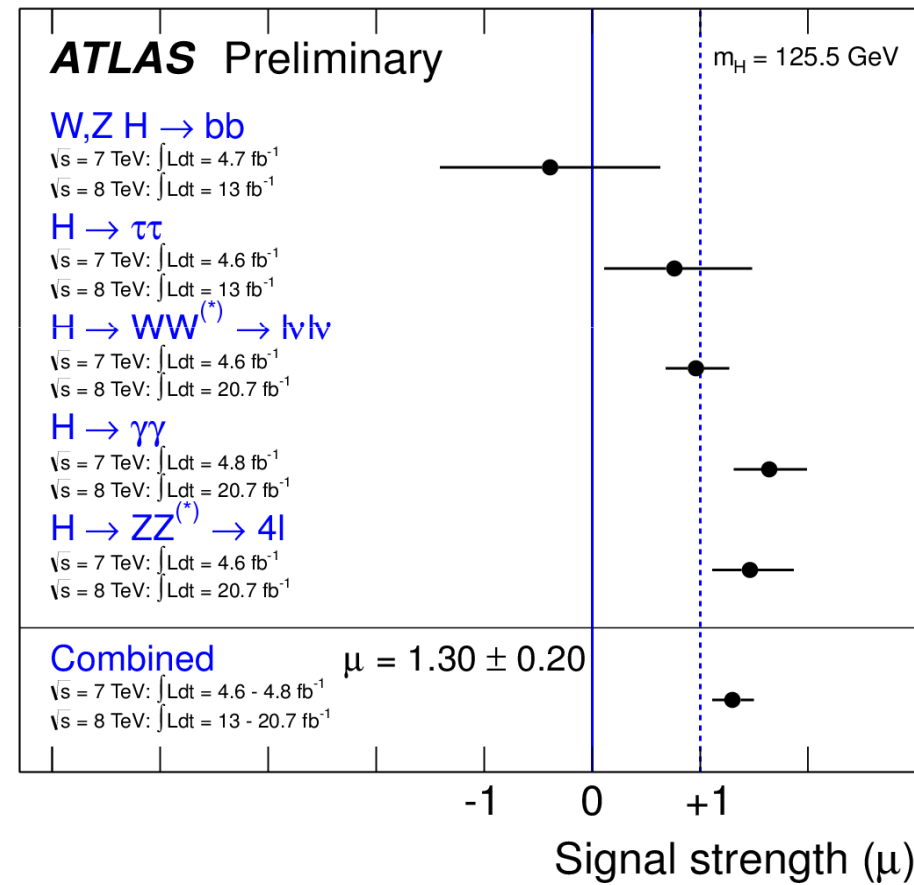


$\sigma \cdot \text{BR}$



$\mu = 0.88 \pm 0.21$

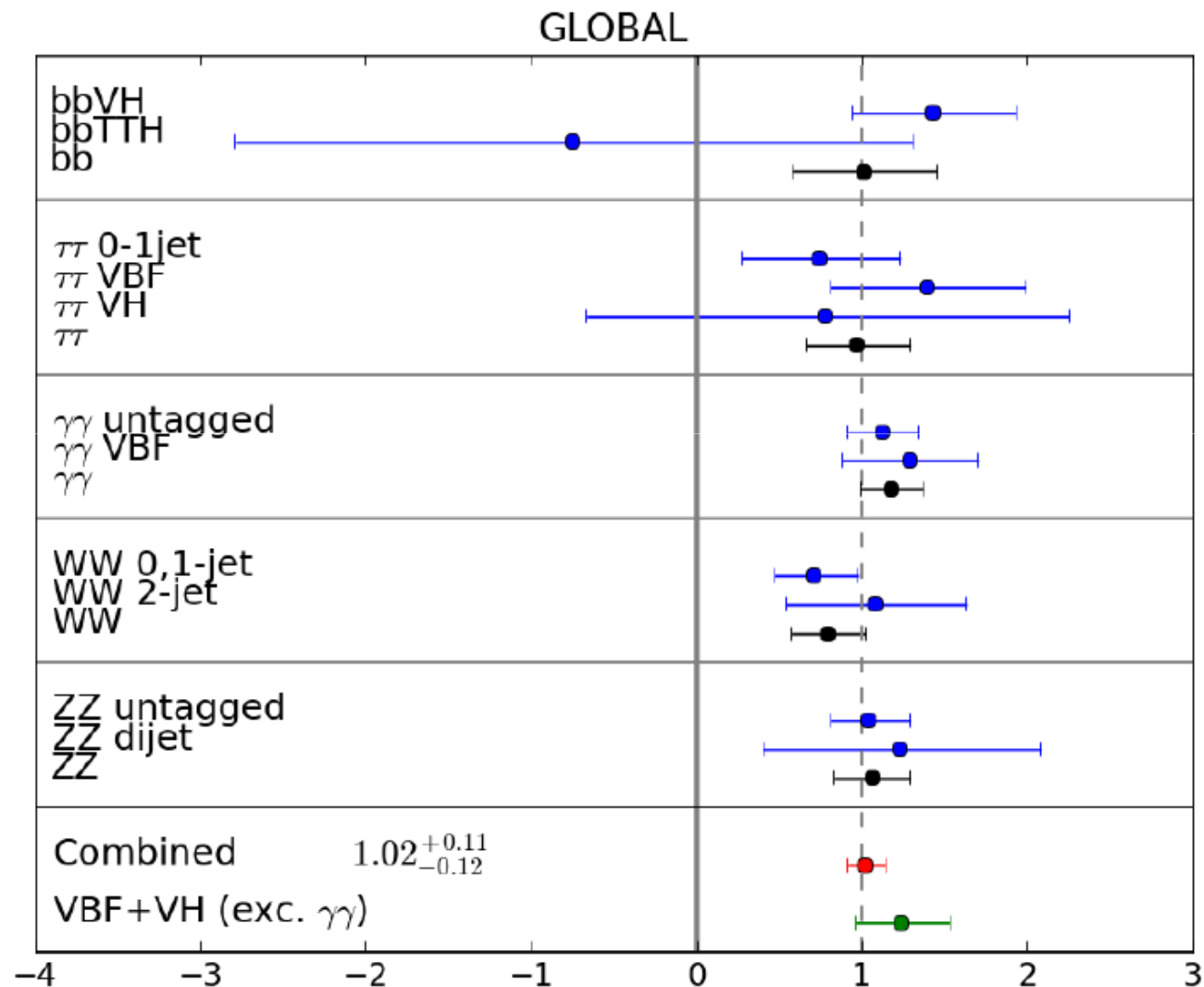
ATLAS-CONF-2013-034



Объединение результатов

J.Ellis,T.You arXiv:1303.3879[1]

- Результаты измерений не противоречат друг другу и согласуются с тем, что ожидается для стандартного хиггсовского бозона



Заключение

- Проведен анализ данных для $L=5 \text{ fb}^{-1}$ $\sqrt{s}=7 \text{ ТэВ}$ и $L=20 \text{ fb}^{-1}$ $\sqrt{s}=8 \text{ ТэВ}$
- При массе 125.5 ГэВ виден отчетливый сигнал во всех тех и только тех каналах, где должен быть виден Н-бозон
- Данные различных экспериментов согласуются
- Все измеренные параметры рождения и распада согласуются с ожидаемыми для Н-бозона при характерной точности измерений в десятки процентов
- В диапазоне масс до $\sim 0.8 \text{ ТэВ}$ нет других объектов, похожих на Н-бозон
- Значительная часть точности определяется статистикой. С увеличением светимости точность измерений будет существенно повышена